

CLIMATE CHANGE

43/2021

Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2021

Nationaler Inventarbericht zum Deutschen
Treibhausgasinventar 1990 – 2019

CLIMATE CHANGE 43/2021

Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2021

Nationaler Inventarbericht zum Deutschen
Treibhausgasinventar 1990 – 2019

Umweltbundesamt - UNFCCC-Submission

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

Tel: +49 340-2103-0

Fax: +49 340-2103-2285

buergerservice@uba.de

Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Abschlussdatum:

April 2021

Redaktion:

Fachgebiet V 1.6 Emissionssituation

Dirk Günther, Patrick Gniffke

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Mai 2021

Kontakt

Dieser Bericht entstand im Rahmen der Arbeiten der Nationalen Koordinierungsstelle für das *Nationale System Emissionsinventare* (NaSE) am Umweltbundesamt (UBA). Die Beiträge zu den Kapiteln Landwirtschaft bzw. Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft wurden vom Thünen-Institut (TI) erarbeitet.

Die elektronische Fassung dieses Berichts sowie die entsprechenden zugehörigen Emissionsdaten im Common Reporting Format (CRF) (Version 1 auf Basis der Datenbank ZSE mit Stand Trendtabellen vom 19.12.2020) sind nach Abschluss auf der Internetseite des Umweltbundesamtes bereitgestellt:

<http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>

Federführung Gesamtbericht: Michael Strogies, Patrick Gniffke (UBA V 1.6)

Kapitelverantwortliche:

Teil I: Jährliche Inventarlieferung:

Kapitel 1.1	Dirk Günther (UBA V 1.6); Thomas Voigt (UBA V 1.1)
Kapitel 1.2.1 & 1.2.2	Dirk Günther (UBA V 1.6)
Kapitel 1.3.2, 1.3.3, 1.6 tw.	Stephan Schiller (UBA V 1.6)
Kapitel 1.3.3.1.8, 1.6.2	Robert Kludt (UBA V 1.6)
Kapitel 1.3.2.4, 2, 3.2.1, 3.2.3&5, 3.2.13	Michael Strogies (UBA V 1.6)
Kapitel 1.4	Dirk Günther (UBA V 1.6) und die Fachlichen Ansprechpartner (FAP)
Kapitel 1.5	David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 1.7., 1.8	Kevin Hausmann (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2	Petra Icha, Jens Langenfeld (UBA V 1.5), Marion Dreher (UBA V 1.5), Kristina Juhrich (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2.2.2	Sabine Gores (Öko-Institut Berlin), Michael Kotzulla (UBA V 1.6), Frank Wetzel (UBA I 2.2)
Kapitel 3.2.2.3	Katharina Koppe (UBA I 2.2), Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2.4	Christian Böttcher (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2.6 – 3.2.8, 3.2.9.11	Petra Icha, Jens Langenfeld (UBA V 1.5), Rolf Beckers (UBA III 2.1), Kristina Juhrich (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2.9.1	Petra Icha (UBA V 1.5), Sebastian Plickert (UBA III 2.2)
Kapitel 3.2.9.2 - 3.2.9.3, 3.2.9.5, 3.2.9.7 - 3.2.9.11	Petra Icha (UBA V 1.5)
Kapitel 3.2.9.4	Petra Icha (UBA V 1.5), Almut Reichart (UBA III 2.1)
Kapitel 3.2.10.1	Sabine Gores (Öko-Institut Berlin), Michael Kotzulla (UBA V 1.6), Frank Wetzel (UBA I 2.2)
Kapitel 3.2.10.2 - 3.2.10.4	Gunnar Gohlisch (UBA I 2.2), Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2.10.5	Kristina Juhrich (UBA V 1.6)
Kapitel 3.2.11 + 3.2.13	Christian Liesegang (UBA III 2.1), Detlef Drosihn (UBA V 1.5)
Kapitel 3.2.12 + 3.2.14	Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Kapitel 3.3.1	Christian Böttcher (UBA V 1.6);
Kapitel 3.3.2	Christian Böttcher (UBA V.1.6), Christopher Proske (UBA III 2.1), Karen Pannier (UBA III 2.1); Andreas Bertram (UBA V 1.3)
Kapitel 4.2.1 - 4.2.2	Maja Bernicke (UBA III 2.2)
Kapitel 4.2.3	Sandra Leuthold (UBA III 2.2)
Kapitel 4.2.4.1	Til Bolland (UBA III 2.2)
Kapitel 4.2.4.2 - 4.2.4.4	Robert Kludt (UBA V 1.6)
Kapitel 4.3.1 & 4.3.2	Anna Koska (UBA III 2.1)
Kapitel 4.3.3	Jens Reichel (UBA V 1.6), Traute Fiedler (UBA III 2.1)
Kapitel 4.3.4	Jens Reichel (UBA V 1.6), Traute Fiedler (UBA III 2.1)

Kapitel 4.3.5 - 4.3.6	Anna Koska (UBA III 2.1)
Kapitel 4.3.7	Robert Kludt (UBA V 1.6)
Kapitel 4.3.8 & 4.3.10	Jens Reichel (UBA V 1.6) , Traute Fiedler (UBA III 2.1)
Kapitel 4.3.9	Cornelia Elsner (UBA III 1.4)
Kapitel 4.4.1	Sebastian Plickert (UBA III 2.2)
Kapitel 4.4.2	Christian Lehmann (UBA III 2.2)
Kapitel 4.4.3	Christian Lehmann (UBA III 2.2), Cornelia Elsner (UBA III 1.4), Kerstin Martens (UBA III 1.4)
Kapitel 4.4.4	Cornelia Elsner (UBA III 1.4), Kerstin Martens (UBA III 1.4), David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 4.5.1 & 4.5.2	Jens Reichel (UBA V 1.6), Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Kapitel 4.5.3	Folke Dettling, Conrad Dorer (UBA III 1.4), David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 4.5.4 & 5	Robert Kludt (UBA V 1.6)
Kapitel 4.5.6	Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Kapitel 4.6	Cornelia Elsner (UBA III 1.4), Kerstin Martens (UBA III 1.4), David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 4.7	Kerstin Martens (UBA III 1.4), Cornelia Elsner (UBA III 1.4), David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 4.8.1, 4.8.2 & 4.8.4	Cornelia Elsner (UBA III 1.4), Kerstin Martens (UBA III 1.4), David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 4.8.5	Jens Reichel (UBA V 1.6)
Kapitel 4.9.3	Kerstin Martens (UBA III 1.4), Cornelia Elsner (UBA III 1.4), David Kuntze (UBA V 1.6)
Kapitel 5	Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI AK): Hans-Dieter Haenel, Claus Rösemann, Roland Fuß; Ulrike Döring (UBA V 1.6)
Kapitel 6.1	Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI): Andreas Gensior, Roland Fuß, Karsten Dunger, Wolfgang Stümer; Ulrike Döring (UBA V 1.6)
Kapitel 6.2 bis 6.3	Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI): Andreas Gensior, Roland Fuß, Andreas Laggner, Birgit Laggner, Wolfgang Stümer, Sascha Adam, Karsten Dunger; Ulrike Döring (UBA V 1.6)
Kapitel 6.4	Johann Heinrich von Thünen-Institut für Waldökosysteme (TI-WO): Wolfgang Stümer, Karsten Dunger, Thomas Riedel, Daniel Ziche, Erik Grüneberg, Nicole Wellbrock, Katja Oehmichen, Sascha Adam; Ulrike Döring (UBA V 1.6)
Kapitel 6.5 bis 6.9 und 6.11	Johann Heinrich von Thünen-Institut für Agrarklimaschutz (TI-AK): Andreas Gensior, Roland Fuß, Andreas Laggner; Ulrike Döring (UBA V 1.6)
Kapitel 6.10	Johann Heinrich von Thünen-Institut für Holzforschung (TI-HF): Sebastian Rüter
Kapitel 7.2	Wolfgang Butz (UBA III 2.4)
Kapitel 7.3	Tim Hermann (UBA III 2.4)
Kapitel 7.4.1	Sue-Martina Starke (UBA III 2.4)
Kapitel 7.4.2	Robert Kludt (UBA V 1.6)
Kapitel 7.5.1	Kai Kessler (UBA III 2.5), Stephan Schiller (UBA V 1.6)
Kapitel 7.5.2	Ulrich Gromke (UBA III 2.1)
Kapitel 7.6.1	Wolfgang Butz (UBA III 2.4)
Kapitel 9	Michael Strogies (UBA V 1.6)
Kapitel 10	Michael Kotzulla (UBA V 1.6)

Teil II: Ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert:

Kapitel 11	Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI): Wolfgang Stümer, Andreas Gensior, Andreas Laggner, Roland Fuß, Sebastian Rüter, Karsten Dunger, Johanna Steuk; Ulrike Döring (UBA V 1.6)
Kapitel 11.7, 12, 14	Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt):
Kapitel 13	Dirk Günther (UBA V 1.6)
Kapitel 14	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Referat KI 1.1
<u>Anhänge:</u>	
Anhang 1	David Kuntze (UBA V 1.6)
Anhang 2	Marion Dreher (UBA V 1.5),
Anhang 2, Kapitel 18.8	Kristina Juhrich (UBA V 1.6), Christian Böttcher (UBA V 1.6)
Anhang 2, 18.9	Jens Reichel (UBA V 1.6)
Anhang 3	Autoren entsprechend der fachlichen Zuständigkeit in Kapitel 3-15
Anhang 3, Kapitel 19.1.1	Marcus Machat (UBA E 1.1), Frank Zander (Institut für Energetik und Umwelt: IE gGmbH), Dr. Dieter Merten (IE gGmbH)
Anhang 3, Kapitel 19.1.3	Michael Kotzulla (V 1.6)
Anhang 3, Kapitel 19.3	Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI): Hans-Dieter Haenel, Claus Rösemann, Roland Fuß
Anhang 4	Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Anhang 5	Robert Kludt (UBA V 1.6)
Anhang 6	Dirk Günther (UBA V 1.6), Autoren entsprechend der fachlichen Zuständigkeit
Anhang 6, Kapitel 22.1.2	Stephan Schiller (UBA V 1.6)
Anhang 6, Kapitel 22.1.3	Kevin Hausmann (UBA V 1.6)
Anhang 6, Kapitel 22.4	Michael Kotzulla (UBA V 1.6)
Anhang 7	Kevin Hausmann (UBA V 1.6)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	31
Tabellenverzeichnis	35
Abkürzungsverzeichnis	56
Einheiten und Größen	62
Erklärung der Einleitenden Informationstabellen	63
0 Zusammenfassung (ES)	64
0.1 Hintergrundinformationen zu Treibhausgas-Inventaren und Klimawandel (ES.1)	66
0.1.1 Hintergrundinformationen zum Klimawandel (ES1.1)	66
0.1.2 Hintergrundinformationen zu den Treibhausgas-Inventaren (ES1.2)	66
0.1.3 Hintergrundinformationen zu ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert (ES.1.3)	66
0.2 Zusammengefasste Emissionen von Treibhausgasen sowie deren Einbindung in Senken und Emissionen und Einbindungen aus KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.2)	67
0.2.1 Treibhausgas-Inventar (ES.2.1)	67
0.2.2 KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.2.2)	71
0.3 Zusammengefasste Emissionsschätzungen und Trends der Quell- und Senkengruppen, inklusive KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.3)	71
0.3.1 Treibhausgas-Inventar (ES.3.1)	71
0.3.2 KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.3.2)	73
1 Einleitung	74
1.1 Hintergrundinformationen zu Treibhausgas-Inventaren, Klimawandel und ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert	74
1.1.1 Hintergrundinformationen zum Klimawandel	74
1.1.2 Hintergrundinformationen zu den Treibhausgas-Inventaren	76
1.1.3 Hintergrundinformationen zu ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert (KP NIR 1.1.3.)	77
1.2 Beschreibung der Institutionalisierung der Inventarerstellung, inklusive der rechtlichen und prozeduralen Festlegungen zur Planung, Erstellung und Management des Inventars	78
1.2.1 Übersicht über die institutionellen, rechtlichen und prozeduralen Festlegungen zur Erstellung der Treibhausgas-Inventare und ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert	78
1.2.1.1 Der Nationale Koordinierungsausschuss	79
1.2.1.2 Koordinierungsstelle des Nationalen Systems	80
1.2.1.3 Arbeitskreis Emissionsinventare im Umweltbundsamt	81
1.2.1.4 Zusammenarbeit der Nationalen Koordinierungsstelle mit anderen Bundesinstitutionen und Nichtregierungsorganisationen im Rahmen des Nationalen Systems	81
1.2.1.5 Verbindlicher Terminplan im Rahmen des Nationalen Systems	84
1.2.2 Übersicht über die Inventarplanung	84
1.2.3 Übersicht über die Inventarerstellung und –management, inklusive der ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert	85
1.3 Inventarerstellung	86
1.3.1 Treibhausgas- und KP-LULUCF-Inventar	87
1.3.1.1 Vorgelagerte Abläufe	87
1.3.1.1.1 Verbesserung des Nationalen Systems	87
1.3.1.1.2 Umsetzung von Verbesserungen in der Inventarplanung und Inventarerstellung	87
1.3.1.1.3 Bestimmung der Hauptkategorien (gemäß Tier 1-Verfahren)	88
1.3.1.1.4 Berechnung und Aggregation der Unsicherheiten der Emissionen	88
1.3.1.1.5 Erweiterte Bestimmung der Hauptkategorien	89
1.3.2 Sammlung, Verarbeitung und Speicherung der Daten, inklusive KP-LULUCF-Inventare	89
1.3.2.1 Festlegung der Berechnungsgrundlagen	89
1.3.2.2 Datengewinnung	90
1.3.2.3 Datenaufbereitung und Emissionsberechnung	90
1.3.2.4 Berichterstellung	91
1.3.3 Prozeduren zur Qualitätskontrolle und -sicherung (QK/QS) und ausführliche Überprüfung der Treibhausgas- und KP-LULUCF-Inventare	94
1.3.3.1 Das Qualitätssystem Emissionsinventare	94

1.3.3.1.1	<i>Hausanordnung 11/2005 des UBA</i>	94
1.3.3.1.2	<i>Mindestanforderungen an ein System zur Qualitätskontrolle und –sicherung</i>	94
1.3.3.1.3	<i>Aufbauorganisation des Qualitätssystems Emissionsinventare</i>	95
1.3.3.1.4	<i>Ablauforganisation des Qualitätssystems Emissionsinventare</i>	97
1.3.3.1.5	<i>Dokumentation im Qualitätssystem Emissionsinventare</i>	97
1.3.3.1.6	<i>Das QSE-Handbuch</i>	100
1.3.3.1.7	<i>Unterstützung UNFCCC-Review</i>	100
1.3.3.1.8	<i>Nutzung der Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels zur Verbesserung der THG-Emissionsinventare</i>	100
1.4	Kurze, allgemeine Beschreibung der angewandten Methodik und Datenquellen	102
1.4.1	Treibhausgas-Inventar	102
1.4.1.1	Datenquellen	102
1.4.1.1.1	<i>Energie</i>	102
1.4.1.1.2	<i>Industrieprozesse</i>	104
1.4.1.1.3	<i>Landwirtschaft</i>	108
1.4.1.1.4	<i>Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft</i>	109
1.4.1.1.5	<i>Abfall und Abwasser</i>	110
1.4.1.2	Methoden	111
1.4.2	KP-LULUCF-Aktivitäten	111
1.5	Kurzbeschreibung der Hauptkategorien	111
1.5.1	Treibhausgas-Inventar (mit und ohne LULUCF)	111
1.5.2	Inventar einschließlich der KP-LULUCF Berichterstattung	113
1.6	Informationen zum Qualitätssicherungs- und –kontrollplan sowie zum Inventarplan inklusive Verifizierung und zum Umgang mit vertraulichen Informationen	121
1.6.1	Prozeduren zu Qualitätssicherung- und –kontrolle	121
1.6.1.1	QK/QS-Plan	121
1.6.1.2	QK/QS-Checklisten	121
1.6.1.3	Inventarplan	122
1.6.1.4	Audit	126
1.6.1.5	Workshops zum Nationalen System (Peer Review)	127
1.6.1.6	Ländervergleich zu fluorierten Gasen (Cross-Country-Review)	128
1.6.2	Aktivitäten zur Verifizierung	128
1.6.2.1	Verifizierung ausgewählter Kategorien	128
1.6.2.2	Verfahren zur Nutzung der Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels	129
1.6.3	Umgang mit vertraulichen Informationen	130
1.7	Generelle Unsicherheitsschätzung	131
1.7.1	Treibhausgas-Inventar	131
1.7.1.1	Vorgehen zur Unsicherheitsbestimmung	131
1.7.1.2	Ergebnisse der Unsicherheitsschätzung	133
1.7.2	KP-LULUCF-Inventar	134
1.8	Generelle Prüfung der Vollständigkeit	134
1.8.1	Treibhausgas-Inventar	134
1.8.2	KP-LULUCF-Inventar	135
2	Trends der Treibhausgase	136
2.1	Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für aggregierte Treibhausgasemissionen	138
2.2	Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs nach Treibhausgasen	139
2.2.1	<i>Kohlendioxid (CO₂)</i>	139
2.2.2	<i>Lachgas (N₂O)</i>	140
2.2.3	<i>Methan (CH₄)</i>	140
2.2.4	<i>F-Gase</i>	141
2.3	Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs nach Kategorien	141
2.4	Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für indirekte Treibhausgase und SO₂	143
2.5	Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für das KP-LULUCF-Inventar, für aggregierte Emissionen, nach Aktivität und Treibhausgas	145
3	Energie (CRF Sektor 1)	147
3.1	Übersicht (CRF Sektor 1)	147
3.2	Verbrennung von Brennstoffen (1.A)	147

3.2.1	Verifikation des sektoralen Ansatzes zu CRF 1.A	152
3.2.1.1	Vergleich mit dem CO ₂ -Referenzverfahren	152
3.2.1.2	Verifizierung mit anderen für Deutschland verfügbaren Datensätzen	152
3.2.1.2.1	<i>Vergleich mit den IEA-Ergebnissen</i>	156
3.2.1.2.2	<i>Vergleich mit den für die einzelnen Bundesländer ermittelten Daten</i>	156
3.2.1.2.3	<i>Geplante Verbesserungen</i>	160
3.2.2	Internationale Bunkerbrennstoffe	160
3.2.2.1	Emissionen aus dem internationalen Verkehr (1.D.1.a/1.D.1.b)	160
3.2.2.2	Emissionen aus dem internationalen Flugverkehr (1.D.1.a)	160
3.2.2.2.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.D.1.a)</i>	160
3.2.2.2.2	<i>Methodische Aspekte (1.D.1.a)</i>	161
3.2.2.2.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.D.1.a)</i>	161
3.2.2.2.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.D.1.a)</i>	162
3.2.2.2.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.D.1.a)</i>	162
3.2.2.2.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.D.1.a)</i>	163
3.2.2.3	Emissionen aus dem internationalen Seeverkehr/ Marine (1.D.1.b)	163
3.2.2.3.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.D.1.b)</i>	163
3.2.2.3.2	<i>Methodische Aspekte (1.D.1.b)</i>	164
3.2.2.3.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.D.1.b)</i>	165
3.2.2.3.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.D.1.b)</i>	165
3.2.2.3.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnung (1.D.1.b)</i>	165
3.2.2.3.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.D.1.b)</i>	165
3.2.3	Lagerhaltung	166
3.2.4	CO₂ Abscheidung von Abgasen und nachfolgende Speicherung (CCS) (CRF 1.C)	166
3.2.5	Landesspezifische Besonderheiten	166
3.2.6	Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung (1.A.1.a)	166
3.2.6.1	Beschreibung der Kategorie (1.A.1.a)	166
3.2.6.2	Methodische Aspekte (1.A.1.a)	169
3.2.6.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.a)	173
3.2.6.3.1	<i>Methodik zur Bestimmung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren</i>	173
3.2.6.3.2	<i>Ergebnis für N₂O</i>	174
3.2.6.3.3	<i>Ergebnis für CH₄</i>	174
3.2.6.3.4	<i>Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren</i>	174
3.2.6.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.a)	175
3.2.6.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.a)	175
3.2.6.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.a)	175
3.2.7	Mineralölraffinerien (1.A.1.b)	176
3.2.7.1	Beschreibung der Kategorie (1.A.1.b)	176
3.2.7.2	Methodische Aspekte (1.A.1.b)	177
3.2.7.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.b)	179
3.2.7.3.1	<i>Ergebnis für N₂O</i>	179
3.2.7.3.2	<i>Ergebnis für CH₄</i>	179
3.2.7.3.3	<i>Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren</i>	179
3.2.7.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.b)	179
3.2.7.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.b)	179
3.2.7.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.b)	179
3.2.8	Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger (1.A.1.c)	180
3.2.8.1	Beschreibung der Kategorie (1.A.1.c)	180
3.2.8.2	Methodische Aspekte (1.A.1.c)	182
3.2.8.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.c)	184
3.2.8.3.1	<i>Ergebnis für N₂O</i>	184
3.2.8.3.2	<i>Ergebnis für CH₄</i>	184
3.2.8.3.3	<i>Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren</i>	184
3.2.8.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.c)	184
3.2.8.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.c)	184
3.2.8.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.c)	184
3.2.9	Verarbeitendes Gewerbe (1. A.2)	185
3.2.9.1	Verarbeitendes Gewerbe - Eisenschaffende Industrie (1.A.2.a)	186
3.2.9.1.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.A.2.a)</i>	187
3.2.9.1.2	<i>Methodische Aspekte (1.A.2.a)</i>	188
3.2.9.1.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.a)</i>	189
3.2.9.1.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.a)</i>	189
3.2.9.1.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.a)</i>	189

3.2.9.1.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.a)</i>	190
3.2.9.2	Verarbeitendes Gewerbe – Nichteisen-Metalle (1.A.2.b)	190
3.2.9.2.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.A.2.b)</i>	190
3.2.9.2.2	<i>Methodische Aspekte (1.A.2.b)</i>	190
3.2.9.2.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.b)</i>	190
3.2.9.2.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.b)</i>	191
3.2.9.2.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.b)</i>	191
3.2.9.2.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.b)</i>	191
3.2.9.3	Verarbeitendes Gewerbe – Chemische Industrie (1.A.2.c)	191
3.2.9.4	Verarbeitendes Gewerbe – Zellstoff und Papierindustrie (1.A.2.d)	192
3.2.9.4.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.A.2.d)</i>	192
3.2.9.4.2	<i>Methodische Aspekte (1.A.2.d)</i>	192
3.2.9.4.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.d)</i>	193
3.2.9.4.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.d)</i>	193
3.2.9.4.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.d)</i>	193
3.2.9.4.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.d)</i>	193
3.2.9.5	Verarbeitendes Gewerbe – Zuckerherstellung (1.A.2.e)	194
3.2.9.5.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.A.2.e)</i>	194
3.2.9.5.2	<i>Methodische Aspekte (1.A.2.e)</i>	194
3.2.9.5.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.e)</i>	194
3.2.9.5.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.e)</i>	194
3.2.9.5.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.e)</i>	195
3.2.9.5.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.e)</i>	195
3.2.9.6	Verarbeitendes Gewerbe – Mineralische Industrie (1.A.2.f)	195
3.2.9.6.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.A.2.f, Mineralische Industrie)</i>	196
3.2.9.6.1	<i>Methodische Aspekte (1.A.2.f, Mineralische Industrie)</i>	196
3.2.9.6.2	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.f, Mineralische Industrie)</i>	197
3.2.9.6.3	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.f, Mineralische Industrie)</i>	197
3.2.9.6.4	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.f Mineralische Industrie)</i>	198
3.2.9.6.5	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.f, Mineralische Industrie)</i>	198
3.2.9.7	Verarbeitendes Gewerbe - Weitere Energieerzeugung (1.A.2.g, Sonstige, stationär)	198
3.2.9.7.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.A.2.g, Sonstige, stationär)</i>	198
3.2.9.7.2	<i>Methodische Aspekte (1.A.2.g, Sonstige, stationär)</i>	200
3.2.9.7.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.g, Sonstige, stationär)</i>	201
3.2.9.7.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.g, Sonstige, stationär)</i>	201
3.2.9.7.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.g, Sonstige, stationär)</i>	202
3.2.9.7.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.g, Sonstige, stationär)</i>	202
3.2.9.8	Bauwirtschaftlicher Verkehr (1.A.2.g vii)	202
3.2.9.8.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.A.2.g vii)</i>	202
3.2.9.8.2	<i>Methodische Aspekte (1.A.2.g vii)</i>	203
3.2.9.8.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.g vii)</i>	204
3.2.9.8.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.g vii)</i>	204
3.2.9.8.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.g vii)</i>	205
3.2.9.8.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.g vii)</i>	207
3.2.10	Transport (1.A.3)	207
3.2.10.1	Transport - Ziviler Luftverkehr (1.A.3.a)	207
3.2.10.1.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.A.3.a)</i>	207
3.2.10.1.2	<i>Methodische Aspekte (1.A.3.a)</i>	208
3.2.10.1.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.a)</i>	210
3.2.10.1.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.a)</i>	211
3.2.10.1.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.a)</i>	212
3.2.10.1.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.a)</i>	213
3.2.10.2	Transport - Straßenverkehr (1.A.3.b)	213
3.2.10.2.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.A.3.b)</i>	213
3.2.10.2.2	<i>Methodische Aspekte (1.A.3.b)</i>	214
3.2.10.2.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.b)</i>	217
3.2.10.2.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.b)</i>	218
3.2.10.2.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.b)</i>	219
3.2.10.2.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.b)</i>	220
3.2.10.3	Transport - Schienenverkehr (1.A.3.c)	220
3.2.10.3.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.A.3.c)</i>	220

3.2.10.3.2	<i>Methodische Aspekte (1.A.3.c)</i>	221
3.2.10.3.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.c)</i>	223
3.2.10.3.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.c)</i>	223
3.2.10.3.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.c)</i>	223
3.2.10.3.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.c)</i>	224
3.2.10.4	Transport - Schiffsverkehr (1.A.3.d)	225
3.2.10.4.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.A.3.d)</i>	225
3.2.10.4.2	<i>Methodische Aspekte (1.A.3.d)</i>	226
3.2.10.4.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.d)</i>	228
3.2.10.4.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.d)</i>	228
3.2.10.4.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.d)</i>	229
3.2.10.4.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.d)</i>	231
3.2.10.5	Transport - Übriger Verkehr (1.A.3.e)	231
3.2.10.5.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.A.3.e)</i>	231
3.2.10.5.2	<i>Methodische Aspekte (1.A.3.e)</i>	231
3.2.10.5.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.e)</i>	232
3.2.10.5.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.e)</i>	232
3.2.10.5.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.e)</i>	232
3.2.10.5.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.e)</i>	232
3.2.11	Sonstige: Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirtschaft und Fischerei (1.A.4 stationär)	233
3.2.11.1	Beschreibung der Kategorie (1.A.4 stationär)	233
3.2.11.2	Methodische Aspekte (1.A.4 stationär)	236
3.2.11.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.4 stationär)	238
3.2.11.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.4 stationär)	239
3.2.11.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.4 stationär)	240
3.2.11.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.4 stationär)	241
3.2.12	Sonstige: Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirtschaft und Fischerei (1.A.4 mobil)	241
3.2.12.1	Beschreibung der Kategorie (1.A.4 mobil)	241
3.2.12.2	Methodische Aspekte (1.A.4 mobil)	241
3.2.12.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.4 mobil)	243
3.2.12.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.4 mobil)	243
3.2.12.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.4 mobil)	244
3.2.12.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.4 mobil)	246
3.2.13	Andere Bereiche (1.A.5.a stationär)	246
3.2.13.1	Beschreibung der Kategorie (1.A.5.a stationär)	247
3.2.13.2	Methodische Aspekte (1.A.5.a stationär)	247
3.2.13.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.5.a stationär)	248
3.2.13.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.5.a stationär)	248
3.2.13.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.5.a stationär)	248
3.2.13.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.5.a stationär)	248
3.2.14	Andere Bereiche (1.A.5.b mobil)	249
3.2.14.1	Beschreibung der Kategorie (1.A.5.b mobil)	249
3.2.14.2	Methodische Aspekte (1.A.5.b mobil)	249
3.2.14.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.5.b mobil)	251
3.2.14.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.5.b mobil)	251
3.2.14.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.5.b mobil)	251
3.2.14.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.5.b mobil)	252
3.2.15	Militär	253
3.3	Diffuse Emissionen aus Brennstoffen (1.B)	253
3.3.1	Feste Brennstoffe - Kohlenbergbau und -umwandlung (1.B.1)	253
3.3.1.1	Tiefbau – Steinkohlen	254
3.3.1.2	Tagebau - Braunkohlen	254
3.3.1.2.1	<i>Beschreibung der Kategorie (Tagebau - Braunkohlen)</i>	254
3.3.1.2.2	<i>Methodik (Tagebau - Braunkohlen)</i>	255
3.3.1.2.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (Tagebau - Braunkohlen)</i>	255
3.3.1.2.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (Tagebau - Braunkohlen)</i>	255
3.3.1.3	stillgelegter Steinkohlenbergbau	256
3.3.1.4	Umwandlung von festen Brennstoffen	256
3.3.1.4.1	<i>Beschreibung der Kategorie (Umwandlung von festen Brennstoffen)</i>	256

3.3.1.4.2	<i>Methodische Aspekte (Umwandlung von festen Brennstoffen)</i>	257
3.3.1.4.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (Umwandlung von festen Brennstoffen)</i>	258
3.3.1.4.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (Umwandlung von festen Brennstoffen)</i>	258
3.3.1.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.B.1 alle)	258
3.3.1.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch(1.B.1 alle)	258
3.3.2	Öl und Erdgas und diffuse Emissionen aus der Energieerzeugung (1.B.2)	259
3.3.2.1	Öl (1.B.2.a)	259
3.3.2.1.1	<i>„Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)</i>	260
3.3.2.1.1.1	Beschreibung der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)	260
3.3.2.1.1.2	Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)	260
3.3.2.1.1.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)	261
3.3.2.1.1.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)	261
3.3.2.1.2	<i>„Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)</i>	261
3.3.2.1.2.1	Beschreibung der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)	261
3.3.2.1.2.2	Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)	262
3.3.2.1.2.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)	262
3.3.2.1.2.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)	262
3.3.2.1.3	<i>„Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)</i>	262
3.3.2.1.3.1	Beschreibung der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)	263
3.3.2.1.3.2	Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)	263
3.3.2.1.3.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)	264
3.3.2.1.3.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)	264
3.3.2.1.4	<i>„Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)</i>	264
3.3.2.1.4.1	Beschreibung der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)	264
3.3.2.1.4.2	Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)	267
3.3.2.1.4.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)	267
3.3.2.1.4.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)	268
3.3.2.1.5	<i>„Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)</i>	268
3.3.2.1.5.1	Beschreibung der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)	268
3.3.2.1.5.2	Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)	269
3.3.2.1.5.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)	271
3.3.2.1.5.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)	271
3.3.2.2	Gas (1.B.2.b)	272
3.3.2.2.1	<i>„Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)</i>	272
3.3.2.2.1.1	Beschreibung der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)	272
3.3.2.2.1.2	Methodische Aspekte der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)	272
3.3.2.2.1.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)	272
3.3.2.2.1.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)	272
3.3.2.2.2	<i>„Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)</i>	272
3.3.2.2.2.1	Beschreibung der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)	272
3.3.2.2.2.2	Methodische Aspekte der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)	273
3.3.2.2.2.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)	273
3.3.2.2.2.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)	273
3.3.2.2.3	<i>Gas, Verarbeitung (1.B.2.b.iii)</i>	274
3.3.2.2.3.1	Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.iii)	274
3.3.2.2.3.2	Methodische Aspekte (1.B.2.b.iii)	275
3.3.2.2.3.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.iii)	275
3.3.2.2.3.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.iii)	275

3.3.2.2.4	<i>Gas, Weiterleitung (1.B.2.b.iv)</i>	276
3.3.2.2.4.1	Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.iv)	276
3.3.2.2.4.2	Methodische Aspekte (1.B.2.b.iv)	278
3.3.2.2.4.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.iv)	278
3.3.2.2.4.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.iv)	278
3.3.2.2.5	<i>Gas, Verteilung (1.B.2.b.v)</i>	279
3.3.2.2.5.1	Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.v)	279
3.3.2.2.5.2	Methodische Aspekte (1.B.2.b.v)	280
3.3.2.2.5.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.v)	281
3.3.2.2.5.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.v)	281
3.3.2.2.6	<i>Gas, Sonstige Leckagen (1.B.2.b.vi)</i>	281
3.3.2.2.6.1	Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.vi)	281
3.3.2.2.6.2	Methodische Aspekte (1.B.2.b.v)	282
3.3.2.2.6.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.v)	282
3.3.2.2.6.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.v)	282
3.3.2.3	Abfackelung und Entlüftung (1.B.2.c)	283
3.3.2.3.1.1	Beschreibung der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c)	283
3.3.2.3.1.2	Methodische Aspekte der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c)	285
3.3.2.3.1.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c)	285
3.3.2.3.1.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c)	286
3.3.2.4	Geothermie (1.B.2.d)	286
3.3.2.4.1	<i>Beschreibung der Kategorie (1.B.2.d)</i>	286
3.3.2.4.2	<i>Methodische Aspekte (1.B.2.d)</i>	287
3.3.2.4.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.d)</i>	287
3.3.2.4.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und –Verifizierung (1.B.2.d)</i>	287
3.3.2.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.B.2 alle)	287
3.3.2.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.B.2 alle)	288
4	Industrieprozesse (CRF Sektor 2)	289
4.1	Übersicht (CRF Sektor 2)	289
4.2	Mineralische Industrie (2.A)	289
4.2.1	Mineralische Industrie: Zement (2.A.1)	290
4.2.1.1	Beschreibung der Kategorie (2.A.1)	290
4.2.1.2	Methodische Aspekte (2.A.1)	291
4.2.1.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.1)	292
4.2.1.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.1)	292
4.2.1.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.1)	293
4.2.1.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.1)	293
4.2.2	Mineralische Industrie: Kalk (2.A.2)	293
4.2.2.1	Beschreibung der Kategorie (2.A.2)	293
4.2.2.2	Methodische Aspekte (2.A.2)	294
4.2.2.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.2)	295
4.2.2.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.2)	295
4.2.2.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.2)	296
4.2.2.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.2)	296
4.2.3	Mineralische Industrie: Glas (2.A.3)	296
4.2.3.1	Beschreibung der Kategorie (2.A.3 Glas)	296
4.2.3.2	Methodische Aspekte (2.A.3 Glas)	297
4.2.3.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.3 Glas)	299
4.2.3.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.3 Glas)	300
4.2.3.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.3 Glas)	300
4.2.3.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.3 Glas)	300
4.2.4	Mineralische Industrie: Weiterer Einsatz von Karbonaten (2.A.4)	300
4.2.4.1	Mineralische Industrie: Keramik (2.A.4.a)	301
4.2.4.1.1	<i>Beschreibung der Kategorie (2.A.4.a Keramik)</i>	301
4.2.4.1.2	<i>Methodische Aspekte (2.A.4.a Keramik)</i>	302
4.2.4.1.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.a Keramik)</i>	304
4.2.4.1.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.a Keramik)</i>	304
4.2.4.1.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.a Keramik)</i>	305
4.2.4.1.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.a Keramik)</i>	305

4.2.4.2	Mineralische Industrie: weitere Sodanutzung (2.A.4.b)	305
4.2.4.2.1	<i>Beschreibung der Kategorie (2.A.4.b)</i>	305
4.2.4.2.2	<i>Methodische Aspekte (2.A.4.b)</i>	306
4.2.4.2.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.b)</i>	306
4.2.4.2.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.b)</i>	307
4.2.4.2.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.b)</i>	307
4.2.4.2.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.b)</i>	307
4.2.4.3	Herstellung nichtmetallurgischer Magnesiumprodukte (2.A.4.c)	307
4.2.4.3.1	<i>Beschreibung der Kategorie (2.A.4.c)</i>	307
4.2.4.3.2	<i>Methodische Aspekte (2.A.4.c)</i>	307
4.2.4.3.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.c)</i>	308
4.2.4.3.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.c)</i>	308
4.2.4.3.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.c)</i>	308
4.2.4.3.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.c)</i>	308
4.2.4.4	Mineralische Industrie: weitere Verwendung von Kalkstein und Dolomit (2.A.4.d)	308
4.2.4.4.1	<i>Beschreibung der Kategorie (2.A.4.d)</i>	308
4.2.4.4.2	<i>Methodische Aspekte (2.A.4.d)</i>	308
4.2.4.4.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.d)</i>	309
4.2.4.4.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.d)</i>	309
4.2.4.4.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.d)</i>	309
4.2.4.4.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.d)</i>	309
4.3	Chemische Industrie (2.B)	309
4.3.1	Chemische Industrie: Ammoniakproduktion (2.B.1)	310
4.3.1.1	Beschreibung der Kategorie (2.B.1)	310
4.3.1.2	Methodische Aspekte (2.B.1)	311
4.3.1.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.1)	312
4.3.1.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.1)	312
4.3.1.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.1)	312
4.3.1.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.1)	312
4.3.2	Chemische Industrie: Salpetersäureproduktion (2.B.2)	312
4.3.2.1	Beschreibung der Kategorie (2.B.2)	312
4.3.2.2	Methodische Aspekte (2.B.2)	313
4.3.2.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.2)	313
4.3.2.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.2)	314
4.3.2.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.2)	314
4.3.2.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.2)	314
4.3.3	Chemische Industrie: Adipinsäureproduktion (2.B.3)	314
4.3.3.1	Beschreibung der Kategorie (2.B.3)	314
4.3.3.2	Methodische Aspekte (2.B.3)	315
4.3.3.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.3)	315
4.3.3.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.3)	315
4.3.3.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.3)	316
4.3.3.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.3)	316
4.3.4	Chemische Industrie: Caprolactam, Glyoxal & Glyoxylsäure (2.B.4)	316
4.3.4.1	Beschreibung der Kategorie (2.B.4)	316
4.3.4.2	Methodische Aspekte (2.B.4)	316
4.3.4.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.4)	317
4.3.4.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.4)	317
4.3.4.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.4)	318
4.3.4.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.4)	318
4.3.5	Chemische Industrie: Carbidproduktion (2.B.5)	318
4.3.5.1	Beschreibung der Kategorie (2.B.5)	318
4.3.5.2	Methodische Aspekte (2.B.5)	318
4.3.5.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.5)	319
4.3.5.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.5)	319
4.3.5.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.5)	319
4.3.5.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.5)	319
4.3.6	Chemische Industrie: Titandioxid-Produktion (2.B.6)	319
4.3.7	Chemische Industrie: Soda-Herstellung (2.B.7)	320
4.3.7.1	Beschreibung der Kategorie (2.B.7)	320
4.3.7.2	Methodische Aspekte (2.B.7)	320
4.3.7.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.7)	321
4.3.7.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.7)	321

4.3.7.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.7)	321
4.3.7.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.7)	321
4.3.8	Chemische Industrie: Petrochemie und Industrieruß-Produktion (2.B.8)	321
4.3.8.1	Chemische Industrie: Petrochemie (2.B.8 Petrochemie)	321
4.3.8.1.1	<i>Beschreibung der Kategorie (2.B.8 Petrochemie)</i>	321
4.3.8.1.2	<i>Methodische Aspekte (2.B.8 Petrochemie)</i>	322
4.3.8.1.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.8 Petrochemie)</i>	324
4.3.8.1.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.8 Petrochemie)</i>	325
4.3.8.1.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.8 Petrochemie)</i>	325
4.3.8.1.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.8 Petrochemie)</i>	325
4.3.8.2	Chemische Industrie: Industrieruß-Produktion (2.B.8 Industrieruß)	325
4.3.8.2.1	<i>Beschreibung der Kategorie (2.B.8 Industrieruß)</i>	325
4.3.8.2.2	<i>Methodische Aspekte (2.B.8 Industrieruß)</i>	325
4.3.8.2.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.8 Industrieruß)</i>	327
4.3.8.2.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.8 Industrieruß)</i>	327
4.3.8.2.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.8 Industrieruß)</i>	327
4.3.8.2.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.8 Industrieruß)</i>	327
4.3.9	Chemische Industrie: Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF₆ (2.B.9)	328
4.3.9.1	Nebenprodukt-Emissionen (2.B.9.a)	328
4.3.9.1.1	<i>Beschreibung der Kategorie (2.B.9.a)</i>	328
4.3.9.1.2	<i>Methodische Aspekte (2.B.9.a)</i>	328
4.3.9.1.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.9.a)</i>	329
4.3.9.1.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.9.a)</i>	329
4.3.9.1.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.9.a)</i>	329
4.3.9.1.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.9.a)</i>	329
4.3.9.2	Herstellungsbedingte Emissionen (2.B.9.b)	330
4.3.9.2.1	<i>Beschreibung der Kategorie (2.B.9.b)</i>	330
4.3.9.2.2	<i>Methodische Aspekte (2.B.9.b)</i>	330
4.3.9.2.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.9.b)</i>	330
4.3.9.2.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.9.b)</i>	330
4.3.9.2.5	<i>Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.9.b)</i>	331
4.3.9.2.6	<i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.9.b)</i>	331
4.3.10	Chemische Industrie - Sonstige: Emissionen aus sonstigen Produktionsprozessen (2.B.10)	331
4.3.10.1	Beschreibung der Kategorie (2.B.10)	331
4.3.10.2	Methodische Aspekte (2.B.10)	331
4.3.10.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.10)	331
4.3.10.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.10)	331
4.3.10.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.10)	331
4.3.10.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.10)	331
4.4	Metallproduktion (2.C)	332
4.4.1	Metallproduktion: Eisen- und Stahlproduktion (2.C.1)	332
4.4.1.1	Beschreibung der Kategorie (2.C.1)	332
4.4.1.2	Methodische Aspekte (2.C.1)	332
4.4.1.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.1)	337
4.4.1.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.1)	338
4.4.1.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.1)	338
4.4.1.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.1)	338
4.4.2	Metallproduktion: Produktion von Ferrolegerungen (2.C.2)	339
4.4.2.1	Beschreibung der Kategorie (2.C.2)	339
4.4.2.2	Methodische Aspekte (2.C.2)	339
4.4.2.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.2)	339
4.4.2.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.2)	340
4.4.2.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.2)	340
4.4.2.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.2)	340
4.4.3	Metallproduktion: Aluminiumproduktion (2.C.3)	340
4.4.3.1	Beschreibung der Kategorie (2.C.3)	340
4.4.3.2	Methodische Aspekte (2.C.3)	341
4.4.3.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.3)	343
4.4.3.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.3)	343

4.4.3.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.3)	344
4.4.3.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.3)	344
4.4.4	Metallproduktion: Magnesiumproduktion (2.C.4)	344
4.4.4.1	Beschreibung der Kategorie (2.C.4)	344
4.4.4.2	Methodische Aspekte (2.C.4)	344
4.4.4.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.4)	345
4.4.4.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.4)	345
4.4.4.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.4)	345
4.4.4.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.4)	345
4.4.5	Metallproduktion: Blei (2.C.5)	346
4.4.5.1	Beschreibung der Kategorie (2.C.5)	346
4.4.5.2	Methodische Aspekte (2.C.5)	346
4.4.5.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.5)	346
4.4.5.4	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.5)	346
4.4.5.5	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.5)	346
4.4.5.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.5)	347
4.4.6	Metallproduktion: Zink (2.C.6)	347
4.4.6.1	Beschreibung der Kategorie (2.C.6)	347
4.4.6.2	Methodische Aspekte (2.C.6)	347
4.4.6.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.6)	347
4.4.6.4	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.6)	347
4.4.6.5	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.6)	347
4.4.6.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.6)	348
4.4.7	Metallproduktion: Sonstige (2.C.7)	348
4.4.7.1	Beschreibung der Kategorie (2.C.7)	348
4.4.7.2	Methodische Aspekte (2.C.7)	348
4.4.7.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.7)	348
4.4.7.4	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.7)	348
4.4.7.5	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.7)	348
4.4.7.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.7)	348
4.5	Verwendung von nichtenergetischen Produkten aus Brennstoffen und von Lösemitteln (2.D)	349
4.5.1	Anwendung von Schmiermitteln (2.D.1)	349
4.5.1.1	Beschreibung der Kategorie (2.D.1)	349
4.5.1.2	Methodische Aspekte (2.D.1)	349
4.5.1.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.1)	353
4.5.1.4	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.1)	353
4.5.1.5	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.1)	354
4.5.1.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.1)	354
4.5.2	Anwendung von Paraffinwachsen (2.D.2)	354
4.5.2.1	Beschreibung der Kategorie (2.D.2)	354
4.5.2.2	Methodische Aspekte (2.D.2)	355
4.5.2.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.2)	355
4.5.2.4	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.2)	356
4.5.2.5	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.2)	356
4.5.2.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.2)	356
4.5.3	Sonstige: Lösemittel - NMVOC (2.D.3 Lösemittel)	356
4.5.3.1	Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Lösemittel)	356
4.5.3.2	Methodische Aspekte (2.D.3 Lösemittel)	360
4.5.3.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Lösemittel)	362
4.5.3.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Lösemittel)	362
4.5.3.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Lösemittel)	362
4.5.3.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Lösemittel)	363
4.5.4	Sonstige: Verwendung von Bitumen zur Dachdeckung (2.D.3 Bitumen)	363
4.5.4.1	Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Bitumen)	363
4.5.4.2	Methodische Aspekte (2.D.3 Bitumen)	363
4.5.4.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Bitumen)	364
4.5.4.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Bitumen)	364
4.5.4.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Bitumen)	365
4.5.4.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Bitumen)	365
4.5.5	Sonstige: Straßenasphaltierung (2.D.3 Asphalt)	365
4.5.5.1	Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Asphalt)	365

4.5.5.2	Methodische Aspekte (2.D.3 Asphalt)	365
4.5.5.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Asphalt)	366
4.5.5.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Asphalt)	366
4.5.5.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Asphalt)	366
4.5.5.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Asphalt)	366
4.5.6	CO₂-Emissionen aus dem Einsatz von AdBlue® in Straßenverkehr und Off-Road-Fahrzeugen (2.D.3 Sonstige: AdBlue)	366
4.5.6.1	Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Sonstige: AdBlue)	366
4.5.6.2	Methodische Aspekte (2.D.3 Sonstige: AdBlue)	367
4.5.6.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)	367
4.5.6.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)	367
4.5.6.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)	368
4.5.6.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)	368
4.6	Elektronik-Industrie (2.E)	369
4.6.1	Halbleiter- und Platinenproduktion (2.E.1)	369
4.6.1.1	Beschreibung der Kategorie (2.E.1)	369
4.6.1.2	Methodische Aspekte (2.E.1)	369
4.6.1.3	Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.1)	370
4.6.1.4	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.1)	370
4.6.1.5	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.1)	370
4.6.1.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.1)	370
4.6.2	TFT (2.E.2)	370
4.6.3	Photovoltaik (2.E.3)	371
4.6.3.1	Beschreibung der Kategorie (2.E.3)	371
4.6.3.2	Methodische Aspekte (2.E.3)	371
4.6.3.3	Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.3)	371
4.6.3.4	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.3)	372
4.6.3.5	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.3)	372
4.6.3.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.3)	372
4.6.4	Wärmeüberträger (2.E.4)	372
4.6.4.1	Beschreibung der Kategorie (2.E.4)	372
4.6.4.2	Methodische Aspekte (2.E.4)	372
4.6.4.3	Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.4)	372
4.6.4.4	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.4)	373
4.6.4.5	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.4)	373
4.6.4.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.4)	373
4.7	Anwendungen als ODS-Ersatzstoff (2.F)	373
4.7.1	Kälte- und Klimaanlage (2.F.1)	377
4.7.1.1	Beschreibung der Kategorie (2.F.1)	377
4.7.1.2	Methodische Aspekte (2.F.1)	377
4.7.1.2.1	<i>Gewerbekälte (2.F.1.a)</i>	377
4.7.1.2.2	<i>Haushaltskälte (2.F.1.b)</i>	381
4.7.1.2.3	<i>Industriekälte (2.F.1.c)</i>	382
4.7.1.2.4	<i>Transportkälte (Kühlfahrzeuge und –container) (2.F.1.d)</i>	385
4.7.1.2.5	<i>Mobile Klimaanlage (2.F.1.e)</i>	388
4.7.1.2.6	<i>Stationäre Klimaanlage (2.F.1.f)</i>	391
4.7.1.2.6.1	Raumklimageräte	391
4.7.1.2.6.2	Kaltwassersätze (Chiller)	393
4.7.1.2.6.3	Wärmepumpenanlagen	394
4.7.1.2.6.4	Wärmepumpen-Wäschetrockner	396
4.7.1.2.6.5	Spülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion	396
4.7.1.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.1 alle)	397
4.7.1.4	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.1 alle)	398
4.7.1.5	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.1 alle)	403
4.7.2	Schaumherstellung (2.F.2)	403
4.7.2.1	Geschlossenzellige Polyurethan-Hartschaumprodukte (2.F.2 PU hard foam)	403
4.7.2.1.1	<i>Beschreibung der Kategorie (2.F.2 PU hard foam)</i>	403
4.7.2.1.2	<i>Methodische Aspekte (2.F.2 PU hard foam)</i>	403
4.7.2.2	Geschlossenzelliger und offenzelliger XPS-Hartschaum (2.F.2 XPS)	404
4.7.2.2.1	<i>Beschreibung der Kategorie (2.F.2 XPS)</i>	404
4.7.2.2.2	<i>Methodische Aspekte (2.F.2 XPS)</i>	405
4.7.2.3	Offenzelliger Polyurethan-Integralschaum (2.F.2 PU integral foam)	406

4.7.2.3.1	Beschreibung der Kategorie (2.F.2 PU integral foam)	406
4.7.2.3.2	Methodische Aspekte (2.F.2 PU integral foam)	406
4.7.2.4	Offenzelliger Polyurethan-Montageschaum (2.F.2 one-component PU foam)	407
4.7.2.4.1	Beschreibung der Kategorie (2.F.2 one-component PU foam)	407
4.7.2.4.2	Methodische Aspekte (2.F.2 one-component PU foam)	407
4.7.2.5	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.2 alle)	408
4.7.2.6	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.2 alle)	409
4.7.2.7	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.2 alle)	411
4.7.3	Feuerlöschmittel (2.F.3)	411
4.7.3.1	Beschreibung der Kategorie (2.F.3)	411
4.7.3.2	Methodische Aspekte (2.F.3)	411
4.7.3.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.3)	412
4.7.3.4	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.3)	412
4.7.3.5	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.3)	412
4.7.4	Aerosole (2.F.4)	413
4.7.4.1	Dosieraerosole (2.F.4.a)	413
4.7.4.1.1	Beschreibung der Kategorie (2.F.4.a)	413
4.7.4.1.2	Methodische Aspekte (2.F.4.a)	413
4.7.4.2	Sonstige Aerosole (2.F.4.b)	414
4.7.4.2.1	Beschreibung der Kategorie (2.F.4.b)	414
4.7.4.2.2	Methodische Aspekte (2.F.4.b)	415
4.7.4.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.4 alle)	416
4.7.4.3.1	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.4 alle)	416
4.7.4.3.2	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.4 alle)	418
4.7.5	Lösemittel (2.F.5)	418
4.7.5.1	Beschreibung der Kategorie (2.F.5)	418
4.7.5.2	Methodische Aspekte (2.F.5)	418
4.7.5.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.5)	418
4.7.5.4	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.5)	418
4.7.5.5	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.5)	418
4.7.6	Andere Anwendungen, die ODS Ersatzstoffe verwenden (2.F.6)	419
4.7.7	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.F. alle)	419
4.8	Sonstige Produktherstellung und -verwendung (2.G)	420
4.8.1	Elektrische Betriebsmittel (2.G.1)	421
4.8.1.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.1)	421
4.8.1.2	Methodische Aspekte (2.G.1)	422
4.8.1.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.1)	424
4.8.1.4	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.1)	425
4.8.1.5	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.1)	425
4.8.1.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.1)	425
4.8.2	SF₆ und FKW aus sonstiger Produktverwendung (2.G.2)	426
4.8.2.1	Militär - AWACS Wartung (2.G.2.a)	426
4.8.2.1.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.2.a)	426
4.8.2.1.2	Methodische Aspekte (2.G.2.a)	426
4.8.2.2	Teilchenbeschleuniger (2.G.2.b)	426
4.8.2.2.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.2.b)	426
4.8.2.2.2	Methodische Aspekte (2.G.2.b)	427
4.8.2.3	Isolierglasfenster (2.G.2.c)	428
4.8.2.3.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.2.c)	428
4.8.2.3.2	Methodische Aspekte (2.G.2.c)	429
4.8.2.4	Adiabatisch - Autoreifen (2.G.2.d)	430
4.8.2.4.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.2.d)	430
4.8.2.4.2	Methodische Aspekte (2.G.2.d)	430
4.8.2.5	Adiabatisches Verhalten - Sportschuhe (2.G.2.d)	430
4.8.2.5.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.2.d)	430
4.8.2.5.2	Methodische Aspekte (2.G.2.d)	430
4.8.2.6	Sonstige: Spurengas (2.G.2.e)	431
4.8.2.6.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e)	431
4.8.2.6.2	Methodische Aspekte (2.G.2.e)	431
4.8.2.7	Sonstige: Schweißen (2.G.2.e)	431
4.8.2.7.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e)	431
4.8.2.7.2	Methodische Aspekte (2.G.2.e)	431
4.8.2.8	Sonstige: Optische Glasfasern (2.G.2.e)	432

4.8.2.8.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e)	432
4.8.2.8.2	Methodische Aspekte (2.G.2.e)	432
4.8.2.9	Sonstige: Medizinische und kosmetische Anwendungen (2.G.2.e)	432
4.8.2.9.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e)	432
4.8.2.9.2	Methodische Aspekte (2.G.2.e)	433
4.8.2.10	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.2 alle)	434
4.8.2.11	Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.2 alle)	435
4.8.2.12	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.2 alle)	435
4.8.2.13	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.2 alle)	435
4.8.3	Verwendung von N₂O (2.G.3)	436
4.8.3.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.3)	436
4.8.3.2	Methodische Aspekte (2.G.3)	437
4.8.3.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.3)	439
4.8.3.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.3)	439
4.8.3.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.3)	440
4.8.3.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.3)	440
4.8.4	Andere - ORC-Anlagen (2.G.4 ORC-Anlagen)	440
4.8.4.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.4 ORC-Anlagen)	440
4.8.4.2	Methodische Aspekte (2.G.4 ORC-Anlagen)	441
4.8.4.3	Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.G.4 ORC-Anlagen)	441
4.8.4.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.4 ORC-Anlagen)	442
4.8.4.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.4 ORC-Anlagen)	442
4.8.4.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.4 ORC-Anlagen)	442
4.8.5	Sonstige Produktherstellung und –verwendung: Sonstige, Anwendung von Holzkohle (2.G.4 Holzkohle)	442
4.8.5.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.4 Holzkohle)	442
4.8.5.2	Methodische Aspekte (2.G.4 Holzkohle)	442
4.8.5.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.4 Holzkohle)	443
4.8.5.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.4 Holzkohle)	443
4.8.5.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.4 Holzkohle)	443
4.8.5.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.4 Holzkohle)	443
4.8.6	Sonstige Produktherstellung und –verwendung: Sonstige, Lachgas aus Sprengstoffen (2.G.4 Sprengstoffe)	444
4.8.6.1	Beschreibung der Kategorie (2.G.4 Sprengstoffe)	444
4.9	Andere Produktionen (2.H)	444
4.9.1	Andere Produktionen: Zellstoff- und Papierherstellung (2.H.1)	444
4.9.1.1	Beschreibung der Kategorie (2.H.1)	444
4.9.1.2	Methodische Aspekte (2.H.1)	445
4.9.1.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.H.1)	446
4.9.1.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.H.1)	446
4.9.1.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.H.1)	446
4.9.1.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.H.1)	446
4.9.2	Andere Produktionen: Nahrungsmittel und Getränke (2.H.2)	446
4.9.2.1	Beschreibung der Kategorie (2.H.2)	446
4.9.2.2	Methodische Aspekte (2.H.2)	447
4.9.2.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.H.2)	447
4.9.2.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.H.2)	448
4.9.2.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.H.2)	448
4.9.2.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.H.2)	448
4.9.3	Andere Bereiche (2.H.3)	448
5	Landwirtschaft (CRF Sektor 3)	451
5.1	Übersicht (CRF Sektor 3)	451
5.1.1	Kategorien und Gesamtemissionen 1990 - 2019	451
5.1.2	Das Emissionsinventarmodell GAS-EM	452
5.1.2.1	Verwendete Regelwerke und ausführlicher Bericht	452
5.1.2.2	Grundstruktur des Emissionsinventarmodelles GAS-EM	452
5.1.2.3	Die Behandlung von CH ₄ im Emissionsinventar	454
5.1.2.4	Das Stickstoff-Fluss-Konzept (3.B, 3.D)	454
5.1.3	Charakterisierung der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung	456
5.1.3.1	Tierkategorien (3.A, 3.B)	456

5.1.3.2	Tierplatzzahlen (3.A, 3.B)	457
5.1.3.2.1	<i>Erhebungen durch die statistischen Ämter des Bundes und der Länder</i>	457
5.1.3.2.2	<i>Besonderheiten der Tierplatzzahlen im Inventar</i>	459
5.1.3.2.3	<i>Im Inventar verwendete Tierplatzzahlen (3.A, 3.B)</i>	461
5.1.3.2.4	<i>Vergleich mit Tierzahlen der FAO (3.A, 3.B)</i>	461
5.1.3.3	Leistungs-, Energie- und Futterdaten (3.A, 3.B)	463
5.1.3.4	N-Ausscheidungen (3.B)	466
5.1.3.5	VS-Ausscheidungen (3.B)	467
5.1.3.6	Haltungs-, Lager- und Ausbringungsverfahren (CRF 3.B, 3.D)	468
5.1.3.6.1	<i>Häufigkeitsverteilungen (3.B, 3.D)</i>	468
5.1.3.6.2	<i>Einstreu bei Festmistsystemen</i>	469
5.1.3.6.3	<i>Maximale Methan-Bildungsrate B_o (3.B(b))</i>	470
5.1.3.6.4	<i>Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (3.B)</i>	470
5.1.3.6.5	<i>Wirtschaftsdünger-Vergärung und Gärreste-Management (3.B)</i>	472
5.1.4	Vergärung von Energiepflanzen: Konzept und Aktivitätsdaten	476
5.1.4.1	Konzept und Berücksichtigung in den CRF-Tabellen	476
5.1.4.2	Aktivitätsdaten und Parameter	477
5.1.5	Aktivitätsdaten für Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und Kulturen	478
5.1.5.1	N ₂ O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden (3.D)	478
5.1.5.1.1	<i>Den direkten N₂O-Emissionen zugrunde liegende N-Mengen (3.D)</i>	478
5.1.5.1.2	<i>Flächen bewirtschafteter organischer Böden (3.D)</i>	480
5.1.5.1.3	<i>Deposition reaktiven Stickstoffs (3.B, 3.D, 3.J)</i>	481
5.1.5.1.4	<i>Auswaschung und Oberflächenabfluss (3.D)</i>	481
5.1.5.2	CO ₂ -Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I)	482
5.1.5.3	NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen	483
5.1.6	Gesamtunsicherheit aller THG-Emissionen des Sektors 3	483
5.1.7	Qualitätssicherung und -kontrolle	487
5.1.7.1	Qualitätsmanagement Emissionsinventare des Thünen-Instituts	487
5.1.7.2	Eingangsdaten, Berechnungsverfahren und Emissionsergebnisse	487
5.1.7.3	Verifizierung	488
5.1.7.4	Reviews und Reports	488
5.2	Fermentation bei der Verdauung (3.A)	489
5.2.1	Beschreibung der Quellgruppe (3.A)	489
5.2.2	Methodische Aspekte (3.A)	490
5.2.2.1	Methodik (3.A)	490
5.2.2.2	Emissionsfaktoren (3.A)	492
5.2.2.3	Emissionen (3.A)	493
5.2.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.A)	493
5.2.4	Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.A)	493
5.2.5	Quellenspezifische Rückrechnungen (3.A)	495
5.2.6	Geplante Verbesserungen (3.A)	496
5.3	Wirtschaftsdünger-Management (3.B)	497
5.3.1	Beschreibung der Quellgruppe (3.B)	497
5.3.2	Methan-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B, CH₄)	498
5.3.2.1	Beschreibung der Quellgruppe (3.B, CH ₄)	498
5.3.2.2	Methodische Aspekte (3.B, CH ₄)	498
5.3.2.2.1	<i>Methodik (3.B, CH₄)</i>	498
5.3.2.2.2	<i>Emissionsfaktoren (3.B, CH₄)</i>	499
5.3.2.2.3	<i>Emissionen (CRF 3.B, CH₄)</i>	499
5.3.2.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, CH ₄)	500
5.3.2.4	Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, CH ₄)	500
5.3.2.5	Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, CH ₄)	503
5.3.2.6	Geplante Verbesserungen (3.B, CH ₄)	504
5.3.3	NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management	504
5.3.3.1	Beschreibung der Quellgruppe (NMVOC)	504
5.3.3.2	Methodische Aspekte (NMVOC)	504
5.3.3.2.1	<i>Methodik (NMVOC)</i>	504
5.3.3.2.2	<i>Emissionsfaktoren (NMVOC)</i>	505
5.3.3.2.3	<i>Emissionen (NMVOC)</i>	506
5.3.3.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (NMVOC)	506
5.3.3.4	Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (NMVOC)	507
5.3.3.5	Quellenspezifische Rückrechnungen (NMVOC)	507
5.3.3.6	Geplante Verbesserungen (NMVOC)	507

5.3.4	Direkte N₂O- und NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B, N₂O & NO) 507	
5.3.4.1	Beschreibung der Quellgruppe (3.B, N ₂ O _{direkt} & NO)	507
5.3.4.2	Methodische Aspekte (3.B, N ₂ O _{direkt} & NO)	507
5.3.4.2.1	<i>Methodik (3.B, N₂O_{direkt} & NO)</i>	507
5.3.4.2.2	<i>Emissionsfaktoren (3.B, N₂O_{direkt} & NO)</i>	508
5.3.4.2.3	<i>Emissionen (3.B, N₂O_{direkt} & NO)</i>	510
5.3.4.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, N ₂ O _{direkt} & NO)	511
5.3.4.4	Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, N ₂ O _{direkt} & NO)	511
5.3.4.5	Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, N ₂ O _{direkt} & NO)	513
5.3.4.6	Geplante Verbesserungen (3.B, N ₂ O _{direkt} & NO)	514
5.3.5	Indirekte N₂O-Emissionen als Folge des Wirtschaftsdünger-Managements (3.B)	514
5.3.5.1	Beschreibung der Quellgruppe (3.B, N ₂ O _{indirekt})	514
5.3.5.2	Methodische Aspekte (3.B, N ₂ O _{indirekt})	514
5.3.5.2.1	<i>Methodik (3.B, N₂O_{indirekt})</i>	514
5.3.5.2.2	<i>Emissionsfaktor (3.B, N₂O_{indirekt})</i>	515
5.3.5.2.3	<i>Emissionen (3.B, N₂O_{indirekt})</i>	515
5.3.5.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, N ₂ O _{indirekt})	515
5.3.5.4	Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, N ₂ O _{indirekt})	516
5.3.5.5	Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, N ₂ O _{indirekt})	516
5.3.5.6	Geplante Verbesserungen (3.B, N ₂ O _{indirekt})	516
5.4	Reisanbau (3.C)	516
5.5	Landwirtschaftliche Böden (3.D)	516
5.5.1	Beschreibung der Quellgruppe (3.D)	516
5.5.2	Methodische Aspekte und Emissionen(3.D)	517
5.5.2.1	Methodik und Emissionsfaktoren (3.D)	517
5.5.2.1.1	<i>Direkte N₂O-Emissionen (3.D.a)</i>	517
5.5.2.1.2	<i>Indirekte N₂O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden(3.D)</i>	518
5.5.2.1.3	<i>Indirekte N₂O-Emissionen als Folge von Auswaschung und Oberflächenabfluss (3.D)</i>	518
5.5.2.1.4	<i>NO-Emissionen</i>	518
5.5.2.1.5	<i>NM VOC-Emissionen</i>	519
5.5.2.2	Die <i>Frac</i> -Größen (3.D)	519
5.5.2.3	Emissionen (3.D)	520
5.5.3	Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.D)	521
5.5.4	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.D)	523
5.5.5	Quellenspezifische Rückrechnungen (3.D)	524
5.5.6	Geplante Verbesserungen (3.D)	525
5.6	Brandrodung (3.E)	525
5.7	Verbrennen von Ernterückständen auf der Fläche (3.F)	525
5.8	CO₂ aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I)	526
5.8.1	Beschreibung der Quellgruppe (3.G-I)	526
5.8.2	Methodik und Emissionen (3.G-I)	526
5.8.3	Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.G-I)	527
5.8.4	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.G-I)	528
5.8.5	Quellenspezifische Rückrechnungen (3.G-I)	528
5.8.6	Geplante Verbesserungen (3.G-I)	529
5.9	CH₄ und N₂O aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) (3.J)	529
5.9.1	Beschreibung der Quellgruppe (3.J)	529
5.9.2	Methodische Aspekte (3.J)	530
5.9.3	CH₄-Emissionsfaktor und -Emissionen (3.J, CH₄)	530
5.9.4	N₂O-Emissionsfaktoren und -Emissionen (3.J, N₂O)	531
5.9.5	NO-Emissionsfaktoren und -Emissionen (3.J, NO)	531
5.9.6	Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.J)	531
5.9.7	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.J)	532
5.9.8	Quellenspezifische Rückrechnungen (3.J)	532
5.9.9	Geplante Verbesserungen (3.J)	532
6	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (CRF Sektor 4)	533
6.1	Übersicht (CRF Sektor 4)	533

6.1.1 Kategorien und Gesamtemissionen und -senken 1990 - 2019	533
6.1.2 Methodische Grundlagen	536
6.1.2.1 Kohlenstoffemissionen aus Mineralböden (4.A bis 4.F)	540
6.1.2.1.1 <i>Übersicht Methodik</i>	540
6.1.2.1.2 <i>Datengrundlage und Verfahren</i>	544
6.1.2.1.3 <i>Wald</i>	545
6.1.2.1.4 <i>Ackerland</i>	545
6.1.2.1.5 <i>Grünland</i>	546
6.1.2.1.6 <i>Siedlungen</i>	546
6.1.2.1.7 <i>Terrestrische Feuchtgebiete und Sonstiges Land</i>	551
6.1.2.1.8 <i>Unsicherheiten</i>	552
6.1.2.1.9 <i>Geplante Verbesserungen</i>	552
6.1.2.2 Emissionen aus organischen Böden (3.D; 4.A bis 4.F; CRF-Tabelle 4(II))	552
6.1.2.2.1 <i>Aktivitätsdaten</i>	554
6.1.2.2.2 <i>Emissionsberechnung</i>	555
6.1.2.2.3 <i>Implizite Emissionsfaktoren (IEF)</i>	556
6.1.2.3 Kohlenstoffemissionen aus der Biomasse (4.B bis 4.F)	556
6.1.2.3.1 <i>Allgemeines</i>	556
6.1.2.3.2 <i>Berechnungsmethoden</i>	558
6.1.2.3.3 <i>Ableitung der Emissionsfaktoren für die Biomasse annueller Kulturen und krautiger Pflanzen</i>	560
6.1.2.3.4 <i>Ableitung der Emissionsfaktoren für perennierende Gehölzkulturen</i>	562
6.1.2.3.4.1 <i>Obstgehölze</i>	562
6.1.2.3.4.2 <i>Wein</i>	566
6.1.2.3.4.3 <i>Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen</i>	567
6.1.2.3.4.4 <i>Hopfen</i>	571
6.1.2.3.5 <i>Ableitung der Emissionsfaktoren für Hecken und Feldgehölze</i>	571
6.1.2.4 Kohlenstoffemissionen aus toter organischer Substanz (4.A bis 4.F)	573
6.1.2.5 Direkte N ₂ O-Emissionen aus Stickstoff-Düngung von Waldflächen und anderen Flächen (4(I))	573
6.1.2.6 Emissionen aus der Entwässerung von organischen und mineralischen Böden	573
6.1.2.7 Direkte Lachgas-Emissionen (N ₂ O) aus Stickstoff-Mineralisierung (CRF-Tabelle 4(III))	573
6.1.2.8 Indirekte Lachgas-Emissionen (N ₂ O) aus bewirtschafteten Böden (CRF-Tabelle 4(IV))	574
6.1.2.9 Verbrennung von Biomasse (CRF-Tabelle 4(V))	576
6.1.2.10 <i>Unsicherheiten</i>	576
6.1.3 Qualitätssicherung und -kontrolle	577
6.1.3.1 <i>Qualitätsmanagement Emissionsinventare des Thünen-Instituts</i>	577
6.1.3.2 <i>Eingangsdaten, Berechnungsverfahren und Emissionsergebnisse</i>	577
6.1.3.3 <i>Verifizierung</i>	579
6.1.3.4 <i>Reviews und Reports</i>	579
6.1.4 Geplante Verbesserungsmaßnahmen	580
6.2 Definitionen von Landnutzung, Klassifizierungssysteme und ihre Widerspiegelung in den LULUCF-Kategorien	580
6.2.1 Wälder	580
6.2.2 Ackerland	581
6.2.3 Grünland	581
6.2.4 Feuchtgebiete	582
6.2.5 Siedlungen	584
6.2.6 Sonstiges Land	585
6.3 Informationen zu den für die Ermittlung der Landflächen gewählten Ansätzen und zu den verwendeten Landnutzungs-Datenquellen	585
6.3.1 Einleitung	585
6.3.2 Datengrundlage und -aufbereitung	586
6.3.2.1 <i>Datenquellen</i>	586
6.3.2.2 <i>Ableiten der LULUCF-Informationen</i>	590
6.3.3 Fehlerbetrachtung	591
6.3.4 Schrittweise Implementierung	591
6.3.4.1 <i>Ableitung der Landnutzung</i>	592
6.3.4.2 <i>Ableitung der jährlichen Landnutzungsänderungen</i>	593
6.3.5 Landnutzungsänderungen nach Konvention und KP	593
6.3.6 Verifizierung	602
6.4 Wälder (4.A)	603
6.4.1 Beschreibung der Kategorie (4.A)	603

6.4.2 Methodische Aspekte (4.A)	606
6.4.2.1 Datenquellen	606
6.4.2.1.1 Bundeswald- und Zwischeninventuren, Datenspeicher Waldfonds und Einschlagsrückrechnung	606
6.4.2.1.2 Bodenzustandserhebung im Wald (BZE)	607
6.4.2.2 Biomasse (CRF -Table 4.A)	607
6.4.2.2.1 Verbleibende Waldfläche	607
6.4.2.2.2 Neuwaldfläche	610
6.4.2.2.3 Herleitung der Einzelbaumbiomassen	611
6.4.2.2.4 Konvertierung in oberirdische Einzelbaumbiomasse	611
6.4.2.2.5 Konvertierung in unterirdische Biomasse	613
6.4.2.2.6 Konvertierung der Einzelbaumbiomasse in Kohlenstoff	615
6.4.2.2.7 Zustandsschätzer für 1987, 2002, 2008, 2012 und 2017	615
6.4.2.2.8 Schätzer für die Vorratsveränderung nach der „Stock-Difference-Method“	617
6.4.2.2.9 Herleitung der jährlichen Veränderungsschätzungen	617
6.4.2.3 Totholz (CRF-Table 4.A)	618
6.4.2.3.1 Verbleibende Waldfläche	618
6.4.2.3.2 Neuwaldfläche	619
6.4.2.4 Streu (CRF-Table 4.A)	620
6.4.2.4.1 Verbleibende Waldfläche	620
6.4.2.4.2 Neuwaldflächen	620
6.4.2.4.3 Herleitung der Kohlenstoffvorräte der Streu	620
6.4.2.4.4 Herleitung der Kohlenstoffvorratsänderung in der Streu in dem Zeitraum von 1990 (BZE I) bis 2006 (BZE II)	621
6.4.2.5 Mineralische Böden (CRF-Table 4.A)	621
6.4.2.5.1 Verbleibende Waldfläche	621
6.4.2.5.2 Neuwaldflächen	622
6.4.2.5.3 Herleitung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen	622
6.4.2.5.4 Ergebnisse der Herleitung der Kohlenstoffvorräte und -vorratsveränderungen	624
6.4.2.6 Organische Böden (CRF-Table 4.A)	625
6.4.2.6.1 Verbleibende Waldfläche	625
6.4.2.6.2 Neuwaldflächen	626
6.4.2.7 Sonstige Treibhausgasemissionen aus Wäldern	626
6.4.2.7.1 Lachgas-Emissionen aus Stickstoffdüngung (CRF-Table 4(I))	626
6.4.2.7.2 Entwässerung und Wiedervernässung von organischen und mineralischen Böden (CRF-Table 4(II))	626
6.4.2.7.3 Direkte Lachgas-Emissionen von Stickstoff-Mineralisierung bzw. Immobilisierung (CRF-Table 4(III))	627
6.4.2.7.4 Indirekte Lachgas-Emissionen aus bewirtschafteten Böden (CRF-Table 4(IV))	627
6.4.2.7.5 Waldbrand (CRF-Table 4(V))	627
6.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.A)	630
6.4.3.1 Unsicherheiten bei der Schätzung von Landnutzungsänderungsflächen	630
6.4.3.2 Unsicherheiten bei der Schätzung der Emissionsfaktoren von lebender und toter Biomasse	630
6.4.3.3 Unsicherheiten bei der Schätzung der Streu und der mineralischen Böden	634
6.4.3.3.1 Probenahmefehler	634
6.4.3.3.2 Kleinräumige Variabilität	634
6.4.3.3.3 Repräsentanz von Punkten innerhalb der Straten	634
6.4.3.3.4 Stichprobenfehler	634
6.4.3.3.5 Quantifizierung von methodisch bedingten Unsicherheiten	634
6.4.3.4 Zeitreihenkonsistenz	635
6.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.A)	635
6.4.4.1 Biomasse und Totholz	636
6.4.4.2 Streu und mineralische Böden	636
6.4.4.3 Vergleich mit Ergebnissen anderer Staaten	637
6.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.A)	639
6.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.A)	642
6.5 Ackerland (4.B)	642
6.5.1 Beschreibung der Kategorie (4.B)	642
6.5.2 Methodische Aspekte (4.B)	646
6.5.2.1 Datenquellen	646
6.5.2.2 Biomasse	647
6.5.2.2.1 Landnutzungsänderung	647

6.5.2.2.2	Verbleibkategorie	647
6.5.2.3	Mineralische Böden	648
6.5.2.3.1	Landnutzungsänderung	648
6.5.2.3.2	Verbleibkategorie	648
6.5.2.4	Organische Böden	651
6.5.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.B)	651
6.5.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.B)	658
6.5.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.B)	660
6.5.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.B)	661
6.6	Grünland (4.C)	662
6.6.1	Beschreibung der Kategorie (4.C)	662
6.6.2	Methodische Aspekte (4.C)	667
6.6.2.1	Datenquellen	667
6.6.2.2	Biomasse	667
6.6.2.3	Mineralische Böden	667
6.6.2.4	Organische Böden	668
6.6.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.C)	668
6.6.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.C)	671
6.6.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.C)	673
6.6.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.C)	674
6.7	Feuchtgebiete (4.D)	675
6.7.1	Beschreibung der Kategorie (4.D)	675
6.7.2	Methodische Aspekte (4.D)	677
6.7.2.1	Datenquellen	677
6.7.2.2	Biomasse	678
6.7.2.3	Mineralböden	678
6.7.2.4	Organische Böden	678
6.7.2.5	Torfabbau	679
6.7.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.D)	680
6.7.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.D)	684
6.7.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.D)	684
6.7.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.D)	686
6.8	Siedlungen (4.E)	686
6.8.1	Beschreibung der Kategorie (4.E)	686
6.8.2	Methodische Aspekte (4.E)	688
6.8.2.1	Datenquellen	688
6.8.2.2	Biomasse	689
6.8.2.3	Mineralische Böden	689
6.8.2.4	Organische Böden	689
6.8.2.5	Flächenbrände	690
6.8.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.E)	690
6.8.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.E)	691
6.8.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.E)	694
6.8.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.E)	695
6.9	Sonstiges Land (4.F)	695
6.9.1	Beschreibung der Kategorie (4.F)	695
6.9.2	Methodische Aspekte (4.F)	696
6.9.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.F)	696
6.9.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.F)	696
6.9.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.F)	696
6.9.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.F)	696
6.10	Holzprodukte (4.G)	697
6.10.1	Beschreibung der Kategorie (4.G)	697
6.10.2	Methodische Aspekte (4.G)	698
6.10.2.1	Aktivitätsdaten	698
6.10.2.2	Emissionsfaktoren	700
6.10.2.3	Verwendete Berechnungsmethode	700
6.10.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.G)	700
6.10.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.G)	700
6.10.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.G)	701
6.10.6	Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.G)	702
6.11	Andere Bereiche (4.H)	702

7 Abfall und Abwasser (CRF Sektor 5)	702
7.1 Übersicht (CRF Sektor 5)	702
7.2 Abfalldeponierung (5.A)	703
7.2.1 Geordnete Deponierung – Deponierung von Siedlungsabfällen (5.A.1)	703
7.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.A.1)	703
7.2.1.2 Methodische Aspekte (5.A.1)	704
7.2.1.2.1 <i>Deponierte Abfallmengen</i>	706
7.2.1.2.2 <i>Abfallzusammensetzung</i>	708
7.2.1.2.3 <i>MCF (Methankorrekturfaktor)</i>	710
7.2.1.2.4 <i>DOC</i>	711
7.2.1.2.5 <i>DOC_F</i>	712
7.2.1.2.6 <i>F = Anteil des CH₄ am Deponiegas</i>	712
7.2.1.2.7 <i>Halbwertszeit</i>	713
7.2.1.2.8 <i>Deponiegasnutzung</i>	714
7.2.1.2.9 <i>Fackeln</i>	716
7.2.1.2.10 <i>Oxidationsfaktor</i>	716
7.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.A.1)	716
7.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.A.1)	717
7.2.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.A.1)	717
7.2.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.A.1)	717
7.3 Biologische Abfallbehandlung (5.B)	718
7.3.1 Kompostierungsanlagen (5.B.1)	718
7.3.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.B.1)	718
7.3.1.2 Methodische Aspekte (5.B.1)	718
7.3.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.B.1)	720
7.3.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.B.1)	720
7.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.B.1)	721
7.3.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.B.1)	721
7.3.2 Vergärungsanlagen (5.B.2)	721
7.3.2.1 Beschreibung der Kategorie (5.B.2)	721
7.3.2.2 Methodische Aspekte (5.B.2)	722
7.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.B.2)	724
7.3.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.B.2)	724
7.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.B.2)	725
7.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.B.2)	726
7.4 Abfallverbrennung (5.C)	726
7.4.1 Krematorien	726
7.4.2 Brauchtumsfeuer und ähnliche offene Verbrennungen	727
7.5 Abwasserbehandlung (5.D)	727
7.5.1 Kommunale Abwasserbehandlung (5.D.1)	727
7.5.1.1 Methanemissionen der kommunalen Abwasserbehandlung (5.D.1 Abwasserbehandlung)	727
7.5.1.1.1 <i>Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Abwasserbehandlung)</i>	727
7.5.1.1.2 <i>Methodische Aspekte (5.D.1 Abwasserbehandlung)</i>	728
7.5.1.1.3 <i>Unsicherheit und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Abwasserbehandlung)</i>	731
7.5.1.1.4 <i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Abwasserbehandlung)</i>	732
7.5.1.1.5 <i>Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.1 Abwasserbehandlung)</i>	734
7.5.1.1.6 <i>Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Abwasserbehandlung)</i>	734
7.5.1.2 Methanemissionen der kommunalen Schlammbehandlung (5.D.1 Schlammbehandlung)	735
7.5.1.2.1 <i>Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Schlammbehandlung)</i>	735
7.5.1.2.2 <i>Methodische Aspekte (5.D.1 Schlammbehandlung)</i>	736
7.5.1.2.2.1 Faulgas	736
7.5.1.2.2.2 Faulgasverluste	736
7.5.1.2.2.3 Offene Schlammfäulung	737
7.5.1.2.3 <i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Schlammbehandlung)</i>	737
7.5.1.2.3.1 Faulgas	737
7.5.1.2.3.2 Offene Schlammfäulung	737
7.5.1.2.4 <i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Schlammbehandlung)</i>	738
7.5.1.2.5 <i>Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.1 Schlammbehandlung)</i>	738

7.5.1.2.6	<i>Geplante Verbesserungen, categoriespezifisch (5.D.1 Schlammbehandlung)</i>	738
7.5.1.3	Lachgasemissionen aus dem kommunalen Abwasser (5.D.1 Lachgas kommunal)	738
7.5.1.3.1	<i>Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Lachgas kommunal)</i>	738
7.5.1.3.2	<i>Methodische Aspekte (5.D.1 Lachgas kommunal)</i>	739
7.5.1.3.3	<i>Unsicherheit und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Lachgas kommunal)</i>	741
7.5.1.3.4	<i>Quellgruppenspezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Lachgas kommunal)</i>	742
7.5.1.3.5	<i>Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.1 Lachgas kommunal)</i>	745
7.5.1.3.6	<i>Geplante Verbesserungen, categoriespezifisch (5.D.1 Lachgas kommunal)</i>	745
7.5.2	Industrielle Abwasserbehandlung (5.D.2)	745
7.5.2.1	Methanemissionen der industriellen Abwasserbehandlung (5.D.2)	745
7.5.2.1.1	<i>Beschreibung der Kategorie (5.D.2 CH₄)</i>	745
7.5.2.1.2	<i>Methodische Aspekte (5.D.2 CH₄)</i>	747
7.5.2.1.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.2 CH₄)</i>	751
7.5.2.1.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.2 CH₄)</i>	751
7.5.2.1.5	<i>Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.2 CH₄)</i>	752
7.5.2.1.6	<i>Geplante Verbesserungen, categoriespezifisch (5.D.2 CH₄)</i>	752
7.5.2.2	Lachgasemissionen der industriellen Abwasserbehandlung (5.D.2 N ₂ O)	752
7.5.2.2.1	<i>Beschreibung der Kategorie (5.D.2 N₂O)</i>	752
7.5.2.2.2	<i>Methodische Aspekte (5.D.2 N₂O industriell)</i>	752
7.5.2.2.3	<i>Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.2 N₂O)</i>	754
7.5.2.2.4	<i>Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.2 N₂O)</i>	755
7.5.2.2.5	<i>Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.2 N₂O)</i>	756
7.5.2.2.6	<i>Geplante Verbesserungen, categoriespezifisch (5.D.2 N₂O)</i>	756
7.6	Andere Bereiche (5.E)	756
7.6.1	Andere Bereiche - Mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) (5.E Other MBA)	757
7.6.1.1	Beschreibung der Kategorie (5.E Other MBA)	757
7.6.1.2	Methodische Aspekte (5.E Other: MBA)	758
7.6.1.3	Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.E Other MBA)	760
7.6.1.4	Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.E Other MBA)	761
7.6.1.5	Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.E Other MBA)	761
7.6.1.6	Geplante Verbesserungen, categoriespezifisch (5.E Other MBA)	761
8	Andere (CRF Sektor 6)	762
9	Indirektes CO₂ & N₂O	762
10	Rückrechnungen und Verbesserungen	763
10.1	Erklärung und Rechtfertigung der Rückrechnungen	763
10.1.1	Treibhausgas-Inventar	763
10.1.1.1	Generelles Vorgehen	763
10.1.1.2	Rückrechnungen im Inventar 2021 nach Quellgruppen	763
10.1.1.3	Rückrechnungen im Inventar 2021 nach Substanzen	766
10.1.1.4	Rückrechnungen als Umsetzung von Ergebnissen des Review Prozesses	767
10.1.2	KP-LULUCF-Inventar	767
10.1.2.1	Generelles Vorgehen	767
10.1.2.2	Rückrechnungen im Inventar 2021 nach Kategorien	767
10.1.2.3	Rückrechnungen im Inventar 2021 nach Substanzen	767
10.2	Auswirkung auf die Höhe der Emissionen	768
10.2.1	Treibhausgas-Inventar	768
10.2.1.1	Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 1990	768
10.2.1.2	Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 2018	769
10.2.2	KP-LULUCF-Inventar	770
10.2.2.1	Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 1990	770
10.2.2.2	Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 2018	771
10.3	Auswirkung auf die Emissionstrends und die Konsistenz der Zeitreihe	771
10.3.1	Treibhausgas-Inventar	771
10.3.2	KP-LULUCF-Inventar	771
10.4	Verbesserungen des Inventars	772
10.4.1	Treibhausgas-Inventar	772
10.4.2	KP & LULUCF	779
10.4.3	Implementing Regulation Article 9: Reporting on implementation of recommendations and adjustments	779

11 Ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert	780
11.1 Allgemeine Informationen	780
11.1.1 Walddefinition und andere Kriterien	780
11.1.2 Gewählte Aktivitäten unter Artikel 3, Absatz 4 des Kyoto-Protokolls	780
11.1.3 Beschreibung wie die Definitionen aller Aktivitäten nach Artikel 3.3 und aller gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4 umgesetzt und im Zeitverlauf konstant angewandt wurden	781
11.1.3.1 Neu- und Wiederaufforstung und Entwaldung (ARD)	781
11.1.3.2 Waldbewirtschaftung (FM)	783
11.1.3.3 Ackerlandbewirtschaftung (CM)	783
11.1.3.4 Weidelandbewirtschaftung (GM)	784
11.1.4 Beschreibung der vorrangigen Bedingungen und/oder der Hierarchie unter den Aktivitäten nach Artikel 3.4, und wie sie konstant auf die Bestimmung der Landklassifizierung angewandt wurden	785
11.2 Landbezogene Informationen	786
11.2.1 Methode, die für die Bestimmung der Flächengröße nach Artikel 3.3 genutzt wird	786
11.2.2 Methodik, die zur Entwicklung der Landübergangsmatrix benutzt wird	786
11.2.3 Karten und/oder Datenbanken zur Bestimmung der geografischen Position von Flächen und das dazugehörige Identifizierungssystem	788
11.3 Aktivitätsspezifische Informationen	789
11.3.1 Methoden für die Bestimmung der Kohlenstoffvorratsänderung, Treibhausgasemissionen und Reduktionsschätzungen	789
11.3.1.1 Beschreibung der Methoden und der angewandten, zugrundeliegenden Annahmen	789
11.3.1.1.1 Zusammenfassung	789
11.3.1.1.2 Biomasse	792
11.3.1.1.3 Totholz	793
11.3.1.1.4 Streu	794
11.3.1.1.5 Mineralische Böden	794
11.3.1.1.6 Organische Böden	796
11.3.1.1.7 Holzprodukte	796
11.3.1.1.8 Sonstige Treibhausgasemissionen	797
11.3.1.2 Begründung bei Nichtberücksichtigung eines Kohlenstoffpools oder Treibhausgasemissionen/-abbau bei Aktivitäten nach Artikel 3.3 und gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4	798
11.3.1.3 Informationen ob indirekte oder natürliche Treibhausgase ausgeklammert wurden oder nicht	798
11.3.1.4 Änderungen in den Daten und Methoden seit der letzten Einreichung (Rückrechnungen)	798
11.3.1.5 Schätzung der Unsicherheiten	804
11.3.1.5.1 Schätzung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die Biomasse und das Totholz	808
11.3.1.5.2 Schätzung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Mineralboden und Streu	808
11.3.1.5.3 Schätzung der Unsicherheiten für die Holzprodukte	808
11.3.1.6 Informationen über andere Methoden	809
11.3.1.7 Das Anfangsjahr einer Aktivität, die nach 2013 begonnen hat	810
11.4 Artikel 3.3	810
11.4.1 Informationen, die belegen, dass Aktivitäten nach Artikel 3.3 am oder nach dem 1. Januar 1990 und vor dem 31. Dezember 2020 begonnen haben und direkt vom Menschen verursacht sind	810
11.4.2 Informationen über die Unterscheidung zwischen Ernte oder Waldzerstörung, die von Wiederaufforstung gefolgt sind, und Entwaldung	811
11.4.3 Informationen über die Größe und geografische Lage von Waldgebieten, die ihre Waldbedeckung verloren haben aber nicht als entwaldet gelten	812
11.4.4 Informationen in Bezug auf Natürlichen Störungen unter dem Artikel 3.3	812
11.4.5 Informationen zu den Holzprodukten unter dem Artikel 3.3	812
11.5 Artikel 3.4	812
11.5.1 Informationen, die belegen, dass Aktivitäten nach Artikel 3.4 seit dem 1. Januar 1990 auftraten und vom Menschen verursacht sind	812
11.5.1.1 Waldbewirtschaftung	812
11.5.2 Informationen bezüglich der Ackerland- und Weidelandbewirtschaftung für das Basisjahr	815
11.5.2.1 Ackerlandbewirtschaftung	815

11.5.2.2	Weidelandbewirtschaftung	816
11.5.3	Informationen zur Waldbewirtschaftung	816
11.5.3.1	Definition der Waldbewirtschaftung	816
11.5.3.2	Umwandlung von natürlichen Wäldern (Natural Forest) zu Gepflanztem Wald (Planted Forest)	817
11.5.3.3	Forest Management Reference Level (FMRL)	818
11.5.3.4	Technische Korrektur des FMRL	818
11.5.3.5	Ermittlung des FM CAP	821
11.5.3.6	Informationen in Bezug auf Natürliche Störungen unter dem Artikel 3.4	822
11.5.3.7	Informationen zu den Holzprodukten unter dem Artikel 3.4	822
11.6	Weitere Informationen	822
11.6.1	Hauptkategorienanalyse für Aktivitäten nach Artikel 3.3 und die gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4	822
11.6.2	Bewirtschaftete Feuchtgebiete gemäß (EU)2018/841	823
11.7	Informationen zu Artikel 6 (JI- & CDM-Projekte / Management der ERU)	824
12	Informationen zur Buchführung der Kyoto-Einheiten	824
12.1	Background information	824
12.2	Summary of information reported in the SEF tables	824
12.3	Discrepancies and Notifications	824
12.4	Publicly accessible information	825
12.5	Calculation of the Commitment Period Reserve	825
13	Informationen über Änderungen im nationalen Systems	825
14	Informationen zu Änderungen in den Nationalen Registern	826
15	Informationen zur Minimierung der negativen Einflüsse nach Artikel 3, Absatz 14	827
16	Weitere Informationen	827
17	Anhang 1: Hauptkategorien des deutschen Treibhausgasinventars	828
17.1	Beschreibung der Methoden zur Festlegung der Hauptkategorien	828
17.1.1	Methode-1-Verfahren	829
17.1.2	Methode-2-Verfahren	829
17.1.3	Bewertung qualitativer Kriterien	829
17.1.4	Hauptkategorien-Analyse für die Kyoto-Berichterstattung	830
18	Anhang 2: Detaillierte Erläuterung der Methoden und Daten zur Berechnung von CO₂ Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen	831
18.1	Die Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland	831
18.2	Aufbau der Energiebilanzen	832
18.3	Methodische Aspekte: Energiebedingte Aktivitätsraten	833
18.4	Unsicherheiten, Zeitreihenkonsistenz und Qualitätssicherung der Energiebilanz	834
18.4.1	Qualitätsbericht der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen zur Erstellung der Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland	835
18.4.1.1.1	<i>Hintergrund</i>	835
18.4.1.1.2	<i>Arbeitsteilung bei der Erstellung der Energiebilanzen</i>	835
18.4.1.1.3	<i>Qualität der verwendeten Datenquellen</i>	836
18.4.1.1.4	<i>Transparenz der Methoden und Verfahren</i>	839
18.4.1.1.5	<i>Kontrolle und Verifikation der Ergebnisse</i>	840
18.4.1.1.6	<i>Dokumentation und Archivierung</i>	840
18.4.1.1.7	<i>Qualifikation der Bearbeiter</i>	841
18.4.1.1.8	<i>Erläuterungen zur Aktualität bzw. zeitlichen Verfügbarkeit der Daten für die Erstellung der Energiebilanzen</i>	841
18.5	REGELMÄßIGER VERGLEICH VON ENERGIEBILANZEN	846
18.5.1	Vergleich der Energiebilanz 2018 mit der Energiebilanz 2017	846
18.6	Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung	849
18.7	Unsicherheiten der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen	855
18.8	CO₂-Emissionsfaktoren	855
18.8.1	Steinkohlen	855
18.8.2	Braunkohlen	858

18.8.3 Mineralöle	860
18.8.4 Gase	862
18.8.5 Abfall und Sonderbrennstoffe	864
18.8.6 Biomassebrennstoffe	864
18.8.7 Liste der abgeleiteten Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für Energie & Industrieprozesse	865
18.9 Analyse der CO₂-Emissionen aus der nichtenergetischen Verwendung von Energieträgern	871
19 Anhang 3: Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für einzelne Quell- und Senkenkategorien, inklusive KP-LULUCF-Aktivitäten	875
19.1 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Energie (1)	875
19.1.1 Überarbeitung der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen der neuen Bundesländer für das Jahr 1990 und der Folgejahre (1.A.1 und 1.A.2)	875
19.1.2 Energiewirtschaft (1.A.1)	875
19.1.2.1 <i>Methodische Aspekte der Ermittlung der Emissionsfaktoren (Kapitel 3.2.6.2)</i>	875
19.1.2.2 <i>CO₂-Emissionen aus der Abgasentschwefelung (CRF 1.A.1, Kalksteinbilanz)</i>	879
19.1.3 Verkehr (1.A.3)	880
19.1.3.1 <i>Verkehr - Ziviler Luftverkehr (1.A.3.a)</i>	880
19.1.3.1.1 <i>Ableitung der weiteren Emissionsfaktoren (1.A.3.a)</i>	880
19.1.3.1.2 <i>Detailübersicht der für Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren zugrunde gelegten Unsicherheiten (1.A.3.a)</i>	883
19.1.3.2 <i>Ableitung der Aktivitätsraten zum Straßenverkehr (1.A.3.b)</i>	884
19.1.3.2.1 <i>Abgleich auf die Energiebilanz</i>	884
19.1.3.2.2 <i>Zuordnung von Bio-Kraftstoffen, Petroleum sowie Erd- und Flüssiggas auf die Strukturelemente</i>	886
19.1.3.2.3 <i>Aktivitätsrate für Verdunstung</i>	886
19.1.3.3 <i>Ableitung der Emissionsfaktoren</i>	886
19.1.3.3.1 <i>Emissionsfaktoren aus TREMOD</i>	886
19.1.3.3.2 <i>Emissionsfaktoren für Biodiesel, Bio-Ethanol, Petroleum, Erd- und Flüssiggas</i>	887
19.1.4 CO₂-Emissionen aus der Schmierstoff-Mitverbrennung in Zweitakt-Ottomotoren	887
19.1.5 Berechnung der fossilen Anteile der eingesetzten Biokraftstoffe sowie der aus deren Einsatz resultierenden Kohlendioxid-Emissionen	889
19.2 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Industrieprozesse (2)	892
19.3 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Landwirtschaft (3)	892
19.3.1 Schätzung der Emissionen zusätzlicher Tierkategorien	892
19.3.1.1 <i>Tierplatzzahlen</i>	893
19.3.1.2 <i>CH₄-Emissionen aus der Verdauung</i>	893
19.3.1.3 <i>CH₄-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management</i>	894
19.3.1.4 <i>N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management</i>	894
19.3.1.4.1 <i>N-Ausscheidungen</i>	894
19.3.1.4.2 <i>Direkte N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management</i>	895
19.3.1.5 <i>Indirekte N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management</i>	895
19.3.1.6 <i>Direkte N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden</i>	896
19.3.1.7 <i>Indirekte N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden</i>	897
19.3.2 Verteilungen von Haltungs- Lager- und Ausbringungsverfahren sowie Weidegangdaten (CRF 3.B, 3.D)	898
19.4 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quell-/Senkenkategorie Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (4)	915
19.5 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Abfall und Abwasser (6)	915
20 Anhang 4: CO₂-Referenzverfahren und Vergleich mit dem Sektoransatz	915
20.1 Vergleich der Ergebnisse des sektoralen und des Referenz-Ansatzes	915
21 Anhang 5: Überprüfung der Vollständigkeit und der potentiell nicht erfassten Quellen und Senken von Treibhausgasemissionen	919
22 Anhang 6: Zusatzinformationen als Bestandteil des NIR oder andere hilfreiche Referenzinformationen	921
22.1 Zusatzinformationen zur Inventarerstellung und zum Nationalen System	921
22.1.1 Festlegungen im Grundsatzpapier „Nationales System“ zur Emissionsberichterstattung	921

22.1.2 Zusatzinformationen zum Qualitätssystem Emission	924
22.1.2.1 Mindestanforderungen an ein System zur Qualitätskontrolle und –sicherung	924
22.1.2.1.1 Einführung	924
22.1.2.1.2 System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung	924
22.1.2.1.3 Zuständige Stelle für die Koordinierung der QK/QS Aktivitäten	925
22.1.2.1.4 QK/QS Plan	925
22.1.2.1.5 Allgemeine Qualitätskontrolle	926
22.1.2.1.6 Quellgruppenspezifische Qualitätskontrolle	926
22.1.2.1.7 Verfahren zur Qualitätssicherung	927
22.1.2.1.8 Verfahren zur Berichterstattung	927
22.1.2.1.9 Dokumentation und Archivierung	927
22.1.2.1.10 Anlage 1: Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Emissionsberichterstattung im Umweltbundesamt	929
22.1.2.1.10.1 Einführung	929
22.1.2.1.10.2 System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung	929
22.1.2.1.10.2.1 Zuständige Stelle für die Koordinierung der QK/QS Aktivitäten im UBA	929
22.1.2.1.10.2.2 Verfahren zur Berichterstattung	930
22.1.2.1.10.3 QK-Plan, QS-Plan und Inventarplan	932
22.1.2.1.10.4 Verfahren zur allgemeinen und categoriespezifischen Qualitätskontrolle	934
22.1.2.1.10.5 Verfahren zur Qualitätssicherung	934
22.1.2.1.10.6 Dokumentation und Archivierung	935
22.1.2.1.11 Anhang 2: Beispiel einer allgemeinen Checkliste für die Rolle Fachverantwortlicher	936
22.1.3 Das Datenbanksystem Zentrales System Emissionen	939
22.2 Ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert	940
22.2.1 KP-LULUCF	940
22.2.2 Standard Electronic Format (SEF) Tabellen	940
22.2.2.1 Standard Electronic Format for the reported year 2020 (Commitment Period 2)	941
22.2.2.2 Discrepant transactions	949
22.2.3 Detailliertere Informationen über das nationale System und Änderungen im nationalen System	950
22.2.4 Weitere detaillierte Informationen zu den Nationalen Registern und der Buchführung der Kyoto-Einheiten	950
22.3 Zusatzinformationen zu den Trends der Treibhausgase	950
22.4 Rückrechnungen: detaillierte Betrachtung auf Grundlage von CRF Table 8	958
22.4.1 Überblick für das Berichtsjahr 1990	958
22.4.2 Überblick für das Berichtsjahr 2018	961
23 Anhang 7: Unsicherheiten nach Kategorien	965
24 Referenzen	979

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung der Treibhausgase in Deutschland seit 1990, nach Treibhausgasen'	68
Abbildung 2:	Emissionsentwicklung in Deutschland seit 1990, nach Kategorien'	72
Abbildung 3:	Relative Entwicklung der Treibhausgasemissionen seit 1990 nach Kategorien'	73
Abbildung 4:	Struktur des Nationalen Systems Emissionen (NaSE)	79
Abbildung 5:	Übersicht über den Prozess der Emissionsberichterstattung	86
Abbildung 6:	QSE - Rollen Aufgaben und Arbeitsabläufe	97
Abbildung 7:	Steuerung und Dokumentation	98
Abbildung 8:	Verfahrensablauf für die jährliche Inventar-Verifikation mit ETS-Monitoring-Daten	101
Abbildung 9:	Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen im Energiebereich	102
Abbildung 10:	Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen der Industrieprozesse	105
Abbildung 11:	Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft	108
Abbildung 12:	Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Bereich Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) und KP-LULUCF	109
Abbildung 13:	Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Bereich Abfall und Abwasser	110
Abbildung 14:	Relative Entwicklung von Kohlendioxid, Methan und Lachgas gegenüber 1990	139
Abbildung 15:	Emissionsentwicklung der indirekten Treibhausgase und von SO ₂	145
Abbildung 16:	Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 1'	147
Abbildung 17:	Merkmale der UBA-Struktur der Bilanz der Emissionsursachen zur Disaggregation der Energiebilanz	150
Abbildung 18:	CO ₂ -Emissionen in Deutschland – Vergleich nationaler und internationaler Berechnungsergebnisse	155
Abbildung 19:	CO ₂ -Emissionen in Deutschland – Vergleich der relativen Abweichungen nationaler und internationaler Berechnungsergebnisse	155
Abbildung 20:	Treibhausgasemissionen des von Deutschland ausgehenden internationalen Flugverkehrs seit 1990	161
Abbildung 21:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des internationalen Seeverkehrs seit 1990 ^a	164
Abbildung 22:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen der Kategorie 1.A.1.a	167
Abbildung 23:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen der Kategorie 1.A.1.b	177
Abbildung 24:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen der Kategorie 1.A.1.c	181
Abbildung 25:	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in Kategorie 1.A.2.a	187
Abbildung 26:	Entwicklung der Brennstoffeinsätze der Kategorie 1.A.2.f Non-Metallic Minerals	196
Abbildung 27:	Entwicklung der Brennstoffeinsätze der Kategorie 1.A.2.g viii Sonstige	200
Abbildung 28:	Entwicklung der THG-Emissionen aus Fahrzeugen und mobilen Maschinen der Bauwirtschaft seit 1990	203
Abbildung 29:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des nationalen zivilen Flugverkehrs seit 1990	208
Abbildung 30:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Straßenverkehrs seit 1990	215
Abbildung 31:	Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Schienenverkehrs, seit 1990	221
Abbildung 32:	Entwicklung der THG-Emissionen nationalem Schiffsverkehr seit 1990	226
Abbildung 33:	Änderung der Gesamtemission von 1.A.4 in Abhängigkeit von der Temperatur	234
Abbildung 34:	Verlauf des Energieverbrauchs von 1.A.4 (stationär) nach 4 Brennstoffkategorien	235
Abbildung 35:	Entwicklung der THG-Emissionen der betrachteten Teilsektoren seit 1990	241

Abbildung 36: Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs innerhalb der betrachteten Teilsektoren seit 1990	242
Abbildung 37: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen der Kategorie 1.A.5.a	247
Abbildung 38: Entwicklung der THG-Emissionen aus mobilen Quellen des Militärs seit 1990.....	249
Abbildung 39: Entwicklung des Kraftstoffeinsatzes seit 1990	250
Abbildung 40: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 2.....	289
Abbildung 41: Zeitlicher Verlauf und Quellgruppenzuordnung der aus dem Reduktionsmitteleinsatz zur Primärstahlerzeugung bzw. Gichtgasaufkommen resultierenden CO ₂ -Emissionen	334
Abbildung 42: NMVOC-Gesamtemissionen aus lösemittelbasierten Produkten und Anwendungen (2.D.3.a,d-i)	361
Abbildung 43: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 3.....	452
Abbildung 44: Logik der nationalen Methodik für die Emissionsberechnungen in der Tierhaltung am Beispiel der Milchkuh. („Leistungsindikator“ steht hier für die Summe aus leistungs- und erhaltungsbedingtem Bedarf.).....	453
Abbildung 45: Konzept und thematische Inhalte des GAS-EM-Modells	454
Abbildung 46: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und – senken (Summe aus CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O) [kt CO ₂ -Equivalents] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Unterkategorien	535
Abbildung 47: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und –senken (Summe aus CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O) [kt CO ₂ -Equivalents] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Pools ..	535
Abbildung 48: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und – senken (Summe aus CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O) [kt CO ₂ -Equivalents] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Treibhausgasen (GHG).....	536
Abbildung 49: Relativer Kohlenstoffverlust ([%]; Unsicherheiten: 95 % - Konfidenzintervall [%]) humoser Oberbodenhorizonte infolge baubedingter Störungen, abgeleitet aus Response-Funktionen für Grünland bzw. Wald zu Ackerland (Poeplau et al., 2011) bei einer durchschnittlichen Bauzeit von 12 Monaten	548
Abbildung 50: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O) [kt CO ₂ -Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Wäldern von 1990 – 2019 nach Unterkategorien	605
Abbildung 51: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O) [kt CO ₂ -Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Wäldern von 1990 – 2019 nach Pools	605
Abbildung 52: Kohlenstoffvorräte und Kohlenstoffvorratsveränderungen für die unterirdische und oberirdische Phytomasse im Wald für die Jahre 1987/1993, 2002, 2008, 2012 und 2017	608
Abbildung 53: Holzeinschlag in Deutschland.....	609
Abbildung 54: Vergleich verschiedener Funktionen zur Ableitung der unterirdischen Biomasse	615
Abbildung 55: Regression zwischen Kohlenstoffvorräten (0-30cm) der BZE II und der BZE I (links) sowie die identifizierten Ausreißer anhand der Residuen-Analyse durch Student-Residuen und den “high leverage“-Punkten (rechts) am Beispiel einer Leitbodeneinheit	624
Abbildung 56: Waldbrandflächen zwischen 1990 und 2019 (nach BLE, 2020)	628
Abbildung 57: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O) [kt CO ₂ -Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Ackerland von 1990-2019 nach Unterkategorien (Unsicherheitendarstellung nur für Gesamtsumme).....	646
Abbildung 58: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O) [kt CO ₂ -Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Ackerland von 1990-2019 nach Pools (Unsicherheitendarstellung nur für Gesamtsumme).....	646

Abbildung 59: Kohlenstoffeintrag [kt C] mittels organischen Dünger und Ernteresten in Ackerland 1990 - 2019.....	650
Abbildung 60: CO ₂ -Emissionen [kt CO ₂ -Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus dem Grünland i.e.S. von 1990-2019, dargestellt nach Unterkategorien	664
Abbildung 61: CO ₂ -Emissionen [kt CO ₂ -Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus dem Grünland i.e.S. von 1990-2019, dargestellt nach Pools.....	665
Abbildung 62: CO ₂ -Emissionen [kt CO ₂ -Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Gehölzflächen von 1990–2018, dargestellt nach Unterkategorien	666
Abbildung 63: CO ₂ -Emissionen [kt CO ₂ -Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Gehölzflächen von 1990-2019, dargestellt nach Pools.....	666
Abbildung 64: CO ₂ -Emissionen [kt CO ₂ -Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Feuchtgebieten von 1990-2019, dargestellt nach Unterkategorien.....	677
Abbildung 65: CO ₂ -Emissionen [kt CO ₂ -Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus den Feuchtgebieten von 1990-2019, dargestellt nach Pools.....	677
Abbildung 66: THG-Emissionen [kt CO ₂ -Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Siedlungen von 1990 – 2019, dargestellt nach Unterkategorien.....	688
Abbildung 67: THG-Emissionen [kt CO ₂ -Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Siedlungen Deutschlands von 1990 – 2019, dargestellt nach Pools.....	688
Abbildung 68: Netto CO ₂ -Emissionen und Einbindungen in Holzprodukten [kt CO ₂].....	697
Abbildung 69: In Deutschland produziertes Schnittholz und Holzwerkstoffe [Mm ³] (FAO, 2020b) ..	698
Abbildung 70: Nationale Holzeinschlagstatistik und ihre Kalibrierung mittels Daten zum Derbholzverlust aus den Waldinventurdaten, (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.3.1) und Kapitel 6.4.2.1.1)	698
Abbildung 71: Entwicklung des heimischen Rohstofffaktors fDP(i) der berücksichtigten Rohstoffkategorien (FAO, 2020b)	699
Abbildung 72: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 5.....	702
Abbildung 73: Die Veränderung der Entsorgungspfade der Siedlungsabfälle ab 1990, mit Zwischenjahren	704
Abbildung 74: Trend in der Zusammensetzung des Hausmülls zwischen 1990 und 2013	709
Abbildung 75: Stoffstromschema Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung	758
Abbildung 76: Änderung der Gesamtemissionen über alle Kategorien gegenüber Submission 2020.....	766
Abbildung 77: Rückrechnung der Gesamtemission der einzelnen Treibhausgase über alle Quellgruppen gegenüber der Submission 2020.....	767
Abbildung 78: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 1990	769
Abbildung 79: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 2018	770
Abbildung 80: Schema zur Unterscheidung zwischen Ernte oder Waldzerstörung, die von Wiederaufforstung gefolgt sind, und Entwaldung	812
Abbildung 81: Steinkohlemengen für die im Emissionshandel gemessene Emissionsfaktoren und Heizwerte vorliegen	856
Abbildung 82: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten für verschiedene Steinkohlenqualitäten	857
Abbildung 83: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten am Beispiel einer Rohbraunkohlequalität.....	858
Abbildung 84: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten für verschiedene Klärschlämme	865
Abbildung 85: Methodik der Emissionsfaktorenberechnung.....	877
Abbildung 86: prozentuale Abweichungen der im Referenzverfahren erfassten jährlichen Gesamt-Aktivitätsraten von den Gesamtmengen gemäß sektorialem Ansatz	917

Abbildung 87: prozentuale Abweichungen der mit dem Referenzverfahren berechneten jährlichen Kohlendioxid-Emissionen von den Ergebnissen des sektoralen Ansatzes.....	918
Abbildung 88: Übersicht zum gesamten Prozess der Emissionsberichterstattung.....	931
Abbildung 89: Steuerung und Dokumentation im Rahmen des NaSE und des QSE.....	933

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie	70
Tabelle 2:	Anteile an der Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie	70
Tabelle 3:	Global Warming Potential (GWP) der Treibhausgase.....	92
Tabelle 4:	QSE - Rollen und Verantwortlichkeiten	95
Tabelle 5:	Anzahl der Kategorien und Hauptkategorien	112
Tabelle 6:	Hauptkategorien für Deutschland gemäß Methode 1-Ansatz	114
Tabelle 7:	Ergebnis der Hauptkategorienanalyse KP-LULUCF	119
Tabelle 8:	Hauptkategorien für Deutschland, die sich nur aufgrund des Methode 2-Ansatzes ergeben	120
Tabelle 9:	Inventarplan – offene Handlungsbedarfe	123
Tabelle 10:	Inventarplan - erledigte Handlungsbedarfe/Verbesserungen.....	125
Tabelle 11:	Übersicht Unsicherheiten Gesamtinventar	133
Tabelle 12:	Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen und SO ₂ in Deutschland seit 1990.....	137
Tabelle 13:	Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO ₂ in Deutschland seit dem jeweiligen Bezugsjahr (1990/1995).....	137
Tabelle 14:	Veränderungen der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland nach Kategorien, seit 1990 / seit dem jeweils letzten Jahr	143
Tabelle 15:	Emissionen von 2019 für die KP-LULUCF-Aktivitäten Aufforstung und Entwaldung unter Artikel 3.3 und Waldbewirtschaftung, Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung unter Artikel 3.4.....	146
Tabelle 16:	Vergleich der CO ₂ -Inventare mit anderen unabhängigen nationalen und internationalen Ergebnissen	154
Tabelle 17:	Vergleich der Ergebnisse der CO ₂ -Berechnungen der einzelnen Bundesländer mit den Bundesinventaren	157
Tabelle 18:	jährliche Anteile der Auslandsflüge an den Kerosin-Inlandsablieferungen, in %.....	161
Tabelle 19:	revidierte jährliche Anteile an den Kerosin-Inlandsablieferungen, in Prozent.....	162
Tabelle 20:	resultierende Revision des Kerosin-Absatzes für Flüge ins Ausland, in Terajoule.....	162
Tabelle 21:	erstmal zugewiesene Flugbenzin-Mengen, in Terajoule.....	162
Tabelle 22:	revidierte Gesamt-Treibstoffmenge, in Terajoule.....	162
Tabelle 23:	revidierte Methan-Emissionsfaktoren für Kerosin während L/TO, in kg/TJ	162
Tabelle 24:	revidierte THG-Emissionen, in kt CO ₂ -Äquivalenten	163
Tabelle 25:	revidierte Aktivitätsdaten für 2018, in Terajoule	165
Tabelle 26:	revidierte Treibhausgas-Emissionen 2018, in kt bzw. kt CO ₂ -Äquivalenten	165
Tabelle 27:	CO ₂ -Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in öffentlichen Kraftwerken	170
Tabelle 28:	Technologische Emissionsfaktoren für Lachgas aus GFA.....	172
Tabelle 29:	Technologische Emissionsfaktoren für Lachgas aus Anlagen < 50 MW FWL	172
Tabelle 30:	Methan-Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen ab 50 MW FWL und für Gasturbinen.....	172
Tabelle 31:	Rückrechnungen CRF 1.A.1.a	175
Tabelle 32:	Rückrechnungen CRF 1.A.1.b	179
Tabelle 33:	CO ₂ -Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in Kokereien	183
Tabelle 34:	Rückrechnungen CRF 1.A.1.c.....	184
Tabelle 35:	Rückrechnungen in CRF 1.A.2.a	190
Tabelle 36:	Rückrechnungen in CRF 1.A.2.b	191
Tabelle 37:	Rückrechnungen in CRF 1.A.2.e	195
Tabelle 38:	Rückrechnungen in CRF 1.A.2.f	198

Tabelle 39:	Rückrechnungen in CRF 1.A.2.gviii	202
Tabelle 40:	für das Berichtsjahr 2019 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ	204
Tabelle 41:	Übersicht relevanter Datenvergleiche.....	204
Tabelle 42:	Vergleich der verwendeten EF(CO ₂) mit Default-Werten, in kg/TJ	204
Tabelle 43:	länderübergreifender Vergleich der IEF für fossile Flüssigbrennstoffe, in kg/TJ	205
Tabelle 44:	revidierte Primäraktivitätsdaten 2018, in Terajoule	205
Tabelle 45:	revidierte Primäraktivitätsdaten für Biodiesel, in Terajoule.....	205
Tabelle 46:	revidierte Aktivitätsdaten, in Terajoule	205
Tabelle 47:	resultierende Revision der Aktivitätsdaten, in Terajoule	206
Tabelle 48:	revidierte Emissionsfaktoren, in kg/TJ	206
Tabelle 49:	revidierte Emissionsmengen, in kt bzw. kt CO ₂ -Äquivalenten.....	207
Tabelle 50:	jährliche Anteile der Inlandsflüge an den Kerosin-Inlandsablieferungen, in %.....	209
Tabelle 51:	für das Berichtsjahr 2018 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ	210
Tabelle 52:	Übersicht relevanter Datenvergleiche.....	211
Tabelle 53:	Vergleich der im Inventar verwendeten EF(CO ₂) mit Default-Werten ^a , in kg/TJ.....	211
Tabelle 54:	länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ.....	211
Tabelle 55:	revidierte jährl. Anteile der Inlandsflüge an den Kerosin-Inlandsablieferungen, in %.....	212
Tabelle 56:	resultierende Revision des durch Inlandsflüge verbrauchten Kerosins, in Terajoule .	212
Tabelle 57:	Revision des durch Inlandsflüge verbrauchten Flugbenzins, in Terajoule	212
Tabelle 58:	revidierte Methan-Emissionsfaktoren für Kerosin im L/TO-Zyklus, in kg / TJ	212
Tabelle 59:	revidierte THG-Emissionen, in kt bzw. kt CO ₂ -Äquivalenten	213
Tabelle 60:	Emissionen des Straßenverkehrs, in Kilotonnen	216
Tabelle 61:	Übersicht relevanter Datenvergleiche.....	218
Tabelle 62:	Vergleich der verwendeten EF(CO ₂) mit Default-Werten, in kg/TJ	218
Tabelle 63:	länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ.....	218
Tabelle 64:	revidierte Energieeinsätze 2018, in Terajoule	219
Tabelle 65:	revidierte Energieeinsätze für Biodiesel und Zweitakterschmierstoffe, in Terajoule .	219
Tabelle 66:	revidierte THG-Emissionen, in kt CO ₂ -Äquivalenten	220
Tabelle 67:	Überblick der verwendeten Statistiken und sonstigen Quellen.....	222
Tabelle 68:	für das Berichtsjahr 2018 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ	222
Tabelle 69:	Übersicht relevanter Vergleiche	223
Tabelle 70:	Vergleich der verwendeten EF (CO ₂) mit Default-Werten ^a , in kg/TJ	223
Tabelle 71:	länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ.....	223
Tabelle 72:	Korrektur der Kraft- und Brennstoffeinsätze 2017, in Terajoule	224
Tabelle 73:	korrigierte Emissionsfaktoren für Methan aus Dieselkraftstoffen, in kg/TJ	224
Tabelle 74:	revidierte Emissionsmengen, in kt bzw. kt CO ₂ -Äquivalente.....	224
Tabelle 75:	Quellennachweis für die verwendeten Aktivitätsdaten.....	227
Tabelle 76:	für das Berichtsjahr 2019 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ	228
Tabelle 77:	Übersicht relevanter Datenvergleiche.....	229
Tabelle 78:	Vergleich der für das Berichtsjahr 2019 verwendeten EF(CO ₂) mit IPCC-Default-Werten.....	229
Tabelle 79:	länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ.....	229
Tabelle 80:	revidierte Energieeinsätze, in Terajoule	230
Tabelle 81:	revidierte Methan-Emissionsfaktoren, in kg/TJ	230
Tabelle 82:	revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt bzw. kt CO ₂ -Äquivalenten	230
Tabelle 83:	Sektorale Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher für das Bezugsjahr 2010.....	238
Tabelle 84:	Emissionsberechnung mit landesspezifischen Tier 2/3 Emissionsfaktoren und mit den Tier 1 Default-Emissionsfaktoren nach IPCC (2006).....	240

Tabelle 85:	Rückrechnungen in CRF 1.A.4 stationär	240
Tabelle 86:	für das Berichtsjahr 2019 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ	243
Tabelle 87:	Übersicht relevanter Datenvergleiche.....	243
Tabelle 88:	Vergleich der im Inventar verwendeten EF(CO ₂) mit default-Werten *	244
Tabelle 89:	länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ.....	244
Tabelle 90:	revidierte Primäraktivitätsdaten 2018, in Terajoule.....	244
Tabelle 91:	revidierte prozentuale Anteile am EBZ 67: Dieselkraftstoff, in %.....	245
Tabelle 92:	revidierte Energieeinsätze der Teilssektoren, in Terajoule	245
Tabelle 93:	revidierte Emissionsmengen, in Kilotonnen CO ₂ -Äquivalenten	246
Tabelle 94:	Sektorale Emissionsfaktoren für das Militär.....	248
Tabelle 95:	für das Berichtsjahr 2019 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ	250
Tabelle 96:	Übersicht relevanter Datenvergleiche.....	251
Tabelle 97:	Vergleich der verwendeten EF(CO ₂) mit Default- Werten, in kg/TJ.....	251
Tabelle 98:	länderübergreifender Vergleich der IEF für fossile Flüssigbrennstoffe, in kg/TJ.....	251
Tabelle 99:	revidierte Aktivitätsdaten, in Terajoule	252
Tabelle 100:	revidierte Emissionsdaten, in kt CO ₂ -Äquivalenten	252
Tabelle 101:	Förderung von Braunkohle, in Mio. t.	254
Tabelle 102:	Emissionsfaktoren der Kategorie 1.B.1.a.ii - Tagebau	255
Tabelle 103:	Emissionen der Kategorie 1.B.1.a.ii - Tagebau	255
Tabelle 104:	IEF Vergleich mit Nachbarländern für die übertägige Produktion von Braunkohle (nach NIR 2014).....	256
Tabelle 105:	Aktivitätsraten der Veredelungsprodukte [Angaben in Tonnen].....	256
Tabelle 106:	Emissionsfaktoren aus der Produktion von Steinkohlenkoks.....	257
Tabelle 107:	Emissionen der Kategorie 1.B.1.b – Umwandlung von festen Brennstoffen	257
Tabelle 108:	Rückrechnungen in der Kategorie 1.B. – Feste Brennstoffe (Angaben in Kilotonnen CO ₂ -Äquivalenten)	258
Tabelle 109:	Anzahl der Explorationsbohrungen (Öl und Erdgas insgesamt)	260
Tabelle 110:	Bohrleistung der Explorationsbohrungen in m (Öl und Erdgas insgesamt)	260
Tabelle 111:	Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.i.....	260
Tabelle 112:	Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.i.....	260
Tabelle 113:	Fördermenge Erdöl in kt.....	261
Tabelle 114:	Verwendete Emissionsfaktoren für die Förderung und Aufbereitung	262
Tabelle 115:	Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.ii.....	262
Tabelle 116:	IEF Vergleich mit IPCC Default Werten	262
Tabelle 117:	Transport von im Inland produziertem Rohöl in kt	263
Tabelle 118:	Transport von importiertem Rohöl in kt.....	263
Tabelle 119:	Transport von Rohöl mittels Binnentankschiffen in kt	263
Tabelle 120:	Verwendete Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.iii „Transport von Rohöl“	263
Tabelle 121:	Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.iii.....	263
Tabelle 122:	IEF Vergleich mit IPCC Default Werten	264
Tabelle 123:	Verarbeitete Menge an Rohöl in kt	265
Tabelle 124:	Auslastungsgrad der Raffinerien in Prozent	265
Tabelle 125:	Rohöldestillationskapazität in Raffinerien, in kt.....	265
Tabelle 126:	Lagerkapazität von Tanklagern in Raffinerien und Pipelineterminals, in Mio m ³	265
Tabelle 127:	Lagerkapazität von raffineriefernen Tanklagern inklusive Kavernen, in Mio m ³	265
Tabelle 128:	Lagerkapazität von Kavernen, in Mio m ³	265
Tabelle 129:	Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.vi „Diffuse Emissionen in Raffinerien“	266

Tabelle 130:	Verwendeter Emissionsfaktor für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Anodenherstellung in Raffinerien“	266
Tabelle 131:	Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Lagerung und Reinigung von Rohöl in Tanklagern von Raffinerien“	266
Tabelle 132:	Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Lagerung von flüssigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern“	266
Tabelle 133:	Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Lagerung von gasförmigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern“	266
Tabelle 134:	Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.iv	266
Tabelle 135:	Tankstellenbestand in Deutschland, Anzahl	268
Tabelle 136:	Verteilte Mengen an Mineralölprodukten, in kt	268
Tabelle 137:	Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Ottokraftstoffen“	269
Tabelle 138:	Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Dieselmotorkraftstoffen“	269
Tabelle 139:	Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von leichtem Heizöl“	269
Tabelle 140:	Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Flugturbinenkraftstoffen“	269
Tabelle 141:	Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Reinigung“	269
Tabelle 142:	Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.v	269
Tabelle 143:	Anwendungs- und Wirkungsgrad der 20. und 21. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) an Tankstellen	270
Tabelle 144:	Fördermenge Erdgas in Mrd m ³	272
Tabelle 145:	Verwendete Emissionsfaktoren für die Förderung	273
Tabelle 146:	Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.ii	273
Tabelle 147:	IEF Vergleich mit IPCC Default Werten	274
Tabelle 148:	Schwefelproduktion aus der Erdgasgewinnung in Deutschland in kt	275
Tabelle 149:	Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iii „Aufbereitung“	275
Tabelle 150:	Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iii	275
Tabelle 151:	IEF Vergleich mit IPCC Default Werten	276
Tabelle 152:	Kohlendioxid- Emissionsfaktorvergleich (2017)	276
Tabelle 153:	Länge der Hochdruckfernleitungen, in km	276
Tabelle 154:	Unterirdische Gasspeichervolumina in Mrd. m ³	276
Tabelle 155:	Verwendete Methan-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iv „Weiterleitung“	277
Tabelle 156:	Verwendete Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iv „Weiterleitung“	277
Tabelle 157:	Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iv	278
Tabelle 158:	IEF Vergleich mit IPCC Default Werten	278
Tabelle 159:	Gasverteilungsnetz, Angaben in km	279
Tabelle 160:	Anzahl Erdgasfahrzeuge in Deutschland	279
Tabelle 161:	Verwendete Methan-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.v	279
Tabelle 162:	Verwendete Kohlendioxid- Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.v	280
Tabelle 163:	Emissionen und Trend der Kategorie 1.B.2.b.v	280
Tabelle 164:	IEF Vergleich mit IPCC Default Werten	281
Tabelle 165:	Verwendete Aktivitätsraten für die Kategorie 1.B.2.b.vi „diffuse Emissionen bei Erdgas-Anwendern“	282
Tabelle 166:	Verwendete Methan-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.vi „diffuse Emissionen bei Erdgas-Anwendern“	282

Tabelle 167:	Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.vi	282
Tabelle 168:	IEF Vergleich mit IPCC Default Werten	283
Tabelle 169:	Verarbeitete Rohölmenge, in Mio. t	284
Tabelle 170:	abgefackeltes Erdgas, in Mio. m ³	284
Tabelle 171:	Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen bei der Erdgasförderung“	284
Tabelle 172:	Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Erdölförderanlagen“	284
Tabelle 173:	Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Raffinerien: Abfackelung-Normalbetrieb“	284
Tabelle 174:	Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Raffinerien: Abfackelung-Störung“	285
Tabelle 175:	Emissionen der Kategorie 1.B.2.c „Abfackelung und Entlüftung“	285
Tabelle 176:	IEF Vergleich mit IPCC Default Werten	286
Tabelle 177:	Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 – NMVOC-Emissionen in kt	287
Tabelle 178:	Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 - Methanemissionen in kt	287
Tabelle 179:	Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 - Kohlendioxidemissionen in kt	287
Tabelle 180:	Produktion und rohstoffbedingte CO ₂ -Emissionen der deutschen Zementindustrie	290
Tabelle 181:	Produktion und CO ₂ -Emissionen der deutschen Kalkindustrie	293
Tabelle 182:	Aktivitätsraten und prozessbedingte CO ₂ -Emissionen seit 1990, IEF über alle Glasarten	297
Tabelle 183:	Glas: Aktivitätsraten der einzelnen Branchensektoren (Glassorten)	298
Tabelle 184:	Scherbenanteil der einzelnen Glassorten	298
Tabelle 185:	CO ₂ -Emissionsfaktoren für verschiedene Glassorten (berechnet im Vergleich mit Angaben der IPCC Guidelines 2006)	299
Tabelle 186:	Aktivitätsraten und prozessbedingte CO ₂ -Emissionen der keramischen Industrie (CRF 2.A.4.a), seit 1990	301
Tabelle 187:	CO ₂ -Emissionsfaktoren für verschiedene keramische Produktgruppen	304
Tabelle 188:	Aktivitätsraten und nutzungsbedingte CO ₂ -Emissionen außerhalb der Glasindustrie seit 1990	305
Tabelle 189:	In Deutschland verwendete Emissionsfaktoren für sonstige Schadstoffe	326
Tabelle 190:	Meldenummern der Produktionsstatistik	327
Tabelle 191:	CO ₂ -Emissionen aus der Primärstahlerzeugung (einschließlich Gichtgasnutzung)	334
Tabelle 192:	Kalksteineinsatz sowie Eigenerzeugung von Branntkalk in der Stahlindustrie und daraus resultierende CO ₂ -Emissionen	336
Tabelle 193:	Insgesamt unter 2.C.1 zu berichtende prozessbedingte Emissionen	337
Tabelle 194:	AR und prozessbedingte EF der Primäraluminiumproduktion im Jahr 2013	341
Tabelle 195:	sortengruppenspezifische Emissionsfaktoren für Schmierstoffe, in Prozent	351
Tabelle 196:	Umgang mit Kategorien der BAFA-Statistik 1990-1994	352
Tabelle 197:	Übersicht der verwendeten spezifischen Mitverbrennungsanteile	352
Tabelle 198:	Kohlendioxid aus unbeabsichtigt in mobilen Nicht-Zweitaktmotoren mitverbrannten Schmierstoffen, in Kilotonnen	353
Tabelle 199:	revidierte ungewollt mitverbrannte Mengen, in Terajoule	353
Tabelle 200:	revidierte CO ₂ -Emissionen aus ungewollter Mitverbrennung, in Kilotonnen	353
Tabelle 201:	revidierte CO ₂ -Emissionen aus stationärer und mobiler Anwendung, in Kilotonnen	354
Tabelle 202:	Herstellung und Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen mit Bitumen und dazugehörige AR und EF	364
Tabelle 203:	Emissionsfaktoren bei der Herstellung Asphaltmischgut	366

Tabelle 204:	modellierte AdBlue®-Einsatzmengen, in Tonnen	367
Tabelle 205:	aus dem Einsatz von AdBlue® resultierende CO ₂ -Emissionen, in Kilotonnen	367
Tabelle 206:	revidierte jährliche Kraftstoffverbräuche der SCR-Fahrzeuge, in Terajoule	368
Tabelle 207:	revidierte AdBlue®-Einsatzmengen, in Tonnen	368
Tabelle 208:	revidierte CO ₂ -Emissionen, in Kilotonnen	368
Tabelle 209:	Überblick über Methoden und verwendete Emissionsfaktoren für das aktuelle Berichtsjahr in der Kategorie 2.F.1 – <i>Kälte- und Klimaanlage</i>	375
Tabelle 210:	Überblick über Methoden und verwendete Emissionsfaktoren für das aktuelle Berichtsjahr in den Kategorien 2.F.2 (Schaumherstellung), 2.F.3 (Feuerlöschmittel), 2.F.4 (Aerosole), 2.F.5 (Lösemittel) und 2.F.6 (Andere Anwendungen, die ODS-Ersatzstoffe verwenden)	376
Tabelle 211:	Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der Emissionen (EM) von FKW-116, FKW-218, HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a, HFKW-227ea, HFKW-23 und HFKW-32 in der Unterquellgruppe Kälte- und Klimaanlage (2.F.1) in den Jahren 1995 bis 2018	401
Tabelle 212:	Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der Emissionen (EM) von HFKW-134a, HFKW-152a, HFKW-227ea, HFKW-245fa und HFKW-365mfc in der Unterquellgruppe Schaumherstellung (2.F.2) in den Jahren 2009 bis 2018.....	410
Tabelle 213:	Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der Emissionen (EM) in der Unterquellgruppe Feuerlöschmittel (2.F.3).....	412
Tabelle 214:	Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der aggregierten Emissionen (EM) von HFKW-134a, HFKW-152a und HFKW-227ea in der Unterquellgruppe Aerosole (2.F.4) in den Jahren 2001 bis 2018.....	417
Tabelle 215:	Überblick über Methoden und verwendete Emissionsfaktoren für das aktuelle Berichtsjahr in den Kategorien 2.G.1 (Elektrische Betriebsmittel), 2.G.2 (SF ₆ und FKW aus sonstiger Produktverwendung) und 2.G.4 (ORC-Anlagen & Anwendung von Holzkohle).....	421
Tabelle 216:	Inventardaten 2019 der Kategorie 2.G.1 mit Unterkategorien	424
Tabelle 217:	SF ₆ -Bestand in Teilchenbeschleunigern in 5 Anwendungssektoren ab 1995, in t.....	427
Tabelle 218:	SF ₆ -Emissionen aus Teilchenbeschleunigern nach fünf Anwendungsbereichen ab 1995, in t	428
Tabelle 219:	SF ₆ -Emissionsfaktoren von Teilchenbeschleunigern in fünf Anwendungsbereichen ab 1995, in % des SF ₆ -Bestands	428
Tabelle 220:	Emissionsfaktoren aus der Produktion von Zellstoff. (deutscher Beitrag zur Revision des BVT-Merkblattes für die Papier und Zellstoffindustrie 2007 (Spörl, 2009))	445
Tabelle 221:	Zellstoff- und Papierherstellung, produzierte Mengen	445
Tabelle 222:	Umgerechnete Aktivitätsdaten der Spanplattenindustrie	445
Tabelle 223:	Rückrechnung in Kategorie CRF 2.H.2	448
Tabelle 224:	Überblick über freiwillig berichtete fluorierte Treibhausgase, ihre Treibhausgaspotenziale (GWP) und ihre Anwendungsbereiche	449
Tabelle 225:	Aggregierte Emissionen der nicht berichtspflichtigen fluorierten Treibhausgase HFKW-1233zd, HFKW-1234yf, HFKW-1234ze, HCFE-235da2, HFE-236ea2, HFE-347mmz1 und PFPE/PFPMIE	449
Tabelle 226:	CRF-Tierkategorien und die für die deutsche Emissionsberichterstattung verwendete Unterteilung (3.A, 3.B)	456
Tabelle 227:	Zahl der in die deutsche Berichterstattung eingehenden Tierplätze (3.A, 3.B) in 1.000.....	461
Tabelle 228:	Mittlere Tiergewichte (3.A, 3.B)	464

Tabelle 229:	Mittlere tägliche Milchleistung bei Milchkühen (3.A).....	464
Tabelle 230:	Mittlere tägliche Gesamtenergie-Aufnahme (GE) (3.A).....	465
Tabelle 231:	Beschreibung der Trockenmasse- Aufnahme in Rösemann et al. (2021).....	465
Tabelle 232:	Tägliche Trockenmasseaufnahme.....	465
Tabelle 233:	Verdaulichkeit von organischer Substanz im Futter (3.A).....	466
Tabelle 234:	Aschegehalt des Futters.....	466
Tabelle 235:	Beschreibung der N-Ausscheidung in Rösemann et al. (2021).....	466
Tabelle 236:	N-Ausscheidungen pro Tierplatz und Jahr (3.B(b)).....	467
Tabelle 237:	Jährliche N-Ausscheidungen, aufgeteilt nach Wirtschaftsdünger- Managementsystemen (3.B(b)) und Weidegang (3.D).....	467
Tabelle 238:	Tägliche VS-Ausscheidung für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel (3.B(a)).....	468
Tabelle 239:	Tägliche VS-Ausscheidungen für Schafe, Ziegen und Pferde (3.B(a)).....	468
Tabelle 240:	Güllebasierte Systeme ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)).....	469
Tabelle 241:	Strohbasierte Systeme ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)).....	469
Tabelle 242:	Tiefstreu ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)).....	469
Tabelle 243:	Alle Systeme mit Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)).....	469
Tabelle 244:	Weide, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a)).....	469
Tabelle 245:	Jahressummen des N-Eintrags durch Einstreu in strohbasierten Systemen.....	470
Tabelle 246:	Maximale Methan-Bildungskapazität B_o (3.B(b)).....	470
Tabelle 247:	Maximale Methan-Bildungskapazität B_o für Geflügel (3.B(b)).....	470
Tabelle 248:	Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_o) für Rinder (3.B(a)).....	471
Tabelle 249:	Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_o) für Schweine (3.B(a)).....	471
Tabelle 250:	Mittlere Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_o) für güllebasierte Systeme ohne Vergärung (3.B(a)).....	471
Tabelle 251:	Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_o) für Ziegen, Schafe, Pferde und Geflügel (3.B(a)).....	472
Tabelle 252:	Relative Anteile des in die Vergärung gehenden Wirtschaftsdüngers (in % der ins Lager gehenden N-Mengen) für die Tierkategorien mit Wirtschaftsdüngervergärung sowie im gewichteten Mittel für die gesamte Nutztierhaltung.....	473
Tabelle 253:	Methan-Umwandlungsfaktoren für das Vorlager (in Prozent von B_o).....	473
Tabelle 254:	Anteile der Lagerung von Wirtschaftsdünger-Gärresten in gasdichten und nicht gasdichten Lagern (in Prozent der in Biogasanlagen eingesetzten N-Mengen).....	474
Tabelle 255:	Mittlere Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_o) für Wirtschaftsdüngersysteme mit Vergärung (3.B(a)).....	474
Tabelle 256:	Berechnung der N_2O -Emissionen aus der Vergärung.....	475
Tabelle 257:	N_2O -N-Emissionsfaktoren für Vorlager und Gärrestlager.....	475
Tabelle 258:	Gesamte Trockenmasse der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen.....	477
Tabelle 259:	Gesamte VS-Menge der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen.....	477
Tabelle 260:	Gesamte N-Menge der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen.....	477
Tabelle 261:	Anteil der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten in gasdichten und nicht gasdichten Lagern (in Prozent der zur Vergärung eingesetzten Frischmasse).....	478
Tabelle 262:	Berechnung der N-Mengen im gesamten ausgebrachten Wirtschaftsdünger (einschließlich Wirtschaftsdünger-Gärreste) (3.D).....	479
Tabelle 263:	N-Mengen, die der Berechnung der direkten N_2O -Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden zugrunde liegen (3.D).....	480
Tabelle 264:	Flächen der bewirtschafteten organischen Böden (3.D).....	481
Tabelle 265:	Sektoren 3.B und 3.J: Mengen an reaktivem Stickstoff aus der Deposition von NH_3 und NO	481

Tabelle 266:	Sektor 3.D: Mengen an reaktivem Stickstoff aus der Deposition von NH ₃ und NO ...	481
Tabelle 267:	Ausgewaschene N-Menge (incl. Oberflächenabfluss) (3.D)	482
Tabelle 268:	Düngekalkmengen (3.G & 3.I)	483
Tabelle 269:	Ausgebrachte Harnstoffmengen einschließlich Ammoniumnitrat-Harnstoff- Lösung (3.H)	483
Tabelle 270:	Eingangsdaten für die Berechnung von NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen (Übersicht)	483
Tabelle 271:	Gesamtunsicherheitsberechnung für die Emissionen des Sektors 3 (Tierhaltung, Nutzung landwirtschaftlicher Böden) incl. Energiepflanzen-Vergärung	485
Tabelle 272:	CH ₄ -Emissionen aus der Verdauung in der gesamten landwirtschaftlichen Tierhaltung (3.A): Veränderung seit 1990 und Anteile an den Gesamtemissionen der deutschen Landwirtschaft (getrennt nach CH ₄ und THG (CO ₂)) (3.A).....	490
Tabelle 273:	Milchkühe: Milchleistung, GE-Aufnahme, verdauungsbedingte CH ₄ -Emission und Methanumwandlungsfaktor (3.A).....	491
Tabelle 274:	Methan-Umwandlungsfaktoren für übrige Rinder (3.A).....	491
Tabelle 275:	Methan-Umwandlungsfaktoren für Schweine (Dämmgen et al., 2012c) (3.A).....	492
Tabelle 276:	Beschreibung der CH ₄ -Berechnung für Verdauung in Rösemann et al. (2021).....	492
Tabelle 277:	Tierplatzbezogene CH ₄ -Emissionsfaktoren, Verdauung (3.A).....	492
Tabelle 278:	Tier-1-Emissionsfaktoren für CH ₄ aus der Verdauung bei Schafen, Ziegen und Pferden (3.A)	493
Tabelle 279:	CH ₄ -Emissionen aus der Verdauung (3.A)	493
Tabelle 280:	Methan-Emissionen aus der Verdauung bei Milchkühen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) für das Zeitreihenjahr 2017	494
Tabelle 281:	Methan-Emissionen aus der Verdauung bei übrigen Rindern und Schweinen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) für das Zeitreihenjahr 2018	495
Tabelle 282:	Vergleich der in Submission 2020 und 2019 berichteten mittleren täglichen Gesamtenergie-Aufnahme für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A).....	495
Tabelle 283:	Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berichteten tierplatzbezogenen CH ₄ - Emissionsfaktoren (Verdauung) für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A) ..	496
Tabelle 284:	Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berichteten CH ₄ -Emissionen (Verdauung) für alle Säugetiere, Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A).....	496
Tabelle 285:	Prozentuale Veränderung der Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger- Management (Index: MM) seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von CH ₄ , N ₂ O, THG und NMVOC	498
Tabelle 286:	Tierplatzbezogene CH ₄ -Emissionsfaktoren, Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a)).....	499
Tabelle 287:	CH ₄ -Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management(3.B(a))	499
Tabelle 288:	CH ₄ aus Wirtschaftsdünger-Management (Milchkühe, übrige Rinder, Schweine), prozentuale Beiträge zu CH ₄ insgesamt aus Wirtschaftsdünger-Management, und Emissionsverhältnis Rinder : Schweine	499
Tabelle 289:	Durch Wirtschaftsdünger-Vergärung verursachte absolute und prozentuale Veränderung der CH ₄ -Emissionen gegenüber einer Situation ohne Vergärung und Gärrestlagerung (negatives Vorzeichen: Emissionsminderung)	500
Tabelle 290:	CH ₄ -Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Milchkühen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Zeitreihenjahr 2018.....	501
Tabelle 291:	CH ₄ -Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei übrigen Rindern verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Jahr 2018	502

Tabelle 292:	CH ₄ -Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Schweinen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Jahr 2017	502
Tabelle 293:	CH ₄ -Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Geflügel verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Jahr 2018	503
Tabelle 294:	Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berichteten VS-Ausscheidungen (3.B(a))	504
Tabelle 295:	Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berichteten tierplatzbezogenen CH ₄ -Emissionsfaktoren für das Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a))	504
Tabelle 296:	Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berichteten CH ₄ -Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a))	504
Tabelle 297:	NMVOC: Im Inventar verwendete Tier-1- Emissionsfaktoren nach EMEP/EEA (2019)	505
Tabelle 298:	NMVOC: Im Inventar berechneten Tier-2- Emissionsfaktoren (IEF)	506
Tabelle 299:	NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management	506
Tabelle 300:	Prozentuale Beiträge zu den NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management	506
Tabelle 301:	Vergleich der NMVOC-Emissionen zwischen NIR 2021 und NIR 2020 für Milchkühe und übrige Rinder	507
Tabelle 302:	Emissionsfaktoren für Emissionen von N ₂ O-N aus dem Wirtschaftsdünger-Management, ohne Vergärung (bezogen auf die Summe von ausgeschiedenem N und Einstreu-N) (3.B(b))	509
Tabelle 303:	Mittlere N ₂ O-N-Emissionsfaktoren nach Wirtschaftsdünger-Managementsystemen (3.B(b))	510
Tabelle 304:	Direkte N ₂ O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (MM) insgesamt und nach Systemkategorien (3.B(b))	510
Tabelle 305:	Direkte N ₂ O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management von Milchkühen, übrigen Rindern und Schweinen (3.B(b))	510
Tabelle 306:	Prozentuale Beiträge von Milchkühen, übrigen Rindern und Schweinen zu den gesamten direkten N ₂ O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management	511
Tabelle 307:	Durch Wirtschaftsdünger-Vergärung verursachte absolute und prozentuale Veränderung der direkten N ₂ O-Emissionen gegenüber einer Situation ohne Vergärung und Gärrestlagerung (negative Werte: Emissionsminderung)	511
Tabelle 308:	NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management	511
Tabelle 309:	N-Ausscheidung pro Tierplatz für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel verschiedener Länder im Zeitreihenjahr 2018	512
Tabelle 310:	IEFs der direkten N ₂ O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel verschiedener Länder im Jahr 2018	513
Tabelle 311:	Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berechneten direkten Gesamt-N ₂ O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management	513
Tabelle 312:	Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berechneten Gesamt-N-Ausscheidungen (siehe Kapitel 5.1.3.4)	514
Tabelle 313:	Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berechneten Gesamt-NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management	514
Tabelle 314:	Tierspezifische Details zu NH ₃ - und NO-Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngerlager in Rösemann et al. (2021)	515
Tabelle 315:	Indirekte N ₂ O-Emissionen als Folge der Deposition von NH ₃ und NO aus dem Wirtschaftsdünger-Management (Submission 2020 und 2019)	515

Tabelle 316:	Prozentuale Veränderung der Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von N ₂ O und THG.....	517
Tabelle 317:	Mittlere N ₂ O-N-Emissionsfaktoren für bewirtschaftete organische Böden	518
Tabelle 318:	NM VOC-Emissionsfaktoren für landwirtschaftliche Kulturen	519
Tabelle 319:	Frac _{GASF} -Zeitreihe und gewichteter Mittelwert über die gesamte Zeitreihe (3.D)	520
Tabelle 320:	Frac _{GASM} -Zeitreihe und gewichteter Mittelwert über die gesamte Zeitreihe (3.D)	520
Tabelle 321:	Übersicht über die N ₂ O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (3.D) .	520
Tabelle 322:	N ₂ O aus landwirtschaftlich genutzten Böden: Prozentuale Beiträge der Teilquellen	521
Tabelle 323:	NO-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden	521
Tabelle 324:	NM VOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen	521
Tabelle 325:	Vergleich der deutschen N ₂ O-N-Emissionsfaktoren mit denen benachbarter Staaten für das Zeitreihenjahr 2018.....	522
Tabelle 326:	Vergleich der deutschen Frac-Größen mit denen benachbarter Staaten, Zeitreihenjahr 2018.....	523
Tabelle 327:	Gesamt-N ₂ O aus landwirtschaftlich genutzten Böden in Submission 2021 und 2020 (3.D).....	524
Tabelle 328:	Veränderung von Submission 2020 zu Submission 2021 für die gesamten N ₂ O-Emissionen (direkt und indirekt) aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (negative Werte: Abnahme von Submission 2020 zu Submission 2021)	524
Tabelle 329:	Vergleich der gesamten NO-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (3.D).....	525
Tabelle 330:	Veränderung von Submission 2020 zu Submission 2021 für die NO-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (negative Werte: Abnahme von Submission 2020 zu Submission 2021)	525
Tabelle 331:	Vergleich der NM VOC-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (3.D).....	525
Tabelle 332:	Prozentuale Veränderung der Summe der CO ₂ -Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den THG-Gesamtemissionen der deutschen Landwirtschaft.....	526
Tabelle 333:	CO ₂ -Emissionen aus der Düngekalkung (3.G, 3.I).....	527
Tabelle 334:	CO ₂ -Emissionen aus der Harnstoffanwendung (3.H)	527
Tabelle 335:	Vergleich der deutschen CO ₂ -IEF-Werte mit denen benachbarter Staaten für das Zeitreihenjahr 2018.....	528
Tabelle 336:	CO ₂ -Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I).....	529
Tabelle 337:	Prozentuale Anteile der Emissionen aus der Energiepflanzenvergärung (Fermenter + Gärrestlager; Index: EC) an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von CH ₄ , N ₂ O und THG.....	530
Tabelle 338:	CH ₄ -Emissionsfaktor für die Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestlager), bezogen auf die mit den Energiepflanzen eingebrachte Trockenmasse	530
Tabelle 339:	CH ₄ -Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestlager).....	530
Tabelle 340:	Effektiver N ₂ O-N-Emissionsfaktor für direkte N ₂ O-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Gärrestlager), bezogen auf die mit den Energiepflanzen eingebrachte N-Menge.....	531
Tabelle 341:	N ₂ O-Emissionen aus der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten	531
Tabelle 342:	NO-Emissionen aus der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten	531

Tabelle 343:	Vergleich der THG-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) zwischen Submission 2021 und 2020 (3.J).....	532
Tabelle 344:	Zuordnung der deutschen Berichtskategorien zu den IPCC-Landnutzungskategorien	537
Tabelle 345:	Mittlere Kohlenstoffvorräte in Mineralböden Deutschlands in Abhängigkeit von der Landnutzung [t C ha ⁻¹] sowie daraus abgeleitete Kohlenstoffvorratsunterschiede nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2019.....	542
Tabelle 346:	Implizite Emissionsfaktoren [t C ha ⁻¹ a ⁻¹] zur Ermittlung jährlicher Kohlenstoffvorratsunterschiede in Mineralböden Deutschlands nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2019	543
Tabelle 347:	Mittlerer Kohlenstoffvorrat [bis 30 cm Bodentiefe in tC ha ⁻¹ ± 1,96 * Standardfehler] in den mineralischen Waldböden	545
Tabelle 348:	Mittlerer flächenbezogener Mineralbodenkohlenstoffvorrat bis 30 cm Bodentiefe [t C ha ⁻¹ 30cm ⁻¹] und dessen Unsicherheiten (obere und untere Schranke in %) für Ackerflächen mit annualen Kulturen.....	546
Tabelle 349:	Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹ 30 cm ⁻¹] und dessen Unsicherheiten (%) für Grünland- und Gehölzflächen bis 30 cm Bodentiefe	546
Tabelle 350:	Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoff- [t C ha ⁻¹ 30 cm ⁻¹] und Stickstoffvorrat [t N ha ⁻¹ 30 cm ⁻¹] von Mineralböden auf Siedlungsflächen ohne (SOC _{ini_prev_1990} bzw. N _{ini_prev_1990}) und mit Versiegelungskorrektur (SOC _{min_set_1990} bzw. N _{min_set_1990}) und deren Unsicherheiten [%]	550
Tabelle 351:	Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹] und dessen Unsicherheiten (%) in Mineralböden von Terrestrischen Feuchtgebieten bis 30 cm Bodentiefe	551
Tabelle 352:	Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹] und dessen Unsicherheiten (obere und untere Schranke [%]) in Mineralböden von Sonstigem Land bis 30 cm Bodentiefe	551
Tabelle 353:	Flächen organischer Böden nach Landnutzungskategorien, Anteil der drainierten Flächen sowie Flächen der Entwässerungsgräben nach Landnutzungskategorien für das Jahr 2019	555
Tabelle 354:	Implizite Emissionsfaktoren (IEF) und deren Unsicherheiten (95%-Perzentile) für CO ₂ -onsite + DOC, CH _{4_land} + CH _{4_ditch} und N ₂ O-onsite aus organischen Böden Deutschlands (4.A - 4.E; 4(II)) für das Jahr 2019	556
Tabelle 355:	Emissionsfaktoren [t C ha ⁻¹ a ⁻¹] zur Ermittlung der Kohlenstoffvorratsunterschiede im Jahr einer Landnutzungsänderung in der ober- und unterirdischen Biomasse nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2019.....	559
Tabelle 356:	Zeitreihe der mittleren Kohlenstoffvorräte ± Hälfte des 95 %-Konfidenzintervalls in der Biomasse von Entwaldungsflächen [t C ha ⁻¹]	560
Tabelle 357:	Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹ ± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls] krautiger Biomasse auf Acker- und Gartenbauland	561
Tabelle 358:	Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹] von Grünland im engeren Sinne (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls).....	562
Tabelle 359:	Ergebnisse der Obstbaumvollerhebung 2007 durch das Statistische Bundesamt (FS 3, R 3.1.4).....	565
Tabelle 360:	Mittlere flächenbezogene Kohlenstoffvorräte [t C ha ⁻¹] (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls) in der Biomasse von Obstgehölzen berechnet aus den Ergebnissen der Obstanbauerhebungen 2002 - 2017.....	566
Tabelle 361:	Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹] (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls) in der Biomasse von Obstanbauflächen	566

Tabelle 362:	Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹ ± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls] der Weinstockbiomasse	567
Tabelle 363:	Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹] (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls) in der Biomasse von Weinanbauflächen	567
Tabelle 364:	Herleitung des mittleren flächenbezogenen Kohlenstoffvorrats [Mischwert _{Baumschulen} in t C ha ⁻¹ ± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls] in der Biomasse von Baumschulen	568
Tabelle 365:	Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹] (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls) der Weihnachtsbaumbiomasse.....	568
Tabelle 366:	Mittlere, flächenbezogene Kohlenstoffvorräte [t C ha ⁻¹] sowie 97,5%- und 2,5%- Perzentile [%] in der Biomasse von Kurzumtriebsplantagen.....	569
Tabelle 367:	Flächen [ha] ausgewählter perennierender Gehölzkulturen im Ackerland (nach Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.7))	570
Tabelle 368:	Mittlerer flächengewichteter Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹ ± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls] der Biomasse der Mischkategorie „Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen“ in Deutschland	571
Tabelle 369:	Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹] (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls) der Biomasse von Hopfenkulturen, Zwischenfrüchten und deren Summe nach Portner et al. (2019).....	571
Tabelle 370:	Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t ha ⁻¹ (95 %-Konfidenzintervall)] in der Biomasse von Gehölzen	573
Tabelle 371:	Implizite Emissionsfaktoren für direkte Lachgasemissionen [kg N ₂ O ha ⁻¹ a ⁻¹] infolge von Verlusten an organischer Substanz aus Mineralböden nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2019	574
Tabelle 372:	Implizite Emissionsfaktoren für indirekte Lachgasemissionen [kg N ₂ O ha ⁻¹ a ⁻¹] infolge von Verlusten an organischer Substanz aus Mineralböden nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2019	576
Tabelle 373:	Unterteilung der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete gemäß 2006 IPCC Guidelines sowie Zuordnung der Gewässer- und terrestrischen Feuchtgebietsflächen [ha] Deutschlands in die entsprechenden Unterkategorien für das Jahr 2019.....	583
Tabelle 374:	Zuordnung von Hauptobjektartenschlüsselnummern und Attributen des ATKIS® zu den IPCC-Landnutzungskategorien.....	589
Tabelle 375:	Basistabelle zur Ableitung der Landnutzungen.....	592
Tabelle 376:	Kodierungen in der Basistabelle.....	592
Tabelle 377:	Wahrscheinlichste Landnutzung (LU) und deren Datenquelle (DB).....	592
Tabelle 378:	Landnutzungsänderungen (LUC) inklusive 20-jähriger Transition Time nach der Konventionsberichterstattung.....	594
Tabelle 379:	Landnutzungsmatrix 2019. Die Diagonale zeigt die Fläche in verbleibender Nutzung, die anderen Felder die jeweiligen Landnutzungsänderungen (einschließlich 20-jähriger Übergangszeiten)	595
Tabelle 380:	Jährliche Flächen der Landnutzungsänderungen, die den Berechnungen für das Inventar nach Koventionsberichterstattung (20-jährige Übergangszeit) und Kyoto Protokoll (kumulative Flächenänderung) zugrunde liegen	596
Tabelle 381:	Prozentuale Verteilung der Flächen landwirtschaftlicher Landnutzung nach Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE), Basis-Digitalem Landschaftsmodell des ATKIS® (B-DLM) und der Agrarstrukturerhebung (ASE). Referenz ist die Gesamtfläche der BZE. Die B-DLM-Flächen wurden zur Korrektur der Flächen mit Grünland-Wechselwirtschaft an die Grünland- (B-DLM_GL_an) bzw. Ackerlandfläche (B-DLM_AL_an) der BZE angepasst	603

Tabelle 382:	Emissionen im Waldbereich für das Jahr 2019	604
Tabelle 383:	Emissionsfaktoren der verbleibenden Waldflächen der ober- und unterirdischen Biomasse	609
Tabelle 384:	EF für die Neuwaldflächen der ober- und unterirdischen Biomasse	611
Tabelle 385:	Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume ≥ 10 cm BHD	612
Tabelle 386:	Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume $\geq 1,3$ m Höhe und < 10 cm BHD ...	612
Tabelle 387:	Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume $< 1,3$ m Höhe	613
Tabelle 388:	Wurzelprozent und Raumdichten zur Konvertierung der Datenspeicher Waldfonds-Daten	613
Tabelle 389:	Volumensexpansionsfaktoren zur Konvertierung von Derbholzvolumen + unterirdischem Volumen zum Baumholzvolumen der Datenspeicher Waldfonds- Daten	613
Tabelle 390:	Koeffizienten, Parameter, Unsicherheiten und Quellen für die verwendeten Biomassefunktionen, unterteilt nach Baumarten	614
Tabelle 391:	Biomasse Expansionsfaktoren (BEF) und deren Fehler (RMSE%) für die Baumartenklassen und Zersetzungsgrade (NDH = Nadelbäume, LBH = Laubbäume, EI = Eiche)	619
Tabelle 392:	Totholzemissionsfaktoren für verbleibende Waldflächen.....	619
Tabelle 393:	Totholzemissionsfaktoren für Neuwaldflächen.....	620
Tabelle 394:	Implizite Emissionsfaktoren (IEF) (Kohlenstoff) für Streu der Landnutzungskategorien zu Neuwald	620
Tabelle 395:	In den Inventuren BZE I und BZE II ermittelte Kohlenstoffvorräte in der Streu deutscher Wälder mit Angabe des Standardfehlers (Grüneberg et al., 2014)	621
Tabelle 396:	Zusammengefasste Legendeneinheiten auf Grundlage der BÜK 1000.....	623
Tabelle 397:	Kohlenstoffvorräte zum Zeitpunkt der BZE I und BZE II in den neugebildeten Leitbodeneinheiten (Grüneberg et al., 2014)	625
Tabelle 398:	Implizite Emissionfaktoren (IEF) (Kohlenstoff) für organische Böden.....	626
Tabelle 399:	Implizite Emissionfaktoren (IEF) (Methan und Stickstoff) für organische Böden	627
Tabelle 400:	Durch Waldbrände emittierte Treibhausgase	629
Tabelle 401:	Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse der verbleibenden Waldfläche für unterschiedliche Perioden.....	631
Tabelle 402:	Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse auf Aufforstungsflächen für unterschiedliche Perioden.....	631
Tabelle 403:	Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse auf Entwaldungsflächen für unterschiedliche Perioden.....	632
Tabelle 404:	Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Totholz der verbleibenden Waldfläche für unterschiedliche Perioden	633
Tabelle 405:	Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Totholz für unterschiedliche Perioden....	633
Tabelle 406:	Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	637
Tabelle 407:	Kohlenstoffvorratsveränderung des Totholzes in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	637
Tabelle 408:	Kohlenstoffvorratsveränderung der Streu in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	638
Tabelle 409:	Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	638
Tabelle 410:	Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	639
Tabelle 411:	Gegenüberstellung der in Submission 2020 und 2021 berichteten Landnutzungsmatrix.....	641

Tabelle 412:	Gegenüberstellung der in Submission 2020 und 2021 berichteten Emissionen (in [kt CO ₂ -eq])	641
Tabelle 413:	Gegenüberstellung der in Submission 2020 und 2021 berichteten Emissionsfaktoren für Totholz (in [t C/ha])	641
Tabelle 414:	Gegenüberstellung der in Submission 2020 und 2021 berichteten Emissionsfaktoren für Biomasse (in [t C/ha])	641
Tabelle 415:	CO ₂ -, N ₂ O- und CH ₄ -Emissionen [kt CO ₂ -Eq.] aus dem Ackerland 2019. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls.....	643
Tabelle 416:	Implizite Emissionsfaktoren [t C ha ⁻¹ a ⁻¹] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem annuellen Ackerland Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5 %-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2019.....	653
Tabelle 417:	Implizite Emissionsfaktoren [t C ha ⁻¹ a ⁻¹] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Hopfenanbau Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2019.....	654
Tabelle 418:	Implizite Emissionsfaktoren [t C ha ⁻¹ a ⁻¹] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Weinanbau Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2019.....	655
Tabelle 419:	Implizite Emissionsfaktoren [t C ha ⁻¹ a ⁻¹] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Obstanbau Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2019.....	656
Tabelle 420:	Implizite Emissionsfaktoren [t C ha ⁻¹ a ⁻¹] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Sonstige Ackerkulturenperennierend (Summe aus Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen) Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2019.....	657
Tabelle 421:	Implizite Emissionsfaktoren für organischen Böden unter Ackerland [t CO ₂ -Eq. ha ⁻¹ a ⁻¹] sowie deren Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) für das Jahr 2019.....	658
Tabelle 422:	Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	659
Tabelle 423:	Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	659
Tabelle 424:	Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	660
Tabelle 425:	Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	660
Tabelle 426:	Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Ackerlandkategorie.....	661
Tabelle 427:	Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO ₂ -eq] aus der Kategorie Ackerland der aktuellen und der Vorjahressubmission	661

Tabelle 428:	CO ₂ -, N ₂ O- und CH ₄ -Emissionen [kt CO ₂ -Eq.] aus dem Grünland 2019, unterschieden nach Unterkategorien. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls	663
Tabelle 429:	Emissionsfaktoren [t C ha ⁻¹ a ⁻¹] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG- Emissionen 2019 aus Grünland i. e. S.....	669
Tabelle 430:	Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Grünland i. e. S. im Jahr 2019	669
Tabelle 431:	Emissionsfaktoren [t C ha ⁻¹ a ⁻¹] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen 2019 aus Gehölzflächen	670
Tabelle 432:	Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Gehölze im Jahr 2019	671
Tabelle 433:	Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2019)	672
Tabelle 434:	Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2019)	672
Tabelle 435:	Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	673
Tabelle 436:	Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	673
Tabelle 437:	Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Grünlandkategorie	674
Tabelle 438:	Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO ₂ -eq] aus der Kategorie Grünland der aktuellen und der Vorjahressubmission	674
Tabelle 439:	CO ₂ -, N ₂ O- und CH ₄ -Emissionen [kt CO ₂ -Eq.] aus Feuchtgebieten Deutschlands 2019. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranken der 95 % - Konfidenzintervalle.....	675
Tabelle 440:	Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹] für Biomasse in Terrestrischen Feuchtgebieten (95%-Konfidenzintervall)	678
Tabelle 441:	Torfabbau: IEF _{off-site} [t CO ₂ -Eq. ha ⁻¹ a ⁻¹] und off-site Emissionen [kt CO ₂ -Eq.]	680
Tabelle 442:	Implizite Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus terrestrischen Feuchtgebieten 2019, unterschieden nach Pools und Unterkategorien.....	681
Tabelle 443:	Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus Gewässern 2019, unterschieden nach Pools und Unterkategorien	682
Tabelle 444:	Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus Torfabbau 2019, unterschieden nach Pools und Unterkategorien	683
Tabelle 445:	Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Feuchtgebiete und Torfabbau im Jahr 2019 ..	683
Tabelle 446:	Kohlenstoffvorratsveränderung verschiedener Pools in Wetland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	684
Tabelle 447:	Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Feuchtgebiete	685
Tabelle 448:	Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO ₂ -eq] aus der Kategorie Feuchtgebiete der aktuellen und der Vorjahressubmission	686
Tabelle 449:	CO ₂ -, N ₂ O- und CH ₄ -Emissionen [kt CO ₂ -Eq.] aus Siedlungsflächen 2019. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls.....	687

Tabelle 450:	Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹] von Biomasse auf Siedlungsflächen (95%-Konfidenzintervall)	689
Tabelle 451:	Implizite Emissionsfaktoren und Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der Treibhausgasemissionen aus Siedlungs- und Verkehrsflächen Deutschlands 2019, unterschieden nach Pools und Unterkategorien	690
Tabelle 452:	Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Siedlungen im Jahr 2019.....	691
Tabelle 453:	Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	692
Tabelle 454:	Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	693
Tabelle 455:	Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	693
Tabelle 456:	Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)	694
Tabelle 457:	Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Siedlungen (4.E)	695
Tabelle 458:	Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO ₂ -eq] aus der Kategorie Siedlungen (4.E) der aktuellen und der Vorjahressubmission	695
Tabelle 459:	Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Sonstiges Land.....	696
Tabelle 460:	Jährlicher Anteil des Einschlags aus verbleibender Waldfläche.....	700
Tabelle 461:	Gegenüberstellung der HWP Netto-CO ₂ -Emissionen in den Submissionen 2020 und 2021	701
Tabelle 462:	Mengen an biologisch abbaubaren Abfällen, nach Abfallfraktionen	710
Tabelle 463:	Pro-Kopf-Mengen an deponierten Hausmüll	710
Tabelle 464:	Pro-Kopf Mengen an Siedlungsabfall	710
Tabelle 465:	Verwendete DOC-Werte.....	712
Tabelle 466:	Anteil CH ₄ am Deponiegas.....	713
Tabelle 467:	Halbwertszeiten und konstante Methanerzeugungsrate der Abfallfraktionen.....	714
Tabelle 468:	Methanfassung auf Deponien	715
Tabelle 469:	Rekalkulation: Methan-Emissionen aus Deponien [kt]	717
Tabelle 4703:	Rekalkulation: Menge an gefasstem Methan [kt]	717
Tabelle 471:	Vergleich der Emissionsfaktoren für die Kompostierung	721
Tabelle 472:	Vergleich der Emissionsfaktoren für die Vergärung	725
Tabelle 473:	Rückrechnungen CRF 5.B.2	726
Tabelle 474:	Einwohner Deutschland gesamt und mit Anschluss an abflusslose Gruben	731
Tabelle 475:	Verifikation CH ₄ aus abflusslosen Gruben	733
Tabelle 476:	Rückrechnung der CH ₄ -Emissionen aufgrund des korrigierten Einsatzes des EF	734
Tabelle 477:	Verwertung von Klärschlamm	736
Tabelle 478:	Vergleich N _{EFFLUENT} nach verschiedenen Quellen; (kt N/Jahr)	743
Tabelle 479:	Rückrechnung der N ₂ O-Emissionen	745
Tabelle 480:	Zeitreihe der CH ₄ -Emissionen aus der Industrieabwasserreinigung	749
Tabelle 481:	Verwendete Parameter zur Bestimmung der Emissionen des gelösten Methans aus der anaeroben Behandlung von Industriellem Abwasser (Bezugsjahr 2013).....	749
Tabelle 482:	Berechnung des TOW für das Jahr 201, Direkteinleiter	751
Tabelle 483:	Unsicherheiten der mittleren spezifischen Stickstofffracht der 4 relevantesten Industriebereiche	755
Tabelle 484:	Emissionen der MBA	760

Tabelle 485:	Rekalkulation MBA 2006-2018	761
Tabelle 486:	Eigentliche Allokation der Nichttreibhausgase unter CRF 6	762
Tabelle 487:	Übersicht der von Rückrechnungen betroffenen CRF-Oberkategorien	766
Tabelle 488:	prozentuale Änderungen gegenüber der vorjährigen Berichterstattung.....	766
Tabelle 489:	Rückrechnung der nationalen THG-Gesamtemissionen (ohne LULUCF).....	768
Tabelle 490:	Rückrechnungen der nachrichtlichen Inventardaten (Memo Items)	768
Tabelle 491:	Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission, 1990.....	769
Tabelle 492:	Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission, 2018.....	770
Tabelle 493:	Rückrechnung der Gesamtemissionen 1990, in kt CO ₂ -Äquivalenten	771
Tabelle 494:	Rückrechnung der Gesamtemissionen 2018, in kt CO ₂ -Äquivalenten	771
Tabelle 495:	Zusammenstellung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten Review- Empfehlungen	773
Tabelle 496:	Zusammenfassung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten und der offenen in den NIR-Kategoriekapiteln genannten geplanten Verbesserungen.....	775
Tabelle 497:	Implementing Regulation Article 9: Reporting on implementation of recommendations and adjustments, Article 9.1	779
Tabelle 498:	Walddefinition in Deutschland.....	780
Tabelle 499:	Aufforstung in KP- und UNFCCC-Kategorien.....	782
Tabelle 500:	Entwaldung in KP- und UNFCCC-Kategorien	783
Tabelle 501:	Waldbewirtschaftung in KP- und UNFCCC-Kategorien.....	783
Tabelle 502:	Ackerlandbewirtschaftung in KP- und UNFCCC-Kategorien	784
Tabelle 503:	Weidelandbewirtschaftung in KP- und UNFCCC-Kategorien.....	785
Tabelle 504:	Akkumulierte und jährliche Flächen der Kategorien Aufforstung, Entwaldung und Waldbewirtschaftung	786
Tabelle 505:	Akkumulierte Entwaldungsflächen nach Landnutzungskategorie in Hektar [ha] (CRF 4(KP-I)A.2)	787
Tabelle 506:	Übersicht über die Flächen unter Ackerland- (Cropland Management) und Weidelandbewirtschaftung (Grazing Land Management) von 1990-2019 (fett gedruckt: Kyoto II - relevante Flächen).....	788
Tabelle 507:	Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Waldbewirtschaftung, Aufforstung und Entwaldung im Jahr 2019	790
Tabelle 508:	Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Ackerlandbewirtschaftung im im Jahr 2019 (Ohne N ₂ O-Emissionen aus organischen Böden; diese werden im Sektor Landwirtschaft berichtet)	791
Tabelle 509:	Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Weidelandbewirtschaftung im Jahr 2019 (Ohne N ₂ O-Emissionen aus organischen Böden; diese werden im Sektor Landwirtschaft berichtet)	792
Tabelle 510:	Emissionsfaktoren (EF) für die Biomasse der Entwaldung; positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffemission.....	793
Tabelle 511:	Emissionsfaktoren (EF) für das Totholz	794
Tabelle 512:	Implizite Emissionsfaktoren (IEF) [t C ha ⁻¹ a ⁻¹] für mineralische Böden der Quellkategorien Aufforstung und Entwaldung (negativ = Verlust, positiv = Speicherung)	795
Tabelle 513:	Emissionsfaktoren für organische Böden der Entwaldung des Jahres 2019 (negativ = Verlust, positiv = Speicherung)	796
Tabelle 514:	Gegenüberstellung der Aktivitätsdaten für den Wald der Submission 2020 und 2021 (kha)	799
Tabelle 515:	Gegenüberstellung der Aktivitätsdaten von Ackerlandbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021 (kha)	800

Tabelle 516:	Gegenüberstellung der Aktivitätsdaten von Grünlandbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021 (kha)	800
Tabelle 517:	Gegenüberstellung der Emissionen von Aufforstungen für die Submission 2020 und 2021.....	801
Tabelle 518:	Gegenüberstellung der Emissionen von Entwaldung für die Submission 2020 und 2021.....	801
Tabelle 519:	Gegenüberstellung der Emissionen von Waldbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021	801
Tabelle 520:	Gegenüberstellung der Emissionen von Land zu Ackerlandbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021	802
Tabelle 521:	Gegenüberstellung der Emissionen von Ackerlandbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021	802
Tabelle 522:	Gegenüberstellung der Emissionen von Land zu Grünlandbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021	803
Tabelle 523:	Gegenüberstellung der Emissionen von Grünlandbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021	803
Tabelle 524:	Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren für Totholz für die Submission 2020 und 2021 (tC/ha)	804
Tabelle 525:	Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren für Biomasse in der Waldbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021 (tC/ha).....	804
Tabelle 526:	Unsicherheiten für die Treibhausgasberichterstattung für Aktivitäten des Kyoto-Protokolls der Artikel 3.3 und 3.4.....	806
Tabelle 527:	Gesamtfehler für die Kohlenstoffvorratsveränderungsschätzung der Biomasse für die Inventurperioden der Bundeswaldinventur 1987-2002, 2002-2008, 2008-2012 und 2012-2017 (RMSE% - root mean square error percent)	808
Tabelle 528:	Gesamtfehler für die Kohlenstoffvorratsveränderungsschätzung des Totholzes für die Inventurperioden der Bundeswaldinventur 2008-2012 und 2012-2017 (RMSE% - root mean square error percent).....	808
Tabelle 529:	Fehlerbudget für die Emissionsfaktoren von Mineralboden und Streu, mit se = Standardabweichung des Mittelwertes; C 90, C 06 = Laborunsicherheit bei der Kohlenstoffgehaltsbestimmung BZE I und BZE II; FE = Unsicherheit bei der Bestimmung des Feinbodenvorrates.....	808
Tabelle 530:	Kohlenstoffvorratsänderungen in lebender Biomasse (für 2018).....	809
Tabelle 531:	Kohlenstoffvorratsänderungen in Totholz und Streu (für 2018)	809
Tabelle 532:	Kohlenstoffvorratsänderungen in mineralischen und organischen Böden (für 2018)	810
Tabelle 533:	Flächengrößen der Aktivitäten, die nach 2013 begonnen haben	810
Tabelle 534:	Zusammenstellung der Verpflichtung zur Waldbewirtschaftung, zur Aufstellung von Plänen und zur forstlichen Rahmenplanung aus den Waldgesetzen der Bundesländer	815
Tabelle 535:	Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Ackerlandbewirtschaftung im Basisjahr 1990	815
Tabelle 536:	Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Weidelandbewirtschaftung im Basisjahr 1990.....	816
Tabelle 537:	Gegenüberstellung der Waldfunktionen nach dem Bundeswaldgesetz und nach IPCC	817
Tabelle 538:	Verbesserungen und Veränderungen im Treibhausgasinventar seit 2011, die eine technische Korrektur des Forest Management Reference Level nach sich ziehen	819
Tabelle 539:	Verwendete Methoden für die Technische Korrektur des FMRL nach Pools bzw. Quellen	819

Tabelle 540:	Projektionswerte für die Emissionen nach Pools/Quellen von 2013 bis 2020.....	819
Tabelle 541:	Ergebnisse der Technischen Korrektur des Forest Management Reference Levels ...	820
Tabelle 542:	CO ₂ -, N ₂ O- und CH ₄ -Emissionen [kt CO ₂ -Eq.] infolge der Feuchtgebietsbewirtschaftung 2019, zusammengestellt gemäß (EU) 2018/841, Art. 7, Abs. 4.....	823
Tabelle 543:	KP CRF Table NIR.3: Summary Overview for Key Categories for Land Use, Land- Use Change and Forestry Activities under the Kyoto Protocol	830
Tabelle 544:	Daten für das Jahr 2018:	842
Tabelle 545:	Daten für das Jahr 2017:	842
Tabelle 546:	Zur Erstellung der Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland verwendeten Erhebungen des StBA.....	843
Tabelle 547:	Übersicht: Auffällige Positionen beim Vergleich der Energiebilanz 2018 mit der Energiebilanz 2017	847
Tabelle 548:	Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung	849
Tabelle 549:	Vergleich der CO ₂ -Emissionsfaktoren für die Steinkohlen.....	856
Tabelle 550:	Zusammensetzung und Emissionsfaktoren von Ottokraftstoffen	861
Tabelle 551:	Für die Emissionsberichterstattung abgeleitete Emissionsfaktoren für CO ₂ ab 1990, Energie.....	866
Tabelle 552:	Für die Emissionsberichterstattung abgeleitete Emissionsfaktoren für CO ₂ ab 1990, Industrieprozesse	870
Tabelle 553:	IPCC Standardwerte für EF & Unteren Heizwert	872
Tabelle 554:	Verifikation der Vollständigkeit des berichteten CO ₂ aus der nichtenergetischen Verwendung von fossilen Energieträgern	873
Tabelle 555:	Anlagentypen nach Anhang der 4.BImSchV.....	878
Tabelle 556:	Klassifikation der Quellen nach Feuerungstyp	879
Tabelle 557:	CO ₂ -Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung in Öffentlichen Kraftwerken	880
Tabelle 558:	Emissionsfaktoren 2018 für Flugbenzin	881
Tabelle 559:	Übersicht der Emissionsfaktoren für Kerosin, in kg/TJ.....	882
Tabelle 560:	Übersicht der zu berücksichtigten Teilunsicherheiten der Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren	883
Tabelle 561:	Energieeinsatz im Straßenverkehr 1990-2019	884
Tabelle 562:	mittlere Heizwerte für Otto- und Dieselmotoren.....	885
Tabelle 563:	Korrekturfaktoren zur Anpassung an die Energiebilanz.....	886
Tabelle 564:	Ableitung der EF(CO ₂) für Zweitaktgemische, in kg/TJ.....	888
Tabelle 565:	CO ₂ aus in Zweitakt-Ottomotoren mitverbrannten Schmierstoffen, in Kilotonnen ...	889
Tabelle 566:	revidierte Mengen mitverbrannter Schmierstoffen, in Terajoule	889
Tabelle 567:	revidierte Kohlendioxid-Emissionen, in Kilotonnen	889
Tabelle 568:	aus dem Einsatz von Biodiesel und Biobenzin resultierendes CO ₂ , in Kilotonnen	890
Tabelle 569:	CO ₂ aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe, in Kilotonnen.....	891
Tabelle 570:	CO ₂ aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe, in Kilotonnen.....	891
Tabelle 571:	Gesamt-THG-Emissionen von Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren	893
Tabelle 572:	Mittlerer jährlicher Tierbestand nach Schätzungen des Statistischen Bundesamtes.....	893
Tabelle 573:	CH ₄ -Emissionen aus der Verdauung bei Gehegewild, Kaninchen und Pelztieren	894
Tabelle 574:	CH ₄ -Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management bei Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren	894
Tabelle 575:	Direkte N ₂ O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management bei Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren	895
Tabelle 576:	Eingangsdaten zur Berechnung der NH ₃ -Emissionen (Emissionsfaktoren [EF] in kg NH ₃ -N pro kg TAN	896

Tabelle 577:	Indirekte N ₂ O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs aus NH ₃ - und NO-Emissionen aus Stall und Lager.....	896
Tabelle 578:	Direkte N ₂ O-Emissionen aus Böden infolge Gehegewild-Freilandaufenthalt und Wirtschaftsdüngerausbringung bei Kaninchen, Straußen und Pelztieren.	897
Tabelle 579:	Parameter zur Berechnung der indirekten N ₂ O-Emissionen aus der Deposition reaktiven Stickstoffs infolge Freilandaufenthalt und Ausbringung (Emissionsfaktoren [EF] in kg NH ₃ -N pro kg TAN).....	897
Tabelle 580:	Indirekte N ₂ O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs (N _{reac}) aus NH ₃ - und NO-Emissionen aus Gehegewild-Freilandaufenthalt und Ausbringung	897
Tabelle 581:	Indirekte N ₂ O-Emissionen aus Böden infolge Auswaschung/Oberflächenabfluss.....	898
Tabelle 582:	Häufigkeitsverteilungen von Tierhaltungsverfahren(in %) sowie zugehörige Einstreumengen und NH ₃ -Emissionsfaktoren	899
Tabelle 583:	Häufigkeitsverteilungen von Lagerverfahren (in %), Mengen an vergorenen Energiepflanzen sowie zugehörige Emissionsfaktoren	902
Tabelle 584:	Häufigkeitsverteilungen von Ausbringungsverfahren (in %) sowie zugehörige Emissionsfaktoren	908
Tabelle 585:	Legehennen, haltungsspezifische partielle NH ₃ -Emissionsfaktoren	914
Tabelle 586:	Vergleich der mittels sektoralen und Referenzansatz (ohne NEV) ermittelten Energieeinsätze, in Terajoule.....	917
Tabelle 587:	Vergleich der mittels sektoralen und Referenzansatz (ohne NEV) ermittelten CO ₂ -Emissionen, in Kilotonnen.....	918
Tabelle 588:	Vollständigkeit - Übersicht der Quellen und Senken, deren Emissionen nicht geschätzt (not estimated, NE) werden	920
Tabelle 589:	Vollständigkeit – Übersicht der Quellen und Senken, die an anderer Stelle berichtet werden (included elsewhere, IE)	920
Tabelle 590:	Dokumentationsinstrumente im Umweltbundesamt	935
Tabelle 591:	Allgemeine Checkliste für Fachverantwortliche	936
Tabelle 592:	Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie	951
Tabelle 593:	Anteile an der Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie	953
Tabelle 594:	Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen und SO ₂ in Deutschland seit 1990.....	954
Tabelle 595:	Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO ₂ in Deutschland seit 1990/1995	955
Tabelle 596:	Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO ₂ in Deutschland, seit dem jeweils letzten Jahr	956
Tabelle 597:	Veränderungen der Emissionen in Deutschland nach Kategorien, seit 1990 / seit dem jeweils letzten Jahr.....	957
Tabelle 598:	revidierte Kohlendioxid-Emissionen 1990.....	958
Tabelle 599:	revidierte Methan-Emissionen 1990.....	959
Tabelle 600:	revidierte Lachgas-Emissionen 1990.....	959
Tabelle 601:	revidierte HFC-Emissionen 1990	960
Tabelle 602:	revidierte PFC-Emissionen 1990.....	960
Tabelle 603:	revidierte SF ₆ -Emissionen 1990.....	960
Tabelle 604:	revidierte <i>Unspecified-Mix</i> -Emissionen 1990.....	960
Tabelle 605:	revidierte NF ₃ -Emissionen 1990.....	961
Tabelle 606:	revidierte Kohlendioxid-Emissionen 2018.....	961
Tabelle 607:	revidierte Methan-Emissionen 2018.....	962
Tabelle 608:	revidierte Lachgas-Emissionen 2018.....	962

Tabelle 609:	revidierte HFC-Emissionen 2018	963
Tabelle 610:	revidierte PFC-Emissionen 2018.....	963
Tabelle 611:	revidierte SF ₆ -Emissionen 2018.....	964
Tabelle 612:	revidierte <i>Unspecified-Mix</i> -Emissionen 2018.....	964
Tabelle 613:	revidierte NF ₃ -Emissionen für 2018	964
Tabelle 614:	Unsicherheiten nach Sektoren (Approach 1, Fehlerfortpflanzung gemäß Tabelle 3.4 der 2006 IPCC Guidelines)	966
Tabelle 615:	Unsicherheiten nach Sektoren (Approach 2, Monte-Carlo-Simulation, gemäß Tabelle 3.5 der 2006 IPCC Guidelines).....	971

Abkürzungsverzeichnis

AbfAbfV	Abfallablagerungsverordnung
ABL	alte Bundesländer
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AGEE-Stat	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik
AK	Arbeitskreis
ALH	alle anderen Laubbäume hoher Lebenserwartung (BWI-Baumartengruppe)
ALN	alle anderen Laubbäume niedriger Lebenserwartung (BWI-Baumartengruppe)
ANCAT	Abatement of Nuisances from Civil Air Transport
AR	Aktivitätsrate
ARD	Afforestation, reforestation, deforestation (Aufforstung, Wiederbewaldung, Entwaldung)
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
AWMS	Animal Waste Management System
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BAT	Best Available Technique
BDSI	Bundesverband der Deutschen Süßwarenindustrie e.V.
BDZ	Bundesverband der Deutschen Zementindustrie
BEF	Biomasseexpansionsfaktoren
BEU	Bilanz der Emissionsursachen für stationäre und mobile Verbrennungsprozesse
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BGS	Brennstoff-, Gas-, und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl- und Walzwerke sowie Schmiede-, Press- und Hammerwerke einschließlich der öffentlichen verbundenen sonstigen Betriebe(ohne eigene Kokereien)
BGW	Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft
BHD	Brusthöhendurchmesser (Stammdurchmesser eines Baumes in 1,30 m Höhe über dem Boden)
BHKW	Blockheizkraftwerk
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BImSchV	Rechtsverordnung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz
BML	siehe BMEL
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUB	siehe BMU
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMELV	siehe BMEL
BMVEL	siehe BMEL
BMVG	Bundesministerium der Verteidigung
BMWA	siehe BMWi
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BoHE	Bodennutzungshaupterhebung
BREF	BAT (Best Available Technique) Reference Documents
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf innerhalb von 5 Tagen
BV Kalk	Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie
BÜK	Bodenübersichtskarte
BWI	Bundeswaldinventur
BWP	Bundesverband Wärmepumpe e.V.
BZE	Bodenzustandserhebung im Wald

CAPIEL	Coordinating Committee for the Associations of Manufacturers of Industrial Electrical Switchgear and Controlgear in the European Union
CEFIC	Verband der Europäischen chemischen Industrie (französisch: Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique)
CFC	Fluorchlorkohlenwasserstoffe (engl.: Chlorofluorocarbons) = FCKW
CFI	Continuous Forest Inventory (Kontrollstichprobe)
CH ₄	Methan
C _{org}	Im Boden gespeicherter organischer Kohlenstoff
CO	Kohlenstoffmonoxid, Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid, Kohlendioxid
CORINAIR	Coordination of Information on the Environment, Teilprojekt: Air
CORINE	Coordinated Information on the Environment
CRF	Common Reporting Format
CSB	Chemischer Sauerstoff Bedarf
CVD	chemische Gasphasenabscheidung (engl.: Chemical Vapour Deposition)
D	Deutschland
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
DESTATIS	Statistisches Bundesamt Deutschland, offizielle Abkürzung StBA
DFIU	Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung an der Universität Karlsruhe
DG	Deponiegas
DGMK	Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle eV.
DIN	Deutsche Industrienorm
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DME	Dimethylether
DMKW	Dieselmotorkraftwerke
D _N	Stickstoff im Abwasser
DOC	Anteil des organisch abbaubaren Kohlenstoffs (engl.: Degradable Organic Carbon)
DOC _F	Anteil des in Deponiegas umgewandelten DOC (engl.: Fraction of DOC dissimilated)
DSWF	Datenspeicher Waldfonds
DTKW	Dampfturbinenkraftwerke
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfachs eV.
D7	Stammdurchmesser eines Baumes in 7 m Höhe über dem Boden
EBZ	Energiebilanzzeile in der BEU
EEA	Europäische Umweltagentur (engl.: European Environment Agency)
EECA	European Electronic Component Manufacturers Association
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz, Gesetzestext (BGBl. Teil I Nr. 40 v. 31.07.2004, Seite 1918 ff.)
EF	Emissionsfaktor
EI	Emissionsindex = Emissionsfaktor
E _{KA}	Einwohner mit Kläranlagenanschluss
EL	Heizöl EL (extra leicht flüssig)
EM	Emission
EMEP	Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe
EMEV	Emissionsrelevanter Energieverbrauch

ERT	Expert Review Team
ESIA	European Semiconductor Industry Association
ETS	Emissionshandelssystem mit Treibhausgasen in der EU (engl. Emissions Trading Scheme)
EU	Europäische Union
EU-EH	Europäischer Emissionshandel, auch ETS genannt
EUROCONTROL	Europäische Organisation zur Sicherung der Luftfahrt
EUROSTAT	Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften
EW	Einwohnerzahl
EXIBA	European Extruded Polystyrene Insulation Board Association
FA	Feuerungsanlagen
FAP	Fachlicher Ansprechpartner im NaSE
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (ab 2008: siehe TI)
FAO	Organisation für Ernährung und Landwirtschaft (engl.: Food And Agriculture Organisation) der Vereinten Nationen
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe (engl.: Chlorofluorocarbons, CFC)
F-Gase	Fluorierte Treibhausgase
FHW	Fernheizwerke
FKW	Vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (engl.: Perfluorocarbons, PFC)
FKZ	Forschungskennzahl
FNN	Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE
FPX	Fachverband Polystyrol-Extruderschaumstoff e.V.
FV	Fachverantwortlicher im NaSE
FWL	Feuerungswärmeleistung
GAS-EM	GASEous EMISSIONS (Programm zur Berechnung der landwirtschaftlichen Emissionen)
GEREF	GERman Emission Factor Database
GFA	Großfeuerungsanlagen
GG	Gesamtgewicht
GIS	Gasisolierte Schaltanlagen
GMBL	Gemeinsames Ministerialblatt
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GMKW	Gasmotorkraftwerke
GPG	Good Practice Guidance
GSE FM-INT	GMES Services Elements Forest Monitoring: Inputs für die Nationale Treibhausgasberichterstattung
GT	Gasturbinen
GTKW	Gasturbinenkraftwerke
GuD	Gas- und Dampfturbinenkraftwerke
GWP	Globales Treibhauspotential (engl.: Global Warming Potential)
HFC	Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (engl.: Hydrofluorocarbons) = HFKW
HFCKW	Teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe
HFE	Hydrofluorether (engl.: Hydrofluoroethers)
HFKW	Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (engl.: Hydrofluorocarbons, HFC)
Hi	Heizwert
HK	Hauptkategorie (engl.: key category) berücksichtigt sowohl Emissionsquellen als auch -senken.
HS	Hochspannung
HS-GIS	Hochspannungs- und Gasisolierte Schaltanlagen
IAI	International Aluminium Institute

ICE	Intercity-Express
IE	an anderer Stelle einbezogen (engl.: Included Elsewhere)
IEA	Internationale Energie Agentur (engl. International Energy Agency)
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission (engl.: International Electrotechnical Commission)
IEF	impliziter Emissionsfaktor (engl.: implied emission factor)
IfE	Institut für Energetik
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung
IKW	Industriekraftwerke
IMA	Interministerielle Arbeitsgruppe
IPCC	Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (engl.: Intergovernmental Panel On Climate Change)
IS08	Inventurstudie 2008
IVPU	Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e. V.
K	Brennstoffeinsatz zur Krafterzeugung (Direktantrieb)
k.A.	keine Angabe
KCA	Key category Analysis (deutsch: Hauptkategorieanalyse)
KP	Kyoto-Protokoll
KS	Klärschlamm
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (engl. : Association for Technology and Structures in Agriculture)
l	level (im Rahmen des "Level Assessment" nach den IPCC-Good Practice Guidance)
LF	Landwirtschaftlich genutzte Flächen
LKW	Lastkraftwagen
LTO	Landing/Take-off-Zyklus
LUCF	Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (engl.: Land Use Change and Forestry)
LULUCF	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (engl.: Land Use, Land Use Change and Forestry)
MBA	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung
MCF	Methankonversionsfaktor (engl.: Methane Conversion Factor)
MDI	Dosieraerosole (engl.: Metered Dose Inhalers)
MS	Mittelspannung
MSW	Deponierte Menge an Siedlungsabfall
MVA	Müllverbrennungsanlage
MW	Megawatt
N	Stickstoff
N ₂ O	Distickstoffoxid, Lachgas
NA	nicht anwendbar (engl.: Not Applicable)
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NaSE	Nationales System Emissionsinventare
NBL	neue Bundesländer
NE	Nicht geschätzt (engl.: Not Estimated)
NEAT	Non-energy Emission Accounting Tables
NEC	EU-Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001, in der nationale Emissionshöchstmengen (engl.: National Emission Ceilings) für bestimmte Luftschadstoffe geregelt sind.
NEV	Nichtenergetischer Verbrauch
NF ₃	Stickstofftrifluorid

NFR	Berichtsformat für die Berichterstattung an die UN ECE (engl.: New Format on Reporting, Nomenclature for Reporting)
NFZ	Nutzfahrzeuge
NH ₃	Ammoniak
NIR	Nationaler Inventarbericht (engl.: National Inventory Report)
NMVOG	Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (engl.: Non Methane Volatile Organic Compounds)
NO	nicht vorkommend (engl.: Not Occurring)
NO	Stickstoffmonoxid
NSCR	Nicht-selektive katalytische Reduktion
OCF	Montageschaum (engl.: One Component Foam)
ODS	ozonabbauende Stoffe (engl. Ozone Depleting Substances)
ORC	Organischer Rankine Kreisprozess (engl.: Organic Rankine Cycle)
OX	Oxidationsfaktor
PAH	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (engl.: Polycyclic aromatic hydrocarbons), auch PAK
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (engl.: Polycyclic aromatic hydrocarbons), auch PAH
PARTEMIS	Measurement and prediction of emissions of aerosols and gaseous precursors from gas turbine engines
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane
PF	Prozessfeuerungen
PFC	Vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (engl.: Perfluorocarbons) = FKW
PFPE	Perfluorierte Polyether (engl.: Perfluoropolyether)
PFPMIE	Perfluorpolymethylisopropylether
PKW	Personenkraftwagen
PU	Polyurethan
QK	Qualitätskontrolle
QS	Qualitätssicherung
QSE	Qualitätssystem Emissionsinventare
REA	Rauchgasentschwefelungsanlage
ROE	Rohöleinheiten
RSt	Rohstahl
RWI	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
S	Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung
S	Heizöl S (schwer flüssig)
S&A report	Synthesis and Assessment Report
SA	Heizöl SA (schwer flüssig, schwefelarm)
SE	Stichprobenfehler (sampling error)
SF ₆	Schwefelhexafluorid
SKE	Steinkohleneinheiten
SNAP	Selected Nomenclature for Air Pollution
SO ₂	Schwefeldioxid
StBA	Statistisches Bundesamt Deutschland
STEAG	STEAG Aktiengesellschaft (ein großer Stromerzeuger in Deutschland)
T	Trend (im Rahmen des "Trend Assessment" nach den IPCC-Good Practice Guidance) in den Übersichtstabellen der Quellgruppen
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft; Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
TAN	Total Ammoniacal Nitrogen

TFT	Dünnschichttransistor (engl.: Thin-Film Transistor)
THG	Treibhausgase
TI	Johann Heinrich von Thünen-Institut
TI-AK	Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Agrarklimaschutz
TI-WO	Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Waldökosysteme
TM	Trockenmasse
TOC	Gesamtkohlenstoff (engl.: Total Organic Carbon)
TREMOD	Emissionsberechnungsmodell für den Verkehr (engl.: Traffic Emission Estimation Model)
TS	Trockenstoff
TÜV	Technischer Überwachungsverein
TVF	Tonne verwertbare Förderung
UBA	Umweltbundesamt
UN ECE	Europäische Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen (engl.: United Nations Economic Commission for Europe)
UN FCCC	Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (engl.: United Nations Framework Convention on Climate Change)
UN	Vereinte Nationen (engl.: United Nations)
UStatG	Umweltstatistikgesetz
VDA	Verband der Automobilindustrie e.V.
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
VDEh	Verein Deutscher Eisenhüttenleute, seit 2003 in Stahlinstitut VDEh umbenannt (Eisen/Stahlverband)
VDEW	Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDKL	Verband Deutscher Kühlhäuser und Kühllogistikunternehmen e.V.
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VDN	Verband der Netzbetreiber e.V.
VDZ	Verein Deutscher Zementwerke e.V.
VGB	Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V.
VIK	Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V.
VOC	Volatile Organic Compounds
VRF	Variabler Kältemittelmassenstrom (engl.: Variable Refrigerant Flow)
VS	Glühverlust, Gehalt an organischer Substanz (engl. Volatile Solids)
W	Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung
WS	Anteil eines bestimmten Systems der Abwasserbehandlung (z.B. aerob, anaerob)
WZ	Wirtschaftszweig
XPS	Extrudiertes Polystyrol
ZSE	Zentrales System Emissionen
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V.

Einheiten und Größen

Multiplikationsfaktoren, Abkürzungen, Vorsilben und Symbole

Multiplikationsfaktor	Abkürzung	Vorsatz	
		Name	Symbol
1.000.000.000.000.000	10^{15}	Peta	P
1.000.000.000.000	10^{12}	Tera	T
1.000.000.000	10^9	Giga	G
1.000.000	10^6	Mega	M
1.000	10^3	Kilo	k
100	10^2	Hekto	h
0,1	10^{-1}	Dezi	d
0,01	10^{-2}	Zenti	c
0,001	10^{-3}	Milli	m
0,000.001	10^{-6}	Mikro	μ

Einheiten und Abkürzungen

Abkürzung	Einheit
°C	Grad Celsius
a	Jahr
cal	Kalorie
g	Gramm
h	Stunde
ha	Hektar
J	Joule
m^3	Kubikmeter
ppm	parts per million; Anteile pro Millionen
ppb	parts per billion, Anteile pro Milliarde
t	Tonne
W	Watt

Standardentsprechungen

Einheit	entspricht
1 Tonne (t)	1 Megagramm (Mg)
1 Kilotonne / Tausend Tonnen (kt)	1 Gigagramm (Gg)
1 Megatonne / Million Tonnen (Mt)	1 Teragramm (Tg)

Erklärung der Einleitenden Informationstabellen

Die Einleitenden Informationstabellen finden sich am Beginn jedes Quellgruppen-Kapitels. Sie sollen einen schnellen Überblick über die Relevanz der Quellgruppe und die verwendeten Methoden geben.

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2018 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990- 2018
L/T	1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries	all fuels	CO ₂	65.289,06	(5,20)	9.700,88	(1,13)	-85,14%
-/-	1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries	all fuels	N ₂ O	659,23	(0,05)	150,93	(0,02)	-77,10%
-/-	1A1c Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries	all fuels	CH ₄	91,98	(0,01)	161,36	(0,02)	75,42%

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS	NS	CS
CH ₄	Tier 2	NS	CS
N ₂ O	Tier 2	NS	CS
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂			CS

Hauptkategorie

Im oberen Teil der Tabelle werden die für die Quellgruppe relevanten Zeilen der Hauptkategorien-Analyse die Emissionen absolut (kt CO₂-äquivalent) und als prozentualen Anteile im Jahr 1990 und im letzten berichteten Jahr sowie der Emissionstrend zwischen Basisjahr (1990 oder 1995 für die F-Gase) und dem letzten berichteten Jahr in übersichtlicher Form dargestellt. Der Begriff Hauptkategorie wird im NIR synonym mit dem englischen „key category“ verwendet.

L = Hauptkategorie nach Emissionshöhe (Level)

T = Hauptkategorie nach dem Emissions-Trend

2 = Hauptkategorie ausschließlich nach der Methode-2-Analyse (inkl. Unsicherheiten)

Schadstoff

Der untere Teil der Tabelle liefert Informationen über angewandte Methode, die Quelle der Aktivitätsdaten und die verwendeten Emissionsfaktoren (EF).

Angewandte Methode

D = IPCC Default

RA = Reference Approach (Referenz-Verfahren)

Tier 1 = IPCC tier 1

Tier 2 = IPCC tier 2

Tier 3 = IPCC tier 3

C = CORINAIR

CS = Country specific (landesspezifisch)

M = Model (Modell)

Quelle der Aktivitätsdaten

M = Model (Modell)

Q = Questionnaires, surveys (Fragebögen, Umfragen)

PS = Plant specific data (Anlagenspezifische Daten)

AS = Associations, business organizations (Verbände-Informationen)

RS = Regional Statistics (regionale oder föderale Statistiken)

NS = National Statistics (Nationale Statistiken)

IS = International Statistics (Internationale Statistiken)

Emissionsfaktor (EF)

D = IPCC Default

C = CorinAir

CS = Country specific (landesspezifisch)

PS = Plant specific (anlagenspezifisch)

M = Model (Modell)

0 Zusammenfassung (ES)

Als Vertragsstaat der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) ist Deutschland seit 1994 dazu verpflichtet, Inventare zu nationalen Treibhausgasemissionen zu erstellen, zu veröffentlichen und regelmäßig fortzuschreiben. Mit dem Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls im Februar 2005 ist die internationale Staatengemeinschaft verpflichtet, verbindliche Handlungsziele und Umsetzungsinstrumente für den globalen Klimaschutz zu realisieren. Hieraus ergeben sich sehr weitreichende und detaillierte Verpflichtungen für die Erstellung, die Berichterstattung und die Überprüfung von Emissionsinventaren. Entsprechend Artikel 3 des Kyoto-Protokolls nutzt die europäische Staatengemeinschaft die Möglichkeit der gemeinsamen Erfüllung aller EU-Staaten der Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls und der Klimarahmenkonvention. Dies erfolgt durch europäische Regelungen, zuletzt durch die Festlegungen der EU-Verordnung 525/2013¹ und ihrer Durchführungsverordnung 749/2014². Durch die aktuelle europäische Umsetzung des Kyoto-Protokolls auf dem Verordnungsweg sind dessen Anforderungen für Deutschland rechtsverbindlich geworden.

Gemäß Entscheidung 24/CP.19 müssen alle im ANNEX I der Klimarahmenkonvention aufgeführten Staaten jährlich einen Nationalen Inventarbericht (National Inventory Report, NIR) erstellen und übermitteln, der detaillierte und vollständige Angaben über den gesamten Prozess der Erstellung der Treibhausgasinventare bereitstellt. Durch diesen Bericht soll die Transparenz, Konsistenz und Vergleichbarkeit der Inventare sichergestellt und der unabhängige Überprüfungsprozess unterstützt werden.

Gemäß der Entscheidung 15/CMP.1 müssen alle im ANNEX I der Klimarahmenkonvention aufgeführten Staaten, die auch Mitgliedsstaaten des Kyoto-Protokolls sind, ab dem Jahr 2010 jährliche Inventare vorlegen, um die flexiblen Mechanismen nach Artikel 6, 12 und 17 des Kyoto-Protokolls in Anspruch nehmen zu können.

Deutschland legt zusammen mit den Inventartabellen im Common Reporting Format (CRF) den Nationalen Inventarbericht (NIR) vor, der sich auf den Zeitraum der Inventartabellen bezieht und die Methoden sowie die Datenquellen beschreibt, auf denen die Berechnungen basieren. Der Bericht und die Inventartabellen wurden gemäß der UNFCCC Richtlinie zur Berichterstattung über jährliche Inventare (FCCC/CP/2013/10/Add.3) und in Übereinstimmung mit den 2006 IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories (IPCC Guidelines, 2006) und den IPCC Good Practice Guidance (IPCC-GPG, 2000) erstellt. Der NIR enthält einen Teil II sowie weitere Unterkapitel, um die erweiterten Anforderungen des Kyoto-Protokolls und der damit verbundenen Verpflichtungen auf europäischer Ebene zu erfüllen.

Der **Teil I des NIR** beinhaltet in den Kapiteln 1 bis 10 alle Informationen zum jährlichen Treibhausgasinventar.

Kapitel 1 gibt Hintergrundinformationen zum Klimawandel, den Treibhausgasinventaren sowie weitere Informationen zum Kyoto-Protokoll. Danach wird das Nationale System beschrieben, welches gemäß Artikel 5.1 des Kyoto-Protokolls die Erfüllung aller Berichtspflichten zu atmosphärischen Emissionen und zu Einbindungen in Senken unterstützen und sicherstellen soll. Weiterhin werden in diesem Kapitel die grundlegenden Prinzipien und Methoden, mit

¹ VERORDNUNG (EU) Nr. 525/2013 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Mai 2013 über ein System für die Überwachung von Treibhausgasemissionen sowie für die Berichterstattung über diese Emissionen und über andere klimaschutzrelevante Informationen auf Ebene der Mitgliedstaaten und der Union und zur Aufhebung der Entscheidung Nr. 280/2004/EG

² DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) Nr. 749/2014 DER KOMMISSION vom 30. Juni 2014 über die Struktur, das Format, die Verfahren der Vorlage und die Überprüfung der von den Mitgliedstaaten gemäß der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates gemeldeten Informationen

denen die Emissionen und Senken der IPCC-Kategorien berechnet werden, eine Kurzfassung der Hauptkategorienanalyse sowie das Qualitäts-System Emissionsinventare (QSE) beschrieben. Abgeschlossen wird das Kapitel durch Texte zur Unsicherheitenanalyse und einer Analyse der Vollständigkeit.

Kapitel 2 gibt einen generellen Überblick über die Entwicklung der Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen sowie der Einbindung von Kohlendioxid in Senken.

In den **Kapiteln 3 bis 9** werden Angaben zu den einzelnen Quell- und Senkengruppen gemacht, neben einer allgemeinen Beschreibung und Informationen zur angewendeten Methodik finden sich in den Unterkapiteln auch Informationen zu den Unsicherheiten, zu Qualitätssicherung und -kontrolle, durchgeführten Rückrechnungen und geplanten Verbesserungen in der jeweiligen Quell- oder Senkengruppe.

In Reflexion auf die Ergebnisse der in den letzten Jahren durchgeführten Überprüfungen wurden Inventare, Nationales System und das Qualitäts-System Emissionsinventare weiter verbessert. Genauere Angaben zu Rückrechnungen und Informationen zu den durchgeführten Verbesserungen und Änderungen gegenüber dem letzten Treibhausgasinventar sind in **Kapitel 10** zu finden.

Im **Teil II des NIR** werden der vorgegebene Gliederung (annotated NIR) entsprechend die erweiterten Anforderungen der Kyoto-Berichterstattung zusammengefasst, die **Kapitel 11 bis 16** stellen den sog. „Kyoto-NIR“ dar.

In **Kapitel 11** findet sich alle Informationen zur Kyoto-Berichterstattung des Bereichs Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF), insbesondere die gewählte Walddefinition, Details zur Technik der Landklassifizierung sowie alle Angaben zu den gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.3 und 3.4 des Kyoto-Protokolls.

Kapitel 12 befasst sich ganz mit der Buchhaltung der Kyoto-Einheiten, in Deutschland durch die Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt).

Kapitel 13 und 14 geben eine Übersicht über die Änderungen des Nationalen Systems und bei der Deutschen Emissionshandelsstelle, um Einflüsse auf die Kyoto-Berichterstattung auszuschließen.

Das **Kapitel 15** listet alle Maßnahmen auf, die Deutschland zur Minimierung der negativen Einflüsse nach Artikel 3, Absatz 14 durchführt.

Kapitel 16 enthält ggf. weitere Informationen zur Kyoto-Berichterstattung.

Die Anhänge 1 bis 7 in **Kapitel 17-23** enthalten detailliertere Beschreibungen von Hauptkategorien, den einzelnen Quellgruppen, dem CO₂-Referenzverfahren, der Vollständigkeit, dem Nationalen System und dem Qualitätssystem, zur Emissionsdatenbank ZSE und den Unsicherheiten.

Detailliertere Angaben zu einzelnen Bereichen sind der angegebenen weiterführenden Literatur in **Kapitel 24** zu entnehmen.

Das Treibhausgasinventar wird durch das Umweltbundesamt berechnet und zusammengestellt. Daten zu Emissionen und Senken aus der Landwirtschaft, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft werden vom Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI) bereitgestellt. Die Koordination der Berichterstattung liegt beim Umweltbundesamt.

0.1 Hintergrundinformationen zu Treibhausgas-Inventaren und Klimawandel (ES.1)

0.1.1 Hintergrundinformationen zum Klimawandel (ES1.1)

Seit Beginn der Industrialisierung werden deutliche überregionale bzw. globale Änderungen im Stoffhaushalt der Atmosphäre als Folge menschlicher Aktivitäten beobachtet. So stiegen weltweit die Konzentrationen von Kohlendioxid (CO₂) um ca. 43 %, die von Methan (CH₄) um 150 % und die von Distickstoffoxid (N₂O) um 20 % gegenüber den Werten vorindustrieller Zeiten. Zum Teil gelangen völlig neue Stoffe wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), Halone, vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) Schwefelhexafluorid (SF₆) oder Stickstofftrifluorid (NF₃) in die Atmosphäre, die in der Natur praktisch nicht vorkommen, sondern fast ausschließlich durch den Menschen erzeugt werden. Der fünfte Sachstandsbericht der Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)³ verdeutlicht den Einfluss des Menschen auf das Klima.

0.1.2 Hintergrundinformationen zu den Treibhausgas-Inventaren (ES1.2)

Mit dem Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls im Februar 2005 ist die internationale Staatengemeinschaft verpflichtet, verbindliche Handlungsziele und Umsetzungsinstrumente für den globalen Klimaschutz zu realisieren. Die Europäische Gemeinschaft (damals mit 15 Mitgliedstaaten) hatte im Rahmen der ersten Verpflichtungsperiode von 2008 bis 2012 die Verpflichtung übernommen, ihre Treibhausgasemissionen gegenüber dem Basisjahr (1990 bzw. 1995⁴) um 8 % zu mindern. Diese Verpflichtung wurde innerhalb der EU im Rahmen einer Lastenteilung⁵ zwischen den beteiligten Mitgliedstaaten aufgeteilt und erfüllt. Deutschland hatte mit der Verpflichtung zu einer Emissionsminderung von 21 % gegenüber dem Basisjahr einen erheblichen Beitrag zur Erfüllung der EU-Verpflichtung übernommen. Dieses Ziel wurde bis 2012 mit einer Minderung von über 26 % übertroffen.

Im Rahmen der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls hat sich die europäische Staatengemeinschaft verpflichtet, die Freisetzung der Treibhausgas Emissionen bis 2020 um 20 % zu mindern. Gleichzeitig wurde aber auch erklärt, dass unter bestimmten Voraussetzungen dieser europäische Beitrag auf eine Minderung von 30 %⁶ gegenüber 1990 erhöht werden könnte.

0.1.3 Hintergrundinformationen zu ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert (ES.1.3)

Im vorliegenden Bericht werden entsprechend der Entscheidung 15/CMP.1 ergänzende Informationen nach Artikel 7 Absatz 1 des Kyoto-Protokolls zur Unterstützung des Überprüfungsprozesses des Kyoto-Protokolls bereitgestellt. Diese Informationen beziehen sich auf:

³ IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2007, im Internet unter: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>

⁴ Für HFC, PFC und SF₆

⁵ burden sharing agreement, beschlossen mit Entscheidung 2002/358/EG des Rates vom 25. April 2002 über die Genehmigung des Protokolls von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen im Namen der Europäischen Gemeinschaft sowie die gemeinsame Erfüllung der daraus erwachsenden Verpflichtungen [Amtsblatt L 130 vom 15.5.2002]

⁶ Information on the quantified emission limitation or reduction objectives (QELROs) for the second commitment period under the Kyoto Protocol; SUBMISSION BY DENMARK AND THE EUROPEAN COMMISSION ON BEHALF OF THE EUROPEAN UNION AND ITS MEMBER STATES, Copenhagen, 19 April 2012

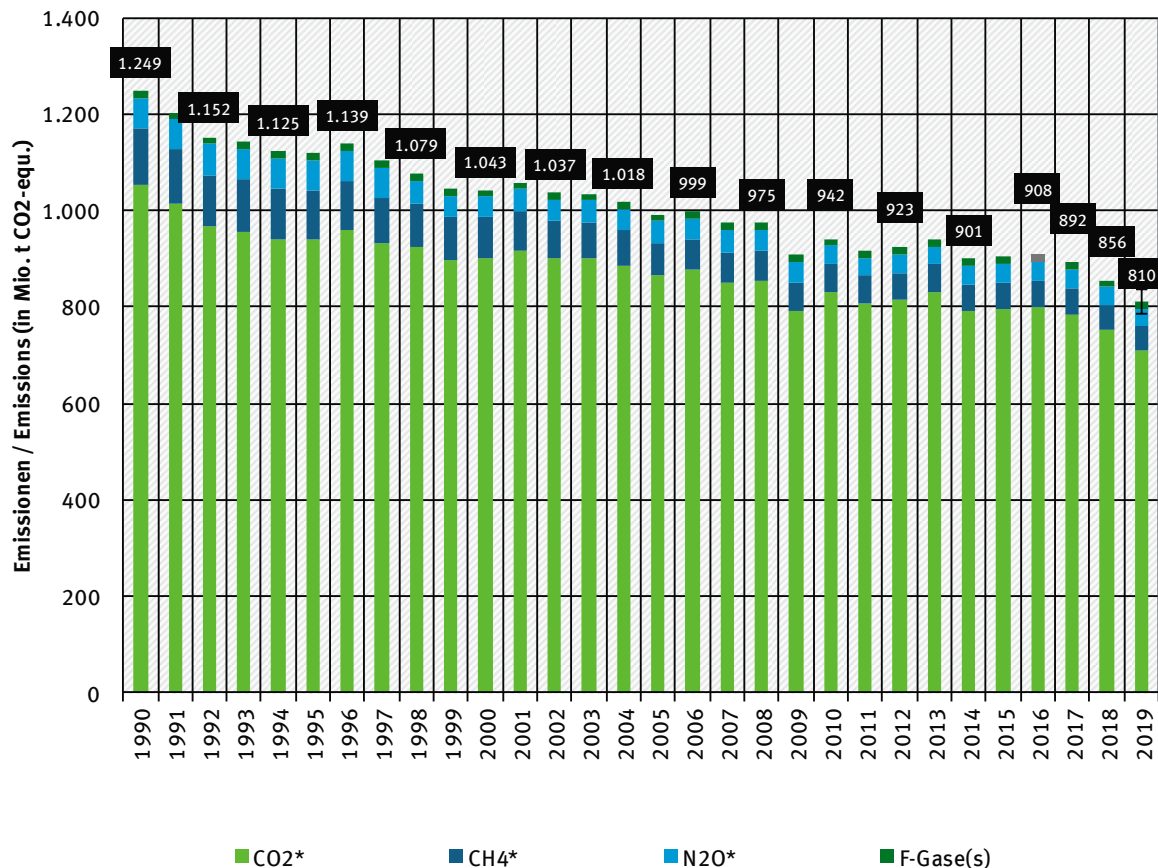
- Generelle Informationen zur Inventarermittlung im Zusammenhang mit der Berichterstattung nach Artikel 3 Absatz 3 sowie für die gewählten zusätzlichen Aktivitäten nach Artikel 3 Absatz 4 des Kyoto-Protokolls; (Siehe Kapitel 11)
- Informationen zu den Zertifikaten des Kyoto-Protokolls im Zusammenhang mit den Entscheidungen 13/CMP.1 und 5/CMP.1; (Siehe Kapitel 12)
- Informationen zu Änderungen des Nationalen Systems der Emissionsberichterstattung nach Artikel 5 Absatz 1 des Kyoto-Protokolls; (Siehe Kapitel 13)
- Informationen zu Änderungen des Nationalen Registers; (Siehe Kapitel 14)
- Informationen zur Minimierung negativer Einflüsse entsprechend Artikel 3 Absatz 14 des Kyoto-Protokolls; (Siehe Kapitel 15)

0.2 Zusammengefasste Emissionen von Treibhausgasen sowie deren Einbindung in Senken und Emissionen und Einbindungen aus KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.2)

0.2.1 Treibhausgas-Inventar (ES.2.1)

Im maßgeblichen Intervall von 2008 bis 2012 konnte die Verpflichtung Deutschlands im Rahmen der o.g. europäischen gegenüber den 2007⁷ festgelegten Basisjahremissionen in Höhe von 1.232.429,543 Gg CO₂-äquivalent voll erfüllt werden. Die Emissionen im Folgejahr 2013 sind gegenüber dem Vorjahr 2012 deutlich gestiegen, vor allem die kalte Winter-Witterung in 2013 führte zu diesem Anstieg. Die Emissionen der folgenden Jahre liegen wieder deutlich unter dem Niveau von 2013 und folgen weitestgehend der Konjunktorentwicklung und der Witterung (vgl. Kapitel 2.1).

⁷ Im Ergebnis der 2007 erfolgten Überprüfung des Initial Reports und der Berichterstattung des Jahres 2006 entsprechend Artikel 8 des Kyoto-Protokolls sind – unabhängig von weiteren möglichen Verbesserungen der Datengrundlagen – die Bezugsgrößen für die Erreichung der Minderungsverpflichtung des Kyoto-Protokolls festgelegt. Die Minderungsverpflichtung für Deutschland liegt gemäß den Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls und der EU-Lastenteilung (Ratsentscheidung 2002/358/EG) bei 21 %.

Abbildung 1: Entwicklung der Treibhausgase in Deutschland seit 1990, nach Treibhausgasen⁸,

* ohne LULUCF; Fehlerindikator 2018: Tier-2-Unsicherheiten

Die einzelnen Treibhausgase trugen dabei in unterschiedlichem Maße zu dieser Entwicklung bei (siehe Tabelle 1). Dies ist bei der Berücksichtigung der unterschiedlichen Anteile der einzelnen Treibhausgase an den Gesamtemissionen eines Jahres auch nicht verwunderlich (siehe Tabelle 2). Detaillierte Tabellen finden sich im Anhangkapitel 22.3.

Die Freisetzung von Kohlendioxid ist auch 2019 mit einem Anteil von 87,9 % Hauptverursacher der Treibhausgasemissionen. Diese stammten größtenteils aus der stationären und mobilen Verbrennung fossiler Energieträger. Durch den überdurchschnittlichen Rückgang der Emissionen der anderen Treibhausgase ist der relative Anteil der CO₂-Emissionen an den gesamten Treibhausgasemissionen seit 1990 um etwa 3,5 Prozentpunkte gestiegen. Die überwiegend durch Tierhaltung, Brennstoffverteilung und Deponiewirtschaft verursachten Methanemissionen (CH₄) hatten aktuell einen Anteil von 6,1 %. Lachgasemissionen (N₂O) wurden hauptsächlich durch die Landwirtschaft, Industrieprozesse und die Verbrennung fossiler Brennstoffe verursacht und trugen zu 4,3 % zu den Treibhausgasfreisetzungen bei. Die fluorierten Treibhausgase (die sogenannten F-Gase) trugen etwa 1,7 % zu den Gesamtemissionen bei, das neu berichtete Treibhausgas NF₃ ist dabei vernachlässigbar, die geringen Emissionen sind zudem teilweise vertraulich, so dass ein Teil an anderer Stelle berichtet werden muss. Die Verteilung der Treibhausgasemissionen in Deutschland ist typisch für ein hoch entwickeltes und industrialisiertes Land.

⁸ * ohne CO₂-Emissionen und Festlegungen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF).

Informationen zu den Trends finden sich in Kapitel 2, alle detaillierten Tabellen zur Trenddiskussion finden sich im Anhangkapitel 22.3.

Tabelle 1: Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie

Emissions Trends	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	(kt)													
CO ₂ emissions (without LULUCF)	1.052.477	938.968	899.852	866.697	832.949	809.217	813.985	831.454	792.588	795.610	800.687	785.883	754.112	711.428
Net CO ₂ emissions/removals	1.074.783	902.697	876.761	863.715	820.112	797.191	793.061	810.768	768.329	773.018	777.359	762.063	732.417	691.623
CH ₄ (without LULUCF)	117.807	103.447	86.739	67.889	57.608	56.513	57.237	56.564	55.395	55.094	53.793	53.168	51.359	49.271
CH ₄ (with LULUCF)	119.467	105.102	88.394	69.558	59.404	58.348	59.078	58.410	57.246	56.953	55.656	55.032	53.325	51.146
N ₂ O (without LULUCF)	64.897	61.048	42.727	43.760	37.002	37.117	37.502	37.738	38.599	38.432	38.238	37.607	35.808	35.122
N ₂ O (with LULUCF)	65.792	61.945	43.608	45.059	38.246	38.391	38.810	39.081	39.977	39.850	39.635	39.024	37.251	36.588
F-Gases sum (CO₂ equi.) 1995 base year	13.395	17.092	13.293	14.184	14.247	14.427	14.618	14.663	14.674	15.126	15.250	15.417	14.611	13.978
Total Emissions without LULUCF (CO₂ equi.)	1.248.577	1.120.555	1.042.612	992.530	941.805	917.274	923.342	940.420	901.255	904.262	907.968	892.076	855.890	809.799
Total Emissions/Removals with LULUCF (CO ₂ equi.)	1.273.439	1.086.836	1.022.056	992.515	932.008	908.357	905.567	922.922	880.226	884.946	887.900	871.536	837.605	793.335
Emission source and sink categories	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
	(kt)													
1. Energy	1.036.998	917.794	870.228	832.308	801.528	777.704	784.607	801.910	761.932	766.896	769.782	751.229	720.536	677.361
2. Industry	96.833	98.539	77.835	75.654	62.599	62.530	61.622	61.387	61.259	60.289	62.144	66.115	63.254	61.356
3. Agriculture	76.509	65.996	66.078	63.319	63.162	63.305	64.148	64.915	66.448	66.075	65.582	64.685	62.487	61.839
4. Land-Use Change and Forestry	24.862	-33.719	-20.556	-14	-9.797	-8.916	-17.775	-17.497	-21.029	-19.316	-20.068	-20.539	-18.286	-16.464
CO ₂ (net emissions)	22.307	-36.271	-23.091	-2.983	-12.838	-12.026	-20.924	-20.686	-24.259	-22.592	-23.328	-23.819	-21.694	-19.805
N ₂ O + CH ₄	2.555	2.552	2.535	2.968	3.040	3.110	3.149	3.189	3.230	3.276	3.260	3.280	3.408	3.341
5. Waste	38.235	38.226	28.471	21.248	14.516	13.735	12.965	12.208	11.616	11.002	10.460	10.046	9.613	9.243

Tabelle 2: Anteile an der Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie

GHG Emission Fractions	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	(%)													
CO ₂ emissions (without LULUCF)	84,29	83,79	86,31	87,32	88,44	88,22	88,16	88,41	87,94	87,98	88,18	88,10	88,11	87,85
CH ₄ (without LULUCF)	9,44	9,23	8,32	6,84	6,12	6,16	6,20	6,01	6,15	6,09	5,92	5,96	6,00	6,08
N ₂ O (without LULUCF)	5,20	5,45	4,10	4,41	3,93	4,05	4,06	4,01	4,28	4,25	4,21	4,22	4,18	4,34
F-gases sum	1,07	1,53	1,28	1,43	1,51	1,57	1,58	1,56	1,63	1,67	1,68	1,73	1,71	1,73
GHG Emission Fractions for Categories (without LULUCF)	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
	(%)													
1. Energy	83,05	81,91	83,47	83,86	85,11	84,78	84,97	85,27	84,54	84,81	84,78	84,21	84,19	83,65
2. Industry	7,76	8,79	7,47	7,62	6,65	6,82	6,67	6,53	6,80	6,67	6,84	7,41	7,39	7,58
3. Agriculture	6,13	5,89	6,34	6,38	6,71	6,90	6,95	6,90	7,37	7,31	7,22	7,25	7,30	7,64
5. Waste	3,06	3,41	2,73	2,14	1,54	1,50	1,40	1,30	1,29	1,22	1,15	1,13	1,12	1,14

* Informationen zur Gliederung des Common Reporting Format (CRF): <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1ri.pdf>

0.2.2 KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.2.2)

Unter Artikel 3.3 werden für das Jahr 2019 THG-Emissionen in Höhe von rund 1.061 kt CO₂-äquivalent verbucht.

Unter Artikel 3.4 werden die Aktivitäten Wald-, Acker- und Weidelandbewirtschaftung (Forest, Cropland and Grazingland Management) berichtet. Die Einbindungen für das Jahr 2019 entsprechen rund -25.808 kt CO₂-Äquivalenten.

0.3 Zusammengefasste Emissionsschätzungen und Trends der Quell- und Senkengruppen, inklusive KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.3)

0.3.1 Treibhausgas-Inventar (ES.3.1)

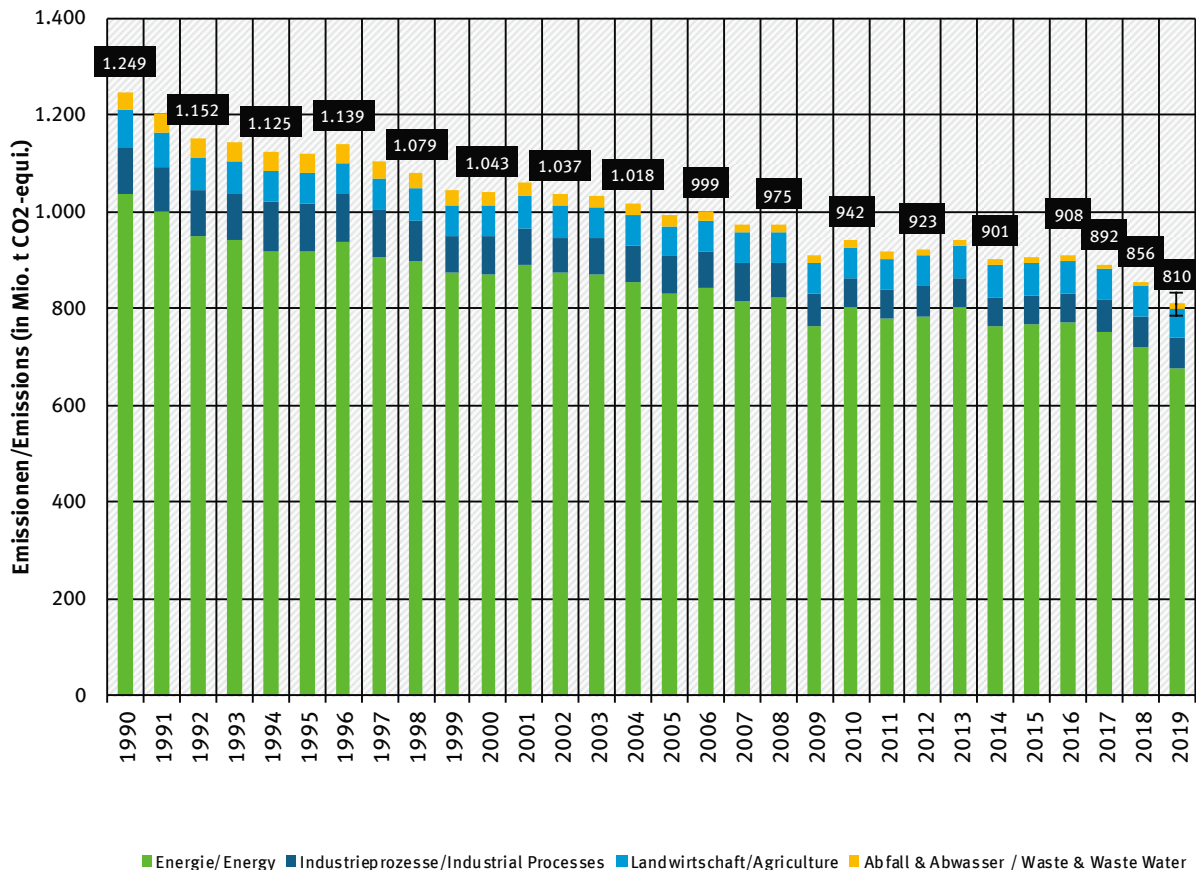
In Abbildung 2 ist der Beitrag der einzelnen Kategorien an den Gesamtemissionen der Treibhausgase dargestellt. Hier werden die weitgehend konstanten relativen Anteile der einzelnen Kategorien und die absolute Dominanz der energiebedingten Emissionen deutlich. Letztere nahmen absolut im zeitlichen Verlauf kontinuierlich ab. Diesen Trend überlagernde Variationen sind größtenteils temperaturbedingt. Unterschiedliche Temperaturverläufe insbesondere im Winter beeinflussen das Heizverhalten und damit den Energieverbrauch zur Erzeugung von Raumwärme, mit großen Auswirkungen auf den jährlichen Trend der energiebedingten CO₂-Emissionen.

Insgesamt gingen im Jahr 2019 die Emissionen der Treibhausgase gegenüber 1990 um 35,1 % zurück⁹. Betrachtungen der einzelnen Komponenten belegen diesen Trend in unterschiedlicher Ausprägung. Die Emissionsveränderungen betragen bei den mengenmäßigen Haupttreibhausgasen Kohlendioxid (CO₂) - 32,4 %, bei Methan (CH₄) - 58,2 % und bei Lachgas (N₂O) - 45,9 %. Bei den so genannten F-Gasen, die insgesamt etwa 1,7 % zu den Treibhausgasemissionen beitragen ist diese Entwicklung dagegen nicht ganz so einheitlich. In Abhängigkeit von der Einführung neuer Technologien sowie der Verwendung dieser Stoffe als Substitute sanken die Emissionen seit dem Basisjahr 1995 bei SF₆ und bei FKW, wohingegen sie bei den H-FKW anstiegen. In Summe sanken die Emissionen der F-Gase seit 1995 jedoch um 18,2 %.

Gegenüber dem Vorjahr 2018 sanken die Gesamtemissionen um 5,4 %, die stärkste Reduktion seit dem Wirtschaftskrisen-Jahr 2009. Die zu beobachtete Reduktion ist größtenteils auf die strukturellen Änderungen in der Energiewirtschaft, sowie witterungs- und preisbedingte Effekte zurückzuführen.

Darüber hinaus kam es 2019 zu einer weiteren Senkung der CO₂ Emissionen aus der Stromerzeugung. Auch der Einsatz an Stein- und Braunkohlen ging erneut zurück. Anstelle der Kohle wurde in den letzten Jahren vermehrt Erdgas zur Stromerzeugung eingesetzt, das geringere spezifische CO₂ Emissionen aufweist. Der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung stieg zudem deutlich.

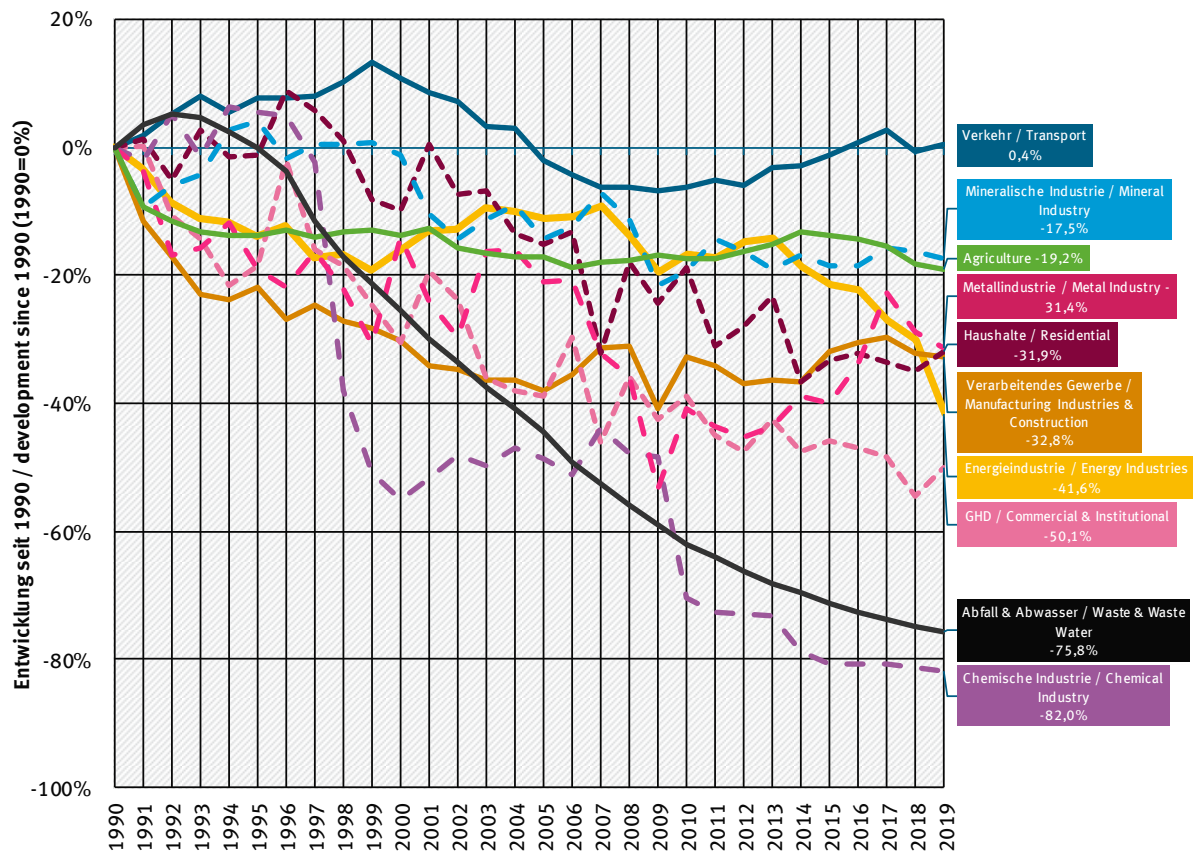
⁹ Alle Angaben ohne Berücksichtigung der Emissionen aus der Kategorie Landnutzung, Landnutzungsänderung & Forstwirtschaft (LULUCF)

Abbildung 2: Emissionsentwicklung in Deutschland seit 1990, nach Kategorien¹⁰,

Ohne LULUCF; Fehlerindikator 2018: Tier-2-Unsicherheiten

In Abbildung 3 wird die relative Entwicklung der Emissionen aus den Kategorien seit 1990 dargestellt. Die deutlichsten Minderungen traten hier bei der Chemischen Industrie sowie den Abfallemissionen auf. Insbesondere die emissionsmindernden Maßnahmen im Bereich der Adipinsäureproduktion 1997 und 2009 einen großen Effekt auf die Emissionen der Chemischen Industrie, ebenso wie die sinkenden Emissionen der Lösemittel- und Produktverwendung vor allem durch die zurückgehende Anwendung von N₂O zu Narkosezwecken. Im Bereich Abfall haben die Einführung eines verstärkten Recyclings von wiederverwertbaren Stoffen (Verpackungsverordnung) und die Verwertung als Kompost (Bioabfallverordnung) zu einem starken Rückgang der zu deponierenden Abfallmenge und damit zu einer kontinuierlichen Minderung der Deponieemissionen geführt. Die Entwicklung der Emissionen aus der Landwirtschaft folgt im Wesentlichen dem Verlauf der Tierbestandsangaben. Eine detaillierte Betrachtung der Emissionsentwicklung findet sich in Kapitel 2, Trends der Treibhausgase.

¹⁰ ohne CO₂-Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF).

Abbildung 3: Relative Entwicklung der Treibhausgasemissionen seit 1990 nach Kategorien¹¹

0.3.2 KP-LULUCF-Aktivitäten (ES.3.2)

Deutschland berichtet unter KP-LULUCF nach Artikel 3 Absatz 3 des Kyoto-Protokolls die Aktivitäten „Aufforstung“ und „Entwaldung“; sowie nach Artikel 3 Absatz 4 „Wald-, Ackerland- und Weidelandbewirtschaftung“. Berichtet werden die Treibhausgase Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas.

Unter Artikel 3.3 werden für das Jahr 2019 THG-Emissionen in Höhe von 1061 kt CO₂-äquivalent berichtet. Dieser Wert bildet die Summe aus der Einbindung durch die Aktivität „Aufforstung und Wiederaufforstung“ in Höhe von -582,45 kt CO₂-äquivalent und den Emissionen aus der „Entwaldung“ in Höhe von 1.643,14 kt CO₂-äquivalent. Die Emissionen unter „Aufforstung und Entwaldung“ setzen sich zusammen aus -631,22kt CO₂, 2,83 kt CO₂-äquivalent Methan und 45,94 kt CO₂-äquivalent Lachgas. Mit der vorliegenden Submission werden die Emissionen nach Artikel 3.3 des Kyoto-Protokolls erstmalig, über den gesamten Berichtszeitraum als Quelle ausgewiesen. Ursache hierfür ist eine Methodenkorrektur, die zu präziseren Emissionsfaktoren für die Waldbiomasse führte; besonders deutlich haben sich dadurch die Emissionsfaktoren für die Aktivität „Aufforstung“ geändert.

¹¹ Emissionen von Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft werden im entsprechenden Kapitel detailliert berichtet.

1 Einleitung

1.1 Hintergrundinformationen zu Treibhausgas-Inventaren, Klimawandel und ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert

1.1.1 Hintergrundinformationen zum Klimawandel

Klimawandel ist die Veränderung der durchschnittlichen Witterungsverhältnisse und der Extremereignisse über einen längeren Zeitraum in einem bestimmten Gebiet oder global.

Klimaänderungen können folgende Ursachen haben:

- Veränderungen so genannter geostrophischer Parameter wie Solarkonstante, Erdbahnelemente u.a.
- Veränderungen der Erdoberfläche
- Änderungen des Energiehaushaltes im System "Erdoberfläche und Atmosphäre"
- Änderungen des Stoffhaushaltes der Atmosphäre (wie die Änderungen der Treibhausgaskonzentration).

Treibhausgase, zu denen neben Kohlendioxid, Lachgas, Methan, Ozon und andere Gase insbesondere auch Wasserdampf, als das wichtigste natürliche Treibhausgas gehört, haben eine besondere Eigenschaft: sie lassen die von der Sonne (vor allem im sichtbaren, kurzwelligen Bereich) auf die Erde fallende, energiereiche Strahlung nahezu ungehindert passieren, absorbieren aber teilweise die im Gegenzug von der erwärmten Erde ausgehende langwellige Strahlung. Hierdurch werden sie in einen energetisch angeregten Zustand versetzt, um nach kurzer Zeit unter Aussendung infraroter Strahlung wieder in den ursprünglichen Grundzustand zurückzukehren. Die Aussendung von Wärmestrahlung erfolgt gleichwertig in alle Raumrichtungen, d.h. zu einem erheblichen Anteil auch zurück zur Erdoberfläche (*thermische Gegenstrahlung*). Damit diese zusätzlich zugeführte Energiemenge dennoch abgestrahlt werden kann (aus Gründen des dynamischen, energetischen Gleichgewichts, in dem sich Erde und Atmosphäre im Mittel befinden, muss dies erfolgen), muss die Erde eine entsprechend höhere Temperatur aufweisen. Dies ist eine vereinfachte Darstellung des Treibhauseffektes.

Ohne die natürlicherweise vorkommenden Treibhausgase wäre ein Leben auf unserem Planeten nicht möglich. Statt einer globalen Erdmitteltemperatur von ca. 15°C würde eine mittlere Temperatur von etwa -18°C auf der Erde herrschen. Der natürliche Treibhauseffekt sichert also unser irdisches Leben.

Seit Beginn der Industrialisierung hat der Mensch allerdings insbesondere durch seine energieintensive Lebensweise und die damit verbundenen Emissionen von Treibhausgasen deutliche Veränderungen im Stoffhaushalt der Atmosphäre hervorgerufen. Im Zeitraum 1750 bis 2019 stiegen die Konzentrationen von Kohlendioxid (CO₂) weltweit um ca. 48 %. Die gegenwärtige CO₂ Konzentration von etwa 410,5 ppm in der Atmosphäre ist, wie schon in den vorangegangenen Jahren, die höchste der letzten 800.000 Jahre. Die Konzentration von Methan (CH₄) in der Atmosphäre stieg im gleichen Zeitraum um Faktor 2,6 auf 1877 ppb, während die Konzentration von Distickstoffoxid (N₂O) um etwa 23 % auf 332 ppb gestiegen ist (World Meteorological Organization, 2020a)). Zum Teil gelangten völlig neue Stoffe wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), Halone, vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃) in die Atmosphäre, die in der Natur praktisch nicht vorkommen, sondern fast ausschließlich durch den Menschen erzeugt werden.

Treibhausgase sind so genannte Spurengase, aber ihre Wirkung ist erheblich. Durch ihre Konzentrationszunahme kommt es zum anthropogenen (durch den Menschen verursachten) Treibhauseffekt der eine Verstärkung des (natürlichen) Treibhauseffektes darstellt.

Der Fünfte Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC, 2015) bestätigt eindeutig, dass sich das Klima gegenwärtig ändert: Im gesamten Klimasystem finden seit Mitte des letzten Jahrhunderts vielfältige Veränderungen statt. Nicht nur die Temperatur der unteren Atmosphäre steigt, auch die Ozeane erwärmen sich, Gletscher tauen, Permafrostböden werden wärmer, Eisschilde verlieren an Masse, der Meeresspiegel steigt weiter an.

Umfassendere Beobachtungen, erweiterte Modelle und ein tiefergehendes Verständnis der Zusammenhänge zeigen: Die Aktivitäten des Menschen sind mit großer Sicherheit die Hauptursache des aktuellen Klimawandels.

Einige markante Beispiele der beobachteten Klimaänderungen sind:

- Die globale Mitteltemperatur in Bodennähe stieg gegenüber der Basisperiode 1850-1990 bis 2019 um 1,1 °C (World Meteorological Organization, 2020b). Jedes der drei vergangenen Jahrzehnte war wärmer als alle vorhergehenden seit 1850. In der Nordhemisphäre war die letzte 30-jährige Periode (von 1983 bis 2012) die wärmste seit 1.400 Jahren.
- 2016 war das bisher wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen in zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, dicht gefolgt von 2017 und 2015. Neun der zehn wärmsten Jahre, die bisher beobachtet wurden traten nach 2005 auf, davon die fünf wärmsten Jahre nach 2010 (World Meteorological Organization, 2018).
- Die Ozeane haben im Zeitraum 1971 bis 2010 mehr als 90 % der Energie, die dem Klimasystem zusätzlich zugeführt wurde, gespeichert. Die **oberen Wasserschichten** der Ozeane (0 bis 700 Meter) erwärmten sich im Zeitraum 1971 bis 2010 deutlich. In den oberen 75 Metern stieg die Temperatur von 1971 bis 2010 im Mittel um 0,11°C pro Dekade an. Wahrscheinlich hat sich der Ozean im Beobachtungszeitraum 1957 bis 2009 auch in **Wassertiefen zwischen 700 und 2.000 Metern** erwärmt. Für größere Wassertiefen liegen erst für den Zeitraum 1992 bis 2005 ausreichende Beobachtungen vor, die für Wassertiefen unterhalb von 3.000 Metern eine Erwärmung zeigen, die in den südlichen Ozeanen am stärksten ausgeprägt war. Der bisherige Rückgang der Gletscher setzte sich global bis auf wenige Ausnahmen fort und auch die polaren Eiskappen nahmen an Masse ab. Der durchschnittliche jährliche Massenverlust der **Gletscher** (hier ohne Berücksichtigung der Gletscher am Rande der großen Eisschilde) betrug weltweit für den Gesamtzeitraum 1971 bis 2009 etwa 226 Gigatonnen pro Jahr, wuchs jedoch in der jüngsten Zeit (1993 bis 2009) auf etwa 275 Gigatonnen pro Jahr an.
- Die Ausdehnung des **Arktischen Meereises** verringerte sich im Zeitraum 1979 bis 2012 um eine Rate von 3,5 bis 4,1 Prozent pro Dekade. Im Sommer-Minimum (September) belief sich der Rückgang sogar auf 9,4 bis 13,6 Prozent pro Dekade. Die Dauer der Schmelzperiode verlängerte sich in diesem Zeitraum um etwa 5,7 Tage pro Dekade und die Dicke der winterlichen Eisdecke des Nordpolarmeeres nahm um etwa 1,3 bis 2,3 Meter ab.
- Die **Schneebedeckung** nahm insbesondere im Frühling auf der Nordhalbkugel seit Mitte des 20. Jahrhunderts ab. Sie verringerte sich im Zeitraum 1967 bis 2012 in den Monaten März und April um durchschnittlich 1,6 Prozent pro Dekade und um 11,7 Prozent pro Dekade im Juni.

- Infolge der fortgesetzten Tauprozesse von Gletschern und Eisschilden und der Ausdehnung des erwärmten Ozeanwassers stieg der globale mittlere Meeresspiegel von 1901 bis 2010 um etwa 19 cm an. Der mittlere Anstieg betrug in dieser Zeit etwa 1,7 Millimeter pro Jahr. In den letzten 20 Jahren war dieser Wert mit ca. 3,2 Millimetern pro Jahr fast doppelt so groß.

Die Veränderung des Klimas hat weitreichende Auswirkungen auf ökologische und gesellschaftliche Systeme mit bedrohlichen Folgen.

Um gefährliche Auswirkungen des Klimawandels zu verhindern, darf eine globale Erwärmung von 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau (davon sind 1,1°C bereits erreicht ((World Meteorological Organization, 2020b))) nicht überschritten werden. Nur bei einem Szenario mit sehr ambitionierter Klimapolitik ist davon auszugehen, dass die Erwärmung auf unter 2 °C zu begrenzen ist.

Nach derzeitigem Stand der Forschung muss dazu bis spätestens 2020 der Höhepunkt der Treibhausgasemissionen erreicht und eine Trendwende herbeigeführt sein. Im weiteren Verlauf ist bis zum Jahr 2050 eine Minderung der globalen Emissionen um mindestens 50 % gegenüber dem Jahr 2000 dringend erforderlich.

1.1.2 Hintergrundinformationen zu den Treibhausgas-Inventaren

Die Staaten der Welt haben früh erkannt, dass aufgrund der zu erwartenden Temperaturänderungen Gefahren für die Ökosysteme und die menschliche Zivilisation drohen, weil diese Änderungen relativ schnell erfolgen und sich die bestehenden Systeme nicht so schnell ohne Schäden an die neuen Klimaverhältnisse anpassen können.

1992 wurde in Rio de Janeiro das Rahmenabkommen über Klimaänderungen (Klimarahmenkonvention) von fast allen Staaten der Welt verabschiedet. Seit 1994 müssen die in ANNEX I der Klimarahmenkonvention benannten Staaten jährlich zum 15. April ein Inventar der Treibhausgase an das Sekretariat der Klimarahmenkonvention übermitteln. Es sind Angaben zu den Emissionen und Senken des Basisjahres (1990 für CO₂, N₂O, CH₄; 1995 für HFKW, FKW, SF₆, NF₃) für alle Jahre bis zwei Jahre vor dem Jahr der Berichterstattung vorzulegen (UNFCCC, 2013b)).

Auf der dritten Vertragsstaatenkonferenz zur Klimarahmenkonvention in Kyoto wurden erstmals rechtsverbindliche Begrenzungs- und Reduktionsverpflichtungen für die im ANNEX I genannten Staaten festgelegt. In der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls mussten die Industrieländer ihre Emissionen der sechs Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF₆) im Zeitraum der Jahre 2008 bis 2012 um durchschnittlich 5,2 Prozent¹² vermindern. In der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls wurden die bisherigen Gase um das Gas Stickstofftrifluorid (NF₃) sowie sechs teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW-152, HFKW-161, HFKW-236cb, HFKW-236ea, HFKW-245fa, HFKW-365mfc) und zwei vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (c-C₃F₆, C₁₀F₁₈) erweitert.

Nach einer übernommenen Reduktionsverpflichtung um 8 % gegenüber dem Basisjahr in der ersten Verpflichtungsperiode, hat die Europäische Union im Rahmen der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls die Verpflichtung übernommen, ihre Treibhausgasemissionen bis 2020 gegenüber dem Basisjahr um 20 % zu mindern. Diese

¹² Die durchschnittliche Minderung von 5,2 ist ein rechnerischer Wert, der in der Anlage B des Kyoto-Protokolls eingetragenen Emissionsbegrenzungen und -minderungen der jeweiligen Vertragsparteien.

Verpflichtung wurde in der Europäischen Effort Sharing Decision¹³ zwischen den 28 Mitgliedsstaaten und der Europäischen Union aufgeteilt. Während die Emissionsminderungen der emissionshandelspflichtigen Teile der Inventare auf europäische Ebene umgesetzt werden, sind die Mitgliedsstaaten für Emissionsminderungen in den nicht-emissionshandelspflichtigen Teilen national verantwortlich. Deutschland ist hier zu einer Minderung seiner Emissionen auf 451,33 Mio. Tonnen CO₂-äquivalent verpflichtet.

Wie schon in der ersten Verpflichtungsperiode ist die Wirksamkeit und der Erfolg der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls hinsichtlich der Senkung von weltweiten Treibhausgasemissionen von zwei kritischen Faktoren abhängig: Ob die Vertragsstaaten sich an die Regeln des Protokolls halten und ihre Verpflichtungen erfüllen und ob die Emissionsdaten, die zur Erfüllungskontrolle genutzt werden, zuverlässig sind. Damit kommt der nationalen Berichterstattung und der anschließenden internationalen Überprüfung von Emissionsinventaren eine Schlüsselrolle zu.

1.1.3 Hintergrundinformationen zu ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert (KP NIR 1.1.3.)

Gemäß der Entscheidung 15/CMP.1 der 1. Vertragsstaatenkonferenz des Kyoto-Protokolls müssen alle im ANNEX I der Klimarahmenkonvention aufgeführten Staaten, die auch Mitgliedsstaaten des Kyoto-Protokolls sind, ab dem Jahr 2010 jährliche Inventare vorlegen, um die flexiblen Mechanismen nach Art. 6, 12 und 17 des Kyoto-Protokolls in Anspruch nehmen zu können.

Deutschland hat auf freiwilliger Basis bereits seit 2008 (NIR 2008) mit dieser Berichtspflicht begonnen und sich damit intensiv auf die verpflichtende Berichterstattung nach Art. 7 des Kyoto-Protokolls vorbereitet.

Die erste verpflichtende Berichterstattung 2010 (NIR 2010) wurde im September 2010 im Rahmen eines In-Country-Reviews detailliert überprüft. Die Anmerkungen des In-Country-Reviews 2010 wurden in einer Resubmission im November 2010 und mit den folgenden Berichterstattungen 2011 bis 2014 umgesetzt.

Die erste Berichterstattung unter der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls (NIR 2016) wurde ebenfalls im Rahmen eines In-Country-Reviews überprüft. Dessen Anmerkungen wurden beginnend mit einer Resubmission im November 2016 und den folgenden Berichterstattungen umgesetzt.

Mit der Vorlage des neunzehnten Nationalen Inventarberichtes (NIR 2021) legt Deutschland ebenso seinen dreizehnten Inventarbericht nach dem Kyoto-Protokoll, den sechsten unter der zweiten Verpflichtungsperiode, vor, der alle im Art. 7 geforderten Informationen enthält.

Informationen zu den Art. 3.3 und 3.4 des Kyoto-Protokolls (UNFCCC, 1998b) können in Kapitel 11 gefunden werden. Informationen zur Buchführung der Kyoto-Einheiten in der zweiten Verpflichtungsperiode werden in Kapitel 12 gegeben. Die Änderungen im Nationalen System werden in Kapitel 13 und die in den Nationalen Registern in Kapitel 14 beschrieben. Informationen zur Minimierung der negativen Einflüsse gemäß Art. 3 Abs. 14 des Kyoto-Protokolls enthält das Kapitel 15.

¹³ Entscheidung Nr. 406/2009/EC des Europäischen Parlaments und des Europäischen Rates vom 23.04.2009

1.2 Beschreibung der Institutionalisierung der Inventarerstellung, inklusive der rechtlichen und prozeduralen Festlegungen zur Planung, Erstellung und Management des Inventars

Die Entscheidung 24/CP.19 fordert alle Annex I Staaten zum Aufbau und Beschreibung nationaler institutioneller Festlegungen für die Erstellung von Treibhausgasinventaren auf. Vertragsparteien des Kyoto-Protokolls werden weiterhin durch Artikel 5.1 des *Kyoto-Protokolls* zum Aufbau Nationaler Systeme für die Erstellung von Treibhausgasinventaren aufgefordert, deren Anforderungen in den *Guidelines for National Systems* (UNFCCC Decision 19/CMP.1) spezifiziert sind. Das Nationale System für Deutschland erfüllt die Anforderungen beider Entscheidungen sowie der Europäischen Verordnung über ein System zum Monitoring und Berichterstattung von Treibhausgasen in der Europäischen Union und ihren Mitgliedsstaaten¹⁴

Das Nationale System dient dazu, die Inventarerstellung in Übereinstimmung mit den Prinzipien der Transparenz, Konsistenz, Vergleichbarkeit, Vollständigkeit und Genauigkeit sicherstellen. Dies wird durch die Anwendung der methodischen Vorschriften aus den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, durch ein ständiges Qualitätsmanagement und eine kontinuierliche Inventarverbesserung erreicht.

Ausgehend von einer Vereinbarung der Staatssekretäre der beteiligten Ministerien aus dem Jahre 2007 wurde die Institutionalisierung des Nationalen Systems bis zum Jahr 2011 aufgebaut. Dies geschah anfänglich durch die Einrichtung des nationalen Koordinierungsausschusses und einer Hausanordnung für das Umweltbundesamt. Später wurde die weitere Institutionalisierung vorwiegend durch den Abschluss von Vereinbarungen mit anderen Bundesinstitutionen bzw. mit Industrieverbänden und Einzelunternehmen komplettiert. In den Jahren 2013 und 2014 wurde das Nationale System an die Anforderungen der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls angepasst und erweitert.

Die anforderungskonforme Institutionalisierung und Funktionsweise des Nationalen Systems wurde von allen bisherigen internationalen Überprüfungen, darunter zwei In-Country Reviews in 2010 und 2016, bestätigt.

1.2.1 Übersicht über die institutionellen, rechtlichen und prozeduralen Festlegungen zur Erstellung der Treibhausgas-Inventare und ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert

Auf ministerieller Ebene ist das Nationale System federführend vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) durch eine Vereinbarung der Staatssekretäre der beteiligten Ressorts als Grundsatzpapier „Nationales System zur Emissionsberichterstattung“ vom 05.06.2007 etabliert. Mit der Einbeziehung der Bundesministerien für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL); für Wirtschaft und Energie (BMWi); für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI); des Innern, für Bau und Heimat (BMI); der Finanzen (BMF) und der Verteidigung (BMVg) werden alle wesentlichen Institutionen und Organisationen in die Erstellung der Emissionsinventare eingebunden, die einen fachlich hochwertigen Beitrag hierfür leisten können (siehe Kapitel 1.2.1.4). Im Grundsatzpapier wurden die Zuständigkeiten der Bundesministerien definiert und beschlossen das Nationale System auf bestehenden Datenströmen aufzubauen. Bei Fehlstellen in den Datenströmen sollen diese von den zuständigen Ressorts durch geeignete Aktivitäten geschlossen werden. Zur Begleitung des Prozesses der Berichterstattung richteten die beteiligten Ministerien einen Koordinierungsausschuss ein (siehe Kapitel 1.2.1.1).

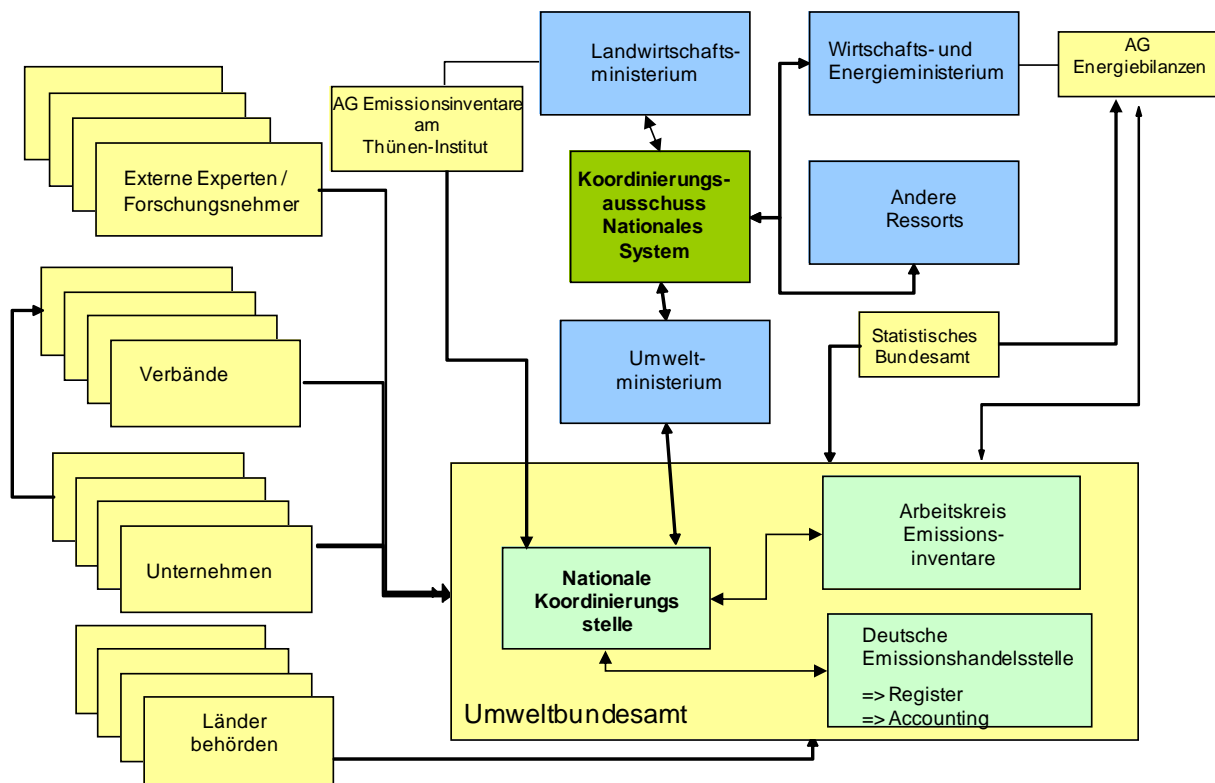
¹⁴ Verordnung (EU) Nr. 525/2013 des Europäischen Parlamentes und des Europäischen Rates vom 21.05.2013

Ebenfalls im Grundsatzpapier „Nationales System zur Emissionsberichterstattung“ wurde dem Umweltbundesamt die Aufgaben der Nationale Koordinierungsstelle für Deutschland übertragen. Im Umweltbundesamt wurde das Fachgebiet Emissionssituation mit der Wahrnehmung der Aufgaben betraut (siehe Kapitel 1.2.1.2). Die Nationale Koordinierungsstelle bindet auf der Ebene des Umweltbundesamtes andere Facheinheiten in das Nationale System ein und koordiniert die Beiträge der übrigen in die Emissionsberichterstattung eingebundenen Institutionen und Organisationen. Zur Koordinierung der Arbeiten innerhalb des Umweltbundesamtes wurde ein Arbeitskreis Emissionsinventare eingerichtet (siehe Kapitel 1.2.1.3). Zur Umsetzung der IPCC Richtlinien zur Qualitätskontrolle und -sicherung innerhalb des Umweltbundesamtes wurde im Jahre 2005 durch eine Hausanordnung ein Qualitätssystem Emissionen etabliert (siehe Kapitel 1.3.3.1.1).

Die folgende Abbildung 4 zeigt die Struktur der drei Ebenen des Nationalen Systems in Deutschland im Überblick.

Das Grundsatzpapier „Nationales System zur Emissionsberichterstattung“ vom 05.06.2007 ist in Anhangkapitel 22.1.1 zu finden.

Abbildung 4: Struktur des Nationalen Systems Emissionen (NaSE)



1.2.1.1 Der Nationale Koordinierungsausschuss

Der Staatssekretärsbeschluss vom 05.06.2007 legt in § 2 die Einrichtung eines Koordinierungsausschusses unter Federführung des BMU und Einbezug aller an der Emissionsberichterstattung beteiligten Bundesministerien fest.

Der Koordinierungsausschuss soll den Prozess der Emissionsberichterstattung begleiten und alle zu klärenden Fragen des Nationalen Systems erörtern. Insbesondere berät der Ausschuss Fehlstellen in den Datenströmen und klärt Zweifelsfragen zu Zuständigkeiten.

Des Weiteren entscheidet der Koordinierungsausschuss über die Freigabe der Inventare und der nach den Art. 5, 7 und 8 des Kyoto-Protokolls notwendigen Berichte.

Der Koordinierungsausschuss trat am 21.12.2007 erstmalig zusammen. Er tagt mindestens einmal jährlich auf Einladung des BMU. Zwischen den Sitzungen findet die Abstimmung zwischen den beteiligten Bundesministerien durch elektronische Kommunikation statt.

Der Koordinierungsausschuss ist auch in der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls ein fester Bestandteil des Nationalen Systems.

1.2.1.2 Koordinierungsstelle des Nationalen Systems

Das Umweltbundesamt (UBA) wurde durch das Grundsatzpapier der Staatssekretäre vom 05.06.2007 mit der Wahrnehmung der **Aufgaben der nationalen Koordinierungsstelle** zur Emissionsberichterstattung (Single National Entity) betraut. Die Hausanordnung 11/2005 des UBA hat das Fachgebiet Emissionssituation für die Wahrnehmung dieser Funktion festgelegt.

Zu den Aufgaben der Nationalen Koordinierungsstelle gehört die Planung, Erstellung, und Archivierung der Inventare und die Beschreibung dieser in den Inventarberichten sowie die Qualitätskontrolle und -sicherung bei allen relevanten Prozessschritten. Die Nationale Koordinierungsstelle dient als zentrale Anlaufstelle, koordiniert und informiert alle Teilnehmer des Nationalen Systems. Im Zeitraum 2003 bis 2007 hat die Koordinierungsstelle prioritär neue Datenquellen erschlossen. Seit 2008 liegt der Fokus auf der Verbesserung und langfristigen Sicherung vorhandener Datenquellen und der Aufrechterhaltung der **Institutionalisierung des Nationalen Systems**. In das *Nationale System* einzubindende Institutionen und Organisationen wurden identifiziert und sukzessive eingebunden (siehe Kapitel 1.2.1.4). In den Jahren 2014 - 2016 lag der Schwerpunkt auf der Umsetzung der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls und der Revised UNFCCC Reporting Guidelines in die Berichterstattung und im Nationalen System. Weitere wesentliche Arbeiten beziehen sich auf die Umsetzung des Qualitätssystems Emissionsinventare (siehe Kapitel 1.2.2).

Die Nationale Koordinierungsstelle hat zur Erfüllung ihrer Aufgaben zwei zentrale **Instrumente** entwickelt:

Die Datenbank *Zentrale System Emissionen* (ZSE) des Umweltbundesamtes ist die zentrale, nationale Datenbank zur Emissionsberechnung und -berichterstattung. Sie wird für die zentrale Datenhaltung aller für die Emissionsberechnung benötigten Informationen (Methoden, Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren) verwendet. Das ZSE ist das wesentliche Instrument für die Dokumentation und die Qualitätssicherung auf der Datenebene.

Das Qualitätssystem Emissionsinventare (QSE) schafft innerhalb und außerhalb des Umweltbundesamtes die erforderlichen Rahmenbedingungen für die Einhaltung einer guten Inventarpraxis und die Durchführung einer routinemäßigen Qualitätssicherung. Es wurde im Umweltbundesamt über die Hausanordnung 11/2005 im Jahr 2005 installiert und umfasst die notwendigen Prozesse, um eine kontinuierliche Qualitätsverbesserung der Treibhausgasemissionsinventare zu ermöglichen. Hierzu gehört die Festlegung der Verantwortlichkeiten sowie der Qualitätsziele hinsichtlich der Methodenwahl, der Datengewinnung, der Berechnung von Emissionen und der Unsicherheitsbestimmung und die Erfassung der durchgeführten Qualitätsprüfungen sowie deren Ergebnisse (Bestätigung der Zielerreichung oder bei Nichterreichung von Zielen Benennung der geplanten Maßnahmen zur zukünftigen Abhilfe). Zur Umsetzung der kontinuierlichen Qualitätsverbesserung im Rahmen des QSE dient eine Datenbank. Hierin werden alle tabellarischen Dokumente der nationalen QK/QS vorgehalten (QK/QS-Plan, Checklisten, Listen über Verantwortlichkeiten etc.).

Die Verfahren der Qualitätskontrolle sind unter besonderer Berücksichtigung der Arbeitsstrukturen des UBA, unter generellen Gesichtspunkten der Qualitätssicherung und nach den *IPCC Good Practice Guidance* unter Einbindung externer Experten entwickelt worden. Für die

zweite Verpflichtungsperiode wurden die Verfahren der Qualitätskontrolle an die Anforderungen der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories angepasst.

Seit 2008 ist durch die Einbeziehung weiterer Behörden, Institutionen und Inventarexperten in das Qualitätsmanagement über die Vorgabe von Mindestanforderungen an die Datendokumentation, QK/QS und Archivierung das QSE auf das gesamte Nationale System erweitert worden. Das Verfahren erlaubt es anderen Organisationen, auf Ihren vorhandenen Strukturen aufbauend eigene hausspezifische Systeme zur Qualitätssicherung zu entwickeln. Das QSE ist in Kapitel 1.3.3 ausführlich beschrieben.

1.2.1.3 Arbeitskreis Emissionsinventare im Umweltbundsamt

Wesentliche Zuarbeiten zu den Inventaren – insbesondere zu den Emissionsfaktoren – erhält die Nationale Koordinierungsstelle aus anderen Arbeitseinheiten des Umweltbundesamtes und den an der Inventarerstellung beteiligten Thünen-Instituten. Die datenseitige Einbindung von Verbänden, Unternehmen und anderen unabhängigen Organisationen in das Nationale System erfolgt ebenfalls in erster Linie über die für konkrete Fragestellungen zuständigen Facheinheiten des Umweltbundesamtes.

Für die Koordinierung der Arbeiten innerhalb des Umweltbundesamtes wurde im Jahr 2003 ein *Arbeitskreis Emissionsinventare* eingerichtet, über den seither alle an der Inventarerstellung beteiligten Experten eingebunden werden.

Die Nationale Koordinierungsstelle lädt mindestens einmal jährlich zu Sitzungen des Arbeitskreises ein. Weiterhin finden zur Erörterung spezifischer Fragestellungen und zur ggf. erforderlichen Festlegungen von Hauslösungen Treffen der betroffenen Mitglieder des Arbeitskreises statt.

Die Bereitstellung notwendiger Informationen erfolgt neben den Veranstaltungen des Arbeitskreises auch über ein Intranetangebot der Nationalen Koordinierungsstelle zur Emissionsberichterstattung und jeweils einen von der Nationalen Koordinierungsstelle erstellten Newsletter zum Nationalen System und zur Datenbank Zentrales Systems Emissionen (ZSE).

1.2.1.4 Zusammenarbeit der Nationalen Koordinierungsstelle mit anderen Bundesinstitutionen und Nichtregierungsorganisationen im Rahmen des Nationalen Systems

Durch das Grundsatzpapier „Nationales System zur Emissionsberichterstattung“ vom 05.06.2007 haben die beteiligten Bundesministerien ihre Zuständigkeiten für die Quell- und Senkengruppen in der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls geregelt.

Weiterhin legt der Beschluss fest, dass auftretende Datenlücken, die in den Zuständigkeitsbereich der benannten Bundesministerien fallen, durch geeignete Aktivitäten dieser Ministerien geschlossen werden sollen. Dies erfolgt, soweit notwendig, in Form der Bereitstellung von vorhandenen Daten bzw. Berechnungen oder gegebenenfalls durch die gesicherte Bereitstellung der erforderlichen Daten durch Dritte.

Diese Regelungen behalten auch in der zweiten Verpflichtungsperiode ihre Gültigkeit.

Für einige Datenströme anderer Bundeseinrichtungen zur Nationalen Koordinierungsstelle sind spezielle Vereinbarungen zwischen der jeweiligen Einrichtung und der Nationalen Koordinierungsstelle getroffen worden.

So wurde im Jahr 2009 für die **Datenlieferung des Statistischen Bundesamtes** zur Emissionsberichterstattung im Rahmen eines Artikelgesetzes (3. Mittelstandsentlastungsgesetzes, MEG 3) eine gesetzliche Regelung u.a. für das

Energiestatistikgesetz (EnStatG) getroffen, die nach der Novellierung des EnStatG im Jahr 2017 Bestand in § 13 (2) Eingang gefunden hat. Die Regelungen des MEG 3 ermöglichen die Bereitstellung von Daten der Energie-, Umwelt- und Produktionsstatistik für die Emissionsberichterstattung, die der statistischen Geheimhaltung unterliegen. Auf dieser Grundlage trat am 13. Januar 2010 eine Verwaltungsvereinbarung zwischen dem Umweltbundesamt und dem *Statistischen Bundesamt* in Kraft, die die Datenlieferungen für die Emissionsberichterstattung spezifiziert. Die Vereinbarung sieht eine jährliche Überprüfung des Datenbedarfs des Umweltbundesamtes vor. Darüber hinaus wurde ein direkter Austausch zwischen der Nationalen Koordinierungsstelle und dem Statistischen Bundesamt zu Fragen der Emissionsberichterstattung institutionalisiert.

Durch das Grundsatzpapier „Nationales System zur Emissionsberichterstattung“ wurde die Zuständigkeit für den Bereich Landwirtschaft und den Bereich LULUCF dem BMEL übertragen. Das BMEL hat seinen nachgeordneten Bereich mit der Durchführung der für die Emissionsberichterstattung erforderlichen Aufgaben beauftragt. Dies geschah mit Erlass vom 29.08.2007 an die damalige Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Nach der zum 01.08.2008 erfolgten Umstrukturierung des Geschäftsbereiches werden diese Aufgaben nun vom **Thünen – Institut (TI)** durchgeführt. Zu den Aufgaben gehören alle Arbeiten aus dem Bereich der Land- und Forstwirtschaft, die zur Sicherstellung der jährlichen Emissionsinventare erforderlich sind, einschließlich der Abfassung des Berichtes. Das TI übersendet Daten und Bericht an die Nationale Koordinierungsstelle. Die Erstellung der Emissions- und Kohlenstoffinventare der Quell- und Senkengruppen 3 und 4 (Land- und Forstwirtschaft), sowie für KP-LULUCF (Art. 3.3. und 3.4 KP), inklusive des Qualitätssicherungskonzepts wurde von BMEL und TI in einem Konzept (BMELV, 2016) kodifiziert, das alle Prozesse und Akteure und deren Rollen benennt und spezifiziert.

Weiterhin hat das TI am 13. Februar 2008 eine Vereinbarung mit dem Statistischen Bundesamt zur Bereitstellung von Emissionsdaten auf Basis der landwirtschaftlichen Statistiken abgeschlossen. Seit dem 07.07.2009 besteht eine Forschungs- und Entwicklungs-Zusammenarbeit zwischen dem TI und dem *Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)*, die die benötigten Zuarbeiten durch das KTBL für die Emissionsberichterstattung regelt.

Als Schnittstelle zur Nationalen Koordinierungsstelle im UBA wurde eine Arbeitsgruppe Emissionsberichterstattung am TI eingerichtet, die auch die Zuständigkeit für Planung und QK/QS für die Kategorien CRF 3 und CRF 4 inne hat.

Die Koordination der Arbeitsgruppe Emissionsberichterstattung obliegt im TI dem Institut für Agrarklimaschutz (AK). Die Berichterstattung für Landwirtschaft und LULUCF obliegt dem selbigen Institut, während die Berichterstattung für Wald unter der Konvention und Artikel 3.3 und 3.4 unter dem Kyoto Protokoll dem TI für Waldökosysteme untergestellt ist. Das TI für Holzforschung hat ab der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls die Zuständigkeit für die Berichterstattung der Emissionen aus Holzwirtschaftsprodukten (HWP).

Die Einbindung der Arbeitsgruppe Emissionsberichterstattung am TI in das Nationale System erfolgt über die direkte (ressortübergreifende) Integration der Arbeitsgruppe in die Kommunikationsstrukturen der Nationalen Koordinierungsstelle. Die Arbeitsgruppe am TI ist ebenso Bestandteil des Arbeitskreises Emissionsinventare (AKEI) im Umweltbundesamt und ist vollständig in das QSE der Nationalen Koordinierungsstelle integriert.

Mindestens zweimal jährlich finden zusätzliche Koordinationstreffen zwischen der Arbeitsgruppe am TI und der Nationalen Koordinierungsstelle zur Abstimmung und Information bspw. zu Inventarverbesserungen und Forschungsprojekten statt.

Die **Einbindung von Wirtschaftsverbänden, Unternehmen** und anderen unabhängigen Organisationen erfolgt in erster Linie über die für konkrete Fragestellungen zuständigen Facheinheiten des Fachbereichs I, III und V aus dem Umweltbundesamt. Die *Nationale Koordinierungsstelle* leistet den Facheinheiten bei der Diskussion von Berichtsanforderungen und der Bestimmung von erforderlichen Datenflüssen mit den Verbänden Unterstützung. Die Datenströme werden kontinuierlich von der Nationalen Koordinierungsstelle überprüft und soweit nötig durch geeignete Vereinbarungen der Nationalen Koordinierungsstelle mit Verbänden bzw. Unternehmen aktualisiert und abgesichert.

Die **Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB)** ist vertraglich durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) zur Bereitstellung der Energiebilanzen verpflichtet. Ein abgestimmter Zeitplan sichert die rechtzeitige Erstellung einer vorläufigen Energiebilanz für das letzte Berichtsjahr und ihre Übermittlung zum 31. Juli eines jeden Jahres an das Umweltbundesamt für die Inventarerstellung. Eine Übermittlung der endgültigen Energiebilanz bis zum 28. Februar des Jahres $x+2$ wird angestrebt. Der aktuelle Vertrag endet im Jahr 2022 mit der Erstellung der endgültigen Energiebilanz 2020. Beginnend mit der vorläufigen Energiebilanz 2018 ist die Verantwortung für die Bereitstellung der Daten zu den Erneuerbaren Energien im Jahr 2019 an die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) übergegangen.

Für die **Einbeziehung von nicht behördlichen Einrichtungen in das Nationale System** wurde im Jahr 2008 eine Mustervereinbarung entworfen, über die relevante Akteure verbindlich in die Erstellung der Inventare eingebunden werden. Die Mustervereinbarung wird an die Erfordernisse und Bedürfnisse der jeweiligen Datenlieferanten angepasst. Im Juli 2009 haben das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und das Umweltbundesamt mit dem Verband der Chemischen Industrie (VCI) und den deutschen Produzenten eine Vereinbarung zur Datenbereitstellung in den Kategorien Ammoniak (2.B.1) und Salpetersäure (2.B.2) abgeschlossen, die im Frühsommer 2014 an die Erfordernisse der Revised UNFCCC Reporting Guidelines und der 2006 IPCC Guidelines angepasst wurde. Ebenso konnten 2009 mit den in Deutschland ansässigen Produzenten von Adipinsäure (2.B.3) Vereinbarungen zur Datenbereitstellung erzielt werden. Weiterhin wurde eine Verbändevereinbarung mit dem Industrieverband Bitumen Dach- und Dichtungsbahnen (vdd) in der Kategorie Bitumen für Dachbahnen (2.D.3.c) abgeschlossen. Auf Basis dieser Vereinbarungen erfolgt seit 2009 die Datenbereitstellung in den genannten Kategorien für die Emissionsberichterstattung. Im Juni 2011 hat die Nationale Koordinierungsstelle mit Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie als zuständiges Ressort eine Kooperationsvereinbarung mit der Wirtschaftsvereinigung Stahl geschlossen. Diese Vereinbarung wurde erforderlich, da zum 31.12.2009 das Statistische Bundesamt aufgrund des Auslaufens der entsprechenden gesetzlichen Grundlage (Rohstoffstatistikgesetz) die Datenerhebung und Veröffentlichung der Fachserie 4 Reihe 8.1 (Eisen- und Stahlstatistik) eingestellt hat. Damit traten in der Verfügbarkeit der Berechnungsgrundlagen für diesen Bereich ein deutlicher Rückschritt und eine erhebliche Fehlstelle in den Datenströmen ein, die durch die neue Kooperationsvereinbarung gelöst werden konnte. Die Kooperationsvereinbarung stellt neben der Datenlieferung der Mitgliedsunternehmen auch die der Nicht-Mitglieder sicher.

Am 31.12.2010 lief die Selbstverpflichtung der Halbleiterproduzenten mit Produktionsstätten in Deutschland, die auch die Grundlage für die Datenbereitstellung für die Kategorie 2.F.6 bildet, aus. Die Nationale Koordinierungsstelle hat im August 2012 zur Schließung einer potentiellen Datenlücke eine Kooperationsvereinbarung mit dem Fachverband Electronic Components and Systems (ECS) im Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) zur langfristigen Sicherung der Datenlieferung an das UBA für die Kategorie 2.E.1 abgeschlossen.

Diese Vereinbarungen haben zu einer langfristigen Sicherung der Datenbereitstellung und einer erheblichen Verbesserung der Datenqualität in den betreffenden Kategorien geführt.

1.2.1.5 Verbindlicher Terminplan im Rahmen des Nationalen Systems

Der verbindliche Zeitplan für die Erstellung der Emissionsinventare und des NIR wird allen internen und externen Akteuren über die Intranet-Seite des UBA und durch Veröffentlichung im NIR bekannt gemacht. Die nachfolgenden Termine können kalenderbedingt um 1-2 Tage variieren:

15. Mai	Anforderung zur Daten und Berichtstextlieferung durch die Nationale Koordinierungsstelle im UBA an die Fachverantwortlichen
31. Juli	Zulieferung der Energiedaten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, der statistischen Daten des Statistischen Bundesamtes und der Daten aus den Vereinbarungen mit Verbänden und Unternehmen, die Grundlage für weiterführende Berechnungen sind
bis 01. September	Zulieferungen fertiger Inventardaten aus dem UBA und externer Einrichtungen des NaSE
ab 02. September	Validierung / Rücksprachen der Zulieferungen der Fach- und Qualitätsverantwortlichen unter Berücksichtigung der Überprüfungsergebnisse
bis 01. Oktober	Erste Emissionsberechnungen und Erstellung der nationalen Trendtabellen, Endredaktion durch die Nationale Koordinierungsstelle im UBA
06 November	Hausabstimmung UBA
ab 17. November	Abschließende Qualitätssicherung durch QSE-, ZSE- und NIR-Koordinator
25. November	Bericht der Nationalen Koordinierungsstelle zur Einleitung der Ressortabstimmung für die Emissionsdaten und den Nationalen Inventarbericht an das BMUB
bis 20. Dezember	Freigabe durch Ressortabstimmung (Einleitung durch BMUB)
ab 02. Januar	Endredaktion durch die Nationale Koordinierungsstelle im UBA
15. Januar	Bericht (CRF und bestimmte Teile des NIR) an die Europäische Kommission (im Rahmen des CO ₂ Monitoring Mechanismus) und die Europäische Umweltagentur
15. März	Bericht (korrigierte CRF und vollständiger NIR) an die Europäische Kommission (im Rahmen des CO ₂ Monitoring Mechanismus) und die Europäische Umweltagentur
15. April	Bericht an das Klimasekretariat
Mai	Initial Check durch das Klimasekretariat
Juni	Synthesis and Assessment Report I (durch das VN-Klimasekretariat)
August	Synthesis and Assessment Report II (länderspezifisch; durch das VN-Klimasekretariat)
September - Oktober	Inventarüberprüfung durch das Klimasekretariat

1.2.2 Übersicht über die Inventarplanung

Die Expertise von *Forschungseinrichtungen* wird über die Durchführung von Forschungsprojekten im Rahmen des Ressortforschungsplans (ReFoPlan) in die Inventarerstellung eingebunden. Dies erfolgt über die Bearbeitung konkreter Fragestellungen und durch übergreifende Vorhaben. In den Forschungsplänen 2002-2009 verfügte die Nationale

Koordinierungsstelle für die Initiierung von Maßnahmen zur kontinuierlichen Inventarverbesserung jeweils über ein Globalvorhaben *Methodenaktualisierung für die Emissionsberechnung*. In den Jahren 2010 und 2011 wurden Maßnahmen zur kontinuierlichen Inventarverbesserung komplett aus dem Haushaltstitel für Sachverständigenleistungen finanziert. Dazu wurden der Nationalen Koordinierungsstelle für die Emissionsberichterstattung durch das Umweltbundesamt aus dem Haushaltstitel für Sachverständigenleistungen (Titel 526 02, Kapitel 1605) ab dem Jahr 2005 zusätzlich zu den Forschungsmitteln aus dem Ressortforschungsplan Mittel für kurzfristige Aufträge zur Inventarverbesserung in Zuständigkeit des Amtes zugesichert. Seit 2012 kann die Nationale Koordinierungsstelle Forschungsfragen im Rahmen der Emissionsberichterstattung wieder aus dem Ressortforschungsplan finanzieren. Weiterhin steht aber auch der Haushaltstitel für Sachverständigenleistungen zur Verfügung.

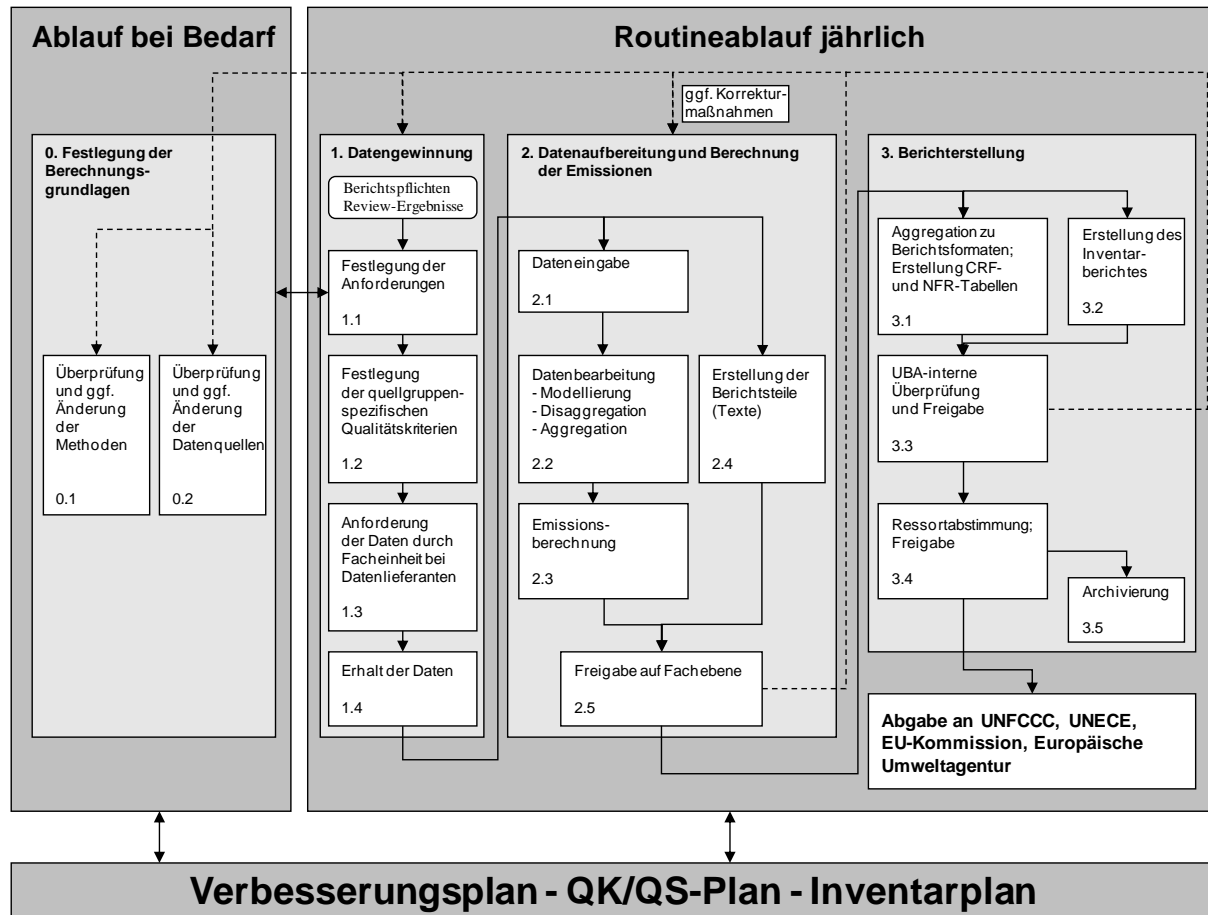
1.2.3 Übersicht der Inventarerstellung und –management, inklusive der ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert

Bei der Emissionsberichterstattung handelt es sich um einen regelmäßig jährlich ablaufenden Vorgang, der allerdings, da dezentral und von verschiedenen Personen durchgeführt, für verschiedene Teile des Inventars unterschiedlich sein kann. Vor der Einführung des QSE (im Jahre 2005) wurde dieser Prozess daher intensiv untersucht und analysiert. Im Ergebnis unterscheidet das QSE im Gesamtprozess der Emissionsberichterstattung die folgenden Hauptprozesse, die in Kapitel 1.3.2 näher erläutert werden:

- Festlegung der Berechnungsgrundlagen,
- Datengewinnung,
- Datenaufbereitung und Emissionsberechnung sowie die
- Berichterstellung.

Die Hauptprozesse untergliedern sich in Teilprozesse gemäß Abbildung 5.

Abbildung 5: Übersicht über den Prozess der Emissionsberichterstattung



Es hat sich gezeigt, dass sich der Ablauf der Inventarplanung und -erstellung auf die Qualität der Inventare auswirken kann. Die Reihenfolge des Vorgehens ist somit nicht unwesentlich für die Inventarqualität. Der Prozess der Inventarerstellung erfolgt auch aus diesem Grund in enger Verzahnung mit der Durchführung von Maßnahmen der Qualitätskontrolle und -sicherung. Jedem Teilprozess wurden hierfür geeignete QK/QS-Maßnahmen zugewiesen, um bei der Qualitätsprüfung nicht nur die Endqualität der Inventardaten sicherzustellen, sondern diese bereits auf dem Wege dorthin zu gewährleisten. Auf diese Weise können auch periodische interne Evaluationen des Prozesses der Inventarerstellung nach Paragraph 26 der *Reporting Guidelines* (24/CP.19) durchgeführt werden.

Der Ablauf inklusive der QK/QS-Maßnahmen deckt die Anforderungen des Paragraphen 21 (b) der *Reporting Guidelines* (24/CP.19) an die Inventarerstellung ab.

Der Ablauf der Inventarerstellung ist detailliert im Kapitel 1.3 beschrieben.

1.3 Inventarerstellung

Die Inventarerstellung folgt, wie in der Übersicht in Kapitel 1.2.3 dargestellt, einem regelmäßigen, jährlich ablaufenden Schema. Die Prozesse zur Treibhausgas-Inventarerstellung, zur Erstellung des KP-LULUCF-Inventars und des Nationalen Inventarberichtes und der Durchführung von Maßnahmen der Qualitätskontrolle und -sicherung sind sehr eng miteinander verknüpft.

Grundsätzlich ist zwischen den vorgelagerten Abläufen bei der Inventarerstellung (siehe Kapitel 1.3.1.1) der Festlegung der Berechnungsgrundlagen (siehe Kapitel 1.3.2.1), der Sammlung,

Verarbeitung und Speicherung von Daten (siehe Kapitel 1.3.2) und der Qualitätskontrolle und -sicherung (siehe Kapitel 1.3.3) zu unterscheiden.

1.3.1 Treibhausgas- und KP-LULUCF-Inventar

Die vorgelagerten Abläufe der Inventarerstellung und die Festlegung der Berechnungsgrundlagen sind für die Treibhausgas-Inventare und das KP-LULUCF-Inventar identisch.

1.3.1.1 Vorgelagerte Abläufe

Unabhängig von den in Abbildung 5 dargestellten Teilprozessen der Emissionsberichterstattung bestehen vorgelagerte Abläufe, die jeweils zwischen zwei Zyklen der Emissionsberichterstattung durchgeführt werden.

Als vorgelagerte Abläufe werden die folgenden Teilprozesse gezählt:

- kontinuierliche Überprüfung und Sicherstellung der Datenströme von den Datenlieferanten zum Umweltbundesamt durch die Verbesserung der Institutionalisierung des Nationalen Systems;
- Umsetzung von Verbesserungen in der Inventarplanung und Inventarerstellung;
- die Bestimmung der Hauptkategorien (gemäß Methode 1 nach Kapitel 4.3.1, Vol. 1 der 2006 IPCC GL);
- die Berechnung und Aggregation der Unsicherheiten der Emissionen mittels Monte Carlo Simulation (gemäß Approach 1- oder Approach 2-Verfahren nach den *IPCC Good Practice Guidance*);
- die erweiterte Bestimmung der Hauptkategorien mittels Monte Carlo Simulation (gemäß Methode 2 nach Kapitel 4.3.2, Vol. 1 der 2006 IPCC GL).

1.3.1.1.1 Verbesserung des Nationalen Systems

Durch die Form der Etablierung des Nationalen Systems, die insbesondere auf bestehenden Datenströmen aufbaut und bei fehlender langfristiger Absicherung der Datenbereitstellung geeignete Maßnahmen zur Absicherung vorsieht (siehe Kapitel 1.2.1.2), ist eine stetige Überprüfung der Datenströme zwischen zwei Zyklen der Berichterstattung nötig.

Bei auslaufenden Selbstverpflichtungen sind Gespräche mit den Datenlieferanten über deren Verlängerung bzw. Überführung in eine Kooperationsvereinbarung zu führen. Nicht abgesicherte Datenströme sind mit verbindlichen Zusagen oder Kooperationsvereinbarungen zu unterlegen. Im Zweifelsfall sind gesetzliche Regelungen zur Datenbereitstellung zu prüfen und umzusetzen.

Bestehende Vereinbarungen müssen ggf. an neue Gegebenheiten und Berichterstattungserfordernisse (z.B. Wechsel des Berichterstattungsverfahrens) angepasst werden. Damit wird zu einer stetig hohen Qualität des Nationalen Systems und der Inventarerstellung beigetragen.

Veränderungen und Verbesserungen im Nationalen System im aktuellen Berichterstattungszyklus sind im Kapitel 13 beschrieben.

1.3.1.1.2 Umsetzung von Verbesserungen in der Inventarplanung und Inventarerstellung

Das Qualitätssystem dient sowohl der Gewährleistung einer hohen Inventarqualität, als auch der stetigen Inventarverbesserung und Verbesserung der Inventarplanung.

Erkannte Verbesserungsnotwendigkeiten aus der zurückliegenden Qualitätskontrolle und -sicherung, zurückliegende Review-Ergebnisse und im NIR ausgewiesene geplante

Verbesserungen werden wenn möglich jeweils zwischen den Berichterstattungszyklen umgesetzt.

Eine detaillierte Beschreibung der Prozeduren zur Qualitätskontrolle und -sicherung ist im Kapitel 1.6 zu finden. Die in den Kategorien erzielten Verbesserungen dieser Berichterstattung sind in den jeweiligen Kategorien-Kapiteln zu finden.

1.3.1.1.3 Bestimmung der Hauptkategorien (gemäß Tier 1-Verfahren)

Um die für die Inventarerstellung und -verbesserung notwendigen, vielfältigen und detaillierten Aktivitäten und Kapazitäten auf die wesentlichen Kategorien der Inventare konzentrieren zu können, wurde durch IPCC die Definition einer Hauptkategorie eingeführt. Als solche werden Quell- bzw. Senkengruppen bezeichnet, die im nationalen Inventar herausgehoben sind, da ihre Emissionen bzw. Einbindungen einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtemission der direkten Treibhausgase haben, entweder in der absoluten Höhe der Emissionen, im Beitrag zum zeitlichen Emissionstrend, ihrer Unsicherheiten oder aufgrund ihrer Einschätzung als relevante Quelle durch einen Experten.

Die Bestimmung der Hauptkategorien wird von der Nationalen Koordinierungsstelle einmal jährlich vor dem Durchlaufen des Prozesses der Emissionsberichterstattung durchgeführt. Die Ergebnisse werden im Rahmen der Berichterstattung für das Jahr x berichtet, können aber erst bei der Inventarerstellung für das Jahr x+1 fachlich berücksichtigt werden. Die Zugehörigkeit zu den Hauptkategorien dient als Kriterium dafür, welche Berechnungsmethode (Tier-Ansatz) und in Folge dessen welcher Detaillierungsgrad bei der Emissionsmodellierung für die Kategorie angewandt werden muss. Darüber hinaus wird das Ergebnis der Bestimmung der Hauptkategorien zur Ermittlung von Kategorien mit prioritärem Handlungsbedarf bei der Inventarverbesserung genutzt.

In der 2000 *IPCC Good Practice Guidance* (Vol. 1, Ch. 4) sind die für die Bestimmung der Hauptkategorien anzuwendenden Methoden festgelegt. Diese ermöglichen es, durch die Analyse des Inventars für ein Jahr im Hinblick auf die Emissionshöhe der einzelnen Kategorien (Tier 1 Level Assessment), die Analyse einer Zeitreihe der Inventarangaben (Tier 1 Trend Assessment) sowie durch eine detaillierte Analyse der fehlerbewerteten Inventarangaben (Tier 2 Level and Trend Assessment unter Berücksichtigung der Unsicherheiten) die jeweiligen Hauptkategorien zu identifizieren.

Zur Festlegung der Hauptkategorien wurden für die deutschen Treibhausgasemissionen die beide Methode 1-Verfahren Level (für das Basisjahr sowie das letzte berichtete Jahr) sowie Trend (für das letzte berichtete Jahr gegenüber dem Basisjahr) angewendet. Entsprechend den IPCC-Vorgaben wurde dabei neben den Emissionen aus Quellen auch die Einbindung der Treibhausgase in Senken in den Analysen berücksichtigt.

1.3.1.1.4 Berechnung und Aggregation der Unsicherheiten der Emissionen

Unsicherheiten sind elementarer Bestandteil der Emissionsinventare und ihre Bestimmung soll zu einem quantitativen Ausdruck für die Genauigkeit der Emissionsinventare führen. Während die Bestimmung der Unsicherheiten mit der Datenerhebung und damit im Prozessablauf der Emissionsberichterstattung unter dem Punkt Datengewinnung erfolgt, kann ihre Aggregation erst im Anschluss an die Inventarerstellung beziehungsweise den Zyklus der Emissionsberichterstattung erfolgen.

Bei der Berechnung und Aggregation der Unsicherheiten werden die Unsicherheiten der Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren, welche in der Regel auf der untersten Ebene der Kategorien im ZSE von Experten geschätzt wurden, in Unsicherheiten von Emissionen

umgerechnet und aggregiert. Die Aggregation der Unsicherheiten wird jährlich am Ende des Berichtserstattungszyklus für das aktuelle Berichtsjahr durchgeführt.

Zur Ermittlung der Unsicherheiten des Inventars wurden die Einzelunsicherheiten, soweit bisher möglich, durch die Daten liefernden Experten der Facheinheiten im UBA sowie externe Einrichtungen geschätzt.

1.3.1.1.5 Erweiterte Bestimmung der Hauptkategorien

Die aggregierten Unsicherheiten dienen als Grundlage zur erweiterten Bestimmung der Hauptkategorien (Tier-2-Hauptkategorienbestimmung).

1.3.2 Sammlung, Verarbeitung und Speicherung der Daten, inklusive KP-LULUCF-Inventare

1.3.2.1 Festlegung der Berechnungsgrundlagen

Die Auswahl, Überprüfung und ggf. Änderung der Berechnungsmethoden zur Emissionsermittlung hat Auswirkungen auf den gesamten Emissionsberichterstattungsprozess. Daher steht die Prüfung der Angemessenheit der verwendeten Methoden am Anfang des Hauptprozesses „Festlegung der Berechnungsgrundlagen“. Die 2006 *IPCC Guidelines* geben für die jeweiligen Kategorien mit Hilfe von Entscheidungsbäumen (Decision Trees) vor, welche Methoden anzuwenden sind. Dies erfolgt in Abhängigkeit davon, ob es sich um eine Hauptkategorie handelt oder nicht. Kommt statt der vorgeschriebenen Methode eine andere – länderspezifische – Methode zur Anwendung, so ist dies im NIR zu begründen. Die Gleich- oder Höherwertigkeit der Methode ist darzulegen und nachvollziehbar zu dokumentieren.

Weiter stellen auch die **Auswahl, Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen** einen kritischen Erfolgsfaktor dar, denn die Ergebnisse der gesamten Folgeprozesse (Datenaufbereitung, Berechnung, Berichterstattung) können nicht besser als die Qualität der Primärdaten sein. Datenquellen können sich auf Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren oder Emissionen einer bestimmten Kategorie beziehen. In vielen Fällen wird es sich um bereits seit mehreren Jahren genutzte Datenquellen handeln. Die Auswahl neuer Datenquellen kann z.B. auf Grund einer erforderlichen Methodenumstellung, des Wegfalls einer bisherigen Datenquelle, der Notwendigkeit zusätzlicher Daten oder aufgrund von Ergebnissen der Qualitätskontrolle bei bisher genutzten Datenquellen erforderlich sein.

Verschiedene Kriterien beeinflussen die Eignung einer Datenquelle. Hierzu zählen u.a.:

- langfristige Verfügbarkeit,
- Institutionalisierung der Datenbereitstellung,
- gute Dokumentation,
- Durchführung von Maßnahmen der Qualitätskontrolle und -sicherung seitens der Datenlieferanten,
- Angabe von Unsicherheiten,
- Repräsentativität der Daten und
- Vollständigkeit der zu erwartenden Daten.

Wichtig ist, dass in jedem Fall die Entscheidung für die Auswahl einer Datenquelle dokumentiert wird und dass bei erheblich reduzierter Eignung der verwendeten Datenquellen geeignete Verbesserungsmaßnahmen geplant werden.

Die Weitergabe von Anforderungen zur Qualitätskontrolle, -sicherung und Dokumentation an Datenlieferanten ist immer erforderlich und insbesondere bei der Vergabe von

Forschungsvorhaben von besonderer Relevanz, da das Umweltbundesamt als Auftraggeber in diesem Fall einen erheblichen Einfluss auf den Auftragnehmer ausüben muss.

1.3.2.2 Datengewinnung

Die Datengewinnung und -dokumentation erfolgt durch den jeweiligen Fachverantwortlichen. Dies kann durch die Auswertung von amtlichen oder Verbände-Statistiken, Studien, Periodika sowie fremden Forschungsvorhaben erfolgen. Ebenso kann sie über die Durchführung eigener Forschungsvorhaben oder die Verwendung persönlicher Informationen, sowie über einen Bund/Länder-Datenaustausch gewonnene Daten erfolgen. Häufig werden dabei anderweitig gewonnene Arbeitsergebnisse für die Emissionsberichterstattung weitergenutzt.

Die Datengewinnung umfasst die Teilschritte:

- Festlegung der Anforderungen,
- Festlegung der kategoriespezifischen Qualitätskriterien für die Daten,
- Anforderung der Daten durch die zuständige Facheinheit bei den Datenlieferanten, sowie
- Erhalt der Daten.

Über die Nationale Koordinierungsstelle wird die Anforderung an die Zuarbeit zu den Inventaren auch über die Fachvorgesetzten an die kategoriespezifischen Fachverantwortlichen geschickt. Für die Fertigung des NIR wird eine Master-Datei bereitgestellt, die die Struktur für die Zuarbeiten vorgibt. Als Anforderung für die späteren Dateneingaben gelten die Vorgaben aus dem ZSE (direkte Eingabe oder Befüllung des Importformats). Über Informationsveranstaltungen des *UBA AK Emissionsinventare*, die Intranet- und Share-Point-Seiten zur Emissionsberichterstattung des UBA und einer elektronischen Inventarbeschreibung (siehe Kapitel 1.3.3.1.5) werden den Fachverantwortlichen die Anforderungen an die Berichterstattung einschließlich der durchzuführenden Maßnahmen zur QK/QS, die Ergebnisse aller Inventarüberprüfungen sowie kategoriespezifisch der Datenbestand jeder Kategorie und die aktuellen Ergebnisse aus der Bestimmung der Hauptkategorien bekannt gemacht. Auf dieser Basis sind durch den Fachverantwortlichen die **Anforderungen** bezüglich der Datenquellen sowie der Berechnungsmethoden **festzulegen**.

Die Anforderungen beeinflussen den vorgelagerten Prozess der Festlegung von Berechnungsgrundlagen (Überprüfung und Auswahl der Methoden und Datenquellen), der immer dann stattfindet, wenn die Anforderungen noch nicht erfüllt sind oder sich verändert haben.

Nach Festlegung der Anforderungen an Datenquellen und Methoden soll vor der Einleitung der Datengewinnung bei Dritten eine **Festlegung der kategoriespezifischen Qualitätskriterien** für diese Daten erfolgen, um den Prozess der QK auf der Datenebene zu unterstützen.

Erfolgt die **Anforderung der Daten** durch den Fachverantwortlichen bei Dritten, soll der vom Datenlieferant erwartete Umfang, die Anforderungen an die Datenqualität und an die Dokumentation der Daten angegeben werden. Beim **Erhalt der Daten** werden diese auf Vollständigkeit, Einhaltung der Qualitätskriterien und Aktualität geprüft. Die Validierung der Daten erfolgt durch den Fachverantwortlichen.

1.3.2.3 Datenaufbereitung und Emissionsberechnung

Die Datenaufbereitung und Emissionsberechnung umfasst die Schritte:

- Dateneingabe,
- Datenbearbeitung (Modellbildung, Disaggregation, Aggregation),
- Emissionsberechnung,
- Erstellung Berichtsteile (Texte) sowie

- Freigabe auf der Fachebene.

Parallel zu den Zeitreihen für Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren, Unsicherheiten und Emissionen werden auch die Berichtsteile erstellt. Insofern wird der Begriff Daten in einem weiten Sinne verstanden. Er umfasst neben Zahlenwerten, Zeitreihen, etc. auch Kontextinformationen wie Quellen einer Zeitreihe sowie Wege der Berechnung und bezieht sich ebenfalls auf die **Erstellung der Berichtsteile** für den NIR und die Dokumentation von Rückrechnungen.

Große Teile der **Dateneingabe und -bearbeitung** (Bearbeitung von Daten und Emissionsberechnung) laufen im ZSE ab, wodurch die Transparenz und Konsistenz erheblich erhöht wird und sich für die Durchführung der erforderlichen Maßnahmen der Qualitätskontrolle auf der Datenebene die Möglichkeit eröffnet, im ZSE eine Automatisierung vorzunehmen (z.B. Prüfung von Größenordnungen und Vollständigkeit, sowie Formulierung von Prüfbedingungen im CalQlator). In solchen Fällen kann die manuelle Durchführung bestimmter QK-Maßnahmen entfallen. Um Berechnungsergebnisse komplexer Modelle zu plausibilisieren, sollen zur Überprüfung Cross-Checks mit vereinfachten Annahmen erfolgen.

Nach Durchlaufen der Prüfungen und evtl. Rücksprachen erfolgt die **Emissionsberechnung** im ZSE durch ein automatisiertes Verfahren nach dem Prinzip

Aktivitätsrate * Emissionsfaktor = Emission.

Sind auch vorgelagerte Rechenwege im ZSE abgelegt, so werden diese Berechnungen zuerst angestoßen, bevor die eigentliche Emissionsberechnung durchgeführt wird.

Die **Freigabe auf der Fachebene** durch die jeweiligen QK-Verantwortlichen hat sowohl für Texte als auch für Ergebnisse der Berechnungen vor der weiteren Verwendung durch die nationale Koordinierungsstelle zu erfolgen. Dies geschieht in der Regel mit der Übermittlung an die Nationale Koordinierungsstelle und durch die Freigabe der vollständig ausgefüllten QK/QS-Checklisten.

1.3.2.4 Berichterstellung

Zur Berichterstellung gehören:

- die Aggregation der Emissionsdaten zu den nationalen Trendtabellen und zu den Berichtsformaten, Erstellung der Datentabellen für das NFR bzw. der Export der XML-Dateien für den CRF-Reporter sowie der Import der XML-Dateien in den CRF-Reporter
- die Zusammenfassung der zugelieferten Berichtstexte zum Berichtsentwurf (NIR) sowie die Gesamtreaktion des NIR,
- die UBA-interne Überprüfung des Entwurfs (nationale Trendtabellen und NIR) mit anschließender Freigabe,
- die Übergabe an das BMUB zur Ressortabstimmung mit abschließender Freigabe durch den Koordinierungsausschuss, sowie abschließend
- die Übergabe an das UNFCCC-Sekretariat, die EU-Kommission bzw. das UNECE Sekretariat und
- die Archivierung.

Nach der Fertigstellung der Daten, Berichtsteile und QK/QS-Checklisten durch die Fachexperten und die Übermittlung derselben an die Nationale Koordinierungsstelle werden sie von den kategorie-spezifischen fachlichen Ansprechpartnern in der Nationalen Koordinierungsstelle anhand einer QK-Checkliste überprüft. Die Ergebnisse dieser Überprüfung werden den Fachverantwortlichen zur Verfügung gestellt, so dass diese (ggf. nach einer Rücksprache) ihren Beitrag entsprechend überarbeiten können.

Bevor die Emissionsdaten in die Berichtsformate für die Klimarahmenkonvention und des Kyoto-Protokolls (CRF= Common Reporting Format) bzw. die Genfer Luftreinhaltkonvention (NFR= New Format on reporting) übertragen werden können, muss eine **Aggregation der Emissionsdaten** aus den Zeitreihen des ZSE (im Erfassungsformat) zu den **Berichtsformaten** CRF- bzw. NFR-Kategorien erfolgen. Dies wird über eine hierarchische Zuordnung im ZSE realisiert, die im Anhang 3 für die einzelnen Hauptkategorien genauer beschrieben ist. Die Aggregationen erfolgen automatisiert, sofern keine Änderungen gegenüber dem Vorjahr auftreten.

Nach der rechnerischen Aggregation werden Aktivitätsdaten und Emissionen über den Export in XML-Dateien in den CRF-Reporter eingelesen, in dem automatisiert die CRF-Berichtstabellen des IPCC erstellt werden. Dennoch sind Qualitätskontrollen erforderlich, die eine Übereinstimmung der Werte sowie der durch den CRF-Reporter berechneten Implied Emission Factors zwischen dem Emissionsinventar und den CRF-Reporter Tabellen sicherstellen. Zudem ist eine hinreichende Kommentierung etwaiger Rekalkulationen sowie von Notation Keys erforderlich.

Die Berechnung der Treibhausgase in CO₂-Äquivalenten erfolgt nach Maßgabe des § 2 der Entscheidung 24/CP.19 bzw. des § 31 der Revised UNFCCC Reporting Guidelines (FCCC/CP/2013/10/Add. 3), auf Basis der mit dem *Fourth Assessment Report* veröffentlichten und in folgender Tabelle abgebildeten jeweiligen Treibhauspotentials (GWP), basierend auf den Wirkungen der Treibhausgase über einen Zeithorizont von 100 Jahren.

Tabelle 3: Global Warming Potential (GWP) der Treibhausgase

Greenhouse gas	Chemical formula	IPCC AR4 GWP
Carbon dioxide	CO ₂	1
Methane	CH ₄	25
Nitrous oxide	N ₂ O	298
Hydrofluorocarbons (HFC)		
HFC-23	CHF ₃	14800
HFC-32	CH ₂ F ₂	675
HFC-41	CH ₃ F	92
HFC-43-10mee	CF ₃ CF ₂ CHFCHFCF ₃	1640
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	3500
HFC-134	CHF ₂ CHF ₂	1100
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1430
HFC-143	CHF ₂ CH ₂ F	353
HFC-143a	CF ₃ CH ₃	4470
HFC-152	CH ₂ FCH ₂ F	53
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	124
HFC-161	CH ₃ CH ₂ F	12
HFC-227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	3220
HFC-236cb	CH ₂ FCF ₂ CF ₃	1340
HFC-236ea	CHF ₂ CHF ₂ CF ₃	1370
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	9810
HFC-245ca	CHF ₂ CF ₂ CH ₂ F	693
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	1030
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	794
Perfluorocarbons (PFC)		
Perfluoromethane	CF ₄	7390
Perfluoroethane	C ₂ F ₆	12200
Perfluoropropane	C ₃ F ₈	8830
Perfluorocyclopropane	c-C ₃ F ₆	17340
Perfluorobutane	C ₄ F ₁₀	8860

Greenhouse gas	Chemical formula	IPCC AR4 GWP
Perfluorocyclobutane	C-C ₄ F ₈	10300
Perfluoropentane	C ₅ F ₁₂	9160
Perfluorohexane	C ₆ F ₁₄	9300
Perfluorodecalin	C ₁₀ F ₁₈	7500
Sulphur hexafluoride		
Sulphur hexafluoride	SF ₆	22800
Nitrogen trifluoride		
Nitrogene trifluoride	NF ₃	17200
Fluorinated ethers		
HFE-125	CHF ₂ OCF ₃	14900
HFE-134	CHF ₂ OCHF ₂	6320
HFE-143a	CH ₃ OCF ₃	756
HFE-227ea	CF ₃ CHFOCF ₃	1540
HCFE-235da2	CHF ₂ OCHClCF ₃	350
HFE-236ca12	CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂	2800
HFE-236ea2	CHF ₂ OCHF ₂ CF ₃	989
HFE-236fa	CF ₃ CH ₂ OCF ₃	487
HFE-245cb2	CH ₃ OCF ₂ CF ₃	708
HFE-245fa1	CHF ₂ CH ₂ OCF ₃	286
HFE-245fa2	CHF ₂ OCH ₂ CF ₃	659
HFE-254cb2	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂	359
HFE-263fb2	CF ₃ CH ₂ OCH ₃	11
HFE-329mcc2	CHF ₂ CF ₂ OCF ₂ CF ₃	919
HFE-338mcf2	CF ₃ CH ₂ OCF ₂ CF ₃	552
HFE-338mmz1	(CF ₃) ₂ CHOCHF ₂	380
HFE-338pcc13	CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂	1500
HFE-347mcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃	575
HFE-347mcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CF ₃	374
HFE-347mmy1	(CF ₃) ₂ CFOCH ₃	343
HFE-347pcf2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃	580
HFE-356mec3	CH ₃ OCF ₂ CHF ₂ CF ₃	101
HFE-356mmz1	(CF ₃) ₂ CHOCH ₃	27
HFE-356pcc3	CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂	110
HFE-356pcf2	CHF ₂ CH ₂ OCF ₂ CHF ₂	265
HFE-356pcf3	CHF ₂ OCH ₂ CF ₂ CHF ₂	502
HFE-365mcf3	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OCH ₃	11
HFE-374pc2	CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CH ₃	557
HFE-449sl	C ₄ F ₉ OCH ₃	297
HFE-569sf2	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	59
HFE-43-10pccc124	CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂	1870
	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OH	42
	(CF ₃) ₂ CHOH	195
	-(CF ₂) ₄ CH(OH)-	73
Perfluoropolyethers		
PFPME	CF ₃ OCF(CF ₃)CF ₂ OCF ₂ OCF ₃	10300

Quelle : FCCC/CP/2013/10/Add. 3, S.24

Parallel hierzu erfolgt die **Zusammenfassung der geprüften Berichtstexte zum Berichtsentwurf** des NIR durch den Berichtskordinator.

Die **UBA-Interne Überprüfung und Freigabe** der fertig gestellten Berichtstabellen und des NIR, sowie dem zukünftig darin enthaltenen Inventarplan erfolgt durch die Mitzeichnung im Rahmen der **Hausabstimmung im UBA**. Danach erfolgt die **Übermittlung an das BMUB** zur zweiten Phase der Freigabe im Rahmen der **Ressortabstimmung**. Der Koordinierungsausschuss gibt die

Berichtstabellen und den NIR abschließend zur Übermittlung an das UNFCCC-Sekretariat frei. Das Ministerium übernimmt die Übersetzung des NIR und die **Übergabe an das UNFCCC-Sekretariat**.

Die Datentabellen und der dazugehörige NIR werden in der Inventarbeschreibung (siehe auch Kapitel 1.3.3.1.5) gesichert archiviert. Der zur Berechnung verwendete Inhalt der ZSE-Datenbank wird ebenfalls archiviert.

1.3.3 Prozeduren zur Qualitätskontrolle und -sicherung (QK/QS) und ausführliche Überprüfung der Treibhausgas- und KP-LULUCF-Inventare

1.3.3.1 Das Qualitätssystem Emissionsinventare

Im QSE werden die Anforderungen der 2006 *IPCC Guidelines (Vol.1, Kapitel 6)*, die nationalen Gegebenheiten in Deutschland sowie die internen Strukturen und Abläufe der berichterstattenden Institution UBA berücksichtigt. Das QSE ist in seinen Verfahrensabläufen soweit flexibel gestaltet, dass auch zukünftige veränderte Anforderungen routinemäßig berücksichtigt werden können. Der Geltungsbereich des QSE umfasst den gesamten Prozess der Emissionsberichterstattung.

Das QSE umfasst alle Teilnehmer des NaSE. Im Umweltbundesamt wurde die Verbindlichkeit über die UBA-Hausanordnung 11/2005 hergestellt. Einzelheiten bezüglich der Regelung der Verbindlichkeit für andere NaSE-Teilnehmer können dem Anhang 22.1.1 entnommen werden.

1.3.3.1.1 Hausanordnung 11/2005 des UBA

Im Jahr 2005 hat das Umweltbundesamt über die *Hausanordnung 11/2005* ein *Qualitätssystem Emissionsinventare* im Umweltbundesamt installiert, das die erforderlichen Rahmenbedingungen für die Einhaltung einer guten Inventarpraxis und die Durchführung einer routinemäßigen Qualitätssicherung schafft. Es entspricht den Anforderungen der 2006 *IPCC Guidelines (Vol.1, Kapitel 6)* und ist den nationalen Gegebenheiten in Deutschland sowie den internen Strukturen und Abläufe der berichterstattenden Institution UBA angepasst. Mit der Hausanordnung 11/2005 wurden verbindliche Zuständigkeitsregelungen innerhalb des UBA, die Terminkette bei der Erstellung der Inventare und die durchzuführenden Prüfhandlungen zur Qualitätskontrolle und -sicherung festgeschrieben.

Mit der Hausanordnung erfolgte die nach Paragraph 20 der *Reporting Guidelines (24/CP.19)* geforderte prozedurale Festlegung und die nach Paragraph 23 (a) erforderliche Festlegung spezifischer Verantwortlichkeiten auf der Amtsebene.

1.3.3.1.2 Mindestanforderungen an ein System zur Qualitätskontrolle und -sicherung

Die Anforderungen an das System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung (QK/QS-System) und an die Maßnahmen zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung werden im Wesentlichen durch das Kapitel 6 der 2006 *IPCC Guidelines (Vol.1)* definiert.

Aus den vormals geltenden Good Practice Guidance (Kapitel 8) wurden bereits 2007 vom UBA „Allgemeine Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Treibhausgasemissionsberichterstattung“ abgeleitet (siehe Kapitel 22.1.2.1). Für die externen Teilnehmer des Nationalen Systems ist die Übernahme der Mindestanforderungen, nach Beschlussfassung über diese Mindestanforderungen durch die Vertreter der beteiligten Bundesministerien im Koordinierungsausschuss des Nationalen Systems Emissionsinventare (siehe Anhangkapitel 22.1.1) erfolgt.

Weiterführende Informationen, welche organisatorischen Festsetzungen im UBA die Voraussetzung für die Umsetzung dieser Anforderungen bilden, können den folgenden Kapiteln und in Ergänzung hierzu dem Anhang 22.1.2.1.11 entnommen werden.

1.3.3.1.3 Aufbauorganisation des Qualitätssystems Emissionsinventare

Im Rahmen des QSE wurde ein Konzept zur Aufbauorganisation entwickelt, dass die Zuständigkeiten für die Umsetzung der erforderlichen QK und QS-Maßnahmen verbindlich für das UBA festlegt. Die festgelegten Rollen und Verantwortlichkeiten sollen einen effektiven Informationsaustausch und die anforderungskonforme Durchführung der QK und QS sicherstellen (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: QSE - Rollen und Verantwortlichkeiten

Rolle	Aufgabe	Verantwortlich
Fachverantwortlicher auf operativer Ebene (FV)	Erstellung von Teilen des Nationalen Inventarberichts (NIR) Datengewinnung und Dateneingabe in das ZSE und Berechnung entsprechend der gewählten/vorgegebenen Methoden Durchführung von systematischen QK-Maßnahmen in NIR, ZSE und Inventarbeschreibung Durchführung von Verifikationsmaßnahmen Archivierung aller kategoriespezifischen Inventarinformationen (Inventarbeschreibung und dezentrale Dokumentation) Wenn erforderlich (für kategoriespezifische QK): Festlegung von kategoriespezifischen Qualitätszielen und den Kriterien ihrer Zielerreichung in Abstimmung mit dem QK-Verantwortlichen, dem Fachlichen Ansprechpartner und dem QSEK. Prüfung, Aufbereitung und Beantwortung von Reviewergebnissen Aktive Teilnahme bei Reviewprozessen. Dies umfasst das Halten von Vorträgen, geben von Erläuterungen und die Erreichbarkeit für Nachfragen (im Vorfeld, während dessen und im Nachgang). Initiierung, Ausarbeitung (Leistungsbeschreibung) und fachliche Begleitung von FE-Projekten	Alle vom Fachgebietsleiter (FGL) kategoriespezifisch benannten Mitarbeiter
QK/QS-Verantwortlicher für das Fachgebiet (QKV)	Durchführung von systematischen Maßnahmen zur Sicherstellung der Qualität der an die Nationale Koordinierungsstelle zu liefernden Daten und Berichtsteile Freigabe der Daten und Berichtsteile Sicherstellung dass die erforderlichen Inventararbeiten, Qualitätskontrollen sowie die Dokumentation und Archivierung erfolgt sind Festlegung von fachlichen Verantwortlichkeiten zur Emissionsberichterstattung im Fachgebiet und Bereitstellung der notwendigen zeitlichen Ressourcen Unterstützung und Teilnahme bei Reviewprozessen	Alle zuständigen FGL
Fachliche Ansprechpartner (kategoriespezifisch) in der Nationalen Koordinierungsstelle (FAP)	Kategoriespezifische Betreuung von FV und QKV Unterstützung/Anleitung der FV/QKV bei der: <ul style="list-style-type: none"> • Umsetzung der internationalen Anforderungen • fachlichen Zuarbeit von Daten und Berichtstexten • Qualitätskontrolle/Qualitätssicherung <ul style="list-style-type: none"> ○ Erstellung fehlender Teile des Nationalen Inventarberichts (NIR) ○ Gewinnung und Eingabe fehlender Daten in das ZSE und Berechnung entsprechend der gewählten/vorgegebenen Methoden ○ Sicherstellung dass die erforderlichen Inventararbeiten, Qualitätskontrollen sowie die Dokumentation und Archivierung erfolgt sind ○ Durchführung von systematischen QK-/QS-Maßnahmen in NIR, ZSE und Inventarbeschreibung ○ Archivierung fehlender kategorie-spezifischer Inventarinformationen (Inventarbeschreibung und dezentrale Dokumentation) Initiierung und Begleitung von FE-Projekten Durchführung sämtlicher Arbeiten mit dem CRF-Reporter und Qualitätskontrolle Übernahme der Aufgaben von abwesenden FV bzw. bei nicht besetzten Stellen	kategoriespezifisch benannte Mitarbeiter aus der Nationalen Koordinierungsstelle

Rolle	Aufgabe	Verantwortlich
	Prüfung, Aufbereitung und tlw. Beantwortung von Reviewergebnissen Unterstützung, Begleitung, Teilnahme und tlw. Übernahme von FV-Aufgaben bei Reviewprozessen Durchführung von Kategorieübergreifenden Arbeiten Wenn erforderlich (für kategoriespezifische QK): Festlegung von kategoriespezifischen Qualitätszielen und den Kriterien ihrer Zielerreichung in Abstimmung mit dem QK-Verantwortlichen dem FAP und dem QSEK.	
Berichtskordinator (NIRK)	Koordination von textlichen Zuarbeiten Erstellung des NIR aus den einzelnen Zuarbeiten Übergreifende QK und QS für den NIR NIR und in Teilen auch Abgleich mit den CRF	Ein benannter Mitarbeiter aus der Nationalen Koordinierungsstelle
ZSE-Koordinator (ZSEK)	Übergreifende QK und QS bei der Eingabe und Berechnung des Inventars (Daten) Sicherstellung der Integrität der Datenbanken und der Berichtstabellen (Common Reporting Format (CRF)) Emissionsberechnung und Aggregation zu Berichtsformaten Unterstützung der Facheinheiten bei Fragen zum ZSE und zu den Berichtstabellen Bestimmung der Unsicherheiten (nach Approach 2) mittels Monte Carlo Simulation	Ein benannter Mitarbeiter der nationalen Koordinierungsstelle
QSE-Koordinator (QSEK)	Übergreifende QK und QS im gesamten Berichterstattungsprozess Aufrechterhaltung und Fortentwicklung des QSE Pflege und Fortschreibung von QK-, QS-Plan, QK-Checklisten und QSE-Handbuch Federführung für Pflege und Fortschreibung Inventarplan sowie Verbesserungsplan Wenn erforderlich (für kategoriespezifische QK): Festlegung von kategoriespezifischen Qualitätszielen und den Kriterien ihrer Zielerreichung in Abstimmung FV, QK-Verantwortlichen und dem FAP.	Ein benannter Mitarbeiter aus der Nationalen Koordinierungsstelle
NaSE-Koordinator (NaSEK)	Sicherstellung der termingerechten und anforderungskonformen Berichterstattung Initiierung der Umsetzung übergreifender Maßnahmen aus dem Inventarplan Festlegung / Dokumentation von institutionellen Einrichtungen und rechtlichen Vereinbarungen Organisation von Expert-Peer-Reviews z.B. im Rahmen von NaSE-Workshops Sicherstellung der zentralen Archivierung aller, über die Archivierung in der Inventarbeschreibung hinausgehenden Inventarinformationen Vorbereitung Durchführung und Nachbereitung von Inventarüberprüfungen	Ein benannter Mitarbeiter aus der Nationalen Koordinierungsstelle

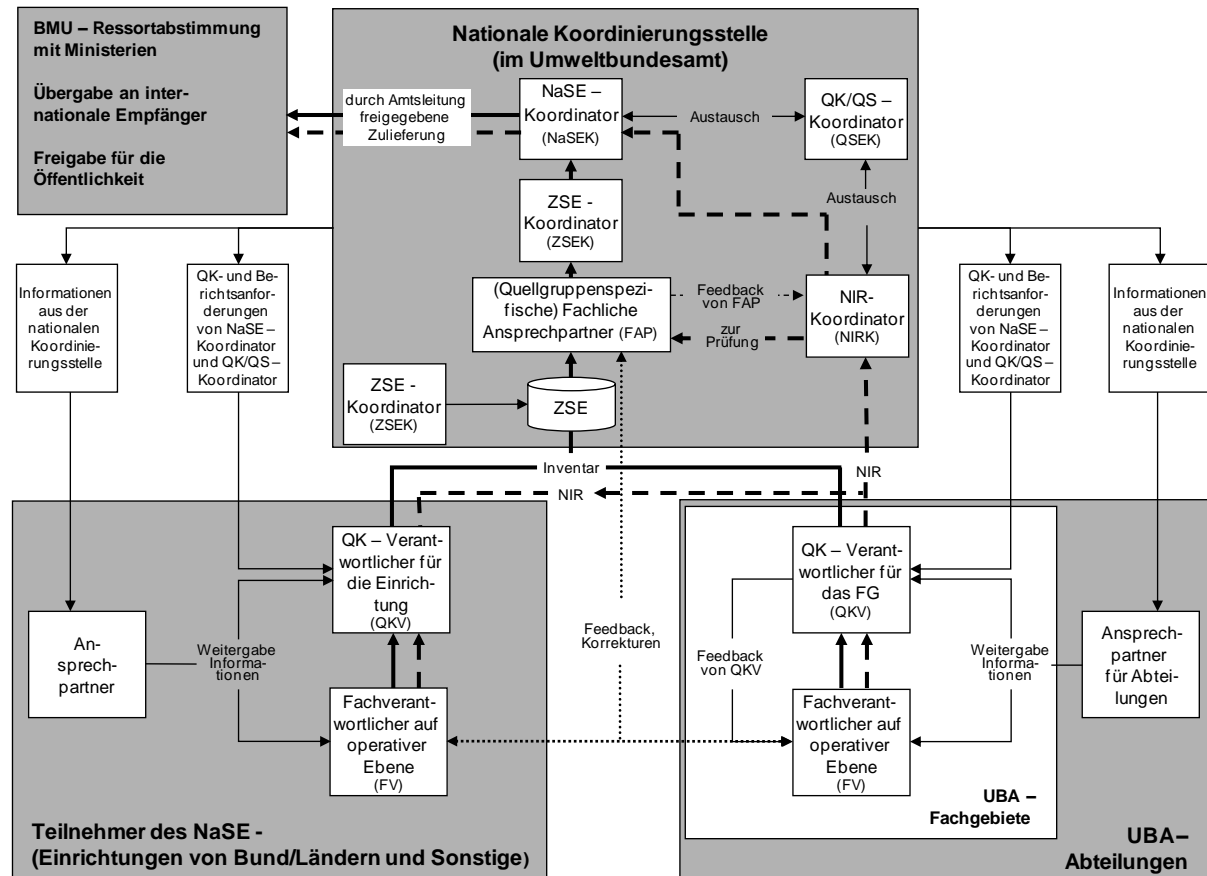
In sehr seltenen Ausnahmefällen kann es vorkommen, dass im UBA die Rolle des Fachverantwortlichen auf operativer Ebene (FV) für eine Kategorie nicht besetzt werden kann. In einem solchen Fall wird das Rollensystem des QSE vollständig von der Nationalen Koordinierungsstelle übernommen, indem es die Rollen des FV, des FAP und des QKV bereitstellt - durch jeweils unterschiedliche Personen.

Nur für den Fall, dass eine Kategorie seitens ihres Beitrags zu den Gesamtemissionen von außerordentlich geringer Relevanz ist, wird dieses Rollenkonzept aus Ressourcengründen vereinfacht. In diesem Fall stellt die Nationale Koordinierungsstelle die Rollen des FV und des QKV. Im Gegenzug wird für die betroffenen Quellgruppen in regelmäßigen Abständen eine von extern durchgeführte Qualitätssicherung durchgeführt. Die beschriebene Situation und Vorgehensweise ist derzeit nur bei CRF 1.B.1 in Anwendung.

1.3.3.1.4 Ablauforganisation des Qualitätssystems Emissionsinventare

Der Ablauf der QK- und QS-Maßnahmen im QSE richtet sich am Prozess der Emissionsberichterstattung aus, wie er in Kapitel 1.2.3 beschrieben wird. Dabei ist das Qualitätsmanagement direkt mit den Arbeitsschritten in der Inventararbeit verzahnt. Jedem Schritt im Prozessablauf der Inventarerstellung wurden geeignete QK-Maßnahmen zugeordnet, die den einzelnen Akteuren zugewiesen sind (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: QSE - Rollen Aufgaben und Arbeitsabläufe

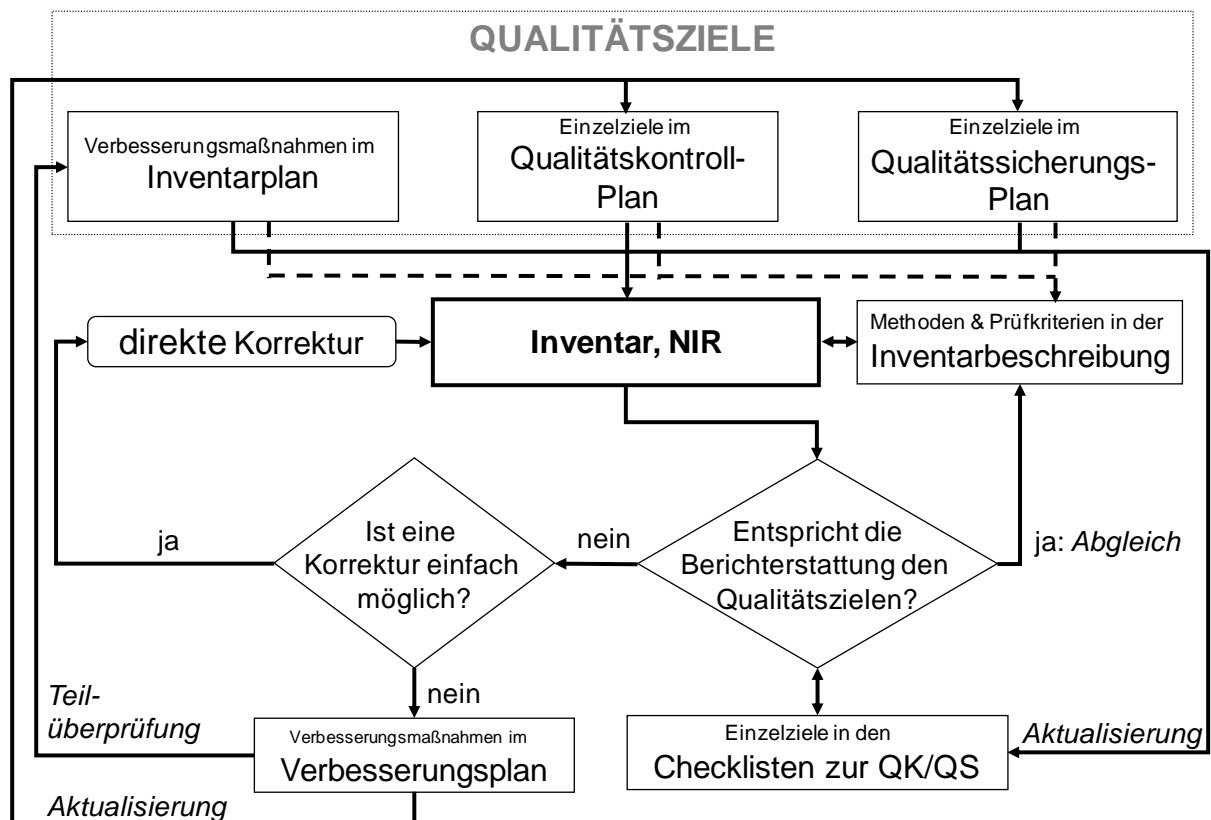


Die durchzuführenden Qualitäts-Prüfungen gemäß Paragraph 25 (f) der *Reporting Guidelines* (24/CP.19) werden den FV, QKV, FAP und dem NIRK (siehe Tabelle 4) in Form von Qualitäts-Checklisten zusammen mit der Datenanforderung zur Verfügung gestellt und im Verlauf der Zuarbeiten ausgefüllt.

1.3.3.1.5 Dokumentation im Qualitätssystem Emissionsinventare

Die mit den Mindestanforderungen an ein QK/QS-System (siehe Kapitel 22.1.2.1) formulierten Anforderungen zur Durchführung, Beschreibung und Dokumentation der QK/QS-Maßnahmen werden weitgehend gemeinsam mit den entsprechenden Inventarbeiträgen umgesetzt. Für das QSE wurde ein Dokumentationskonzept entwickelt, das zielgruppenorientiert und aufgabenspezifisch die Maßnahmen in integrierter Form darstellt. Die einzelnen Bestandteile der Dokumentation sind in Abbildung 7 dargestellt.

Abbildung 7: Steuerung und Dokumentation



Die allgemeine Beschreibung der **Qualitätsziele** erfolgt im QSE-Handbuch und leitet sich aus den 2006 *IPCC Guidelines (Vol.1, Kapitel 6)* ab. Darüber hinaus sind für die einzelnen Kategorien operative Einzelziele zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung aus dem Vergleich zwischen den Anforderungen aus den 2006 *IPCC Guidelines*, den Ergebnissen der unabhängigen Inventarüberprüfung, den im NIR gemeldeten Verbesserungsnotwendigkeiten und der Inventarrealität abzuleiten.

Gemäß den Anforderungen der IPCC 2006 *IPCC Guidelines (Vol.1, Kapitel 6)* und Paragraph 19 der *Reporting Guidelines (24/CP.19)* sollen die für die Emissionsberichterstattung notwendigen QK/QS-Maßnahmen in einem QK/QS-Plan zusammengefasst werden. Dabei ist die primäre Aufgabe eines QK/QS-Plans, diese Maßnahmen zu organisieren, zu planen und zu überwachen. Um die Durchführung und Kontrolle von Maßnahmen zur Erreichung der Qualitätsziele transparent und effektiv zu steuern, sind sie im **Qualitätskontrollplan (QK-Plan)** und **Qualitätssicherungsplan (QS-Plan)** rollenspezifisch sowie categoriespezifisch vorgegeben. Dabei können die Qualitätsziele das Inventar, den Prozess der Berichterstattung oder das QSE selbst zum Gegenstand haben. Im Qualitätssicherungsplan erfolgt zusätzlich die zeitliche Planung von Qualitätssicherungsmaßnahmen, die sowohl durch interne, im Wesentlichen aber durch unabhängige und externe Dritte vorgenommen werden. Beide Pläne haben den Charakter eines Vorgabedokuments.

In ihrer Struktur sind QK- und QS-Plan mit den **Checklisten zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung** kombiniert, die zur Überprüfung und Dokumentation der erfolgreichen Durchführung der QK/QS dienen. Hierbei sind die Qualitäts-Checks nicht als Prüfungen sondern als Qualitätsziele (data quality objective gemäß 2006 IPCC GL, Vol. 1, Kapitel 6.5) definiert, deren Einhaltung jeweils zu bestätigen oder deren Nichteinhaltung zu begründen ist. Die Checklisten

zur QK/QS sind von den Teilnehmern des NaSE¹⁵ parallel zur Inventarerstellung auszufüllen und dienen zum einen der sofortigen Verbesserung. Falls eine sofortige Verbesserung aber nicht möglich ist, geben sie stattdessen wichtige Auskunft über die Güte der dem Inventar zugrunde liegenden Daten, Methoden und Texte). Die systematische QK/QS in Form von Checklisten wurde vom UBA erstmalig für die Berichterstattung 2006 mit den Teilnehmern des NaSE durchgeführt. Seitdem werden die Checklisten der allgemeinen Qualitätskontrolle in jedem Berichtsjahr und für alle berichteten Kategorien ausgefüllt, also sowohl für Hauptkategorien, als auch für solche, die dies nicht sind. Seit der Berichterstattung 2007 sind die Checklisten in elektronischer Form im Einsatz. Ebenfalls mit der Berichterstattung 2007 wurden die allgemeinen QK-Prüfungen (ehemals Tier 1) um einige categoriespezifische QK-Prüfungen (ehemals Tier 2), bezogen auf Hauptkategorien, erweitert. Mit den Berichterstattungen 2008, 2009 und 2010 wurden die Checklisten für die Fachexperten und die fachlichen Ansprechpartner umfassend überarbeitet. Ziel der Überarbeitung war es, die Verständlichkeit, Anwendbarkeit und Übersichtlichkeit der Checklisten weiter zu verbessern. Um den Erfolg dieser Verbesserungsaktivität zu gewährleisten wurde eine Auswahl des betroffenen Personenkreises in die Überarbeitung einbezogen. Inhaltliche Anforderungen, sind dabei nicht verändert worden. Die CHKL werden jährlich auf etwaigen Aktualisierungsbedarf überprüft und ggf. überarbeitet oder ergänzt. Im gleichen Maße wie die Checklisten werden auch QK- und QS-Plan kontinuierlich weiterentwickelt. Mit Berichterstattung 2013 wurden erstmalig die vormals categoriespezifischen Checklisten der QKV auf eine einzelne übergeordnete Checkliste je QKV umgestellt. Dies geschah im Wesentlichen um die Übersichtlichkeit über den QK/QS-Prozess für das Führungspersonal zu verbessern/erleichtern und aus Gründen der Ressourceneffizienz. Mit der Berichterstattung 2015 wurden sichergestellt, dass die allgemeinen Checklisten die überarbeiteten Anforderungen der 2006 *IPCC Guidelines (Vol.1, Kapitel 6)* erfüllen. Fehlende Anforderungen wurden ergänzt.

Beide Pläne und die QK/QS-Checklisten stellen Instrumente zur Überprüfung der Erfüllung der internationalen Anforderungen dar und ermöglichen die Steuerung der Inventarqualität über die Initiierung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung gemäß Paragraph 13 der *Guidelines for National Systems*.

Im **Verbesserungsplan** werden zunächst alle Verbesserungsmöglichkeiten und zusätzlich die Beanstandungen aus den Ergebnissen der unabhängigen Inventarüberprüfung, die im Rahmen des jeweils abgeschlossenen Zyklus der Emissionsberichterstattung identifiziert wurden, gesammelt und mit möglichen Korrekturmaßnahmen hinterlegt. Diese Korrekturmaßnahmen werden durch die Nationale Koordinierungsstelle kategorisiert, mit Prioritäten versehen und in Rücksprache mit den Fachverantwortlichen in der Regel vollständig in den **Inventarplan** überführt. Dort werden sie mit Terminen und Verantwortlichkeiten hinterlegt. Der Inventarplan durchläuft als Anhang des NIR den Abstimmungs- und Freigabeprozess und stellt somit ein verbindliches Vorgabedokument für die im kommenden Berichtsjahr umzusetzenden Verbesserungsmaßnahmen dar.

Die **Inventarbeschreibung** wird in der Nationalen Koordinierungsstelle als zentrale Dokumentation für die einzelnen Kategorien geführt. In ihr werden alle wesentlichen Aspekte der Inventarerstellung beschrieben. Alle categoriespezifischen Arbeiten, die relevant für die Inventarerstellung sind, sind hierin zu dokumentieren. Die Inventarbeschreibung besteht aus einem serverbasierten Ordnersystem, das sowohl auf mobilen Geräten, als auch auf den Arbeitsplatzrechnern der im Rahmen der Emissionsberichterstattung tätigen Personen verfügbar ist. Die Pflicht zur Erstellung der beschriebenen Dokumentationen wurde über eine

¹⁵ Hierzu gehören Fachverantwortliche (FV), Fachliche Ansprechpartner (FAP), Qualitätskontrollverantwortliche (QKV) und der NIRK (Koordinator für den Nationalen Inventar Report)

Hausanordnung (siehe Kapitel 1.3.3.1.1) im UBA festgeschrieben und bildet die wesentliche Grundlage für die Archivierung der Inventarinformationen gemäß den Anforderungen aus Paragraph 27 (a) der *Reporting Guidelines* (24/CP.19).

- Aus vielfältigen Gründen sieht das Dokumentationskonzept, ein überwiegend, aber nicht ausschließlich zentrales Archiv vor. Ausschlaggebend für diese Entscheidung waren der umfangreiche und teilweise dezentrale Datenbestand, auf dessen Grundlage das deutsche Inventar berechnet wird,
- die teilweise externen Zuständigkeit für diese Daten,
- Aspekte der Geheimhaltung, die aus rechtlichen Gründen einer Weitergabe von Einzeldaten zum Zwecke der Archivierung an einer zentralen Stelle entgegenstehen.

In der Inventarbeschreibung werden Informationen vorgehalten, wo solche nicht zentral hinterlegten Dokumente zu finden sind.

1.3.3.1.6 Das QSE-Handbuch

Mit dem „Handbuch zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Erstellung von Emissionsinventaren und der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen sowie der EU Entscheidung 525/2013/EG“ wurden die internationalen Anforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Emissionsberichterstattung für das Nationale System Emissionsinventare (NaSE) in Deutschland spezifiziert. Es gilt verbindlich für das Umweltbundesamt und beschreibt das Qualitätssystem Emissionsinventare (QSE).

Das QSE-Handbuch wurde über eine Hausanordnung im Umweltbundesamt in Kraft gesetzt (siehe Kapitel 1.3.3.1.1). Es ist mit seinen mitgeltenden Unterlagen im Intranet des UBA veröffentlicht.

1.3.3.1.7 Unterstützung UNFCCC-Review

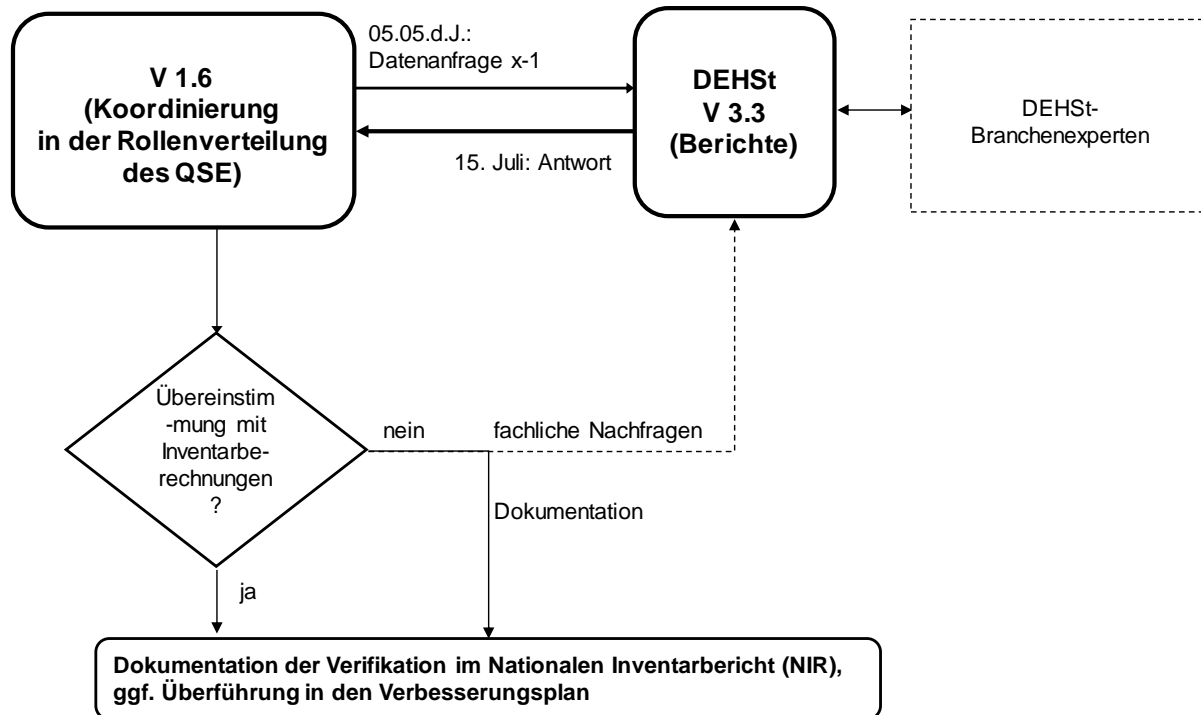
Neben den eigenen Maßnahmen der Qualitätskontrolle und -sicherung geben die Ergebnisse des UNFCCC-Review wichtige Impulse für die Inventarverbesserung. Insofern liegt die Erfüllung der Anforderungen zur Bereitstellung archivierter Inventarinformationen für den Überprüfungsprozess und der Beantwortung von Fragen der sachkundigen Überprüfungsgruppen im Eigeninteresse der Nationalen Koordinierungsstelle. Mit entsprechender Priorität wurden diese Aspekte bei der Konzeption des QSE berücksichtigt.

1.3.3.1.8 Nutzung der Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels zur Verbesserung der THG-Emissionsinventare

Für Kategorien, die berichtspflichtige Anlagen unter dem CO₂-Emissionshandelsregime (ETS) beinhalten, werden die Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels zur Qualitätsverbesserung der jährlichen nationalen Emissionsinventare genutzt.

Durchgeführte Vergleiche haben die Nutzbarkeit zur Verifizierung einzelner Kategorien und Identifikation von Fehlstellen prinzipiell bestätigt. Für die regelmäßige Nutzung wurde für den jährlich erforderlichen Datenaustausch ein formalisiertes Verfahren mit terminlichen und ablaufmäßigen Festlegungen vereinbart.

Abbildung 8: Verfahrensablauf für die jährliche Inventar-Verifikation mit ETS-Monitoring-Daten



Zu Details der Datenverwendung in der QK/ QS siehe auch Kapitel 1.6.2.1 Verifizierung ausgewählter Kategorien.

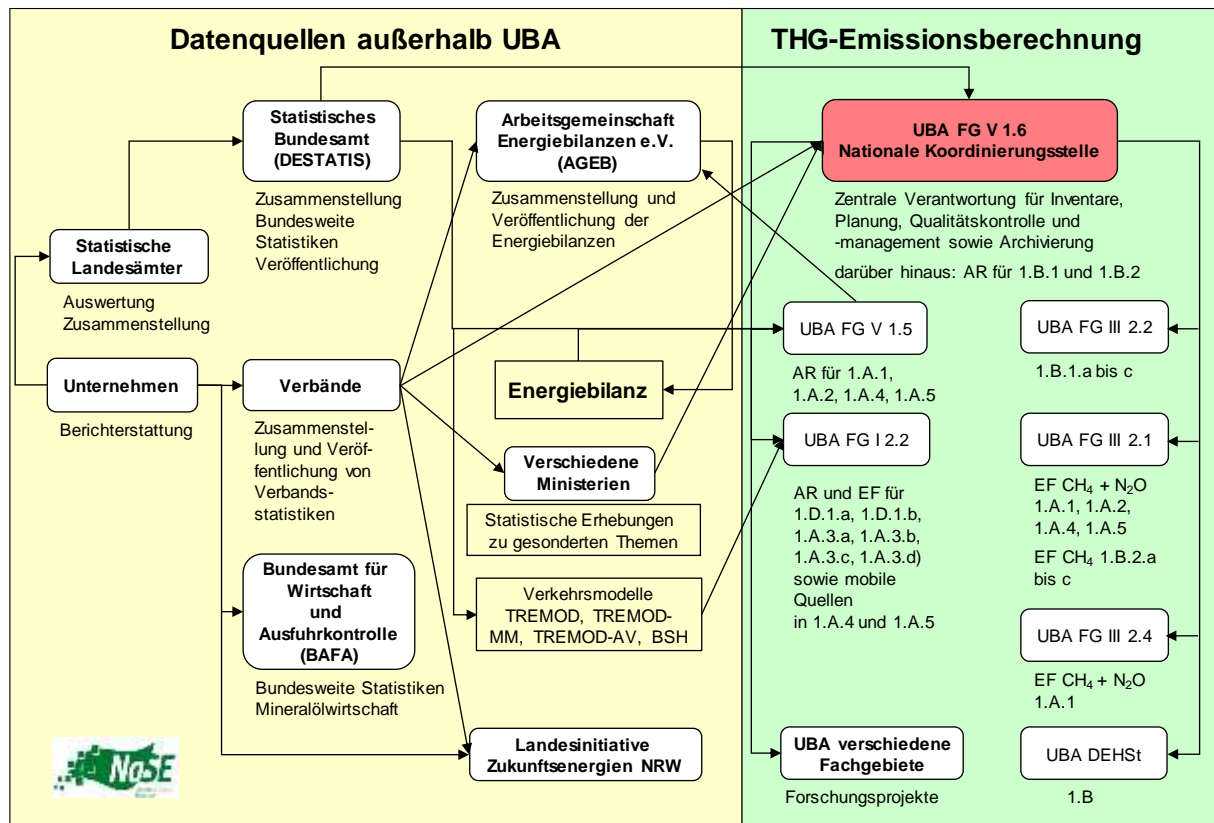
1.4 Kurze, allgemeine Beschreibung der angewandten Methodik und Datenquellen

1.4.1 Treibhausgas-Inventar

1.4.1.1 Datenquellen

1.4.1.1.1 Energie

Abbildung 9: Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen im Energiebereich



Die zentrale Datenquelle für die Ermittlung der Aktivitätsraten für die Kategorie 1.A ist die „Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland“ (nachfolgend: Energiebilanz), die von der *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB)* herausgegeben werden und überwiegend auf den amtlichen Statistiken des Statistischen Bundesamtes fußen. Für die Erneuerbaren Energien werden der AGEB die Daten für die Energiebilanz von der AGEB-Stat bereit gestellt. Die Energiebilanz bietet eine Übersicht über die energiewirtschaftlichen Verflechtungen innerhalb der Bundesrepublik und erlaubt eine Aufteilung nach Brennstoffen und Kategorien.

Die Beauftragung der AGEB für die Erstellung der Energiebilanzen erfolgte für die Energiebilanzen 2007– 2020 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. In den bisher drei ergangenen Aufträgen wurde die AGEB jeweils vertraglich zur Anwendung der Mindestanforderungen zur Qualitätssicherung des Nationalen Systems verpflichtet. Seit 2012 legt die AGEB einen gemeinsamen Qualitätsbericht für die Energiebilanz vor (siehe Kapitel 18.4.1). und erarbeitet einen Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung (s. Kapitel 18.4.1.1.1) erarbeitet, in dem dargelegt wurde wie den Beanstandungen aus der Inventarüberprüfung Rechnung getragen werden soll. Damit wird der Forderung aus Paragraph 39 des Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU) nach einem Aktionsplan entsprochen.

Die wichtigste Datenquelle für die Ermittlung der Aktivitätsraten ist das *Statistische Bundesamt*, das auch die wesentliche Datenquelle für die Erstellung der Energiebilanzen darstellt. Für die Inventarerstellung verwendet werden die Fachserien 4 Reihe 4.1.1, Reihe 6.4, und für die Abfalldaten die Fachserie 19. Diese Daten sind zeitnah verfügbar (ungefähr ein Jahr nach Datenerhebung) und bieten insbesondere eine feine Untergliederung des Verarbeitenden Gewerbes. Zur weiteren Differenzierung der Daten und für Detailfragen werden vom Statistischen Bundesamt Sonderauswertungen zur Verfügung gestellt.

Für den Eisen und Stahl Bereich werden seit der Berichterstattung 2012 Daten der Wirtschaftsvereinigung Stahl genutzt, die u.a. den sogenannten BGS-Bogen (Brennstoff-, Gas- und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl- und Walzwerke sowie Schmiede-, Press- und Hammerwerke einschließlich der örtlich verbundenen sonstigen Betriebe (ohne eigene Kokerei)) der zum 31.12.2009 eingestellten „Fachserie 4, Reihe 8.1“ ersetzen.

Als zusätzliche Datenquelle wird die *Statistik der Kohlenwirtschaft*, insbesondere deren jährliche Veröffentlichung "*Der Kohlenbergbau in der Energiewirtschaft der Bundesrepublik Deutschland*" genutzt. Weiterhin werden vom Bundesverband Braunkohle (DEBRIV) Sonderauswertungen zur genaueren Differenzierung der eingesetzten Rohbraunkohlen verwendet. Zusätzlich liefert DEBRIV die nötigen Daten zur Berechnung der Brennstoffeinsätze zur Braunkohlentrocknung.

Eine weitere Datenquelle sind die *Mineralöl-Zahlen* des *Mineralölwirtschaftsverbandes e.V. (MWV)*, die Angaben zum Mineralölaufkommen und -verbrauch in Deutschland, differenziert in verschiedene Erzeugungs-, Umwandlungs- und Anwendungssektoren, enthalten. Die Statistik, die eine wesentliche Grundlage der nationalen Energiebilanz darstellt, wird nur wenige Monate nach Erhebung der Daten veröffentlicht und ist damit relativ zeitnah verfügbar.

Die zur Energieerzeugung eingesetzten Mengen an Sekundärbrennstoffen (verbucht unter CRF 1.A.2) werden dem Leistungsbericht des Verbandes der Papierindustrie und Berichten des Verbandes der Zementindustrie (VDZ) entnommen.

Eine weitere wichtige Datenquelle ist der Emissionshandel (ETS). Dort liegen sehr detaillierte, anlagenspezifische Daten vor, die ebenfalls für das Inventar verwendet werden. Vor allem für die Bereiche, die nicht von der nationalen Statistik erfasst werden, wird auf Emissionshandelsdaten zurückgegriffen:

- brennstoffbezogene CO₂ Emissionsfaktoren für stationäre Feuerungsanlagen,
- Brennstoffeinsätze für Erdgasverdichter,
- Emissionen aus dem Katalysatorabbund und der Kalzinierung in Raffinerien und
- diffuse Emissionen in Kokereien.

Für die Erhebung der Emissionen des Verkehrs (1.A.3) werden neben den Angaben aus den Energiebilanzen auch die *Amtlichen Mineralöldaten des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)* und die *Mineralöl-Zahlen* des MWV verwendet.

Für den Flugverkehr kommen neben den oben genannten Quellen für Verbrauchsdaten u.a. auch Daten des Statistischen Bundesamtes zum Einsatz: Die Aufteilung der Kraftstoffverbräuche und Emissionen auf nationale und internationale Flüge erfolgt anhand realer Flugbewegungsdaten. Diese werden vom Statistischen Bundesamtes erfasst und zur Verfügung gestellt und im Modell TREMOD AV, einem eigenständigen Moduls der Datenbank TREMOD („Transport Emission Estimation Model“) weiterverarbeitet. Ebenfalls anhand der vom Statistischen Bundesamt erfassten Flugbewegungen erfolgt die Aufteilung von Verbräuchen und Emissionen auf die Flugphasen L/TO-Zyklus (Landung und Start; unterhalb 3.000 Fuß) sowie Reiseflug (oberhalb 3.000 Fuß).

Leidlich zu Verifikationszwecken werden zudem von Eurocontrol bereitgestellte landesspezifische Verbrauchs- und Emissionsdaten herangezogen.

Für den Straßenverkehr werden die Erhebungen dabei überwiegend mit Hilfe des Modells TREMOD durchgeführt. Für die hier stattfindenden Berechnungen werden zahlreiche Basisdaten aus allgemein zugänglichen Statistiken und speziellen Untersuchungen verwendet, aufeinander abgestimmt und ergänzt. Eine genaue Beschreibung der Datenquellen zu den Emissionsfaktoren findet sich im „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ (HBEFA, Version 4.1).

TREMOD wird dabei ebenfalls zur Modellierung der Emissionen aus der Verbrennung von Kraftstoffen in Schienenfahrzeugen und Binnenschiffen verwendet. Die durch historische Dampfbahnen verursachten Emissionen aus der Verbrennung von Kohle und Koks werden außerhalb TREMOD anhand von Betreiberangaben berechnet.

Im Gegensatz dazu erfolgt die Modellierung der spezifischen Verbräuche und Emissionen des von deutschen Seehäfen ausgehenden Schiffsverkehrs innerhalb eines am Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) entwickelten Modells. Die Aufteilung der Kraftstoffverbräuche und Emissionen auf nationale und internationale Fahrten basiert hier auf Daten, die sich u.a. aus den AIS-Meldungen der Schiffe ableiten.

Hinsichtlich der weiteren mobilen Quellen (in 1.A.4. und 1.A.5.) wird ebenfalls auf die Angaben von AGEB, BAFA sowie MWV zurückgegriffen. Eine Sonderstellung nimmt hier der militärische Verkehr (1.A.5.b) ein, für den die ab 1995 nicht mehr in den Energiebilanzen ausgewiesen ausgewiesenen Verbrauchsdaten direkt den BAFA-Statistiken entnommen werden können.

Da gesicherte Angaben zum Einsatz von Biokraftstoffen in mobilen Quellen in Bau-, Land- und Forstwirtschaft sowie Haushalten und Militär fehlen, werden die jährlichen Mengen anhand der offiziellen Beimengungsraten berechnet.

Daten zu den Kategorien der Kategorie 1.B.1 werden aus den Veröffentlichungen der Statistik der Kohlenwirtschaft e.V., des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), des DEBRIV, der Deutschen Montan Technologie GmbH (DMT) und der Deutschen Wissenschaftlichen Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK), Interessenverband Grubengas e.V. (IVG) herangezogen.

Wesentliche Grundlage ist hierbei die Statistik der Kohlenwirtschaft. Die Bearbeitung erfolgt unter Einbeziehung von Bundes- und Landesministerien, beziehungsweise deren Behörden (u.a. Landesoberbergämter) und unter Bezugnahme auf Berichte und Stellungnahmen der Landesinitiative Zukunftsenergien NRW (hier AG Grubengas). Die Koordination der Inventarerstellung erfolgt mit Unterstützung des Gesamtverbandes Steinkohle (GVSt).

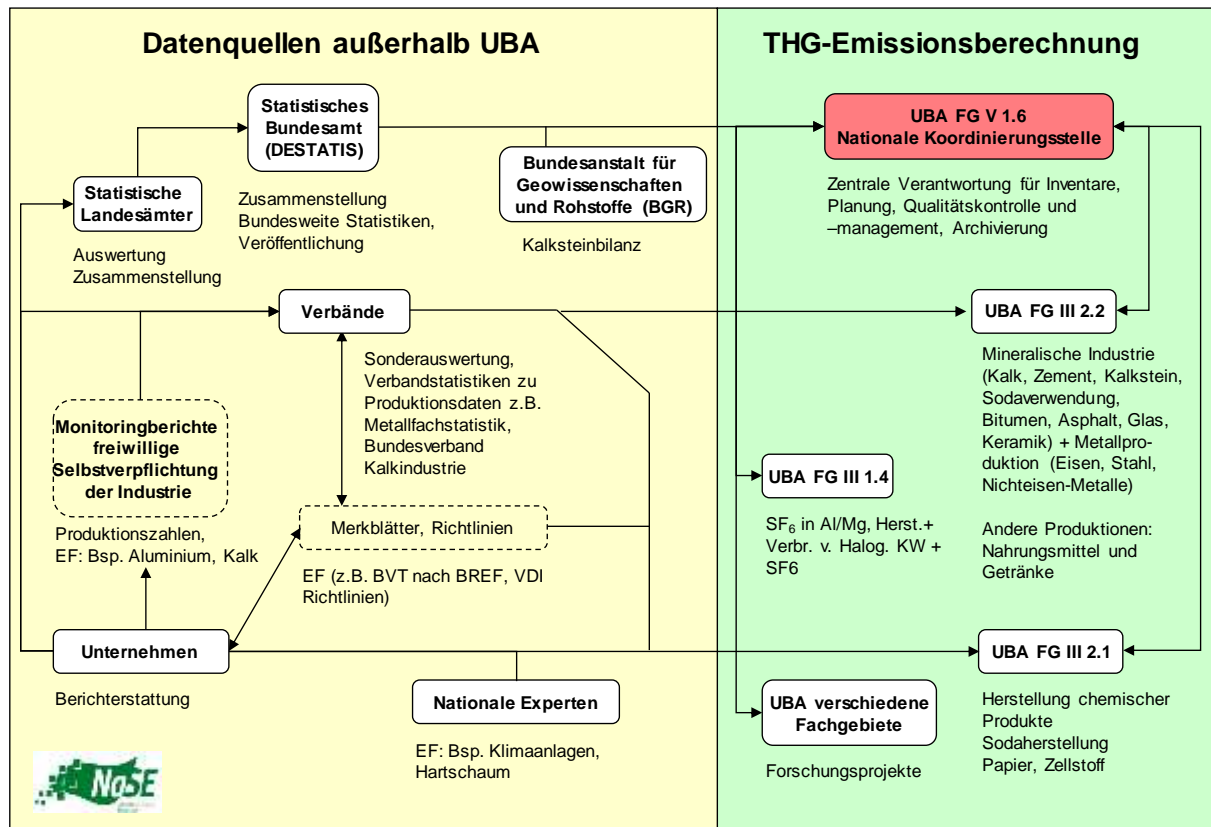
Daten zu den Kategorien der Kategorie 1.B.2 werden aus den Veröffentlichungen des *Statistischen Bundesamtes* Deutschland, des Mineralölwirtschaftsverband e.V. (MWV), der Deutschen Wissenschaftlichen Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. (DGMK), des Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie (BVEG) und der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW), der Gasstatistik des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) und der Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) herangezogen.

1.4.1.1.2 Industrieprozesse

Für die Aktivitätsdaten der Mineralischen Industrie werden überwiegend Verbandsstatistiken herangezogen. Die Daten für die Zementindustrie (2.A.1) stammen vom Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) bzw. dessen Forschungsinstitut unter Beteiligung des Bundesverbandes der Deutschen Zementindustrie e.V. (BDZ). Dabei handelt es sich im Wesentlichen um die im Rahmen des CO₂-Monitorings der freiwilligen Selbstverpflichtung der Industrie zum Klimaschutz

veröffentlichten Daten. Die Produktionszahlen für Kalk und Dolomitkalk (2.A.2) werden vom Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie e.V. (BV Kalk) anlagenscharf erhoben und jährlich in aggregierter Form bereitgestellt. Die Produktionszahlen für die Herstellung von Glas (2.A.3) werden den regelmäßig erscheinenden Jahresberichten des Bundesverbandes Glasindustrie entnommen, wobei Hilfsgrößen zum Glasrecycling anderen Statistiken entstammen. Die Produktionsentwicklung der Keramischen Industrie (2.A.4.a) wird unter Verwendung der amtlichen Statistik und Umrechnungsfaktoren eines Sachverständigen-Projektes berechnet. Die Verwendung von Soda (2.A.4.b) erfolgt durch eine Expertenschätzung des Umweltbundesamtes.

Abbildung 10: Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen der Industrieprozesse



Für die Emissionsfaktoren der Mineralischen Industrie werden vielfältige Quellen genutzt. Der für die Emissionsberechnung der Zementklinkerherstellung (2.A.1) verwendete Emissionsfaktor beruht auf einer Berechnung des Vereins Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) durch Aggregation anlagenspezifischer Daten. Die Berechnung der CO₂-Emissionen der Kalkherstellung (2.A.2) und der Sodaverwendung (2.A.4.b) erfolgt über stöchiometrische Faktoren. Die CO₂-Emissionsfaktoren für verschiedene Glassorten (2.A.3) sind von Fachverantwortlichen aus der Glaszusammensetzung und für die Keramische Industrie (2.A.4.a) aus Analysen der ETS-Daten im UBA abgeleitet worden.

In der Kategorie 2.B Chemische Industrie werden die Aktivitätsdaten aus Daten des *Statistischen Bundesamtes (FS 4, R 3.1)* und direkten Hersteller- und Verbandsangaben ermittelt. Teilweise sind diese Daten vertraulich. Die Emissionsfaktoren sind von Experten im UBA, in Forschungsvorhaben oder von den Herstellern ermittelt worden. Für 2.B.1 Ammoniak-Produktion und 2.B.2 Salpetersäure-Produktion wurden bis 2008 die Aktivitätsdaten vom *Statistischen Bundesamt* erhoben. Seit 2009 werden die Daten für Ammoniak- und Salpetersäureproduktion aufgrund einer Vereinbarung mit der chemischen Industrie für die

gesamte Zeitreihe ab 1990 von den Herstellern anlagenspezifisch erhoben und an den Verband weiter gegeben, der diese anonymisiert an das UBA weiterleitet. Dafür ermitteln die Hersteller neben der Aktivitätsrate jeweils für 2.B.1 die Emissionen und für 2.B.2 die Emissionsfaktoren. Für 2.B.3 Adipinsäure-Produktion wurden bis Mitte der 90er Jahre anlagenspezifische Aktivitätsdaten geliefert. Für diese wurde der Default-EF für N₂O verwendet. Inzwischen liefern die Anlagenbetreiber auf vertraulicher Basis die Emissionsangaben direkt an das UBA. Auch für Adipinsäure ist durch eine Vereinbarung im Jahr 2009 die Datenlieferung langfristig gesichert worden. In 2.B.4 spielen nur N₂O-Emissionen aus der Herstellung von Caprolactam eine Rolle. Sie liegen aber unter dem Schwellenwert und werden deshalb nicht berichtet. Da es für die Calciumcarbid-Produktion (2.B.4) in Deutschland nur einen Hersteller gibt, sind die Daten vertraulich. Das Umweltbundesamt erhält diese direkt vom Hersteller. Die CO₂-Emissionen aus der Titandioxidproduktion liegen unter dem Schwellenwert, weshalb sie nicht berichtet werden (2.B.6). Die Gesamtsumme an produziertem Soda (2.B.7) wird vom Statistischen Bundesamt erhoben. Die Emissionsfaktoren wurden aus den ETS Monitoringdaten der DEHSt abgeleitet. Für die Herstellung der unter 2.B.8 Petrochemikalien- und Industrierußherstellung aufgeführten Produkte werden die Aktivitätsdaten aus Statistiken des *Statistischen Bundesamtes* entnommen; teilweise unterliegen sie einer Vertraulichkeit. Die Emissionsfaktoren stammen aus Experten-Schätzungen, Forschungsvorhaben und Default-Angaben der IPCC-Guidelines. Für die Industrierußproduktion werden die für das ETS gemeldeten CO₂ Emissionen genutzt und über den Default-EF auf die Aktivitätsrate rückgerechnet. Im Bereich der Produktion der halogenierten Kohlenwasserstoffe und SF₆ (2.B.9) werden die Daten über *Herstellerangaben* und *Umfragen bei Herstellern* ermittelt. Die Aktivitätsdaten werden zum überwiegenden Teil im Rahmen von Forschungsprojekten gezielt nach den Anforderungen des Inventars recherchiert, z.T. werden nur Emissionsdaten vom Hersteller zur Verfügung gestellt. Es sind in den einzelnen Unterkategorien jeweils nur wenige Unternehmen involviert, so dass diese Bereiche der Vertraulichkeit unterliegen. Unter 2.B.10 Sonstige werden Emissionen von Vorläufersubstanzen aus der Produktion von Schwefelsäure und Düngemittel berichtet. Die Aktivitätsdaten stammen aus Herstellerangaben, und Daten des Statistischen Bundesamtes. Die Emissionsfaktoren stammen aus Experten-Schätzungen und Forschungsvorhaben.

Die Aktivitätsdaten der Metallindustrie (2.C) werden vom Statistischen Bundesamt den einschlägigen Verbänden (Stahlinstitut VDEh, Wirtschaftsvereinigung Metalle und Gesamtverband der Aluminiumindustrie) und Industriegasehändlern geliefert. Die Emissionsfaktoren der Metallindustrie (2.C) werden in der Regel durch die Facheinheiten im Umweltbundesamt berechnet, z.T. werden Emissionsfaktoren von Industrieverbänden zur Verfügung gestellt oder auch IPCC Default Werte benutzt.

Eine Ausnahme bildet die Kategorie Ferroalloys, hier werden die Aktivitätsdaten aus einer Statistik des UK Geological Survey verwendet, die Emissionsfaktoren stammen aus einem Forschungsvorhaben bzw. es werden auch IPCC Default Werte genutzt.

In der Kategorie 2.D Nichtenergetische Produkte aus Brennstoffen und Lösemittel stammen die Aktivitätsraten aus veröffentlichten Erhebungen des Statistischen Bundesamtes und anderer Bundesbehörden (Produktions- und Außenhandelsstatistik, Mineralölstatistik) sowie von den einschlägigen Verbänden (Industrieverband Bitumen-Dach- und Dichtungsbahnen e.V. (vdd), Deutscher Asphaltverband (DAV)). Die Aktivitätsdaten werden ergänzt durch Branchenstatistiken und Informationen von Fachexperten.

Die Emissionsfaktoren stammen aus unterschiedlichen Quellen: so werden die Emissionsfaktoren für die Paraffinwachsenanwendung (2.D.2) mit Hilfe von IPCC-Default-Werten berechnet. Die Emissionsfaktoren für Schmierstoffanwendung (2.D.1) stammen aus einem Forschungsvorhaben, wobei NMVOC-Emissionen gemäß 2006 IPCC-Richtlinie nur als CO₂-

Emissionen angegeben werden. Und die Emissionsfaktoren für die Herstellung und Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen (2.D.3) sowie für die Herstellung von Asphaltmischgut (2.D.3) beziehen sich nur auf NMVOC und sind Forschungsberichten entnommen.

Die Emissionsfaktoren und die anderen Parameter, die in die Berechnung der Emissionen aus der Lösemittelverwendung eingehen, sind nationalen Studien und Fachgutachten oder vom UBA direkt beauftragten Forschungsprojekten entnommen, teilweise basieren sie auch auf Expertenangaben aus Branchendialogen.

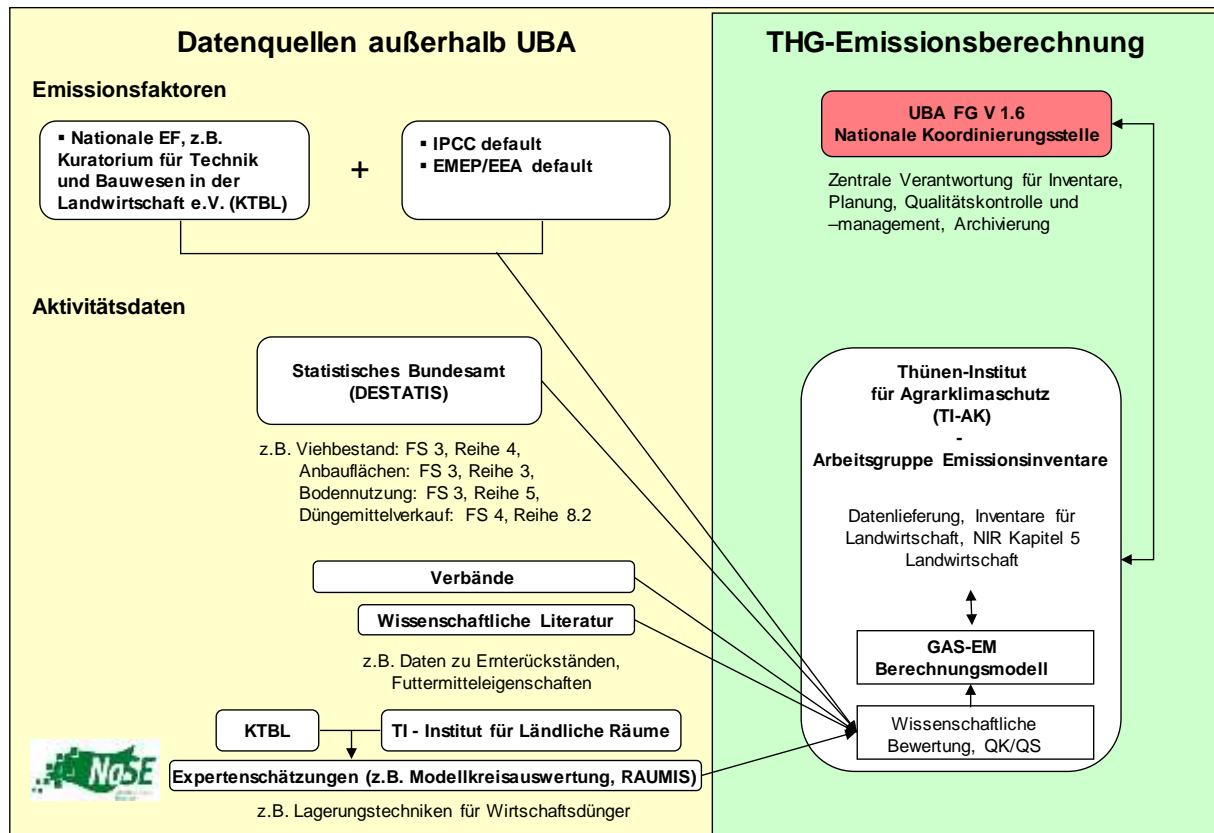
Genauere Angaben zu den Emissionsfaktoren sind in der Methodenbeschreibung der einzelnen Kategorien zu finden. Die Aktivitätsdaten für die Elektronikindustrie (2.E), die Produktverwendung als Ersatz von ODS (2.F) und Andere Produktherstellung und -verwendung (2.G) werden aus Hersteller- und Verbandsangaben, aus Erhebungen des Statistischen Bundesamtes und anderer Bundesbehörden, sowie mit Hilfe von Berechnungsmodellen ermittelt. In Einzelfällen liegen auch direkt vom Hersteller Emissionsangaben vor. Die Daten unterteilen sich in mehrere Subkategorien. Die Produktverwendung als Ersatz von ODS unterteilt man außerdem in Herstellungs-, Anwendungs- und Entsorgungsemissionen. Auch in diesen Kategorien unterliegen die Daten in einigen Bereichen der Vertraulichkeit.

Die Emissionsfaktoren für die fluorierten Treibhausgase werden teilweise aus nationalen und internationalen Merkblättern und Richtlinien entnommen, aus Expertenbefragungen gewonnen oder es werden IPCC Default-Werte übernommen.

Im Bereich 2.H.1 Andere Produktionen: Zellstoff- und Papierherstellung werden die Daten des Leistungsberichtes des Verbandes Deutscher Papierfabriken verwendet. Im Bereich 2.H.2 Andere Produktionen: Nahrungsmittel und Getränke werden Daten der Bundesvereinigung der Deutschen Ernährungsindustrie (BVE), des Statistischen Bundesamtes und des Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) genutzt. Emissionsfaktoren stammen aus einem Forschungsvorhaben, das 2008 abgeschlossen wurde.

1.4.1.1.3 Landwirtschaft

Abbildung 11: Verantwortlichkeiten und Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft



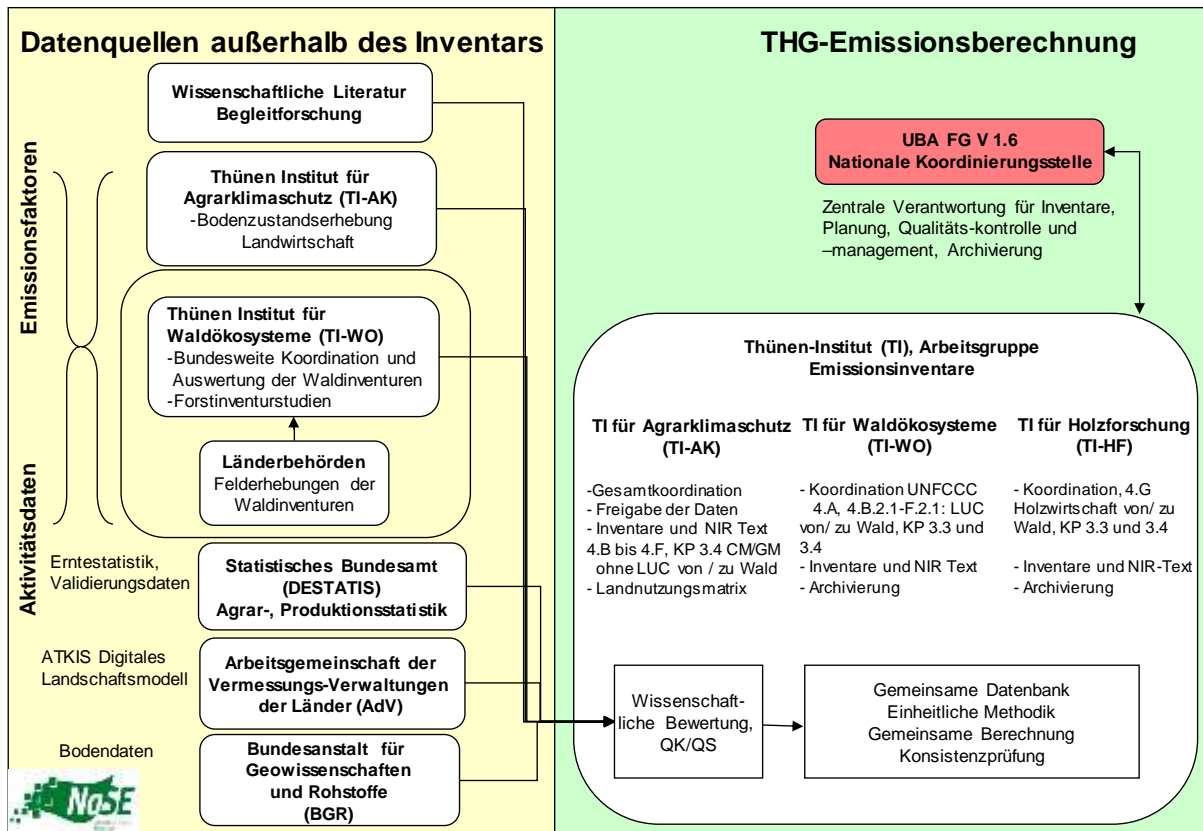
Die Berechnungen der Emissionen für die Kategorie 3 (Landwirtschaft) erfolgen durch das Thünen-Institut (TI). Zur Berechnung der landwirtschaftlichen Emissionen in Deutschland wurde von BMUB und BMEL ein Projekt initiiert, wonach die damalige FAL ein modulares Tabellenkalkulations-Modell (GASeous EMISSIONS, GAS-EM) entwickelte (Dämmgen et al. (2002) & Rösemann et al. (2019)).

Die Agrarstatistik des Statistischen Bundesamtes stellt eine wesentliche Datenquelle für die Berechnung der Landwirtschaftsemissionen dar. Die Tierzahlen sind der Fachserie 3, Reihe 4 des Statistischen Bundesamtes entnommen (*STATISTISCHES BUNDESAMT, FS 3, R 4*), weitere Fachserien stellen die verkauften Düngermengen oder die Angaben zu landwirtschaftlichen Anbauflächen zur Verfügung. In einzelnen Bereichen werden diese Daten aus der Literatur ergänzt (z.B. Ernterückstände, Futtermittelgaben). Daneben liegen Daten aus speziellen Expertenschätzungen vor (beispielsweise eine Auswertung von Modell-Landkreisen hinsichtlich Lagerungstechniken für Wirtschaftsdünger).

Die Berechnungen im Bereich Landwirtschaft basieren in vielen Bereichen auf stark differenzierten Aktivitätsdaten, die auf der Basis nationaler Datenquellen erhoben worden sind. Die Aktivitätsdaten werden in Abhängigkeit von den Emissionsquellen mit nationalen Emissionsfaktoren oder den Standard-Emissionsfaktoren der 2006 IPCC Guidelines und des EMEP/EEA-Handbuchs der United Nation Economic Commission for Europe (UN ECE) kombiniert.

1.4.1.1.4 Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft

Abbildung 12: Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Bereich Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) und KP-LULUCF



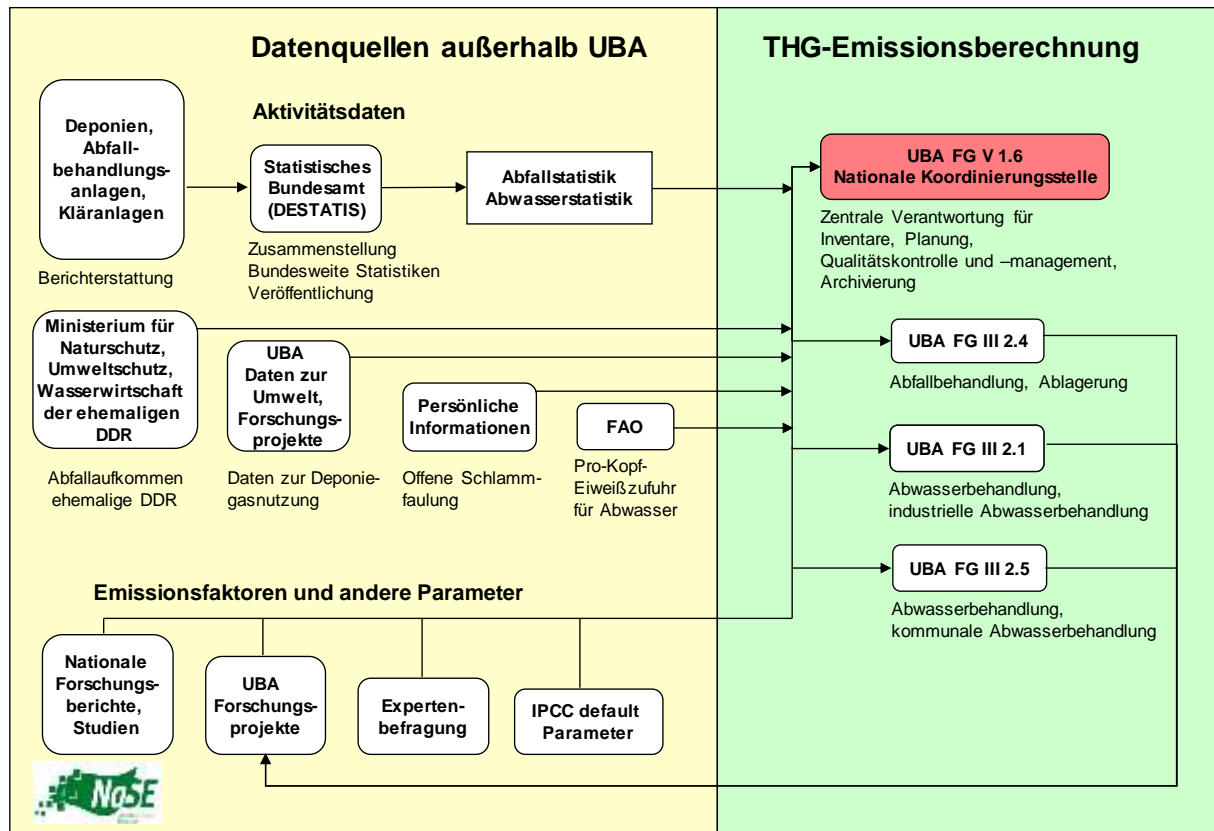
In der Submission 2012 wurde eine konsistente einheitliche Methodik zur Erfassung von Landnutzungsänderungen im LULUC-Sektor und der Forstwirtschaft eingeführt. Die Methodik erweitert das stichprobenbasierte System für die Erfassung der Waldfläche und der Landnutzungsänderungen von und zu Wald auf alle Landnutzungskategorien und -änderungen. In der aktuellen Submission wurde die Methode zur Erstellung der Landnutzungsmatrix angepasst und erweitert und die Emissionsberechnung am Stichprobenpunkt eingeführt.

Die Bodenkohlenstoffvorratsschätzung wird an Hand von nutzungsdifferenzierten Bodenkarten und Bodenprofilaten und der Bodenzustandserhebungen im Wald und auf landwirtschaftlichen Flächen (BZE) vorgenommen und die Veränderungen dieser Vorräte infolge Nutzungsänderungen mittels Änderungen in den mittleren Vorräten je Landnutzungskategorie abgeschätzt.

Die Schätzung der Kohlenstoffvorratsänderungen in der Biomasse erfolgt anhand der Angaben der Erntestatistik, der Bodennutzungshaupterhebung, der Bundeswaldinventuren (BWI) und spezifischer Faktoren aus der wissenschaftlichen Literatur in Verbindung mit den Flächendaten.

1.4.1.1.5 Abfall und Abwasser

Abbildung 13: Datenfluss für die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Bereich Abfall und Abwasser



Für die Berechnung der Emissionen aus dem Bereich Abfall ist bezüglich der Methodik und der Wahl der Parameter und Daten für die Berechnungen das UBA-Fachgebiet *Abfalltechnik und Abfalltransfer* (FG III 2.4) zuständig.

Für die Aktivitätsdaten im Bereich Abfall wird hauptsächlich auf veröffentlichte Daten des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen, das detaillierte und disaggregierte Zeitreihen liefert. Genaue Angaben, welche statistischen Fachserien und Quellen genutzt wurden, sind im Abschnitt Abfall enthalten. Das Statistische Bundesamt hat keine Daten zu Abfallmengen der ehemaligen DDR veröffentlicht. Hier wurde auf eine offizielle Quelle des Ministeriums für Naturschutz, Umweltschutz und Wasserwirtschaft der ehemaligen DDR zurückgegriffen. Die Berechnungen der Deponiegasnutzung basieren auf Daten der Energiebilanzen und der Fachserie 19 des Statistischen Bundesamtes. Im Rahmen des In-Country-Review 2010 wurde die Datenbasis für die Deponiegasnutzung aktualisiert. Daten der Gasfassung bei Deponien in der Nachsorgephase werden seit 2012 statistisch erfasst.

Die Emissionsfaktoren und die anderen Parameter, die in die Berechnung der Emissionen aus der Abfalldeponierung, der Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlung und der Kompostierung eingehen, stammen aus nationalen Studien und Forschungsberichten, aus vom UBA direkt beauftragten Forschungsprojekten. Darüber hinaus wurden auch IPCC default Parameter genutzt. Zu einigen wenigen Parametern (z.B. Wahl der Halbwertszeit) wurden einzelne Experten befragt. Im entsprechenden Kapitel ist genauer dokumentiert, welche Parameter aus welchen Quellen stammen.

Für die Berechnung der Emissionen aus dem Bereich der industriellen Abwasser- und Schlammbehandlung (5.D.2) ist bezüglich der Methodik und der Wahl der Parameter und Daten

für die Berechnungen das UBA-Fachgebiet *Übergreifende Angelegenheiten, Chemische Industrie, Feuerungsanlagen* (III 2.1) zuständig. Für die Berechnung der Emissionen aus dem Bereich der kommunalen Abwasser- und Schlammbehandlung (5.D.1) ist bezüglich der Methodik und der Wahl der Parameter und Daten für die Berechnungen das UBA-Fachgebiet *Überwachungsverfahren, Abwasserentsorgung* (FG III 2.5) zuständig.

Für die Aktivitätsdaten im Bereich Abwasser wird hauptsächlich auf veröffentlichte Daten des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen, das detaillierte und disaggregierte Zeitreihen liefert. Genaue Angaben, welche statistischen Fachserien und Quellen genutzt wurden, sind im Abschnitt Abwasser enthalten. Für die Pro-Kopf-Eiweiß-Zufuhr werden Daten der FAO verwendet.

Die Emissionsfaktoren und die anderen Parameter, die in die Berechnung der Emissionen aus der Abwasserbehandlung eingehen, stammen aus nationalen Studien und aus vom UBA direkt beauftragten Forschungsprojekten. Zudem werden IPCC default Parameter genutzt. Zu einigen wenigen Parametern und methodischen Fragen (z.B. Auftreten von CH₄-Emissionen in aeroben Abwasserbehandlungsverfahren) wurden verschiedene Experten direkt befragt.

1.4.1.2 Methoden

Die verwendeten Methoden für die einzelnen Kategorien werden in den Übersichtstabellen der einzelnen Kategorien und in den Summary Tables 3s1 und 3s2 der CRF-Berichtstabellen dargestellt. Zudem ist eine ausführliche Beschreibung in den jeweiligen Kategorienkapiteln zu finden.

Unterschieden werden Berechnungen nach länderspezifischen Methoden (CS – country specific), und nach in den einzelnen Kategorie unterschiedlich detaillierten IPCC Berechnungsmethoden (engl. *Tier*)¹⁶. Die Zuordnung der Berechnung zu den verschiedenen IPCC-Methoden hängt vom Anteil der Äquivalentemission der Kategorie an der Gesamtemission ab. Diese Zuordnung wird durch das Instrument der Key-Category Analyse getroffen (siehe hierzu Kapitel 1.5).

Die in indirektes CO₂ umgerechneten NMVOC Emissionen der Lösemittelverwendung werden auf Basis eines produktverbrauchs-orientierten Ansatzes gemäß den 2006 IPCC Guidelines berechnet. Ein ähnliches Verfahren wird bei der Schmiermittelanwendung eingesetzt.

1.4.2 KP-LULUCF-Aktivitäten

Die unter der KP-Berichterstattung verwendeten Datenquellen und Methoden unterscheiden sich nicht von den verwendeten Datenquellen und Methoden der Berichterstattung der Kategorien der CRF Kategorien 4.A, 4.B, 4.C und 4.G unter UNFCCC. Daher gibt es diesbezüglich keine Unterschiede. Siehe auch Kapitel 1.4.1.1.4 sowie Kapitel 5.2 .

1.5 Kurzbeschreibung der Hauptkategorien

1.5.1 Treibhausgas-Inventar (mit und ohne LULUCF)

Zur Festlegung der Hauptkategorien wurden beide Methode 1-Verfahren Level (für das Basisjahr, 1990 und das aktuellste Jahr) sowie Trend (für das aktuellste Jahr gegenüber dem Basisjahr) für die deutschen Treibhausgasemissionen angewendet. Zusätzlich wurde auch das Methode -2-Verfahren angewendet. Es wurden entsprechend den IPCC-Vorgaben für das Methode -1-Verfahren hierbei nicht nur die Emissionen aus Quellen sondern auch die Einbindung der

¹⁶ Tier 1 bezeichnet die jeweils einfacheren, mit weniger Eingangsdaten benutzbaren Berechnungsmethoden, während Tier 2 bzw. Tier 3 differenziertere Eingangsdaten benötigen und somit üblicherweise zu genaueren Ergebnissen führen.

Treibhausgase in Senken in den Analysen berücksichtigt. Dazu werden die Analysen zunächst nur für die Emissionen aus den Quellen des Anhang 1 der Klimarahmenkonvention durchgeführt und in einem zusätzlichen zweiten Durchlauf die Einbindung der Treibhausgase in die Senken einbezogen. Alle festgelegten Hauptkategorien ergaben sich entweder durch die Levelanalysen oder die Trendbewertung oder die Methode -2-Hauptkategorienanalyse auf Basis der aktuellen Unsicherheitenbestimmung. Durch die Bewertung qualitativer Aspekte sind keine neuen Hauptkategorien hinzugekommen (Erläuterungen hierzu siehe Anhangkapitel 17.1.2).

Im Ergebnis wurden in der aktuellen Berichterstattung im Methode -1-Verfahren insgesamt 51 der untersuchten 171 Quell- bzw. Senkengruppen als Hauptkategorie identifiziert. 33 hiervon wurden gleichzeitig durch die Trend- und Levelanalysen als Hauptkategorie ermittelt. Zusätzlich wurden 13 Kategorien nur durch die Trend- bzw. 5 Kategorien nur durch die jeweiligen Levelanalysen als Hauptkategorie identifiziert. Im Methode-2-Verfahren wurden 6 weitere Hauptkategorien identifiziert (s. Tabelle 8).

Letztendlich wurden damit 51 Hauptkategorien festgelegt, die in Tabelle 5 zusammengefasst dargestellt sind.

Tabelle 5: Anzahl der Kategorien und Hauptkategorien

Kategorie			171	Hauptkategorien
nach Level	Level & Trend	Trend		
6	33	13		51 (Methode 1)
				+6 (Methode 2)
				57 (gesamt)

Eine Übersicht der Ergebnisse der Hauptkategorienanalyse nach Methode 1 ist in Tabelle 6 zusammengestellt. In Tabelle 8 sind die aufgrund der Methode 2 Analyse hinzugekommenen Hauptkategorien dargestellt. Detaillierte Darlegungen zur durchgeführten Hauptkategorien-Analyse sind im Anhang 1 (Kapitel 17) dieses Berichts zusammengestellt.

Gegenüber den im vergangenen Jahr ermittelten Ergebnissen haben sich nur geringe Änderungen ergeben. Die Anzahl der Hauptkategorien nach Methode-1-Analyse hat sich mit 51 Hauptkategorien um eine erhöht.

Zwei Hauptkategorien sind hinzugekommen:

- CO₂ Emissionen aus zivilem Luftverkehr (1.A.3.a)
- CH₄ Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger von Milchkühen (3.B)

Eine Hauptkategorie ist weggefallen.

- N₂O-Emissionen aus der Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung (1.A.1.a)

Deutschland wendet alle empfohlenen Verfahren für die Ermittlung bzw. Bewertung der Quellkategorien an. Die 2006 IPCC-Guidelines (IPCC (2006): Vol. 1, Ch. 4.3) schreiben vor dass 95% der Emissionen aus Quellen bzw. Einbindungen in Senken als Hauptkategorien festgelegt werden müssen. Da die Festlegung der Hauptkategorien in Deutschland durch die Kombination der Ergebnisse aller Analysenverfahren und Bewertungen erfolgt, werden insgesamt die verursachenden Aktivitäten für ca. 98 % des Inventars als Hauptkategorien identifiziert. Ein Vergleich der Hauptkategorienanalyse des CRF Reporters mit der von Deutschland hat ergeben, dass diese nur geringfügig voneinander abweichen. Im Ansatz bestehen kleine Unterschiede, so wird im Energiebereich von Deutschland in Unterkategorien unterschieden und beim CRF Reporter in Brennstofftypen differenziert. Die Anzahl der Hauptkategorien ist nahezu gleich.

1.5.2 Inventar einschließlich der KP-LULUCF Berichterstattung

Im Ergebnis der im vorherigen Kapitel beschriebenen Analyse des UNFCCC-Inventars erwiesen sich die CO₂-Emissionen/Einbindungen der Kategorien *Forest Land* (4.A), *Cropland* (4.B), *Grassland* (4.C), *Wetlands* (4.D) und *Settlements* (4.E) als Hauptkategorie. Für diese Kategorien wurde unter Anwendung der methodischen Vorgaben des Kapitels „2.3.6 choice of method“ der 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol weitere detaillierte Analysen durchgeführt. Im Ergebnis wurden die in Tabelle 7 festgelegten Unterkategorien als Hauptkategorien für das KP-LULUCF-Inventar nach Artikel 3.3 identifiziert. Ausschlaggebend hierfür war die Höhe des Emissionsbeitrages bzw. der Emissionstrend. Unter Anwendung der Tabelle 2.1.1 wurden diesen Kategorien die entsprechend Artikel 3.4 gewählten Aktivitäten gegenüber gestellt. Deutschland hat unter diesem Artikel des Kyoto-Protokolls Waldbewirtschaftung, Ackerland- und Weidelandbewirtschaftung gewählt. Diese Ergebnisse sowie die für die Auswahl angewendeten Kriterien enthält CRF-Tabelle NIR.3 (Tabelle 543 in Kapitel 17.1.4).

Tabelle 6: Hauptkategorien für Deutschland gemäß Methode 1-Ansatz

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2019	Level 2019 +LULUCF	Trend 2019	Trend 2019 +LULUCF	KCA decision
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		CH4	-	-	-	-	●	●	●	●	L/T
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 1 b, Petroleum Refining	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 1 b, Petroleum Refining		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 1 b, Petroleum Refining		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 a, Iron and steel	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 2 a, Iron and steel		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 a, Iron and steel		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 b, Non-ferrous metals	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 b, Non-ferrous metals		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 b, Non-ferrous metals		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 g, Other	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 2 g, Other		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 2 g, Other		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 a, Domestic Aviation	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	●	●	-	●	L/T
1 A 3 a, Domestic Aviation		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 a, Domestic Aviation		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2019	Level 2019 +LULUCF	Trend 2019	Trend 2019 +LULUCF	KCA decision
1 A 3 b, Road Transport	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 3 b, Road Transport		CH4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
1 A 3 b, Road Transport		N2O	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
1 A 3 c, Railways	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
1 A 3 c, Railways		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 c, Railways		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 d, Domestic Navigation	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	-	-	●	-	L/T
1 A 3 d, Domestic Navigation		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 d, Domestic Navigation		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 e, Other Transportation	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 e, Other Transportation		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 3 e, Other Transportation		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 4 a, Commercial/Institutional	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 4 a, Commercial/Institutional		CH4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
1 A 4 a, Commercial/Institutional		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 4 b, Residential	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
1 A 4 b, Residential		CH4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
1 A 4 b, Residential		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	●	●	●	-	L/T
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 5, Other: Military	fossil fuels	CO2	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
1 A 5, Other: Military		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 A 5, Other: Military		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 1, Solid Fuels	fossil fuels	CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 1, Solid Fuels		CH4	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
1 B 2 a, Oil		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 2 a, Oil		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 2 a, Oil		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 2 b, Natural Gas		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 2 b, Natural Gas		CH4	●	●	●	●	●	●	-	-	L/-
1 B 2 c, Venting and Flaring		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 2 c, Venting and Flaring		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
1 B 2 c, Venting and Flaring		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 A 1, Cement Production		CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
2 A 2, Lime Production		CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
2 A 3, Glass Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 A 4, Other Process Uses of Carbonates		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 1, Ammonia Production		CO2	●	●	●	●	●	●	-	-	L/-

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2019	Level 2019 +LULUCF	Trend 2019	Trend 2019 +LULUCF	KCA decision
2 B 2, Nitric Acid Production		N2O	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
2 B 3, Adipic Acid Production		N2O	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
2 B 5, Carbide Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 7, Soda Ash Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 9 a, By-product Emissions		HFC-23	●	●	●	●	-	-	●	●	L/T
2 B 9 b, Fugitive Emissions		SF6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 9 b, Fugitive Emissions		HFC-134a	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 9 b, Fugitive Emissions		HFC-227ea	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 9 b, Fugitive Emissions		CF4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 B 10, Other		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 1, Iron and Steel Production		CO2	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
2 C 1, Iron and Steel Production		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 1, Iron and Steel Production		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 2, Ferroalloys Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 2, Ferroalloys Production		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 3, Aluminium Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 3, Aluminium Production		SF6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 3, Aluminium Production		CF4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
2 C 3, Aluminium Production		C2F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 4, Magnesium Production		SF6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 4, Magnesium Production		HFC-134a	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 5, Lead Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 C 6, Zinc Production		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 D 1, Lubricant Use		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 D 2, Paraffin Wax Use		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 D 2, Paraffin Wax Use		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 D 3, Other		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2019	Level 2019 +LULUCF	Trend 2019	Trend 2019 +LULUCF	KCA decision
2 E, Electronics Industry		SF6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		NF3	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		HFC-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		HFC-32	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		CF4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		C2F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		C3F8	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		c-C4F8	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 E, Electronics Industry		C6F14	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-32	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-43-10mee	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-125	-	-	-	-	●	-	●	●	L/T
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-134a	-	-	-	-	●	●	●	●	L/T
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-143a	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-152a	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-227ea	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-236fa	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-245fa	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-365mfc	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C2F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C3F8	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C6F14	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 G, Other Product Manufacture and Use		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 G, Other Product Manufacture and Use		N2O	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
2 G, Other Product Manufacture and Use		SF6	●	●	●	●	●	●	-	-	L/-
2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-134a	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-245fa	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-365mfc	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
2 G, Other Product Manufacture and Use		C10F18	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 A, Enteric Fermentation	dairy cows	CH4	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
3 A, Enteric Fermentation	non-dairy cattle	CH4	●	●	●	●	●	●	-	-	L/-
3 A, Enteric Fermentation	other animals	CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	dairy cows	CH4	-	-	-	-	-	-	-	●	-/T
3 B, Manure Management	non-dairy cattle	CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	swine	CH4	-	●	-	●	●	●	-	-	L/-
3 B, Manure Management	other animals	CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	dairy cows	N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	non-dairy cattle	N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year +LULUCF	Level 1990	Level 1990 +LULUCF	Level 2019	Level 2019 +LULUCF	Trend 2019	Trend 2019 +LULUCF	KCA decision
3 B, Manure Management	swine	N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	other animals	N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	deposition	N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 D, Agricultural Soils		N2O	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
3 G, Liming		CO2	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
3 H, Urea Application		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 I, Other Carbon-containing Fertilizers		CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 J, Other		CH4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
3 J, Other		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
4 A, Forest Land		CO2		●		●		●		●	L/T
4 A, Forest Land		CH4		-		-		-		-	-/-
4 A, Forest Land		N2O		-		-		-		-	-/-
4 B, Cropland		CO2		●		●		●		●	L/T
4 B, Cropland		CH4		-		-		-		-	-/-
4 B, Cropland		N2O		-		-		-		-	-/-
4 C, Grassland		CO2		●		●		●		●	L/T
4 C, Grassland		CH4		-		-		-		-	-/-
4 C, Grassland		N2O		-		-		-		-	-/-
4 D, Wetlands		CO2		●		●		●		●	L/T
4 D, Wetlands		CH4		-		-		-		-	-/-
4 D, Wetlands		N2O		-		-		-		-	-/-
4 E, Settlements		CO2		-		-		●		●	L/T
4 E, Settlements		CH4		-		-		-		-	-/-
4 E, Settlements		N2O		-		-		-		-	-/-
4 G, Harvested Wood Products		CO2		-		-		●		●	L/T
5 A, Solid Waste Disposal		CH4	●	●	●	●	●	●	●	●	L/T
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		CH4	-	-	-	-	-	-	●	-	-/T
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
5 D 1, Domestic Wastewater		CH4	-	-	-	-	-	-	●	●	-/T
5 D 1, Domestic Wastewater		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
5 D 2, Industrial Wastewater		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
5 D 2, Industrial Wastewater		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
5 E, Other		CH4	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
5 E, Other		N2O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-

Tabelle 7: Ergebnis der Hauptkategorienanalyse KP-LULUCF

Kategorie	gewählte KP Aktivitäten (siehe KP supplement Table 2.1.1)	Substanz	1990	2019	1990	2019
4.A.1 Forest Land remaining Forest Land	FM	CO ₂	22.322,0	58.071,6	●	●
4.A.1 Forest Land remaining Forest Land	FM	CH ₄	1,5	1,8	-	-
4.A.1 Forest Land remaining Forest Land	FM	N ₂ O	1,1	1,1	-	-
4.A.2 Land converted to Forest Land	AR	CO ₂	256,1	617,5	●	●
4.A.2 Land converted to Forest Land	AR	CH ₄	0,0	0,1	-	-
4.A.2 Land converted to Forest Land	AR	N ₂ O	0,4	0,2	-	-
4.B.1 Cropland remaining Cropland	CM	CO ₂	10.614,9	7.559,4	●	●
4.B.1 Cropland remaining Cropland	CM	CH ₄	5,4	2,8	-	-
4.B.2 Land converted to Cropland	D, CM	CO ₂	2.896,2	8.777,3	●	●
4.B.2 Land converted to Cropland	D, CM	CH ₄	0,5	2,6	-	-
4.B.2 Land converted to Cropland	D, CM	N ₂ O	0,8	2,2	-	-
4.C.1 Grassland remaining Grassland	GM	CO ₂	26.512,1	22.378,5	●	●
4.C.1 Grassland remaining Grassland	GM	CH ₄	40,1	39,9	-	-
4.C.1 Grassland remaining Grassland	GM	N ₂ O	0,2	0,4	-	-
4.C.2 Land converted to Grassland	D, CM, GM	CO ₂	417,7	5.371,7	●	●
4.C.2 Land converted to Grassland	D, CM, GM	CH ₄	2,4	4,7	-	-
4.C.2 Land converted to Grassland	D, CM, GM	N ₂ O	0,0	0,0	-	-
4.D.1 Wetlands remaining Wetlands	-	CO ₂	3.568,6	3.458,7	●	●
4.D.1 Wetlands remaining Wetlands	-	CH ₄	14,3	12,7	-	-
4.D.1 Wetlands remaining Wetlands	-	N ₂ O	0,1	0,1	-	-
4.D.2 Land converted to Wetlands	D, CM, GM	CO ₂	99,7	875,1	●	●
4.D.2 Land converted to Wetlands	D, CM, GM	CH ₄	0,2	7,6	-	-
4.D.2 Land converted to Wetlands	D, CM, GM	N ₂ O	0,0	0,0	-	-
4.E.1 Settlements remaining Settlements	-	CO ₂	2.037,4	1.567,8	●	●
4.E.1 Settlements remaining Settlements	-	CH ₄	1,8	1,6	-	-
4.E.1 Settlements remaining Settlements	-	N ₂ O	0,2	0,2	-	-
4.E.2 Land converted to Settlements	D, CM, GM	CO ₂	391,7	2.554,4	●	●
4.E.2 Land converted to Settlements	D, CM, GM	CH ₄	0,1	1,2	-	-
4.E.2 Land converted to Settlements	D, CM, GM	N ₂ O	0,1	0,7	-	-
4.F.1 Other Land remaining Other Land		CO ₂	0,0	0,0	-	-
4.F.2 Land converted to Other Land	D, CM, GM	CO ₂	0,0	0,0	-	-

Tabelle 8: Hauptkategorien für Deutschland, die sich nur aufgrund des Methode 2-Ansatzes ergeben

IPCC Source Categories	Activity	Emissions of
3 B, Manure Management	dairy cows	N ₂ O
3 B, Manure Management	deposition	N ₂ O
4 B, Cropland		N ₂ O
4 C, Grassland		CH ₄
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		N ₂ O
5 D 1, Domestic Wastewater		N ₂ O

1.6 Informationen zum Qualitätssicherungs- und –kontrollplan sowie zum Inventarplan inklusive Verifizierung und zum Umgang mit vertraulichen Informationen

1.6.1 Prozeduren zu Qualitätssicherung- und –kontrolle

1.6.1.1 QK/QS-Plan

Gemäß den Anforderungen der 2006 IPCC Guidelines sollen die für die Emissionsberichterstattung notwendigen QK/QS- und Verifikationsmaßnahmen in einem QK/QS-Plan zusammengefasst werden. Dabei ist die primäre Aufgabe eines QK/QS-Plans, diese Maßnahmen zu organisieren, zu planen und die Durchführung sicherzustellen. Das grundlegende Ziel des QK-Plans, sowie des Nationalen Systems ist es, das gesamte Inventar, in jedem Jahr einer vollständigen QK entsprechend den Guidelines zu unterziehen, unabhängig davon, ob es sich um Hauptkategorien handelt oder um solche, die dies nicht sind. Der QK-Plan besteht daher aus den Checklisten zur QK/QS (siehe Kapitel 1.6.1.2) und dem Inventarplan (siehe Kapitel 1.6.1.3). Eine nahezu identische Herangehensweise wird auch beim QS-Plan verfolgt, was bedeutet, dass, wie auch von den Guidelines gefordert, in jedem Jahr entsprechende Qualitätsprüfungen erfolgen, die aber hinsichtlich der geforderten „Peer-Reviews“ einen periodischen Ansatz verfolgen (siehe auch weiter unten). Der QS-Plan besteht somit aus den Checklisten zur QK/QS (siehe Kapitel 1.6.1.2) und dem Terminplan der Emissionsberichterstattung (siehe Kapitel 1.2.1.5) mit den damit verbundenen Aufgaben. Letztere und die vom QSE vorgegebenen Freigabeprozesse stellen sicher, dass die Inventare jährlich eine Vielzahl von internen, vor allem aber externen qualitätssichernden Prüfinstanzen durchlaufen. Dazu gehören auch jährlich von den beteiligten Ministerien durchzuführende „basic Expert Peer-Reviews“, deren Ergebnisse, inkl. möglicher Korrekturen, im Rahmen der etablierten Routinen, vor Fertigstellung der Berichterstattung in die Inventare einfließen. Abgerundet werden diese qualitätssichernden Aktivitäten durch periodisch durchgeführte Peer Reviews (siehe Kapitel 1.6.1.4).

Durch regelmäßige Anpassung und Überarbeitung der genannten Instrumente, auch unter Berücksichtigung landesspezifischer Bedürfnisse, ist sichergestellt, dass die Anforderungen der 2006 Guidelines auch hinsichtlich einer angemessenen Berücksichtigung nationaler Besonderheiten erfüllt werden.

Eine allgemeine Beschreibung der Aufbau- und Ablauforganisation der Qualitätssicherung und -kontrolle findet sich in Kapitel 1.3.3.1. Dort sind auch die Prinzipien zur Steuerung und Dokumentation dieser Maßnahmen beschrieben.

Im „Handbuch zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Erstellung von Emissionsinventaren und der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen sowie der EU Entscheidung 525/2013/EG“ (UBA, 2015, unveröffentlicht) sind die Anforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Emissionsberichterstattung detailliert beschrieben. Qualitätsprüfungen, die überwiegend vor Abschluss der Inventarerstellung erfolgen, bilden das Herzstück der im Handbuch gemachten Vorgaben.

1.6.1.2 QK/QS-Checklisten

Die Qualitätsprüfungen werden mit Hilfe von Checklisten umgesetzt (zum Inhalt siehe Kapitel 1.3.3.1.5 und 22.1.2.1.11). Diese bestehen zurzeit aus ca. 85 rollenspezifischen Einzelzielen sowie rund 50 optionalen Zielen.

Aktuell sind etwa 50 UBA- und externe Mitarbeiter in unterschiedlichen funktionalen Rollen in vier aufeinander aufbauenden QK/QS-Prüfebene in die Emissionsberichterstattung

eingebunden. Die Prüfebene werden repräsentiert durch den eigentlichen Experten (FV), seinen Fachvorgesetzten (QKV), einen fachlichen Ansprechpartner für die jeweilige Kategorie in der Nationalen Koordinierungsstelle (FAP) und schließlich durch die Koordinatoren, die gemeinsam für das konsistente Gesamtergebnis NIR, Inventar, QSE und Unsicherheitschätzung zuständig sind.

Die rollenspezifischen QK/QS-Prüfungen werden generell den allgemeinen Qualitätszielen (siehe Kapitel 22.1.2.1.10.3) und den einzelnen Prozessschritten (siehe Kapitel 1.2.3) bei der Inventarerstellung zugeordnet, damit die anschließende Auswertung auch nach diesen Gesichtspunkten erfolgen kann. In der Summe decken die Prüfungen den gesamten Prozess der Inventarerstellung ab.

Die anschließende Auswertung der Checklisten zeigt bei einzelnen Kategorien bestimmte Aspekte auf, die hinsichtlich der Einhaltung spezifischer Inventaranforderungen zu überprüfen und ggf. zu überarbeiten sind. Zu diesem Zweck werden sie um weiterführende Informationen ergänzt. Die überwiegende Mehrzahl aller identifizierten Prüfbedarfe wird in den verbindlichen Inventarplan überführt. Dieser wird haus- und ressortabgestimmt und anschließend in aggregierter Form veröffentlicht.

1.6.1.3 Inventarplan

Für die jährliche Erstellung des Inventarplans werden die Ergebnisse der QK/QS-Checklisten aller Kategorien ausgewertet und die nicht erreichten Ziele mit notwendigen Verbesserungsmaßnahmen, sowie Terminen zu ihrer Umsetzung hinterlegt (Follow-up-procedure). Diese werden ergänzt um die im NIR benannten Verbesserungsaktivitäten (s. Kapitel 10.4.1), die Ergebnisse der verschiedenen Reviewprozeduren der UNFCCC und der EU-Kommission, um Auditergebnisse (siehe 1.6.1.4) sowie sonstige Verbesserungsbedarfe. Der Inventarplan umfasst damit eine Vielzahl von Einzelmaßnahmen, die von unterschiedlichen Rollen des QSE (siehe Rollenkonzept des QSE Kapitel 1.3.3.1.3) und den in die Emissionsberichterstattung eingebundenen Bundesministerien Deutschlands (siehe Kapitel 1.3.3.1.3) bzw. deren nachgeordneten Behörden umzusetzen sind. Die enthaltenen Maßnahmen sind verbindlich innerhalb der im Inventarplan festgelegten Zeiträume umzusetzen, wobei die Bereitstellung der erforderlichen personellen und finanziellen Ressourcen den jeweils zuständigen Teilnehmern des NaSE obliegt.

Bei der Erstellung des jeweils aktuellen IP wird vom QSE-Koordinator auch die Abarbeitung der in den Vorjahren begebenen Handlungsbedarfe überprüft. Anhand der dadurch gewonnenen Informationen wird der IP zusätzlich aktualisiert. Handlungsbedarfe deren Termine nicht gehalten werden konnten, werden in ihrem Status auf „überfällig“ gesetzt und in ihrer Priorität heraufgesetzt (Follow-follow-up-procedure).

Da die einzelnen Maßnahmen des Inventarplans aufgrund ihrer großen Anzahl hier nicht darstellbar sind, wurden sie zu den in Tabelle 9 dargestellten übergeordneten Maßnahmen zusammengefasst. Der Inventarplan wird in einem fortlaufenden Prozess mindestens jährlich aktualisiert.

Im Zuge der Umsetzung der im Inventarplan enthaltenen Maßnahmen können regelmäßig große Teile der enthaltenen Einzelmaßnahmen bearbeitet und damit aufgelöst werden.

Tabelle 9: Inventarplan – offene Handlungsbedarfe

Haupt-kategorie	Kategorie (CRF-Code)	Planung zur Inventarverbesserung/Handlungsbedarf	Quelle	Quellenbezug-Berichtsjahr
Energy	1.A.3.d	Überprüfung, ob die Anforderungen der IPCC-Guidelines an die Auswahl der Berechnungsmethode und die Verfahren bei vorliegenden Methodenwechsel erfüllt sind oder ob bestehende Berechnungsmethoden/Modelle ggf. angepasst werden müssen.	NIR	2017
Industrial Processes	2.A.4.b.	Überprüfung, ob die Anforderungen der IPCC-Guidelines an die Auswahl der Berechnungsmethode und die Verfahren bei vorliegenden Methodenwechsel erfüllt sind oder ob bestehende Berechnungsmethoden/Modelle ggf. angepasst werden müssen.	Sonstige	2020
Energy	1.A.4.	Überprüfung, ob Datenlücken in Zeitreihen vorliegen.	CHKL	2020
Energy	1. fossil fractions of biofuels	Überprüfung, ob die Quellgruppe vollständig durch die Datenquelle abgedeckt wird und die Datenzuschnitte der EF und AR übereinstimmen.	NIR	2020
Industrial Processes	2.C.2, 2.C.3.a	Überprüfung, ob die Quellgruppe vollständig durch die Datenquelle abgedeckt wird und die Datenzuschnitte der EF und AR übereinstimmen.	Audit	2016
General	-		Audit	2016
Energy	1.A.2.g.vii., 1.A.3.b+c, 1.A.4.a.ii+b.ii+c.ii+iii, 1.A.5.b.(iii)	Überprüfung, ob die Unsicherheiten ermittelt wurden und vollständig und aktuell sind.	Audit, CHKL	2012, 2014-16, 2020-21
Industrial Processes	2.B.10.(i), 2.B.7, 2.C.3.a., 2.D.3.(b)	Überprüfung, ob die Unsicherheiten ermittelt wurden und vollständig und aktuell sind.	Audit, CHKL	2012, 2016+18+21
Waste	5.A.1, 5.B, 5.D.1+2		Audit, CHKL,Sonstige	2016, 2019-21
General	-		Audit, CHKL	2015, 2016, 2018
Energy	1.A, 1.A.2.e, 1.A.2.g.vii+iii., 1.A.3.a- c+d.(a+b)+e., 1.A.4.a.ii+b.ii+c.ii+iii,, 1.A.5.b (ii+iii)	Überprüfung, ob die geforderten Aufzeichnungs- und Dokumentationspflichten erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig, nachvollziehbar und aktuell sind.	ARR, CHKL	2013, 2017-21
Industrial Processes	2.A.1+3+4a, 2.B.3+8, 2.C.3.a., 2.D.1.(b), 2.D.3.(a,d,e,f,g,h,i)+j	Überprüfung, ob die geforderten Aufzeichnungs- und Dokumentationspflichten erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig, nachvollziehbar und aktuell sind.	Audit, CHKL	2016, 2018-21
LULUCF	4.LULUCF(Total area)		Audit	2016
Waste	5.A.1, 5.B.1+2, 5.D.1+2, 5.E.1.(a)		Audit, CHKL	2016, 2019-21
General	-	Überprüfung, ob Datenlieferanten bzw. Auftragnehmer geeignete routinemäßige Qualitätskontrollen durchführen und ob die durch die Nationale Koordinierungsstelle festgelegten Anforderungen an die Emissionsberichterstattung an diese weitergegeben und umgesetzt werden.	Audit, Sonstige	2014, 2016
Energy	1.A.3.a-d (a+b), 1.A.4.c.iii, 1.A.5, 1.A.5.b	Überprüfung, ob die geforderten Aufzeichnungs- und Dokumentationspflichten erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig, nachvollziehbar und aktuell sind.	Audit, CHKL	2012, 2015-16, 2019-21
Industrial Processes	2.B.8.a., 2.B.9, 2.C.2	Überprüfung, ob die geforderten Aufzeichnungs- und Dokumentationspflichten erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig, nachvollziehbar und aktuell sind.	Audit, CHKL	2012, 2016-17
Waste	5.B.1+2, 5.D.1		Audit, CHKL	2016, 2018
General	-		ARR, CHKL, Sonstige	2015+18
Energy	1.A.1, 1.A.2f, 1.A.3.d.(a), 1.D.1.a.	Überprüfung, ob die Anforderungen zum Abgleich und zur Verifizierung von Daten bzw. zugrunde liegender Annahmen erfüllt werden.	ARR, Audit, CHKL, Sonstige	2015+16, 2021
Industrial Processes	2.B.10.(i), 2.B.7, 2.C.2+5+6	Überprüfung, ob die Anforderungen zum Abgleich und zur Verifizierung von Daten bzw. zugrunde liegender Annahmen erfüllt werden.	Audit, CHKL	2015+16, 2019-21
Waste	5.A.1, 5.B.1+2, 5.D.1+2, 5.E.1.(a)		CHKL, Sonstige	2018-21
General	-		ARR	2010
Energy	1.A.3.d(b), 1.B.2.b.iv-vi	Überprüfung, ob die Hinweise aus den Inventarüberprüfungen berücksichtigt werden konnten.	CHKL	2019
Industrial Processes	2.B.10.(i)	Überprüfung, ob die Hinweise aus den Inventarüberprüfungen berücksichtigt werden konnten.	CHKL	2020
Energy	1.A.2.g.vii., 1.A.3.a- d(a+b)+e., 1.A.4.a.ii.+b.ii+c.ii+iii, 1.A.5.b. 1.B.2.c-Flaring	Überprüfung, ob die Anforderungen an die Datenkonsistenz erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig und nachvollziehbar sind.	CHKL	2018+19, 2021
Industrial Processes	2.B.3+7, 2.D.1.(b), 2.D.3.(j), 2.G.4.(c)	Überprüfung, ob die Anforderungen an die Datenkonsistenz erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig und nachvollziehbar sind.	Audit, CHKL	2016, 2019-21
Waste	5.A.1, 5.D., 5.D.2		CHKL, NIR, Sonstige	2013, 2016, 2020

Haupt-kategorie	Kategorie (CRF-Code)	Planung zur Inventarverbesserung/Handlungsbedarf	Quelle	Quellenbezug-Berichtsjahr
Energy	1.B.2	Überprüfung, ob die EF vollständig und plausibel (ohne Fehlstellen, vollständig dokumentiert) und aktuell sind.	NIR	2021
Industrial Processes	2.A.3, 2.C.3, 2.H.2.		ARR, Audit, NIR	2016, 2018, 2021
Waste	5.A.1	Überprüfung, ob die AR vollständig (ohne Fehlstellen, vollständig dokumentiert) und aktuell sind.	ARR, NIR	2018-20
Industrial Processes	2.A.3, 2.A.4.b		ARR, Audit, Sonstige	2016, 2018, 2021
Waste	5.D.1.		Sonstige	2021
Waste	5.A.1., 5.E.1.(a)	Überprüfung, ob Dateneingaben in das ZSE richtig im Sinne einer fehlerfreien Eingabe von Zahlen, Einheiten, Umrechnungsfaktoren und korrekter Einbindung sind.	CHKL	2021
Energy	1., 1.A.3.d.(a)	Überprüfung, ob die Quellgruppe für den NIR entsprechend der geforderten sechs Unterkapitel des NIR ("Beschreibung der Quellgruppe", "Methodische Aspekte" etc.) vollständig und nachvollziehbar beschrieben ist.	ARR, CHKL	2015+16, 2021
Industrial Processes	2.B.2+3+10.(i), 2.C.2+5+6.		ARR, CHKL	2018-20
Waste	5.A.1, 5.D.1+2, 5.E.1.(a)		ARR, CHKL	2018, 2020+21
Energy	1.A	Überprüfung, ob Rekalkulationen durchzuführen sind. Falls dies der Fall ist, sind sie nachvollziehbar zu dokumentieren.	ARR	2018
General	-		ARR, Sonstige	2014, 2016, 2018
Energy	1.A.2.g.vii, 1.A.3.a-d(a+b), 1.A.4.a.ii+b.ii+c.ii+iii, 1.A.5.b., 1.B.2.c. - Flaring, 1.D.1.a	Handlungsbedarfe unterschiedlichen Inhalts.	Audit, CHKL	2015-21
Industrial Processes	2.B.3+4+7+8+10.(i), 2.C.3.a.		Audit, CHKL	2015+16, 2019, 2021
Waste	5.A.1, 5.D.1+2		ARR, CHKL, Sonstige	2015+16, 2018
Energy	1.A.3.a+b	Überprüfung ob Zuständigkeiten aktualisiert werden müssen.	Audit	2016
Industrial Processes	2.A.4.b+c+d, 2.B.3, 2.B.4.a, 2.B.8.		CHKL, Sonstige	2016, 2019, 2021
Industrial Processes	2.D.3.(b)	Initiierte Forschungsprojekte zur Inventarverbesserung.	NIR	2012
Waste	5.A.1, 5.D.1		ARR, NIR	2015+16

Seit erstmaliger Veröffentlichung eines Inventarplanes mit der Berichterstattung 2007 sind mehrere tausend Handlungs- bzw. Verbesserungsbedarfe im Qualitäts-System zur Verbesserung adressiert worden.

Zum Ende des aktuellen Berichterstattungsjahres besteht der Inventarplan aus rund 300 aktiven Handlungs- bzw. Verbesserungsbedarfen. Sie verteilen sich auf etwa 70 Kategorien.

Im Verlauf der aktuellen Berichtsrunde sind rund 30 Verbesserungsbedarfe neu erkannt worden, während rund 60 Handlungsbedarfe erledigt werden konnten. Zu diesen letzteren gehört eine Handlungsempfehlung des UNFCCC-Review 2018. Die Handlungsempfehlungen des UNFCCC-Review 2020, konnten nicht in den aktuellen Inventarplan aufgenommen werden, da diese zum Zeitpunkt der Erstellung des Inventarplans seitens der UNFCCC nur im Entwurf vorlagen und dahernoch nicht endgültig verabschiedet sind. Aus dem ESD-Review 2020 ergaben sich zwei Verbesserungsbedarfe, die erledigt wurden.

Die Schwerpunkte der offenen bzw. in Bearbeitung befindlichen Verbesserungsbedarfe liegen in den Bereichen Dokumentation, Verifizierung und sonstige Verbesserungen.

In der Übersicht der Tabelle 10 werden detailliertere Informationen zu den erledigten Verbesserungsbedarfen gegeben. In beiden Tabellen (Tabelle 9 & Tabelle 10) sind die Reviewergebnisse ab 2006, die im NIR getroffenen Aussagen zu geplanten Verbesserungen ab 2011, die sonstigen Verbesserungsbedarfe ab 2008 sowie die CHKL-Ergebnisse der Jahre ab 2010 enthalten.

Detailinformationen zu einzelnen Verbesserungen hinsichtlich Kategorie, Priorität, Terminierung, Zuständigkeit, Gas, Brennstoff, Handlungsbedarf etc. können aufgrund des Umfangs der Informationen hier nicht dargestellt werden. Weiterführende Auszüge aus dem Inventarplan können für die erledigten Reviewergebnisse unter Tabelle 495 (Zusammenstellung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten Review-Empfehlungen) und für die im NIR getroffenen Aussagen zu geplanten Verbesserungen unter Tabelle 496 (Zusammenfassung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten und der offenen in den NIR-Kategoriekapiteln genannten geplanten Verbesserungen) eingesehen werden.

Tabelle 10: Inventarplan - erledigte Handlungsbedarfe/Verbesserungen

Hauptkategorie	Kategorie (CRF-Code)	Planung zur Inventarverbesserung/Handlungsbedarf	Quelle	Quellenbezug-Berichtsjahr
Waste	5.D.1	Überprüfung, ob die Anforderungen der IPCC-Guidelines an die Auswahl der Berechnungsmethode und die Verfahren bei vorliegenden Methodenwechsel erfüllt sind oder ob bestehende Berechnungsmethoden/Modelle ggf. angepasst werden müssen.	ARR	2018
Waste	5.D.2	Überprüfung, ob Datenlücken in Zeitreihen vorliegen.	CHKL	2018
Industrial Processes	2.D.2	Überprüfung, ob die Quellgruppe vollständig durch die Datenquelle abgedeckt wird und die Datenzuschnitte der EF und AR übereinstimmen.	NIR	2020
Waste	5.A.1, 5.D.1	Überprüfung, ob die Unsicherheiten ermittelt wurden und vollständig und aktuell sind.	CHKL	2020
Industrial Processes	2.B.8	Überprüfung, ob die geforderten Aufzeichnungs- und Dokumentationspflichten erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig, nachvollziehbar und aktuell sind.	CHKL	2017
Waste	5.A.1, 5.B, 5.D.1+2	Überprüfung, ob Datenlieferanten bzw. Auftragnehmer geeignete routinemäßige Qualitätskontrollen durchführen und ob die durch die Nationale Koordinierungsstelle festgelegten Anforderungen an die Emissionsberichterstattung an diese weitergegeben und umgesetzt werden.	Audit, CHKL	2015+16, 2018-20
Waste	5.D.1	Überprüfung, ob Datenlieferanten bzw. Auftragnehmer geeignete routinemäßige Qualitätskontrollen durchführen und ob die durch die Nationale Koordinierungsstelle festgelegten Anforderungen an die Emissionsberichterstattung an diese weitergegeben und umgesetzt werden.	Audit, CHKL	2016, 2018+19
General	General		CHKL	2020
Energy	1.A.4.c.iii., 1.A.5.b.(iii)	Überprüfung, ob die Anforderungen zum Abgleich und zur Verifizierung von Daten bzw. zugrunde liegender Annahmen erfüllt werden.	CHKL	2020+21
Industrial Processes	2.B.3		CHKL	2020
LULUCF	4., 4.G		CHKL, Sonstige	2020
Waste	5.A.1, 5.D.1		CHKL	2017, 2019+20
Energy	1.A.		ESD	2020
Industrial Processes	2.A+B	Überprüfung, ob die Anforderungen an die Datenkonsistenz erfüllt werden und die jeweiligen Unterlagen vollständig und nachvollziehbar sind.	ESD	2020
Waste	5.A.1, 5.D.1, 5.E.1.(a)		CHKL	2020+19
Industrial Processes	2.A.4.b	Überprüfung, ob die AR vollständig (ohne Fehlstellen, vollständig dokumentiert) und aktuell sind.	NIR	2020
Waste	5.D.1	Überprüfung, ob die Quellgruppe für den NIR entsprechend der geforderten sechs Unterkapitel des NIR ("Beschreibung der Quellgruppe", "Methodische Aspekte" etc.) vollständig und nachvollziehbar beschrieben ist.	CHKL	2015, 2020
Industrial Processes	2.B.8	Handlungsbedarfe unterschiedlichen Inhalts.	NIR	2016
Waste	5.D.1		CHKL	2019
Industrial Processes	2.A.5.a+b	Überprüfung ob Zuständigkeiten aktualisiert werden müssen.	Sonstige	2019
Industrial Processes	2.H.2	Initiierte Forschungsprojekte zur Inventarverbesserung.	NIR	2020

1.6.1.4 Audit

Im April 2016 wurde das Qualitätssystem (QSE) des Umweltbundesamtes von externer Stelle auditiert. Ziele waren:

- Prüfung ob das QSE mit den Qualitätsvorgaben der 2006 IPCC Guidelines übereinstimmt
- Identifizierung von Verbesserungspotentialen
- Identifizierung von möglichen Risiken für die Aufrechterhaltung der Datenqualität.

Es wurde ein Auditprogramm erarbeitet, welches deutlich mehr als nur einen repräsentativen Querschnitt über alle Emissionskategorien bietet, da die auditierten Mitarbeiter in den meisten Fällen weitere Kategorien betreuen und deren Vorgehen dort sich wenig von den herangezogenen Fällen unterscheidet.

Mit dem erarbeiteten Auditplan wurde im Februar 2016 ein Voraudit für zwei Kategorien sowie den Koordinatoren für das Qualitätssystem (QSE), das Zentrale System Emissionen (ZSE; Datenbank) und das Nationale System (NaSE) durchgeführt, um die Anwendbarkeit und den Zeitbedarf zu testen und um die Notwendigkeit von Anpassungen des Auditplanes zu ermitteln. Parallel zur Überarbeitung des Auditplans wurde ein Zeitplan für die Durchführung der Audits bei Einsatz von insgesamt 5 Auditoren erstellt. Beim Audit wurden an drei Tagen im Regelfall paarweise die Fachverantwortlichen (FV) und deren fachliche Ansprechpartner (FAP) für 44 von 148 Kategorien auditiert. Die überprüften Vorgehensweisen und Abläufe in den auditierten Kategorien repräsentieren mehr als 80 % der Gesamtemissionen des deutschen Treibhausgasinventars. Darüber hinaus wurden, soweit diese noch nicht im Voraudit erfasst waren, alle Koordinatoren in Einzelaudits in das Auditprogramm aufgenommen.

Der Auditplan umfasste folgende Themenfelder:

- Rollen und Zuständigkeiten
- Anwendung allgemeiner Verfahren der Qualitätskontrolle
- Umsetzung der Vorgaben des QSE-Handbuchs (Inventarbeschreibung, Inventraplan, NIR)
 - Kategorie-spezifische Qualitätskontrolle für
 - Emissionsfaktoren
 - Messungen
 - Aktivitätsraten
 - Berechnungsverfahren und Bestimmung der Unsicherheiten

Die wesentlichen Ergebnisse des Audits sind:

1. Die Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle/Qualitätssicherung (QK/QS), die durch die IPCC 2006 Guidelines vorgegeben werden, werden vorbehaltlos eingehalten. Alle Soll-Anforderungen werden mit der Ausgestaltung und Umsetzung des QSE erfüllt.
2. Die vorgegebenen QK/QS-Verfahren des QSE sind wirksam, um die Datenqualität entsprechend den Anforderungen der IPCC Guidelines zu gewährleisten, und einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess voranzutreiben. Voraussetzung hierfür ist die konsistente Umsetzung der Vorgaben des QSE durch die eingebundenen Mitarbeiter und Fachbereiche.
3. Das QSE geht über den eigenen Anspruch der Erfüllung der Mindestanforderungen weit hinaus und kann für viele Aspekte selbst Best-Practice-Beispiele in Anlehnung an die IPCC 2006 Guidelines bieten. Besonders hervorzuheben sind dabei die Ausgestaltung und der Umfang der Inventarbeschreibung, welche in fast allen untersuchten Kategorien ein umfassendes und transparentes Instrument für die Dokumentation von Daten, dem Bearbeitungsstand und den angewandten Verfahren darstellt. Lediglich im Bereich der Kategorie-spezifischen Qualitätskontrolle gibt es an einigen Stellen Verbesserungspotential,

welches langfristig umgesetzt werden könnte (z.B. die Erstellung von einheitlichen Vorlagen für Tabellenkalkulationsblätter)

4. Das Risiko hinsichtlich einer Verringerung der Datenqualität ist aufgrund der Ausgestaltung des QSE und insbesondere des hohen Informationsgehalts der in den Inventarbeschreibungen abgelegt ist, als sehr gering einzustufen. Risiken bestehen eher im Hinblick auf temporäre Lücken in der kontinuierlichen Anwendung von Erhebungs- und Berechnungsverfahren, da im Falle des Ausfalles von Erfahrungsträgern teilweise als Ersatz Extrapolationsrechnungen in der Berichterstattung herangezogen werden müssten. Ein solcher Ausfall bedeutet aber keinesfalls einen Informationsverlust, so dass der Datenbestand mit der üblichen Datenqualität nachträglich wiederhergestellt werden könnte.
5. In einzelnen Kategorien lässt sich noch eine Verbesserung der Datenqualität durch eine häufigere Prüfung der Aktualität der genutzten Daten erreichen. So könnte es sinnvoll sein, dass in einem verpflichtenden Mindestzeitraum zu prüfen ist, ob Faktoren noch aktuell sind, oder ob inzwischen Daten zur Nutzung eines höherwertigen Ansatzes (z.B. national statt IPCC-Default) zur Verfügung stehen, bzw. beschafft werden können. Bei vorhandenem Aktualisierungsbedarf wären die notwendigen Studien in das Forschungsbudget einzuplanen.
6. Individuelle Verbesserungspotentiale für die untersuchten Kategorien und für allgemeine Belange konnten ebenfalls ermittelt werden. Sie wurden in die bestehenden Verbesserungsinstrumente (Inventarplan) übernommen.

1.6.1.5 Workshops zum Nationalen System (Peer Review)

Das Umweltbundesamt hat im November 2004 erstmals einen Workshop zum Nationalen System Emissionsinventare durchgeführt. Damit wurde ein Forum geschaffen, das die Einbindung von Verbänden und anderen unabhängigen Organisationen wesentlich förderte und der Umsetzung des Paragraphen 15 (b) der *Guidelines for National Systems* diene, die Inventare durch Dritte (Peer Review) prüfen zu lassen.

In der Folge wurden in mehrere Workshops durchgeführt, die jeweils der Überprüfung der Inventare durch unabhängige Dritte entsprechend des Paragraphen 15 (b) der *Guidelines for National Systems* dienten. 2009 fokussierte sich ein zweiter Workshop auf spezifische Kategorien des Inventars, wie N₂O aus der Produktverwendung, Emissionen aus der nicht-energetischen Verwendung fossiler Brennstoffe und SF₆-Emissionen aus der Photovoltaik-Industrie. Die umfangreichen und intensiven Diskussionen während des Workshops haben wesentlich zur Verbesserung der Datenlage und damit zur Verbesserung der Qualität der Berichterstattung beigetragen.

2011 wurde ein internationaler Experten-Workshop zum deutschen LULUCF-Berichtssystem durchgeführt, der die methodischen Änderungen in Folge des In-Country-Reviews vom September 2010 begutachtete. Die Expertenempfehlungen wurden in der weiteren Umsetzung vollständig berücksichtigt.

Jeweils ein Fachgespräch mit dem Statistischen Bundesamt Thema Erdgasstatistik wurde in 2012 und im Sommer 2015 durchgeführt. An dem Fachgespräch 2012 nahmen neben dem Statistischen Bundesamt und dem Umweltbundesamt auch der BDEW, Vertreter einzelner Gasunternehmen und das DIW (AGEB) teil. In Vorbereitung der Überarbeitung der nationalen Energiebilanz wurden die verfügbaren Erdgasstatistiken diskutiert. Dabei wurden zum einen Maßnahmen beschlossen, die zu einer direkten Verbesserung der Energiebilanz und damit auch zur Verbesserung des Emissionsinventars führen. Zum anderen wurden weitere Recherchen vereinbart, die der Verifikation der statistischen Daten dienen sollen. Das Fachgespräch in 2015 diente der Abstimmung des Datenaustauschs zwischen dem Statistischen Bundesamt und dem

Umweltbundesamt auch im Hinblick auf die neuen Berichtsanforderungen aus den 2006 IPCC Guidelines und der europäischen Monitoring Verordnung (MMR).

Bereits im März 2014 wurde ein Workshop mit europäischen Inventarexperten zur Umsetzung der 2006 IPCC Guidelines in der deutschen Treibhausgasemissionsberichterstattung durchgeführt. Der Workshop mit ca. 60 Teilnehmern fokussierte sich insbesondere auf die Sektoren Energie (CRF 1) und Industrieprozesse und Produktverwendungen (CRF 2). Durch den Erfahrungsaustausch konnte die Umsetzung der neuen Methoden in den deutschen Treibhausgasinventaren erheblich verbessert werden.

1.6.1.6 Ländervergleich zu fluorierten Gasen (Cross-Country-Review)

Im Februar 2011 fand in Wien ein Expertentreffen zu einer gegenseitigen länderübergreifenden Überprüfung speziell zur Berichterstattung der F-Gase statt. Teilnehmer waren Großbritannien, Österreich und Deutschland. Nach einer grundsätzlichen Vorstellung der Datenerhebung in den drei Ländern wurden die einzelnen Anwendungsbereiche detailliert betrachtet und hinsichtlich Datenquellen, Genauigkeit, Emissionsfaktoren und anderer Kriterien verglichen. Dabei wurde deutlich, dass Deutschland über das meiste fachliche Hintergrundwissen verfügt und damit die Vollständigkeit und Plausibilität der vorhandenen Daten vermutlich am besten einschätzen kann.

Wesentliches Ergebnis der länderübergreifenden Überprüfung ist, dass alle drei Länder einen hohen Aufwand der Berichterstattung für die F-Gase betreiben müssen. Eine Verringerung des Aufwandes führt zu einer nicht mehr IPCC-konformen Berichterstattung.

Als Ergebnis des Treffens wurde ein Bericht erarbeitet, der in die deutsche Berichterstattung der F-Gase eingeflossen ist.

1.6.2 Aktivitäten zur Verifizierung

1.6.2.1 Verifizierung ausgewählter Kategorien

Im Berichterstattungsjahr 2015/2016 wurde in Umsetzung der *2006 IPCC Guidelines (Vol.1, Chapter 6)* ein Verifizierungsprojekt durchgeführt. Hierfür wurden alle Kategorien des Inventars auf ihren Bedarf für eine Verifizierung untersucht. Folgende Kategorien wurden ermittelt:

- 1.A.2.a Iron & Steel
- 1.A.3.e Other Transportation
- 1.B.1.a.ii Surface Mining
- 1.B.2.b.vi Natural Gas: Other
- 2.A Mineral Industry
- 2.B.1 Ammonia Production
- 2.B.2 Nitric Acid Production
- 2.B.3 Adipic Acid Production
- 3 Agriculture
- 4 Land Use Matrix
- 4 Konsistenz der Beschreibungen im NIR zu den CRF-Tabellen
- 4.A Forest Land
- 5.A.1 Managed Waste Disposal

Für die genannten Kategorien wurde vom Projektnehmer eine Verifizierung durchgeführt. Die Ergebnisse sind nach Fertigstellung dem Verifizierungskapitel der jeweiligen Kategorie zu entnehmen.

1.6.2.2 Verfahren zur Nutzung der Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels

Zur Erfüllung von obligatorischen Qualitätskriterien wird besonders innerhalb der EU eine Verbesserung der THG-Emissionsinventare durch Erkenntnisse aus dem Europäischen Emissionshandel (EU-EH, auch ETS genannt) gefordert. Alle Mitgliedstaaten sind gefordert, die ETS-Daten zur Qualitätsverbesserung der jährlichen nationalen Emissionsinventare zu nutzen.

Seit dem Beginn des ETS-Monitorings liegt für die jährlich verursachten Emissionen eine gesicherte Datenbasis des Emissionshandels vor. Diese Daten gestatten in aggregierter Form kategorienspezifische Aussagen über Vollständigkeit und Konsistenz für Teile des Emissionsinventares. Darüber hinaus bilden sie eine Grundlage für die Überprüfung der verwendeten Emissionsfaktoren und für die Verifikation der Aktivitätsdaten. Da die Emissionsberechnung für alle Komponenten auf den gleichen Aktivitätsdaten aufbaut, hat diese Verifikation für alle zu berichtenden Emissionsinventare Bedeutung.

Die für die Verbesserung berichtspflichtiger Inventardaten benötigten Daten aus dem Emissionshandel liegen elektronisch in der Anlagendatenbank der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) vor. 2005 wurde ein genereller Verfahrensablauf für einzelne gezielte Datenanfragen für die Inventarerstellung vereinbart. Dieser läuft im Wesentlichen durch direkte Kommunikation zwischen der Nationalen Koordinierungsstelle und der für die Berichte zuständigen Facheinheit E 2.3 der Emissionshandelsstelle (siehe Kapitel 1.3.3.1.8). Um die Potentiale regelmäßig nutzen zu können, ist für den jährlich erforderlichen Datenaustausch dieses formalisierte Verfahren mit terminlichen Festlegungen vereinbart worden.

Für Kategorien, die berichtspflichtige Anlagen unter dem CO₂-Emissionshandelsregime (ETS) beinhalten, werden die Monitoring-Daten des Europäischen Emissionshandels zur Qualitätsverbesserung der jährlichen nationalen Emissionsinventare genutzt. Informationen finden sich in den Kategoriekapiteln zur Verifikation, wobei nur in Einzelfällen die detaillierten Vergleiche aufgeführt sind. Aus Geheimhaltungsgründen, hier insbesondere für einige Inventardetails, sind die Ergebnisse der Vergleiche meist textlich beschrieben. Tabellen mit den verwendeten Daten können nur im Zuge von Inventarüberprüfungen zur Kenntnis gegeben werden. Einen exemplarischen Überblick über eine erfolgreiche Verifikation bietet der Vergleich der brennstoffbezogenen CO₂-Emissionsfaktoren im Anhang-Kapitel 18.8.

Die Bereitstellung der Datenbasis von der DEHSt an die Fachverantwortlichen der Inventare erforderte bereits mehrmals projektbasierte Unterstützung. In einem Forschungsprojekt (ÖKO-INSTITUT, 2006b) gelang die Erstellung von Zuordnungsregeln, die die Vergleichbarkeit der Daten der verifizierten Emissionsberichte mit der Struktur der Inventardatenbank jahresweise ermöglichen. Die einmalig erstellten Vergleiche haben die Nutzbarkeit zur Verifizierung einzelner Kategorien und Identifikation von Fehlstellen prinzipiell bestätigt. Ab dem Jahre 2011 wurde in einem Nachfolgeprojekt „D.E.N.K.“ untersucht, ob sich die Zuordnungsregeln verbessern lassen und das Verfahren weiter automatisiert werden kann. Dabei wurde deutlich, dass die Menge an Daten aus dem ETS für die Inventarberechnungen ressourcen- und zeitkritisch ist. Bei Abweichungen in den gebildeten Aggregaten, die den Anforderungen an die Vertraulichkeit von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen genügen, ist eine Prüfung der einzelbetrieblichen Datensätze notwendig. Diese Hürde wurde auch bei einem internationalen Workshop innerhalb des Projektes von den Experten anderer Länder für die deutsche Situation bestätigt (Handke et al., 2013). In einem weiteren Projekt wurde die Situation hinsichtlich der Anpassung der Anforderungen im ETS für die dritte Handelsperiode untersucht (Herold et al., 2016). Dieser Bericht analysierte die technischen Bestimmungen für die Überwachung und Berichterstattung über Treibhausgasemissionen im Rahmen des EU-ETS im Vergleich zu den IPCC-Guidelines 2006. Unterschiede in diesen Anforderungen können zu unterschiedlichen CO₂-Emissionen führen, insbesondere für die Berichtsjahre ab 2014, weil ab diesem Zeitpunkt die

ETS-Regelungen angepasst wurden. Das kann die Nutzung verifizierter ETS-Emissionen durch die Inventarersteller für Verifikationszwecke behindern.

1.6.3 Umgang mit vertraulichen Informationen

Nach Inkrafttreten der Novellierung des Energiestatistikgesetzes vom 26. Juli 2002 über das 3. Mittelstandsentlastungsgesetzes erhielt das Umweltbundesamt für Zwecke der Inventarerstellung Zugriff auf Daten des Statistischen Bundesamtes, die der statistischen Geheimhaltung unterliegen. Dieser Zugriff wurde auch in der Novelle des Energiestatistikgesetz vom 6. März 2017 (BGBl. I S. 392) in § 13 sichergestellt.

Ebenso erhält die Nationale Koordinierungsstelle von Verbänden und Unternehmen Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren und Emissionsdaten, die Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse enthalten und anderweitig vertraulich sind.

Hierzu sind in der Nationalen Koordinierungsstelle bei der Datenhaltung und beim Umgang mit den Daten besondere Vorkehrungen zu treffen und Prozeduren einzuhalten, die eine Wahrung der Vertraulichkeit sicherstellen.

Insbesondere muss eine strikte Trennung (räumlich und personell) von Statistik / Analyse und dem Vollzug gewährleistet sein.

Die Nationale Koordinierungsstelle und die betroffenen Facheinheiten des Umweltbundesamtes haben verschiedene Vorkehrungen zur Umsetzung dieser Erfordernisse getroffen. Dabei gilt immer der Grundsatz, dass Personen mit Vollzugsaufgaben keine fachverantwortlichen Aufgaben für die Emissionsberichterstattung in diesem Bereich übernehmen können.

Um eine genaue Einschätzung der Erfordernisse und der Möglichkeiten beim Umgang und der Nutzung der Datenbestände der Emissionsberichterstattung vornehmen zu können, hat die Nationale Koordinierungsstelle 2008 einen Auftrag zur Erstellung eines juristischen Gutachtens erteilt. Die Ergebnisse flossen in die Überarbeitung und Weiterentwicklung eines Konzepts der Nationalen Koordinierungsstelle zum Umgang mit vertraulichen Daten ein und wurden über die Hausanordnung Nr. 04/2019 - Sicherstellung der Geheimhaltungsanforderungen nach BStatG, EnStatG, UStatG, ProdGewStatG sowie vertraglichen Regelungen im Fachbereich V auch formal umgesetzt.

Schon vorher implementiert wurde eine personenscharfe Zugangsregelung zur Datenbank Zentrales System Emissionen (ZSE), die einen Datenzugriff nur dem dafür berechtigten Personenkreis erlaubt. Diese Maßnahme stellt den Kern der bestehenden Vorkehrungen zum Umgang mit vertraulichen Daten dar. Damit kann insbesondere die erforderliche personelle Trennung von Statistik und Vollzug praktisch umgesetzt werden. Darüber hinaus wurde 2009 für vertrauliche elektronische Daten, die nicht zentral im ZSE gehalten werden (z.B. Energiedaten, die der statistischen Geheimhaltung unterliegen, Emissionsschutzerklärungen, Daten zu Großfeuerungsanlagen, Informationen zu Produktionsverfahren, etc.) ein speziell zugangsbeschränkter Bereich auf einem zentralen Server des Umweltbundesamtes eingerichtet.

Weiterhin werden Daten des *Statistischen Bundesamtes* auf einem personenbezogen passwortgeschützten Server beim *Statistischen Bundesamt* bereitgestellt und im Umweltbundesamt in einer Datenbank mit personenscharfe Zugangsregelung weiter verarbeitet.

1.7 Generelle Unsicherheitschätzung

1.7.1 Treibhausgas-Inventar

Die IPCC Guidelines 2006 (IPCC (2006): Vol. 1, Kap. 3) charakterisieren die Bestimmung von Unsicherheiten als ein wesentliches Element eines vollständigen Inventars. Durch den Anspruch zur kontinuierlichen Inventarverbesserung kommt dem Aspekt der Unsicherheiten in den Inventaren eine hohe Priorität zu. Die Information über die Unsicherheit wird dabei vorrangig als Hilfe zur zukünftigen Verbesserung der Genauigkeit des Inventars sowie der Methodenwahl und der Rekalkulation betrachtet. Dabei ist es erklärtes Ziel, die Unsicherheiten so weit wie praktikabel zu reduzieren um möglichst genaue Inventare zu erhalten. Dazu werden die Unsicherheiten aller Kategorien und Senken zunächst quantifiziert, um eine bessere Übersicht über die Inventarqualität zu schaffen, die wiederum Voraussetzung für eine effektive Inventarplanung ist.

Es werden grundsätzlich zwei Methoden zur Ermittlung von Unsicherheiten unterschieden. Die Approach-1-Methode kombiniert auf einfache Weise die Unsicherheit von Aktivitätsrate und Emissionsfaktor je Kategorie und Treibhausgas und aggregiert diese über alle Kategorien und Treibhausgaskomponenten zur Gesamt-Unsicherheit des Inventars. Die Approach-2-Methode zur Ermittlung von Unsicherheiten geht prinzipiell ebenso vor, berücksichtigt jedoch die Verteilungsfunktion der Unsicherheit und aggregiert mittels einer Monte Carlo Simulation. Dies erfordert für die Approach-2-Methode zusätzlich die Ermittlung einer Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für beide Parameter. Im Idealfall können diese Funktionen über die statistische Auswertung von Einzeldaten bestimmt werden (z.B. Messergebnisse einer größeren Zahl von Anlagen). Oft stehen jedoch nur wenige Werte zur Verfügung, so dass die Unsicherheit auf der Grundlage von Expertenschätzungen ermittelt wird.

Im Forschungsvorhaben 202 42 266 (Handke et al., 2004) ist erstmals eine Ermittlung der Unsicherheiten nach Approach 1 und nach Approach 2 gemäß Kap. 6 der Good Practice Guidance 2000 (IPCC, 2000) vorgenommen worden. Für die aktuelle Berichterstattung ist diese Datengrundlage kontinuierlich verbessert und die Unsicherheitsangaben für das Treibhausgasinventar weiter vervollständigt worden. Darüber hinaus wurden die Vorgaben der 2006 Guidelines (IPCC, 2006) übernommen. In Deutschland werden die Unsicherheiten jährlich sowohl nach Approach 1 als auch nach der Approach 2 Methode ermittelt. Die Angaben zur Unsicherheit der verwendeten Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren und Emissionen stammen dabei aus der Datenbank ZSE. Diese basieren auf Literaturangaben und Expertenschätzungen der UBA-Facheinheiten sowie externer Einrichtungen.

1.7.1.1 Vorgehen zur Unsicherheitsbestimmung

Die Ermittlung der Unsicherheiten gemäß Kapitel 3 der 2006er Guidelines (IPCC, 2006) erfolgt auf Grundlage der auf unterster Subkategorieebene ermittelten Unsicherheiten von AR, EF und EM, wie sie im ZSE hinterlegt sind. Bei vorliegenden asymmetrischen Unsicherheitsangaben wird für die Approach-1-Methode der größere der beiden Schrankenwerte, bei Annahme einer Normalverteilung, sowohl als obere als auch als untere Schranke verwendet. Die Approach-2-Methode verwendet dagegen den vollen Datensatz. In jedem Sektor werden die Unsicherheiten der einzelnen Zeitreihen zu einer Gesamtunsicherheit des Sektors aggregiert. Aus der Aggregation der Sektoren ergibt sich dann schließlich die Unsicherheit des Gesamtinventars.

Aufgrund fehlender Daten aus dem Jahr der deutschen Wiedervereinigung (1990) und daraus resultierender technischer Beschränkungen wird generell, abweichend von den Guidelines, das Jahr 1995 als Basisjahr für die Berechnung der Basisjahr- und Trendunsicherheiten verwendet.

Bei der Berechnung von Unsicherheiten ist grundsätzlich davon auszugehen, dass die Aktivitätsraten geringere Unsicherheiten besitzen als die Emissionsfaktoren. Insbesondere die Aktivitätsraten, die sich aus dem Einsatz von Brennstoffen ableiten und die sich auf die bundesdeutsche Energiebilanz stützen, weisen geringe Unsicherheiten auf. Mit der zunehmenden Disaggregation der Brennstoffeinsätze nehmen die Unsicherheiten der daraus abgeleiteten Aktivitätsraten jedoch in der Regel wieder zu.

Die folgende Aufzählung listet einige sektor-spezifische Details, die bei der Berechnung der jeweiligen Unsicherheiten zu Grunde liegen:

- Gemäß der Ergebnisse aus einem FuE-Vorhaben (Rentz et al., 2002) sind die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für indirekte Treibhausgase in stationären Feuerungsanlagen (CRF 1.A.1) als Folge ihrer regelmäßigen Überwachung vergleichsweise gering. Für die N₂O-Emissionsfaktoren werden höhere Unsicherheiten ausgewiesen, da die Emissionen von N₂O im Normalfall nicht überwacht werden. Gleiches gilt auch für die Emissionsfaktoren von CH₄.
- In der Kategorie der eisenschaffenden Industrie (CRF 1.A.2.a) haben die Unsicherheiten für das Jahr 2017 zugenommen, da aufgrund fehlender Zulieferung von Brennstoffeinsätzen (BGS-Bogen) des Verbandes eine Berechnung der Entwicklung auf der Grundlage der Entwicklung der Produktionsdaten aus dem Emissionshandel vorgenommen werden musste. Die fehlende Zulieferung des Verbandes hat kartellrechtliche Hintergründe.
- Für die Kategorie Verkehr (überwiegend CRF 1.A.3) ist generell von geringen Unsicherheiten auszugehen, da die Treibstoffeinsätze und die Fahrzeugflotten aufgrund ihrer Steuerpflicht sehr genau bekannt sind und die Emissionsfaktoren sehr differenziert modelliert und in der Regel messtechnisch ermittelt werden. Hier ergeben sich möglicherweise Unsicherheiten aus systematischen Messfehlern oder aus falscher Disaggregation.
- In der Kategorie der diffusen Emissionen (CRF 1.B) liegen bei den Aktivitätsraten zu flüssigen und gasförmigen Brennstoffen (CRF 1.B.2) aufgrund derer Steuerpflicht geringen Unsicherheiten vor. Eine Ausnahme bildet lediglich die Abfackelung von Gasen. Die Aktivitätsraten der Kohleförderung (CRF 1.B.1) sind ebenfalls durch die Produktionsmenge gut erfasst. Für die Emissionsfaktoren der diffusen Emissionen ist dagegen mit höheren Unsicherheiten zu rechnen. Das ergibt sich durch die Vielzahl und der Heterogenität der für die diffusen Emissionen relevanten technischen Sachverhalte bei Transport, Lagerung und der Aufarbeitung von Erdgas und Erdöl.

- Im Bereich der Industrieprozesse (CRF 2) sind in vielen Branchen höhere Unsicherheiten festzustellen. Aktivitätsraten, welche auf Produktionszahlen beruhen, die gegenüber dem Statistischen Bundesamt meldepflichtig sind, können vor allem aufgrund von gegenüber den Berichtsstrukturen abweichenden Branchendefinitionen Unsicherheiten aufweisen. Aktivitätsraten, welche aus Verbandsangaben ermittelt werden, sind in Abhängigkeit des Organisationsgrades der jeweiligen Industriebranche in diesem Verband mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet. Bei den Emissionsfaktoren sprechen insbesondere die hohe Technikabhängigkeit einerseits und der hohe Grad der technischen Diversifizierung andererseits für je nach Treibhausgas höhere Unsicherheiten. Ferner ist zu bemerken, dass insbesondere in Branchen mit wenigen Marktakteuren (z.B. Herstellung chemischer Produkte, CRF 2.B) technikspezifische Emissionsfaktoren oftmals Betriebsgeheimnisse berühren, was wiederum zu einer prinzipiellen Zurückhaltung der Betreiber hinsichtlich der Veröffentlichung solcher Daten oder zu pauschalierten Angaben führt. Darüber hinaus erhöhen die teilweise sehr komplexen Entstehungsprozesse der Emissionen aus nicht-verbrennungsbedingten Aktivitäten und die unzureichenden Erkenntnisse bezüglich bestimmter Emissionen verursachender Vorgänge sowie das eingeschränkte Wissen über die Beiträge einzelner Aktivitäten, die Unsicherheiten.
- In der Nahrungsmittelproduktion (CRF 2.H.2) ist insbesondere im Bereich der Alkoholika von sehr geringen Unsicherheiten der Aktivitätsraten auszugehen, da dort Steuertatbestände existieren, die eine sehr genaue Erfassung der Produktionsmenge zur Folge haben. Branchen mit einem großen Anteil kleiner und mittlerer Betriebe (z.B. Backwarenherstellung) werden dagegen in der Regel wesentlich ungenauer erfasst, so dass die Aktivitätsraten mit höheren Unsicherheiten behaftet sind. Für die Emissionsfaktoren ist aufgrund der erheblichen technologischen Diversifizierung der Branche ebenfalls mit höheren Unsicherheiten zu rechnen.
- Für die Kategorien der Abfallbehandlung (CRF 5.A.1, 5.B und 5.E) und der Abwasserbehandlung (CRF 5.D) sind die Unsicherheiten der dort anzusetzenden Emissionsparameter als hoch anzunehmen. Das gilt insbesondere für die Bereiche der Kompostierung und MBA sowie auch für die Abfalldeponierung, da sich dort die Vielfalt der verschiedenen Abfallarten negativ auf die Datensicherheit der Emissionsparameter auswirkt. Bei den Aktivitätsraten lassen sich höhere Unsicherheiten u.a. darauf zurückführen, dass die zugrunde gelegten statistischen Daten uneinheitliche Abfall- bzw. Verwertungsbegriffe nutzen. Diese generellen Annahmen zu den Unsicherheiten der Aktivitätsraten gelten auch für die thermische Behandlung von Abfällen.

Weitere Informationen zu den Unsicherheiten einzelner Quellgruppen finden sich auch in den entsprechenden sektor-spezifischen Kapiteln dieses Berichts.

1.7.1.2 Ergebnisse der Unsicherheitsschätzung

Die Gesamtunsicherheit des Inventars nach Approach 1 für das Jahr 2019 beträgt 3,6 %, bei Approach 2 ergeben sich -3,0/+3,4%. Die folgende Tabelle bietet eine kompakte Übersicht der Unsicherheiten des Gesamtinventars:

Tabelle 11: Übersicht Unsicherheiten Gesamtinventar

	Base year	2019	Trend	Method	Base year uncertainty		2019 uncertainty		Trend uncertainty	
	kt	kt	%		%		%		%	
National total incl. LULUCF	1.277.135	793.335	-37,88	Approach 1	4,92		3,57		4,20	
				Approach 2	-3,00	+3,23	-2,99	+3,41	-12,64	+13,57
National total w/o LULUCF	1.252.273	809.799	-35,33	Approach 1	5,14		3,81		3,89	
				Approach 2	-2,46	+2,71	-2,19	+2,70	-9,73	+10,37

Die Übersicht zeigt die Unsicherheiten des deutschen Gesamtinventars jeweils inklusive sowie ohne CRF 4. Für beide Fälle sind Unsicherheiten für das Basisjahr, für 2019 und den Trend angegeben. Die Ermittlung erfolgt jeweils sowohl mittels Approach 1 als auch unter Verwendung der Monte-Carlo-Simulation (Approach 2). Letztere bietet einen deutlich besseren Einblick, zum Beispiel kommt nur bei den Approach-2-Unsicherheiten der Unterschied zwischen den beiden Zeilen (mit und ohne LULUCF) korrekt zur Geltung.

Detaillierte Angaben zu den vorliegenden Unsicherheiten nach Sektoren können dem Anhang 7 entnommen werden (siehe Kapitel 23). Im folgenden werden einige Sektoren genauer beschrieben, die großen Einfluss auf die Unsicherheit des Gesamtinventars haben:

- Die CO₂-Emissionen des Sektors Verbrennung von Brennstoffen (1.A) steuern einen wichtigen Anteil zur Gesamtunsicherheit bei, dabei dominieren die festen Brennstoffe des Sektors Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung (1.A.1.a) sowie die mobilen Quellen (1.A.3) mit Schwerpunkt Straßenverkehr (1.A.3.b) und die Feuerungen der Haushalte und Kleinverbraucher (1.A.4.a/b/c).
- Bedeutsame Beiträge zur Gesamtunsicherheit liefern die Lachgasemissionen insgesamt, die merklich durch die Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden (3.D) sowie aus der kommunalen Abwasser-Behandlung (5 D.1) bestimmt werden.
- Die CO₂-Senken und -Quellen des Sektors 4 LULUCF haben an der Gesamtunsicherheit ebenfalls einen maßgeblichen Anteil.

Nennenswerte Beiträge zur Gesamtunsicherheit liefern ebenso die Methan-Emissionen aus der Abfallablagerung (5.A) sowie aus der Nutztierhaltung (Fermentation bei der Verdauung 3.A).

1.7.2 KP-LULUCF-Inventar

Da dieselben Daten und Methoden zur Berichterstattung der Kategorien 4.A-4.G unter UNFCCC und unter KP verwendet werden, sind auch die Unsicherheiten vergleichbar. Es gelten die Informationen des vorangegangenen Kapitels und der Kategoriekapitel (siehe auch Kapitel 11.3.1.5).

1.8 Generelle Prüfung der Vollständigkeit

1.8.1 Treibhausgas-Inventar

Angaben zur Vollständigkeit für die einzelnen Kategorien wird in CRF-Tabelle 9(a) dargestellt, die im NIR zusätzlich in Kapitel 21 (Tabelle 588 und Tabelle 589) zusammengefasst wird. Unterschieden werden in Deutschland:

- nicht auftretende quellenspezifische Emissionen und Senken (NO - not occurring) und nicht berichtete quellenspezifische Emissionen und Senken, weil sie quantitativ nicht relevant oder weil die notwendigen Daten für eine Berechnung nicht vorhanden sind (NE - not estimated).

Im Folgenden wird categoriespezifisch auf einige Ansatzpunkte zur Verbesserung des Inventars hinsichtlich seiner Vollständigkeit hingewiesen.

Alle verbrennungsbedingten Aktivitäten (1.A) aus dem Bereich der Energie sind vollständig erfasst. An einigen Stellen wird die Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland ergänzt, wenn erkennbar wird, dass in Teilbereichen keine vollständige Abdeckung erreicht wird (z.B. nicht kommerzieller Holzeinsatz, Sekundärbrennstoffe). In einigen Kategorien ist die Trennung von verbrennungsbedingten und nicht-verbrennungsbedingten Emissionen aus der Industrie

noch weiter zu verifizieren; die Vermeidung von Doppelzählungen ist hier jedoch generell Bestandteil der Qualitätssicherung.

Im Bereich der Industrieprozesse wird teilweise auf Produktionsdaten aus Verbandsstatistiken und auf Herstellerangaben zurückgegriffen. Basiert die Emissionsberichterstattung auf diesen Quellen, wird zur Sicherstellung der Vollständigkeit und Zuverlässigkeit des Inventars auch in Zukunft Wert auf die Prüfung des Kategorien-Zuschnitts und der Methodik der Datenerhebung gelegt.

Bei den Emissionen die als „Not Estimated“ (NE) berichtet werden handelt es sich um Emissionen, die gemäß 24/CP.19 Annex I (siehe FCCC/CP/2013/10/Add.3) für das Gesamtniveau und die Entwicklung der nationalen Emissionen von untergeordneter Bedeutung wären. Eine Emission ist nur dann als unbedeutend anzusehen, wenn die wahrscheinliche Höhe der Emissionen unter 0,05 Prozent der nationalen Gesamtemissionen an Treibhausgasen liegt und 500 kt CO₂-Äquivalent nicht überschreitet.

Einige der Emissionsdaten, die dem UBA zur Verfügung stehen, stehen aus Gründen des Datenschutzes unter Geheimhaltung und werden zwar vollständig, aber nur aggregiert berichtet.

1.8.2 KP-LULUCF-Inventar

Da es keine Unterschiede in den Daten und Methoden zur Berichterstattung der Kategorie 4.A-4.G unter UNFCCC und unter KP gibt, gelten die Informationen des vorangegangenen Kapitels.

2 Trends der Treibhausgase

In der folgenden Tabelle 12 werden die für dieses Inventar ermittelten Gesamtemissionen der direkten und indirekten Treibhausgase sowie des Säurebildners SO₂ zusammengestellt. Der gegenüber 1990 erreichte jährliche Fortschritt wird in der Tabelle 13 im zeitlichen Verlauf abgebildet. Mit Ausnahme der HFKW und den eher minimalen Emissionen an NF₃ konnten bei allen Substanzen deutliche Emissionsminderungen erreicht werden. Insgesamt sanken die Emissionen der Treibhausgase als CO₂-Äquivalente gegenüber 1990 um 35,1 %¹⁷.

Alle detaillierten Tabellen zur Trenddiskussion finden sich im Anhangkapitel 22.3.

Trendverlauf unter Beachtung von Änderungen zum Vorjahr des Berichtszeitraumes

Gegenüber dem Vorjahr 2018 sanken die Gesamtemissionen um 5,4 %. Grund für die Minderung ist der erneute Rückgang in der Energiewirtschaft, dort wurden erneut weniger Kohlen eingesetzt. Gleichzeitig stieg der Anteil der Erneuerbaren.

¹⁷ Alle Angaben ohne Berücksichtigung der Emissionen aus der Kategorie Landnutzung, Landnutzungsänderung & Forstwirtschaft (LULUCF)

Tabelle 12: Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen und SO₂ in Deutschland seit 1990

Emissions Trends	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	(kt)													
CO ₂ emissions (without LULUCF)	1.052.477	938.968	899.852	866.697	832.949	809.217	813.985	831.454	792.588	795.610	800.687	785.883	754.112	711.428
Net CO ₂ emissions/removals	1.074.783	902.697	876.761	863.715	820.112	797.191	793.061	810.768	768.329	773.018	777.359	762.063	732.417	691.623
CH ₄ (without LULUCF)	4.712	4.138	3.470	2.716	2.304	2.261	2.289	2.263	2.216	2.204	2.152	2.127	2.054	1.971
CH ₄ (with LULUCF)	4.779	4.204	3.536	2.782	2.376	2.334	2.363	2.336	2.290	2.278	2.226	2.201	2.133	2.046
N ₂ O (without LULUCF)	218	205	143	147	124	125	126	127	130	129	128	126	120	118
N ₂ O (with LULUCF)	221	208	146	151	128	129	130	131	134	134	133	131	125	123
F-Gases sum (CO ₂ equivalent, 1995 base year)	13.395	17.092	13.293	14.184	14.247	14.427	14.618	14.663	14.674	15.126	15.250	15.417	14.611	13.978
Total Emissions (without LULUCF) (CO ₂ equi.)	1.248.577	1.120.555	1.042.612	992.530	941.805	917.274	923.342	940.420	901.255	904.262	907.968	892.076	855.890	809.799
Total Emissions/Removals with LULUCF (CO ₂ equi.)	1.273.439	1.086.836	1.022.056	992.515	932.008	908.357	905.567	922.922	880.226	884.946	887.900	871.536	837.605	793.335
NO _x	2.854	2.198	1.907	1.642	1.470	1.444	1.435	1.434	1.389	1.362	1.338	1.289	1.207	1.133
SO ₂	5.475	1.752	651	477	405	389	372	360	339	336	311	303	292	263
NMVOG	3.891	2.341	1.804	1.486	1.361	1.273	1.257	1.212	1.174	1.147	1.142	1.147	1.125	1.121
CO	13.204	7.181	5.147	3.921	3.621	3.555	3.295	3.255	3.091	3.194	3.061	3.082	2.957	2.881

Tabelle 13: Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO₂ in Deutschland seit dem jeweiligen Bezugsjahr (1990/1995)

Emissions Trends	Changes compared to base year / prev. year (%)	Base Year	Base Year to 2018	Base Year to 2019	compared to prev.
					year (2018 – 2019)
CO ₂ emissions (without LULUCF)		1990	-28,3	-32,4	-5,7
Net CO ₂ emissions/removals		1990	-31,9	-35,7	-5,6
CH ₄ (without LULUCF)		1990	-56,4	-58,2	-4,1
N ₂ O (without LULUCF)		1990	-44,8	-45,9	-1,9
F-Gases sum		1995	-14,5	-18,2	-4,3
Total Emissions (without LULUCF)		1990	-31,5	-35,1	-5,4
NO _x		1990	-57,7	-60,3	-6,1
SO ₂		1990	-94,7	-95,2	-9,7
NMVOG		1990	-71,1	-71,2	-0,3
CO		1990	-77,6	-78,2	-2,6

2.1 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für aggregierte Treibhausgasemissionen

Von 1990 bis zum Jahr 2019 konnten die Treibhausgasemissionen mit einem Rückgang von 35,1 % deutlich reduziert werden¹⁸. Die einzelnen Treibhausgase trugen dabei in unterschiedlichem Maß zu dieser Entwicklung bei (siehe Tabelle 1). Bei den direkten Treibhausgasen konnten die Emissionen der mengenmäßig dominierenden Gase deutlich gemindert werden, am stärksten bei Methan. Die Hauptursachen für diese Entwicklungen sind im Folgenden benannt:

- Umstellungen der Nutzung fester Brennstoffe auf emissionsärmere flüssige und gasförmige Brennstoffe im Zeitraum seit 1990;
- Steigende Bedeutung der Nutzung der Erneuerbaren Energien und damit verbundene Substitution fossiler Brennstoffe;
- Gesteigerte Anlageneffizienz;
- Veränderung von Tierhaltungsbedingungen und der Abbau von Tierbeständen;
- Erfüllung gesetzlicher Regelungen im Bereich der Abfallwirtschaft;

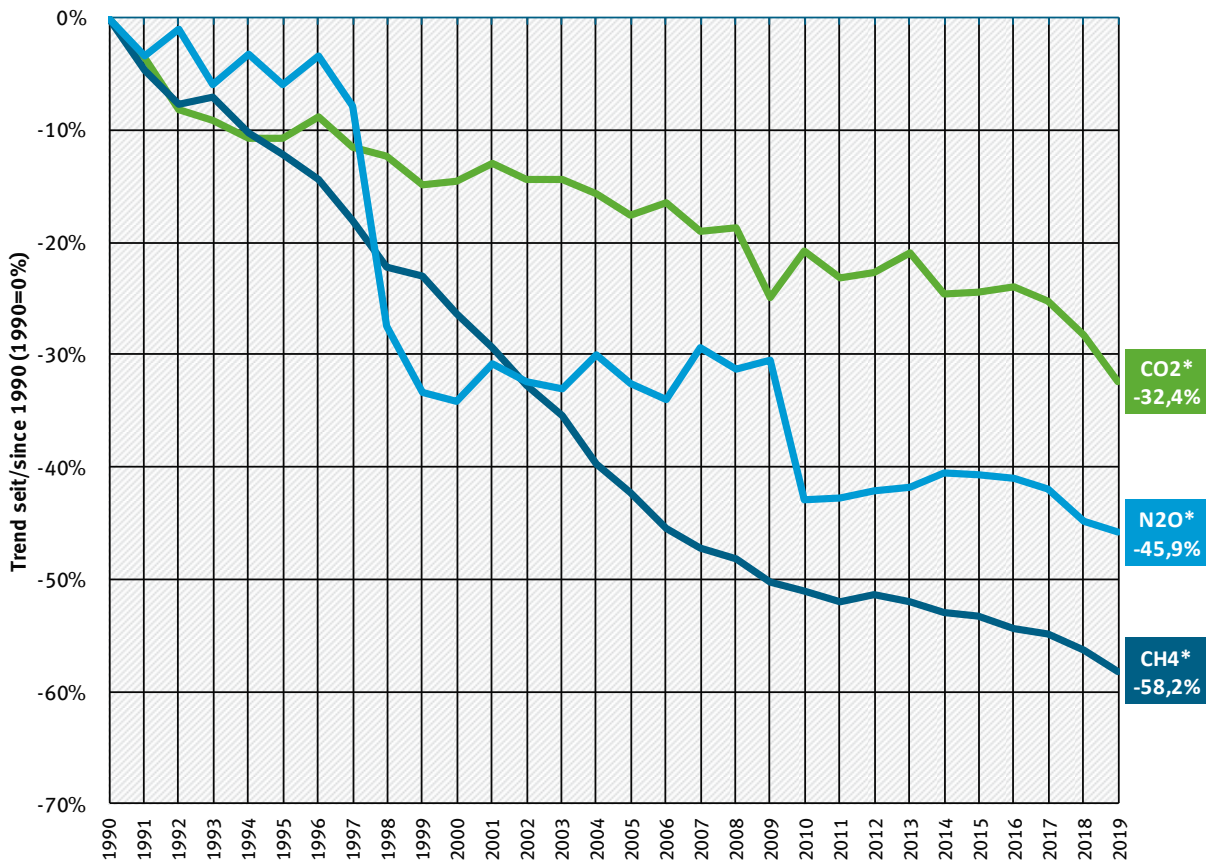
Die Ursachen werden nachfolgend in der Trenddiskussion der einzelnen Treibhausgase näher ausgeführt.

Die Freisetzung von Kohlendioxid - weit überwiegend verursacht durch die Prozesse der stationären und mobilen Verbrennung – dominiert das Gesamtbild der aggregierten Treibhausgasemissionen. Durch den überdurchschnittlichen Rückgang der anderen Treibhausgase ist der Anteil der CO₂-Emissionen an den Gesamttreibhausgasen seit 1990 gestiegen (s. Tabelle 2). Alle anderen Treibhausgase verursachen zusammen nur etwas über ein Zehntel der Gesamttreibhausgasemissionen. Das Verteilungsspektrum der Treibhausgasemissionen ist typisch für ein hoch industrialisiertes Land.

¹⁸ Alle Angaben ohne Berücksichtigung der Emissionen aus der Kategorie Landnutzung, Landnutzungsänderung & Forstwirtschaft (LULUCF)

2.2 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs nach Treibhausgasen

Abbildung 14: Relative Entwicklung von Kohlendioxid, Methan und Lachgas gegenüber 1990



* Kohlendioxid-Emissionen ohne LULUCF

In Abbildung 14 wird die relative Entwicklung der Emissionen der einzelnen Treibhausgase seit 1990 dargestellt. Bei der Diskussion ist zu beachten, dass hier die Entwicklung jedes dieser Treibhausgase weitgehend durch spezifische Entwicklungen in einer Kategorie dominiert wird.

2.2.1 Kohlendioxid (CO₂)

Die Minderung der CO₂-Emissionen ist stark mit der Entwicklung im Energiesektor verbunden. Der starke Rückgang der Emissionen in diesem Bereich in den frühen 90er Jahren ist hauptsächlich auf die Umstrukturierungsprozesse in den neuen Bundesländern zurückzuführen; der damit einhergehende Umstieg auf emissionsärmere Energieträger sowie die Stilllegung veralteter Anlagen. Die Änderungen im Energieträgermix setzen sich in etwas abgeschwächter Form bis zum aktuellen Berichtsjahr fort.

Die Substitution von festen und flüssigen Brennstoffen durch Gase, im Wesentlichen Erdgas, zeigt sich auch in der Emissionsentwicklung der stationären Feuerungen. Während die CO₂-Emissionen der flüssigen Energieträger im Vergleich zum Jahr 1990 um ca. 44 Prozent abnehmen, die der festen Brennstoffe sogar um rund 60 Prozent, steigen die Emissionen von gasförmigen Brennstoffen um fast 46 Prozent.

Wird der Emissionstrend auf Ebene der einzelnen Kategorien betrachtet, so fällt die Entwicklung sehr einheitlich aus. Verglichen mit 1990 sanken die Emissionen in allen Unterkategorien der stationären Feuerungen um insgesamt fast 321 Mio. t CO₂.

Etwas anders sieht die Entwicklung nur im vom Straßenverkehr dominierten Verkehrssektor aus: Die CO₂-Emissionen stiegen hier bis 1999 auf fast 184 Mio. t. an, gingen dann aber durch Verbrauchssenkungen, die Verlagerung von Tankvorgängen ins Ausland¹⁹, die Substitution von Benzin durch Diesel²⁰ sowie die Beimischung von Biodiesel leicht zurück. U.a. durch den stetigen Anstieg der durchschnittlichen Motorleistung stellte sich seit etwa 2007 ein stagnierender Trendverlauf bei um die 153 Mio. t ein, der durch einen Wiederanstieg von Verkehrs- und Fahrleistungen sowie den Rückgang der eingesetzten Biokraftstoffe in den Jahren ab 2013 nach oben verlassen wurde (zwischen 2012 und 2017 stetiger Anstieg von insgesamt knapp 14 Mio. t). Erst im Jahr 2018 sanken die Emissionen wieder etwas auf 162 Mio. t. und liegen im Jahr 2019 mit 163,5 Mio.t. knapp unter dem Niveau des Jahres 2016 und damit etwas über den Emissionen des Basisjahres 1990 mit 162 Mio. t.

Trendverlauf unter Beachtung von Änderungen zum Vorjahr des Berichtszeitraumes

Gegenüber dem Vorjahr sanken die CO₂-Emissionen vor allem der mengenmäßig dominierenden Energiewirtschaft extrem (-16,8 % bzw. über 49 Mio. t), während die Emissionen in den Haushalten, in Gewerbe, Handel, Dienstleistung sowie dem Verkehr stiegen.

2.2.2 Lachgas (N₂O)

Die N₂O-Emissionen sanken seit 1990 um ca. 46 %. Hauptverursacher sind die Anwendung stickstoffhaltiger Dünger in der Landwirtschaft, die Brennstoffnutzung und die landwirtschaftliche Tierhaltung. Vergleichbar geringere Emissionen entstehen durch die Abwasserbehandlung, die chemische Industrie und die Produktverwendung von N₂O (z.B. als Narkosemittel). Den deutlichsten Einfluss auf die Emissionsminderung hat der Industriebereich, hier insbesondere die Adipinsäureproduktion durch die Installation von Abgasbehandlungsanlagen in den Jahren 1997 und 2009. Durch technische Minderungsmaßnahmen wurden die Emissionen aus der Chemischen Industrie bezogen auf 1990 um 97 % gemindert, seit 1999 wird die Emissionsentwicklung der verbleibenden Emissionen stark durch die konjunkturelle Entwicklung in der chemischen Industrie beeinflusst.

Trendverlauf unter Beachtung von Änderungen zum Vorjahr des Berichtszeitraumes

Gegenüber dem Vorjahr sanken die Gesamtemissionen leicht (-1,9 %), bedingt durch weiterhin sinkende Emissionen vor allem aus der Mineräldünger-Anwendung der auch mengenmäßig dominierenden Landwirtschaft (-0,9 %).

2.2.3 Methan (CH₄)

Die Methanemissionen werden hauptsächlich durch die landwirtschaftliche Tierhaltung, die Abfalldeponierung und die Verteilung flüssiger und gasförmiger Brennstoffe verursacht. Dem gegenüber sind die energie- und prozessbedingten Emissionen, sowie die Emissionen aus der Abwasserbehandlung fast zu vernachlässigen. Die Emissionen konnten seit 1990 um 58,2 % gemindert werden. Dieser Trend wurde hauptsächlich im Ergebnis umweltpolitischer Maßnahmen (Abfalltrennung mit verstärktem Recycling und zunehmender energetischer Verwertung der Abfälle) durch den Rückgang der Deponierung organischer Abfallmengen verursacht. Eine zweite wesentliche Ursache besteht in der verstärkten energetischen Nutzung von Grubengas bei gleichzeitigem Rückgang des Aufkommens (Schließung von

¹⁹ Die Berechnung der Emissionen erfolgt auf Basis des inländischen Kraftstoffabsatzes. Nicht in Deutschland getankte Mengen schlagen sich daher auch nicht deutschen Emissionsinventar nieder.

²⁰ Der Anteil von Dieselmotorkraftstoff am Gesamtkraftstoffverbrauch im Straßenverkehr ist im gesamten Zeitraum stark gestiegen. Würden die Emissionen im Straßenverkehr 1990 noch zu fast zwei Dritteln durch den Benzinverbrauch verursacht, hat sich dieses Verhältnis seitdem beinahe umgekehrt.

Steinkohlebergwerken). Die Emissionen der Kategorie 1.B Diffuse Emissionen aus Brennstoffen sanken dementsprechend seit 1990 um fast 85 %. Ein weiterer Grund für die Emissionsminderung bestand in der Verringerung der Tierbestände, vorwiegend in der ersten Hälfte der 90er Jahre in den neuen Bundesländern. Insbesondere auch die in diesem Teil Deutschlands durchgeführte Sanierung der veralteten Gasverteilungsnetze und die Verbesserungen bei der Verteilung der Kraftstoffe bewirkten weitere Minderungen der Gesamtemissionen.

Trendverlauf unter Beachtung von Änderungen zum Vorjahr des Berichtszeitraumes

Gegenüber dem Vorjahr sanken die Emissionen um 4,1 %. Die größten Rückgänge sind bei Emissionen aus den Diffusen Emissionen aus Brennstoffen (-21,5 %), den Deponien (-4,3 %) sowie aus der mengenmäßig dominierenden Landwirtschaft (-1,1 %) zu beobachten.

2.2.4 F-Gase

Die Emissionen der F-Gase machen im Jahr 2019 nur etwa 1,7 % der Gesamtemissionen aus. Sie sanken seit 1990 um etwa 18 %, doch der Trend der einzelnen Substanzen bzw. Substanzgruppen ist recht inhomogen:

Die Emissionen der **HFKW** stiegen vor allem aufgrund des verstärkten Einsatzes als Kältemittel in Kälte- und Klimaanlageanlagen und der zunehmenden Entsorgung dieser Anlagen. Emissionsreduzierungen durch den verminderten Einsatz in PU-Montageschäumen wurden dabei überkompensiert.

Die Emissionsminderungen bei den **FKW** wurden hauptsächlich durch Anstrengungen der Hersteller von Primäraluminium und der Halbleiterhersteller erreicht.

Der Rückgang bei den **SF₆**-Emissionen bis etwa 2003 geht in erster Linie auf die seit Mitte der 1990er Jahre auslaufende Anwendung in Autoreifen zurück. Hier hat eine erfolgreiche Umweltaufklärung eine Emissionssenkung um über 100 t bewirkt und die Treibhausgasemissionen um 2,5 Mio. t CO₂-Äquivalente gesenkt. Vergleichbares gilt für Schallschutzscheiben, in denen SF₆ bei der Herstellung gegenüber 1995 auf null reduziert wurde. Die heutigen und künftigen SF₆-Emissionen stammen zu einem Großteil aus der offenen Entsorgung alter Scheiben. Auch bei Anlagen zur Elektrizitätsübertragung sanken die Emissionen deutlich. Wichtige verbleibende Emissionsquellen sind das Schweißen und von optischen Glasfasern.

NF₃ wird in Deutschland seit 2015 nur noch in der Halbleiterproduktion eingesetzt. Aufgrund der geringen Relevanz für die Gesamttreibhausgasemissionen wird hier keine gesonderte Trendbetrachtung durchgeführt.

2.3 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs nach Kategorien

Energie

Die Emissionsminderung im Energiebereich resultiert im Wesentlichen aus dem starken Rückgang der verbrennungsbedingten CO₂ Emissionen (siehe hierzu auch die Ergebnisse der Key-Category-Analyse). Demgegenüber können in diesem Bereich die Emissionen der anderen Treibhausgase vernachlässigt werden. Dies stellt sich lediglich bei den nichtverbrennungsbedingten Emissionen (Kategorie 1.B.) anders dar. Hier sind die CO₂-Emissionen sehr gering, während die Emissionsentwicklung deutlich durch die aus der Verteilung flüssiger und gasförmiger Brennstoffe verursachten CH₄-Emissionen geprägt wird.

Insgesamt nahmen die energiebedingten Emissionen aller Treibhausgase seit 1990 um 34,7 % ab. Die darin enthaltenen Emissionen des Verkehrs stiegen im ganzen Zeitraum sogar leicht um etwa 0,4 %. Bei den Emissionen aus stationären Feuerungen resultieren die Minderungen aus Umstellungen im Mix der eingesetzten Brennstoffe, der Erhöhung der Energieeffizienz und technischer Wirkungsgrade. Außerdem wirkt sich die zunehmende Nutzung erneuerbarer Energiequellen aus, weil dadurch vor allem fossile Stromerzeugung ersetzt wird, wobei Kohlendioxid aus dem Einsatz von Biomasse nicht in den Emissionstrends abgebildet wird. Dagegen wirken sich bei den Verteilungsemissionen die verstärkte Grubengasnutzung, die Sanierung der Gasverteilungsnetze sowie die Einführung von Gaspendelungsanlagen bei der Kraftstoffverteilung aus.

In Tabelle 596 im Anhang werden für den Zeitraum seit 1990 die jeweiligen Emissionsveränderungen gegenüber dem Vorjahr zusammengestellt. Für CO₂ aus dem Energiebereich wird zum Beispiel deutlich, dass größtenteils temperaturbedingte Fluktuationen im Zeitverlauf - besonders unterschiedliche Temperaturverläufe im Winter - das Heizverhalten und damit den Energieverbrauch zur Erzeugung von Raumwärme die jährlichen energiebedingten Emissionen beeinflussen, so dass eine Trendbetrachtung immer mehrere Jahre umfassen sollte.

Industrieprozesse (inkl. Produktverwendung)

Der Bereich der Emissionen aus den Industrieprozessen wird von den Treibhausgasen Kohlendioxid und Lachgas dominiert. Relativ auffällige Änderungen bei den Emissionen von F-Gasen haben dagegen auf Grund des geringen Anteils an den Gesamtemissionen keinen großen Einfluss auf den Gesamttrend.

Die Emissionen aus Industrieprozessen sind stark an das Produktionsniveau gekoppelt. Speziell die CO₂-Emissionen bilden hauptsächlich den Konjunkturverlauf der mineralischen, chemischen und metallherstellenden Industrien ab.

Ein nicht an die Produktion gekoppelter Trend konnte bei den N₂O-Emissionen erreicht werden, weil bei der Adipinsäureproduktion emissionsmindernde Maßnahmen der Hersteller wirksam wurden. Dies hat insbesondere in den Jahren 1997 und 2010 zu deutlichen Reduktionen der N₂O-Emissionen aus dieser Branche geführt. Insgesamt sanken hier die N₂O-Emissionen seit 1990 auf ca. ein Zwanzigstel.

Für alle Industrieprozesse und Produktverwendungen zusammen ergibt sich für die Treibhausgase seit 1990 somit eine Minderung an THG-Äquivalenten um 36,6 %, und leicht fallende Emissionen im Vergleich zum Vorjahr 2018.

Landwirtschaft

Die Abnahme der landwirtschaftlichen Emissionen um 19,2 % seit 1990 geht im Wesentlichen auf eine Abnahme der Tierbestände, aber auch auf Reduktionen der Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und Düngieranwendung zurück. Der Trend der letzten Jahre setzt sich somit fort.

Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft

Die Abnahme der Einbindung von Treibhausgasen durch Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft ist im Wesentlichen auf eine veränderte Senkenfunktion in der Kategorie „Forest Land remaining Forest Land“ zurückzuführen. Dies ist insbesondere auf Sturmereignisse mit sehr hohem Schadholzanfall zurückzuführen. 1990 traf auf Deutschland eine Serie von Orkanen mit einem daraus resultierenden Sturmholzaufkommenvon ca. 70 Mill. m³. 2007 war es der Sturm Kyrill mit einem Sturmholz von ca. 37 Mill m³. Aktuell wird durch Trockenheit und daraus

resultierenden Käferbefall für die Jahre 2018 bis Mitte 2020 ein geschätztes Schadholaufkommen von ca. 178 Mill. m³ (BMEL, 2020) angenommen. In den Berichtszahlen für die Jahre 2018/2019 spiegeln sich diese Schadholaufkommen noch nicht in vollen Umfang wider.

Abfall und Abwasser

Die deutlichste Emissionsminderung von 75,8 % trat im Bereich Abfall & Abwasser auf. Hier hat die Einführung eines verstärkten Recyclings von wiederverwertbaren Stoffen (Gelber Sack, Verpackungsverordnung u.ä.) sowie die seit Juni 2005 nicht mehr zugelassene Deponierung von biologisch abbaubaren Abfällen (zum überwiegenden Teil realisiert durch die Mechanisch Biologische Abfallbehandlung) zu einer Verringerung der jährlich deponierten Abfallmengen geführt und damit eine Minderung von 79,0 % im Bereich der Deponieemissionen verursacht. Die ebenfalls zu dieser Kategorie gehörenden Emissionen aus der Abwasserbehandlung treten mengenmäßig deutlich hinter den Deponieemissionen zurück, sanken jedoch ebenfalls sehr stark.

Die detaillierten Daten finden sich in Tabelle 597 in Anhangkapitel 22.3.

Tabelle 14: Veränderungen der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland nach Kategorien, seit 1990 / seit dem jeweils letzten Jahr

Emissionsentwicklung gegenüber 1990, Veränderung in %	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1. Energie	0,0%	-11,5%	-16,1%	-19,7%	-22,7%	-25,0%	-24,3%	-22,7%	-26,5%	-26,0%	-25,8%	-27,6%	-30,5%	-34,7%
2. Industrieprozesse	0,0%	1,8%	-19,6%	-21,9%	-35,4%	-35,4%	-36,4%	-36,6%	-36,7%	-37,7%	-35,8%	-31,7%	-34,7%	-36,6%
3. Landwirtschaft	0,0%	-13,7%	-13,6%	-17,2%	-17,4%	-17,3%	-16,2%	-15,2%	-13,2%	-13,6%	-14,3%	-15,5%	-18,3%	-19,2%
4. Landnutzung, - sänderung & Forstwirtschaft	0%	-236%	-183%	-100%	-139%	-136%	-171%	-170%	-185%	-178%	-181%	-183%	-174%	-166%
5. Abfall	0,0%	0,0%	-25,5%	-44,4%	-62,0%	-64,1%	-66,1%	-68,1%	-69,6%	-71,2%	-72,6%	-73,7%	-74,9%	-75,8%
Emissionsentwicklung gegenüber dem jeweils letzten Jahr, Veränderung in %	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1. Energie	0,0%	-0,2%	-0,3%	-2,4%	5,0%	-3,0%	0,9%	2,2%	-5,0%	0,7%	0,4%	-2,4%	-4,1%	-6,0%
2. Industrieprozesse	0,0%	-1,8%	3,9%	-4,1%	-4,9%	-0,1%	-1,5%	-0,4%	-0,2%	-1,6%	3,1%	6,4%	-4,3%	-3,0%
3. Landwirtschaft	0,0%	0,1%	-0,9%	-0,1%	-0,6%	0,2%	1,3%	1,2%	2,4%	-0,6%	-0,7%	-1,4%	-3,4%	-1,0%
4. Landnutzung, - sänderung & Forstwirtschaft (CO ₂ , CH ₄ & N ₂ O)	0,0%	29,8%	-33,7%	101,1%	-43,3%	-9,0%	99,3%	-1,6%	20,2%	-8,1%	3,9%	2,4%	-11,0%	-10,0%
5. Abfall	0,0%	-2,5%	-5,2%	-6,0%	-7,2%	-5,4%	-5,6%	-5,8%	-4,9%	-5,3%	-4,9%	-4,0%	-4,3%	-3,9%

2.4 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für indirekte Treibhausgase und SO₂

Die relative Emissionsentwicklung der indirekten Treibhausgase und SO₂ sind grafisch in der Abbildung 15 und in Tabelle 13 jeweils als Zeitreihen seit 1990 dargestellt. In diesem Zeitraum wurden deutliche Minderungen der Emissionen dieser Schadstoffe erreicht. So gingen die Emissionen von SO₂ um 95,2 %, die von CO um 78,2 %, die von den NMVOC um 71,2 % und die von NO_x um ca. 60,3 % zurück.

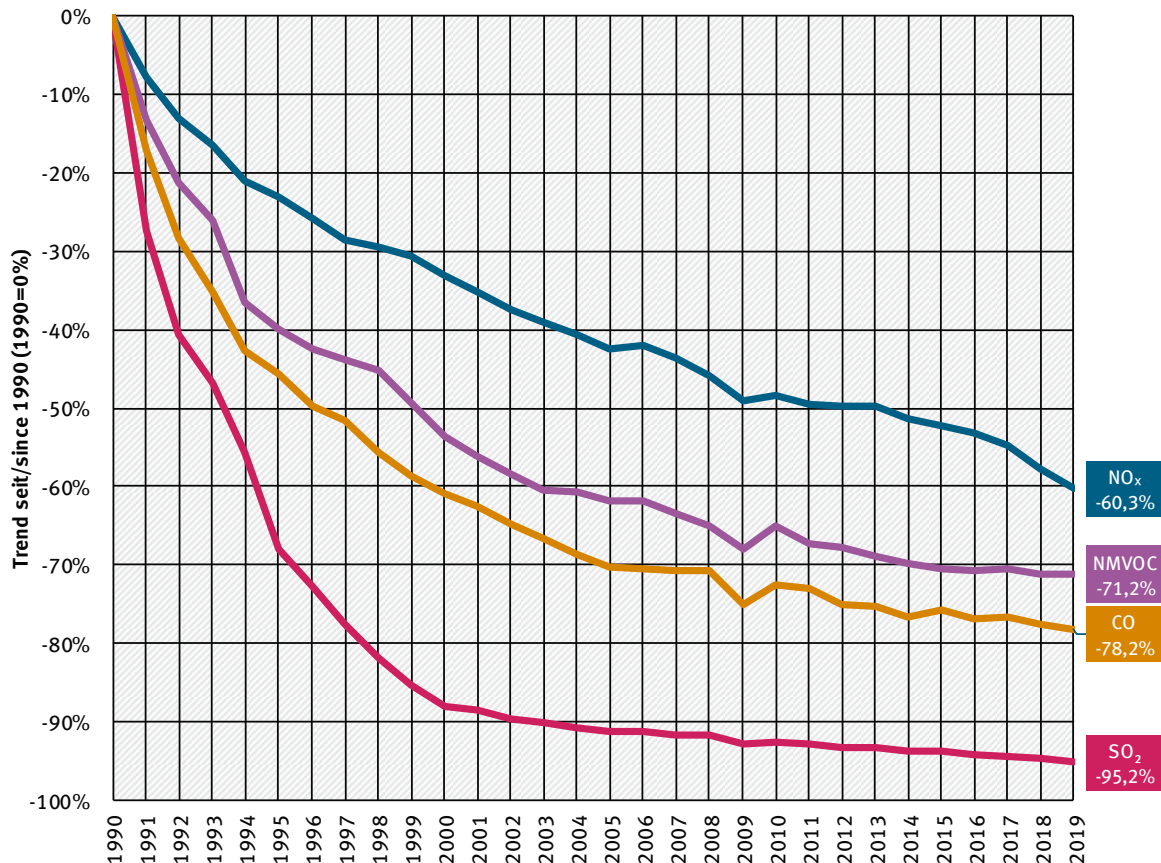
Die Emissionen von Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Kohlenmonoxid sind weit überwiegend durch stationäre und mobile verbrennungsbezogene Emissionen verursacht. Daneben treten bei den NMVOC-Emissionen noch die Emissionen aus der Anwendung von Lösemitteln mit in den Vordergrund.

Die im Folgenden aufgeführten Ursachen für diese Entwicklung sind dabei für alle hier betrachteten Komponenten in unterschiedlichem Ausmaß und mit unterschiedlicher Gewichtung relevant:

- Durch die Wiedervereinigung Deutschlands im Jahre 1990 trugen insbesondere die Emissionen des Gebietes der ehemaligen DDR zu einem sehr hohen Ausgangsniveau bei.
- In den Folgejahren wurden im Osten Deutschlands veraltete Industrieanlagen stillgelegt. Einige der Altanlagen wurden durch Neuanlagen ersetzt, die zum damaligen Zeitpunkt den modernsten Anforderungen genügten. Nicht stillgelegte Altanlagen wurden mit umfangreichen Emissionsminderungsmaßnahmen und mit die Energieeffizienz erhöhenden Maßnahmen nachgerüstet.
- Zudem erfolgte eine Umstellung des eingesetzten Brennstoffmixes. Insbesondere im Osten Deutschlands wurde der Anteil der heimischen Braunkohle zugunsten der mit geringeren Emissionen verbundenen Energieträger Erdgas und Heizöl reduziert.
- Im Verkehrsbereich erfolgte der Einsatz neuerer und mit schadstoffmindernder Technik ausgestatteter Fahrzeuge
- In den Jahren nach 1990 erlangten die immissionsschutzrechtlichen Regelungen der früheren Bundesrepublik Rechtsverbindlichkeit im Osten Deutschlands. Nach dem Auslaufen von zeitlich begrenzten Übergangsregelungen wurde das geltende Recht mehrfach an den weiterentwickelten Stand der Technik angepasst.
- Eingeführte gesetzliche Regelungen und marktwirtschaftliche Anreize führten zu einem sparsameren Umgang mit Energie und Rohstoffen.
- Internationale Rechtssetzung insbesondere der europäischen Gemeinschaft wirkte sich emissionsmindernd aus.
- Der zunehmende Einsatz von erneuerbaren Energieträgern (Strom/Wärme aus Sonne, Wind und Geothermie) wirkte sich insbesondere in den letzten Jahren auch auf die Emissionen der indirekten Treibhausgase aus.

Beschreibungen der Emissionsberechnungen für diese Schadstoffe sowie weitere detaillierte Einflussparameter für die Emissionsentwicklungen der einzelnen Luftschadstoffe können im Internet-Angebot des Umweltbundesamtes²¹ eingesehen werden.

²¹ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen> sowie direkt im Informativen Inventory Report (IIR): <http://iir.umweltbundesamt.de>

Abbildung 15: Emissionsentwicklung der indirekten Treibhausgase und von SO₂

2.5 Beschreibung und Interpretation des Emissionsverlaufs für das KP-LULUCF-Inventar, für aggregierte Emissionen, nach Aktivität und Treibhausgas

Deutschland berichtet unter KP-LULUCF Artikel 3 Absatz 3 Aufforstung/Wiederaufforstung und Entwaldung (Afforestation/Reforestation, AR; Deforestation, D). In der zweiten Verpflichtungsperiode muss Deutschland Waldbewirtschaftung (Forest management, FM) nach Artikel 3, Absatz 4 des Kyoto-Protokolls anrechnen lassen. Als freiwillige Aktivitäten unter Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls wurden:

- 1. Ackerlandbewirtschaftung (Cropland management, CM)
- 2. Weidelandbewirtschaftung (Grazing land management, GM) gewählt und berichtet.

Berichtet werden die Treibhausgase Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas.

Unter Artikel 3.3 werden für das Jahr 2019 Einbindungen von 1060,69kt CO₂-äquivalent berichtet. Die Einbindung setzt sich zusammen aus der Einbindung durch Aufforstung und Wiederaufforstung von -582,45kt CO₂-äquivalent und aus Emissionen von Entwaldung von 1.643,14kt CO₂-äquivalent. Unter Aufforstung und Entwaldung werden Emissionen von CO₂ mit -958,25kt CO₂, CH₄ mit 42,79kt CO₂-äquivalent und N₂O mit 59,66kt CO₂-äquivalent berichtet.

Unter Artikel 3.4 werden Einbindungen im Jahr 2018 von -25808,08 kt CO₂-äquivalent berichtet. Das setzt sich zusammen aus der Einbindung von -61245,62kt CO₂-äquivalent aus Waldbewirtschaftung und Emissionen von 17271,51kt CO₂-äquivalent aus Ackerbewirtschaftung sowie 18.166,0329kt CO₂-äquivalent aus Weidewirtschaftung. Die Emissionen für die drei Aktivitäten unterteilt nach den Gasen beträgt für CO₂ -27839,69kt, CH₄ 1304,14kt CO₂-äquivalent und N₂O 727,48kt CO₂-äquivalent.

Ein Trend für die Aufforstung und Entwaldung sowie der Waldbewirtschaftung ist nicht zu erkennen. Die jährlichen Werte ab 2013 schwanken und liegen in manchen Jahren unter und in anderen Jahren über dem Mittelwert von 2013 bis 2019. Anders sieht es bei der Ackerland- und Grünlandbewirtschaftung aus. Bei der Ackerlandbewirtschaftung ist ein stetiger Anstieg von 15.865 kt CO₂-äquivalent im Jahr 2013 auf 17.271 kt CO₂-äquivalent im Jahr 2019 zu beobachten. Einen umgekehrten Trend gibt es bei der Grünlandbewirtschaftung. Dort Verringern sich die Emissionen von 19.695 kt CO₂-äquivalent im Jahr 2013 auf 18.166 kt CO₂-äquivalent im Jahr 2019.

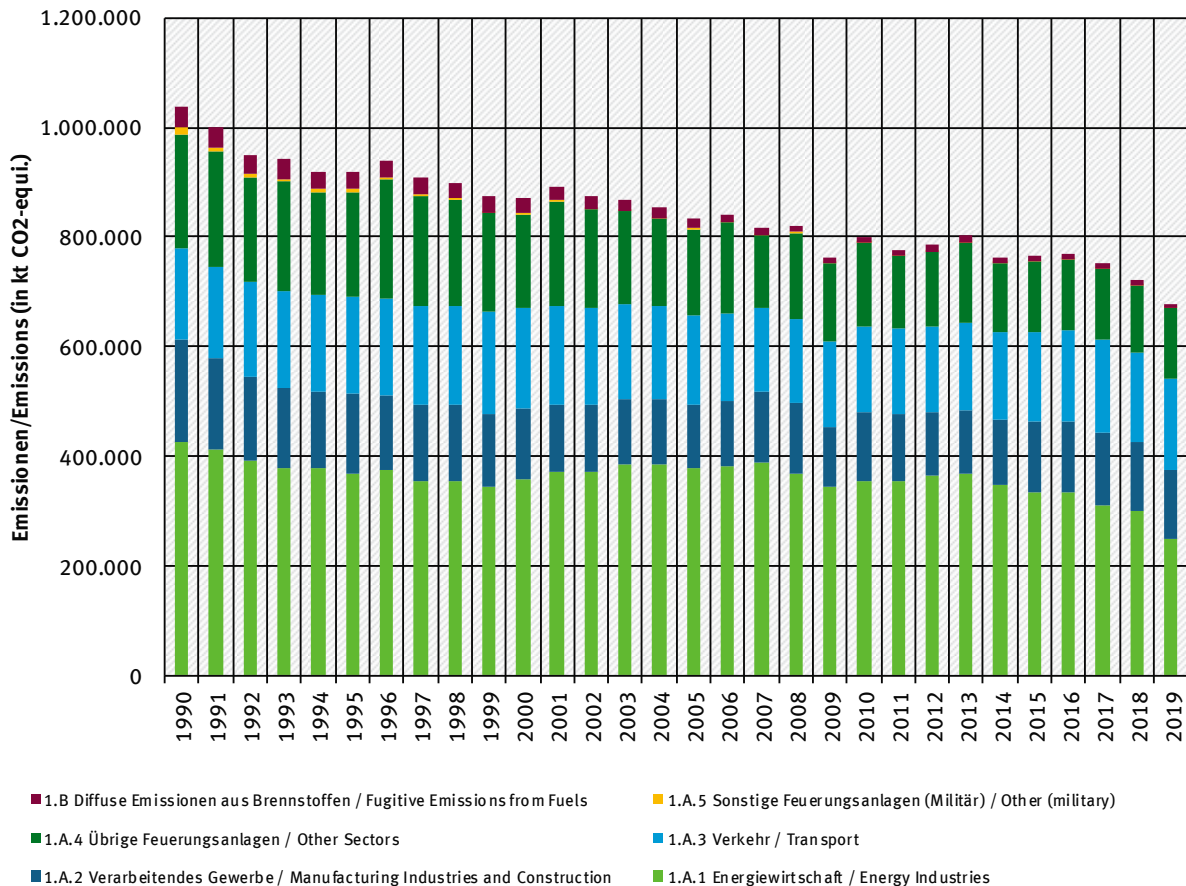
Tabelle 15: Emissionen von 2019 für die KP-LULUCF-Aktivitäten Aufforstung und Entwaldung unter Artikel 3.3 und Waldbewirtschaftung, Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung unter Artikel 3.4.

Kategorie	Emission 2019 [kt CO ₂ -äquivalent]
KP 3.3 Afforestation/Reforestation	-582,45
KP 3.3 Deforestation	1.643,14
KP 3.4 Forest Management	-61245,62
KP 3.4 Cropland Management	17271,51
KP 3.4 Grazing Land Management	18.166,03

3 Energie (CRF Sektor 1)

3.1 Übersicht (CRF Sektor 1)

Abbildung 16: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 1 ²²,



Für die Ermittlung der Aktivitätsraten aus der Verbrennung werden für mobile und stationäre Quellen unterschiedliche Modelle verwendet: Für stationäre Quellen die „Bilanz der Emissionsursachen - BEU“ und für mobile Quellen das Modell „Transport Emission Estimation Model -TREMOD“. In beiden Modellen werden verbrennungsbedingte Aktivitäten ermittelt und in der Emissionsdatenbank „Zentrales System Emissionen - ZSE“ erfasst.

Mit diesen verbrennungsbedingten Aktivitäten erfolgt durch Multiplikation mit den zugehörigen Emissionsfaktoren (vgl. Kapitel 18.8) innerhalb des ZSE die Berechnung der zugehörigen Emissionen. Hierbei wird von einer vollständigen Oxidation des in den Brennstoffen enthaltenen Kohlenstoffs ausgegangen.

3.2 Verbrennung von Brennstoffen (1.A)

Die Aktivitätsraten für stationäre Verbrennung werden im Modell „Bilanz der Emissionsursachen“ (BEU) berechnet. Dieses vom Umweltbundesamt entwickelte Modell verwendet als wesentliche Datengrundlage die Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland,

²² CO₂-Emissionen und Festlegungen in Böden werden unter Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft berichtet.

die vor allem auf Basis amtlicher Statistiken erstellt wird. Die Energiebilanz ist in den Kapiteln 18.1 bis 18.4 ausführlich beschrieben.

Mit Hilfe zusätzlicher Statistiken sowie verschiedener Annahmen werden diese Daten in den jeweiligen Sektoren der Energiewandlung und des Endverbrauchs weiter disaggregiert und ergänzt, soweit dies für eine adäquate Emissionsdarstellung erforderlich ist. Kriterien sind die immissionsschutzrechtliche Zulassung, Technologien und die Differenzierung bestimmter Brennstoffe. Das Modell besteht aus zwei Teilen: dem Teilmodell für die alten Bundesländer für die Jahre 1987-1994 und dem Teilmodell für Deutschland für die Jahre ab 1995. Das Modell für Deutschland ist überarbeitet und in den Berichten der zwei Forschungsvorhaben (FKZ 203 41 142: Graichen et al. (2005) und 204 41 132: Heilwig (2002)) ausführlich dokumentiert worden. Für die Berechnung wird seit dem Jahr 2009 ein Datenbank gestütztes System der BEU auf Basis der MESAP-Software eingesetzt, das im Rahmen der Forschungsvorhaben FKZ 204 42 203/03 und FKZ 360 16 010 (GICON, 2008) analog zum Teilmodell Deutschland entwickelt wurde. Seitdem wird das Energiedatenmodell in Eigenleistung regelmäßig aktualisiert. Für die neuen Bundesländer sind die Daten für 1990-1994 bereits direkt in das ZSE eingegeben worden. Ihre Ermittlung ist in Kapitel 19.1.1 beschrieben.

Aus der Energiebilanz werden für die Ermittlung der emissionsrelevanten Brennstoffeinsätze aus stationären Quellen folgende Zeilen herangezogen:

A: Umwandlungseinsatz (Energiebilanzzeile 9 bis 19)

1. **Öffentliche Wärmekraftwerke** (Zeile 11) sind Anlagen, deren Betreiber zu den öffentlichen Versorgern gehören. Dazu zählen auch Industriebetriebe, die ihre Kraftwerke zusammen mit Elektrizitätsversorgungsunternehmen als Gemeinschaftskraftwerke betreiben. Ausgewiesen wird der Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung. In dieser Zeile der Energiebilanz enthalten ist auch der Brennstoffeinsatz in Heizkraftwerken der öffentlichen Versorgung, der der Stromerzeugung zuzuordnen ist.
2. **Industriewärmekraftwerke** (Zeile 12) umfassen folgende Betreibergruppen:
 - Kraftwerke des Steinkohlenbergbaus,
 - Kraftwerke des Braunkohlenbergbaus,
 - Kraftwerke der Mineralölverarbeitung (Raffineriekraftwerke),
 - Kraftwerke, die Einphasenstrom für die Deutsche Bahn AG erzeugen (Bis 1999 werden die Einsatzmengen in den Bahnkraftwerken unter 1.A.2.g.vii berichtet (EBZ 12); ab 2000 werden sie mit den öffentlichen Kraftwerken unter 1.A.1.a berichtet (EBZ 11)),
 - Kraftwerke der Industrie (Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau, verarbeitendes Gewerbe).
3. **Wasserkraft-, Windkraft-, Photovoltaik- u. a. Anlagen** (Zeile 14) umfasst alle Anlagen, die aus Biogas, Deponiegas, Klärgas, fester oder flüssiger Biomasse Strom erzeugen und diesen in das öffentliche Netz einspeisen. Weiterhin werden in diesem Teil der Energiebilanz auch die Brennstoffeinsätze der Mini-KWK Anlagen, die mit Erdgas oder leichtem Heizöl betrieben werden, berichtet. Da es für diese Anlagen keine Abschneidegrenze gibt, fallen darunter auch Kleinanlagen aus den Sektoren Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen.
4. **Heizkraftwerke** (Zeile 15): hier wird der Brennstoffeinsatz angegeben, der der Fernwärmeerzeugung zuzuordnen ist. Die Addition der Zeilen 11 und 15 ergibt den gesamten Brennstoffeinsatz in öffentlichen Wärmekraftwerken. Die erzeugte Fernwärme wird in öffentliche Wärmenetze eingespeist. Diese Anlagen versorgen auch Industriekunden mit Prozesswärme.

5. **Fernheizwerke** (Zeile 16): hier wird der Brennstoffeinsatz für die öffentliche Fernwärmeversorgung aus Heizwerken angegeben. Die Anlagen werden häufig zur Spitzenlastdeckung in Fernwärmenetzen verwendet, in denen die Grundlast aus Heizkraftwerken gedeckt wird.

B: Energieverbrauch im Umwandlungsbereich (Energiebilanzzeile 33 bis 39)

6. In den Zeilen 33 bis 39 bzw. in der Summenzeile 40 (**Energieverbrauch im Umwandlungsbereich**) wird unter anderem der Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung angegeben, der zum Betrieb der Umwandlungsanlagen notwendig ist. Hierbei wird nicht nach Art der Wärmeerzeugung unterschieden. So sind Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, Dampf- und Heißwasserkesseln und Prozessfeuerungen zusammengefasst. Eine Besonderheit in der Energiebilanz betrifft die Bilanzierung der Braunkohlengruben und -brikettfabriken. Seit dem Jahr 1980 wird dieser Eigenverbrauch gemeinsam mit dem Umwandlungseinsatz der Brikettfabriken zur Produktherstellung in der Zeile 10 verbucht. Damit ist der emissionsverursachende Einsatz des Eigenverbrauchs aus der Energiebilanz nicht mehr ablesbar und muss aus dem Umwandlungseinsatz heraus gerechnet werden. Die Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung bilden zusammen mit den Brennstoffeinsätzen zur Stromerzeugung der Kraftwerke des Steinkohlenbergbaus, des Braunkohlenbergbaus und der Raffineriekraftwerke den gesamten Brennstoffeinsatz in diesen Anlagen. Nach Abzug der Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung in Kraftwerken vom gesamten Einsatz in Zeile 40 verbleibt die Brennstoffmenge, die in den Prozessfeuerungen, Dampf- und Heißwasserkesseln eingesetzt wird.

C: Endenergieverbrauch (Energiebilanzzeile 46 bis 67)

7. Im **Endenergieverbrauch der Industrie** (Zeile 60 der Energiebilanz) ist der Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung dargestellt, der für die Produktion und zur Raumheizung erforderlich ist. Auch hier wird nicht nach Art der Wärmeerzeugung unterschieden. So bildet ein Teil des Endenergieverbrauchs in diesen Kategorien zusammen mit dem Brennstoffeinsatz der Industriekraftwerke zur Stromerzeugung den gesamten Brennstoffeinsatz in diesen Anlagen.
8. Die Angaben zum **Endenergieverbrauch der Haushalte** (Zeile 66 der Energiebilanz) beinhalten die Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung, das sind die Anwendungsbereiche Heizung, Warmwasserbereitung und Kochen.
9. Die Angaben zum **Endenergieverbrauch von Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher** (Zeile 67 der Energiebilanz) umfassen Brennstoffeinsätze zur Warmwasserbereitung, Raum- und Prozesswärmeerzeugung in diesem Sektor.

Für die vielfältigen Anforderungen der nationalen und internationalen Energie- und Emissionsberichterstattung reichen die Angaben der Energiebilanz nicht aus. So fasst die Energiebilanz Brennstoffeinsätze zusammen, die

- in Anlagen mit unterschiedlichen immissionsschutzrechtlichen Anforderungen eingesetzt werden (z.B. Großfeuerungsanlagen, mittelgroße Feuerungsanlagen, Kleinf Feuerungsanlagen, Abfallverbrennungsanlagen)
- die nach unterschiedlichen technischen Prinzipien arbeiten (z.B. Dampfturbinenkraftwerke, Gasturbinenkraftwerke, Verbrennungsmotoranlagen)
- regionale Besonderheiten aufweisen (z.B. unterschiedliche Qualitäten der Rohbraunkohlen in den einzelnen Fördergebieten)
- bei der nationalen und internationalen Emissionsberichterstattung jeweils unterschiedlichen Kategorien zuzuordnen sind

- in verschiedenen Energiebilanzzeilen je nach ihrem Verwendungszweck (zur Strom- bzw. zur Wärmeerzeugung) angegeben, aber in einer Anlagengruppe (z.B. Dampfturbinenkraftwerke) eingesetzt werden.

Diese Charakteristika haben Auswirkungen auf das Emissionsverhalten. Um diesen verschiedenen Anforderungen Rechnung zu tragen, werden die Daten der Energiebilanz im Modell *Bilanz der Emissionsursachen* (BEU) unter Verwendung weiterer Statistiken sowie mit eigenen Rechnungen disaggregiert. Die folgende Abbildung 17 gibt eine Übersicht über die Struktur

Bilanz der Emissionsursachen (BEU)
<p><u>Kategorien sind:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • öffentliche Wärmekraftwerke, • Steinkohlenbergbau (bis 2013), • Braunkohlenbergbau, • Deutsche Bahn AG (bis 1999) • Mineralölverarbeitung, • Fernheizwerke, • übriger Umwandlungsbereich • Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau und verarbeitendes Gewerbe (weitere Untergliederung der Prozessfeuerungen), <p>(Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher werden außerhalb des BEU-Modells direkt im ZSE bearbeitet)</p>
<p><u>Anlagenarten sind:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Dampfturbinenkraftwerke, • Gasturbinenkraftwerke, • Gas- und Dampfturbinenkraftwerke • Motorkraftwerke, • Kesselfeuerungen (ohne Kraftwerkskessel), • Prozessfeuerungen (untergliedert in 12 Prozesse).
<p><u>Nach Energieträgern:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • etwa 40 verschiedene Brennstoffe
<p><u>Nach immissionsschutzrechtlichen Regelungen aufbereitet, wird unterschieden in:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Anlagen der 13. BImSchV, • Anlagen der 17. BImSchV, • Anlagen der 1. BImSchV, • Anlagen der TA Luft • Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen

Abkürzungen stehen für:

BImSchV

Rechtsverordnung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz,

TA-Luft

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft

Abbildung 17: Merkmale der UBA-Struktur der Bilanz der Emissionsursachen zur Disaggregation der Energiebilanz

Ziel des BEU-Modells ist es, eine Datenstruktur bereitzustellen, die für die unterschiedlichen Berichtspflichten verwendet werden kann. Insbesondere die Ermittlung der Emissionen

klassischer Luftschadstoffe aber auch die Berechnung von Lachgas und Methanemissionen machte eine feinere Disaggregation notwendig.

Trotz der Umstellung der Energiebilanz auf die Einteilung der Wirtschaftszweige nach der WZ 93 und einer geänderten Gruppierung der Energieträger vom Jahre 1995 an, ist es gelungen, die Daten auf die dargestellte Grundstruktur zurückzuführen, so dass konsistente Zeitreihen erarbeitet werden konnten. Bedingt durch den erneuten Umstieg der Wirtschaftszweigklassifikation in den Energie-Statistiken ab dem Jahr 2008 von „WZ 2003“ auf „WZ 2008“ wurde die Erfassung der Aktivitätsdaten für die Prozessfeuerungen aus den Einzelstatistiken entsprechend dem Umsteigeschlüssel realisiert und dokumentiert (Statistisches Bundesamt (2008): Umsteigeschlüssel WZ 2003 auf WZ 2008).

Die Struktur der Bilanz der Emissionsursachen (BEU) und ihre Merkmale wurde im Nationalen Inventarberichten 2011 in Abbildung 20 und tabellarisch in den Tabellen 16 bis 22 dargestellt und erläutert. Da es seither keine strukturellen Veränderungen gibt, sei hier auf diese Dokumentation verwiesen. Darin erfolgt die Zuordnung der Strukturelemente der BEU zur Datenbank des Zentralen Systems der Emissionen (ZSE) über eine eindeutige Namensvergabe.

Neben der bereits beschriebenen strukturellen Untergliederung werden zusätzlich die verschiedenen Brennstoffe in der Datenbank einzeln ausgewiesen. Die Brennstoffkategorien orientieren sich im Wesentlichen an der Energiebilanz. In einigen Fällen ist es nötig mit Hilfe der Energiestatistik und der Statistik der Kohlenwirtschaft, sowie einigen wenigen Verbandsstatistiken die Brennstoffe weiter zu untergliedern. Die verschiedenen Brennstoffqualitäten mit unterschiedlichen Kohlenstoffgehalten werden, gemäß der Berichtsvorgaben in den 5 Kategorien: Gase, Flüssige Brennstoffe, feste Brennstoffe, Biomasse und sonstige Brennstoffe, zusammengefasst. Aufgrund der Vielzahl der unterschiedlichen Brennstoffe deren Anteile in den einzelnen Kategorien schwanken, kommt es häufig zu Änderungen der in den CRF-Tabellen ausgewiesenen impliziten Emissionsfaktoren.

Für die Ermittlung der Aktivitätsraten von Abfall in Müllverbrennungsanlagen und der Mitverbrennung in Feuerungsanlagen in den Sektoren Öffentliche Strom- und Wärmerzeugung (1.A.1) und verarbeitendes Gewerbe (1.A.2) hat das UBA im Rahmen eines Eigenforschungsprojektes eine gründliche Auswertung der Brennstoffeinsätze der Energiestatistik 060 und 066 (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.1.7) und der Abfallstatistik (Statistisches Bundesamt, 2018) des Statistischen Bundesamtes durchgeführt. Um alle Brennstoffmengen möglichst vollständig zu erfassen wurden die Abfallmengen beider Statistiken nach einzelnen Sektoren und Wirtschaftszweigen verglichen. Dafür ordnete man die Abfälle aus der Abfallstatistik den gleichen Brennstoffgruppen zu, wie sie in der Energiestatistik angegeben werden: in feste Biomasse, Klärschlamm, Haus- und Siedlungsabfälle und Industriemüll. Es hat sich gezeigt, dass in den letzten Jahren die erfassten Brennstoffmengen der Energiestatistik stetig angestiegen sind. Der Grund dafür ist u.a., dass immer mehr feste Biomasse (v.a. Alt- und Restholz) und aufbereitete Siedlungsabfälle zur Energieerzeugung eingesetzt werden. Dennoch liegen die Abfallmengen der Energiestatistik in der Summe noch immer unter denen der Abfallstatistik. Demzufolge werden die Aktivitätsraten für Industriemüll der Energiebilanz entnommen und um den Differenzbetrag zur Abfallstatistik ergänzt. Da das Altholz in der Energiebilanz nicht als Abfall sondern als feste Biomasse deklariert wird, muss es in der Abfallstatistik vom aufgeführten Einsatz in Müllverbrennungs- und Feuerungsanlagen abgezogen werden, um eine Doppelzählung zu vermeiden.

Hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung wird der fossile und biogene Anteil von Hausmüll/Siedlungsabfall seit dem NIR 2006 im Verhältnis 1:1 separat ausgewiesen. Dieser Split-Faktor wurde durch das veröffentlichte Forschungsvorhaben, „Nutzung der Potenziale des

biogenen Anteils im Abfall zur Energieerzeugung“ (Hoffmann et al. (2011); Förderkennzeichen 3707 33 303) bestätigt. Der biogene Anteil des Industriemülls variiert stark in Abhängigkeit der Industriebranche und Anlagenart. Dies führt u.a. dazu, dass im Sektor verarbeitendes Gewerbe (1.A.2) für die Wirtschaftszweige Eisen und Stahl, Papier, Zement- und Kalkindustrie ausführliche Datenerhebungen zu Ersatzbrennstoffen verwendet werden, die von den Verbänden Stahlinstitut (VDEh), Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (VDP), Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie (BV Kalk) und vom Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ) zur Verfügung gestellt werden. Der biogene Anteil des Industriemülls in den genannten Branchen stammt aus dem Forschungsprojekt „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Lechtenböhrer et al. (2006c), Förderkennzeichen 20442203/02).

3.2.1 Verifikation des sektoralen Ansatzes zu CRF 1.A

3.2.1.1 Vergleich mit dem CO₂-Referenzverfahren

Im Rahmen des internationalen Klimaschutzes ist die Berichterstattung zu den verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen auf Grund des dominierenden Anteils an den Gesamtemissionen von größter Bedeutung. Von den Industrieländern wird hierzu routinemäßig das quellgruppenspezifische Verfahren angewendet, das auf der Ebene der einzelnen Energieverbrauchssektoren ansetzt und daher differenzierte Aussagen zur Struktur der Emissionen erlaubt.

Zusätzlich zu den quellenspezifischen Ergebnissen dieses sogenannten Sektoralen Ansatzes (1.AA) werden die CO₂-Emissionen auch anhand eines Referenzverfahrens (1.AB) gemäß der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 2, Ch. 6: Reference Approach) ermittelt. Dieser Referenzansatz beruht dabei auf Primärdaten zu Produktion, Importen und Exporten von Brenn- und Kraftstoffen sowie zu Änderungen im Bestand, welche unmittelbar den Nationalen Energiebilanzen der AGEB entnommen werden.

Analog zum Sektoralen Ansatz wird von einer vollständigen Oxidation ausgegangen. In Übereinstimmung mit den 2006 IPCC Guidelines entsprechen die verwendeten Kohlenstoff-Emissionsfaktoren denen des sektoralen Ansatzes und umfassen damit national referenzierte Werte. Die so berechneten CO₂-Emissionen werden zur Verifikation des Sektoralen Ansatzes verwendet.

Das Referenzverfahren wird für alle Jahre ab 1990 durchgeführt. Als Basis dienen jeweils die Angaben der Nationalen Energiebilanzen zum Primärenergieverbrauch. Für das Jahr 2019 war dabei zum Zeitpunkt der Inventarerstellung nur eine vorläufige Bilanz verfügbar.

Die Ergebnisse des Referenzverfahrens (1.AB) sind in Tabelle 16 sowie in Kapitel 20 im Anhang 4 dieses Berichtes zusammengestellt und werden in Abbildung 18 und Abbildung 19 mit weiteren verfügbaren Datensätzen der IEA und der einzelnen Bundesländer verglichen.

3.2.1.2 Verifizierung mit anderen für Deutschland verfügbaren Datensätzen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der detaillierten kategoriebezogenen Berechnung der energiebedingten CO₂-Emissionen für Deutschland entsprechend den Vorgaben der *IPCC Guidelines* zur Verifizierung mit anderen für Deutschland verfügbaren nationalen und internationalen Datensätzen über die energiebedingten CO₂-Emissionen für die Jahre 1990 bis 2016 verglichen. Für 2017 liegen diese Vergleichsdaten noch nicht vor.

Dies erfolgt durch Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse mit den Angaben:

- der IEA (kategorie-spezifisches Verfahren) und
- der auf der Ebene der Bundesländer durchgeführten CO₂-Berechnungen.

In Tabelle 16 und Abbildung 18 werden die Ergebnisse der unterschiedlichen CO₂-Berechnungsansätze einander im zeitlichen Verlauf vergleichend gegenübergestellt. Die relevanten Entwicklungstrends werden in allen Berechnungsansätzen, inklusive dem Referenzverfahren – wenn auch auf unterschiedlichem Niveau – aufgezeigt. Um diese Niveauunterschiede zu veranschaulichen, werden in Abbildung 19 die relativen Abweichungen zwischen den verschiedenen Datensätzen dargestellt.

Insgesamt bestätigen diese Vergleiche die für Deutschland ermittelten CO₂-Emissionen deutlich. Die mit dem *sektoralen Ansatz* ermittelten energiebedingten nationalen Gesamtemissionen (siehe UBA (CRF 1.A)) weichen im Mittel der Jahre 1990 bis 2016 wie folgt von den Vergleichsdatsätzen ab:

- IEA (detailliertere Sektoraler Ansatz: IEA (SA)) 2,7 %
- nationales Referenzverfahren (UBA (RA)) 0,7 %
- Ergebnisse der Bundesländer 0,7 %

Tabelle 16: Vergleich der CO₂-Inventare mit anderen unabhängigen nationalen und internationalen Ergebnissen

Ergebnisse, Abweichung	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
IEA Statistiken SA (sectoral approach)	940,3	917,8	877,8	872,0	859,2	856,7	887,2	855,0	847,0	815,0
Abweichung IEA SA von UBA (CRF 1.A)	-4,6	-3,6	-3,2	-2,8	-2,2	-2,4	-1,4	-1,7	-1,8	-2,7
Ergebnisse der Bundesländer (Energie)	967,4	947,1	901,1	895,1	875,2	879,3	899,8	875,2	870,2	844,0
Abweichung Bundesländer (Energie) von UBA	-1,8	-0,5	-0,6	-0,2	-0,3	0,1	0,0	0,7	0,9	0,8
Reference Approach UBA (RA)	1004,0	960,5	912,4	903,8	886,3	877,4	901,0	870,2	861,2	840,5
Abweichung UBA RA von UBA (CRF 1.A)	1,9	0,9	0,6	0,8	0,9	-0,1	0,1	0,1	-0,2	0,4
Sektoraler Ansatz UBA (CRF 1.A)	985,6	951,7	906,6	896,9	878,2	878,1	900,1	869,4	862,8	837,5
Ergebnisse, Abweichung	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
IEA Statistiken SA (sectoral approach)	812,4	831,6	818,0	820,8	804,8	786,8	799,3	766,8	775,3	720,3
Abweichung IEA SA von UBA (CRF 1.A)	-2,9	-3,2	-3,2	-2,4	-2,7	-2,7	-2,5	-3,4	-3,0	-3,0
Ergebnisse der Bundesländer (Energie)	843,8	870,1	846,9	842,8	829,1	817,0	821,8	798,6	803,2	751,7
Abweichung Bundesländer (Energie) von UBA	0,9	1,3	0,3	0,2	0,2	1,0	0,3	0,6	0,5	1,2
Reference Approach UBA (RA)	836,6	857,2	846,4	850,9	837,2	818,8	829,0	801,3	804,6	749,6
Abweichung UBA RA von UBA (CRF 1.A)	0,0	-0,3	0,2	1,1	1,2	1,3	1,2	0,9	0,7	0,9
Sektoraler Ansatz UBA (CRF 1.A)	836,6	859,4	844,6	841,3	827,3	808,6	819,5	794,2	798,9	742,6
Ergebnisse, Abweichung	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016			
IEA Statistiken SA (sectoral approach)	758,9	731,3	744,8	763,9	723,3	729,7	731,6			
Abweichung IEA SA von UBA (CRF 1.A)	-2,8	-3,5	-2,4	-2,1	-2,5	-2,3	-2,6			
Ergebnisse der Bundesländer (Energie)	785,4	762,5	769,0	775,7	748,2	755,9	767,0			
Abweichung Bundesländer (Energie) von UBA	0,6	0,6	0,8	-0,6	0,8	1,3	2,2			
Reference Approach UBA (RA)	773,6	758,6	765,6	791,2	745,3	751,2	762,4			
Abweichung UBA RA von UBA (CRF 1.A)	-0,9	0,1	0,3	1,4	0,5	0,6	1,5			
Sektoraler Ansatz UBA (CRF 1.A)	781,0	757,7	763,0	780,5	741,9	746,5	750,8			

Quelle: CO₂ Emissions from Fuel Combustion (2018 Edition), IEA, Paris.

Abbildung 18: CO₂-Emissionen in Deutschland – Vergleich nationaler und internationaler Berechnungsergebnisse

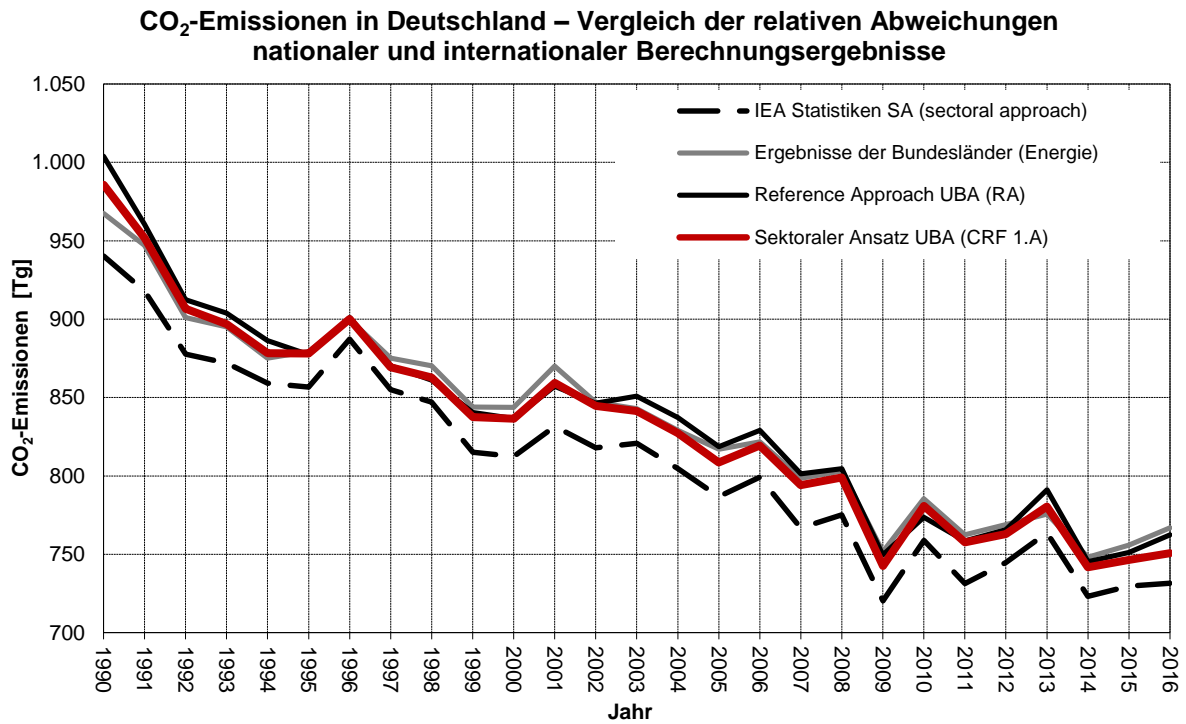
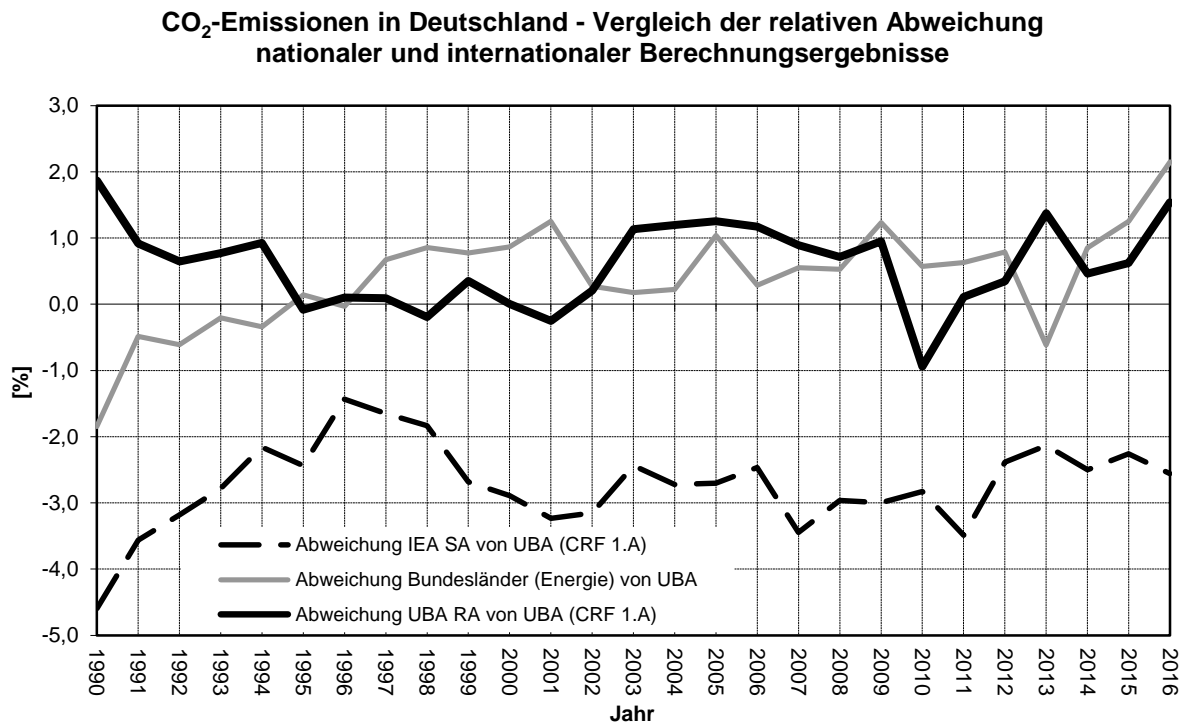


Abbildung 19: CO₂-Emissionen in Deutschland – Vergleich der relativen Abweichungen nationaler und internationaler Berechnungsergebnisse



3.2.1.2.1 Vergleich mit den IEA-Ergebnissen

Aufgrund Corona-bedingt unterbrochener bzw. erheblich verlangsamter Datenflüsse und bis zuletzt nicht vorliegender Vergleichsdaten kann mit der vorliegenden Submission kein solcher Abgleich erfolgen.

Die verwendeten Daten werden in jährlich aktualisierter Form international durch die IEA veröffentlicht (zuletzt: OECD/IEA, 2018). Da der Weg der Ermittlung, Aufbereitung und Anwendung der verwendeten Basisdaten gegenwärtig jedoch nicht exakt mit dem nationalen Vorgehen in Deutschland vergleichbar ist und weitere methodische Informationen insbesondere zu den verwendeten detaillierten Daten fehlen, wird dieser Vergleich hier nur aus Gründen der Vollständigkeit aufgeführt.

Der Vergleich mit den Ergebnissen des sektoralen Ansatzes der IEA bestätigt trotz dieser Einschränkungen die nach der nationalen detaillierten Methode ermittelten Daten: Die mittlere Abweichung für aktuell 26 Jahre liegt bei 2,7 %. Die nationalen Vergleichsemissionen liegen dabei in allen Jahren höher als die von der IEA veröffentlichten Ergebnisse. Die Einzelabweichungen variieren im Bereich von -4,6 % (1990) bis -1,4 % (1996).

3.2.1.2.2 Vergleich mit den für die einzelnen Bundesländer ermittelten Daten

Aufgrund Corona-bedingt unterbrochener bzw. erheblich verlangsamter Datenflüsse, besonders aber umfassender methodischer Veränderungen innerhalb der Länderstatistiken kann mit der vorliegenden Submission kein solcher Abgleich erfolgen.

Durch die Bundesländer werden Angaben zu den jeweiligen CO₂-Emissionen veröffentlicht²³. Zu den Verfahren, zuständigen und beteiligten Einrichtungen sowie den methodischen Beschreibungen wird auf den Internetauftritt bzw. auf die detailliertere Beschreibungen im NIR 2009 verwiesen.

Nachfolgend wird eine Gegenüberstellung der verfügbaren Länderergebnisse der Quellenbilanz mit den auf Bundesebene berechneten Inventaren für die energiebedingten CO₂-Emissionen durchgeführt. Erschwert wird der Vergleich dadurch, dass die verfügbaren Informationen für die einzelnen Bundesländer nicht immer in vollständigen Zeitreihen vorliegen. Die Füllung bestehender Fehlstellen erfolgte überwiegend durch Interpolation. Da aktuell nur für wenige Bundesländer Daten für 2017 verfügbar sind wird der Vergleich auf den Zeitraum 1990 bis 2016 begrenzt und die wenigen fehlende Werte für das Jahr 2016 auf Basis einer Expertenschätzung extrapoliert.

²³ Landesarbeitskreis Energiebilanzen – CO₂-Bilanzen <http://www.lak-energiebilanzen.de/co2-bilanzen/>

Tabelle 17: Vergleich der Ergebnisse der CO₂-Berechnungen der einzelnen Bundesländer mit den Bundesinventaren

Bundesland	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
	[Gg CO ₂]									
Baden-Württemberg	74.299	78.782	78.071	78.831	74.155	77.861	81.343	78.244	79.643	77.050
Bayern	83.814	88.347	86.403	89.517	87.162	87.535	91.796	89.407	90.506	88.172
Berlin	26.500	27.607	24.773	26.109	25.138	24.204	24.373	23.325	22.551	23.276
Brandenburg	80.451	64.579	57.684	55.976	52.954	50.261	49.825	50.306	58.615	57.841
Bremen	13.376	13.569	12.859	12.449	13.276	13.176	14.177	14.147	13.828	12.758
Hamburg	12.160	13.863	12.572	13.226	12.741	12.793	13.865	13.285	13.209	12.811
Hessen	42.638	46.377	46.081	47.414	47.068	47.019	50.270	47.278	47.125	43.908
Mecklenburg-Vorpommern	15.539	10.757	9.360	9.473	9.510	10.233	11.636	10.654	10.413	10.627
Niedersachsen	76.594	81.735	77.507	77.021	77.784	77.862	77.939	78.766	79.592	76.433
Nordrhein-Westfalen	297.281	308.160	304.377	298.004	293.723	301.029	310.042	304.648	302.239	291.442
Rheinland-Pfalz	27.453	29.513	28.999	30.330	30.363	31.579	31.598	31.756	31.266	30.408
Saarland	23.680	25.750	24.378	23.194	24.289	23.109	23.829	21.802	23.769	22.800
Sachsen	92.188	76.967	63.953	65.922	62.915	61.368	56.440	51.044	37.076	35.047
Sachsen-Anhalt	49.522	35.226	31.172	26.901	25.715	24.865	25.250	24.538	24.735	26.566
Schleswig-Holstein	24.417	24.032	24.303	24.823	24.462	23.253	23.778	23.189	22.934	22.404
Thüringen	27.483	21.868	18.566	15.894	13.925	13.203	13.634	12.831	12.709	12.430
Länderergebnis	967.395	947.132	901.058	895.084	875.180	879.350	899.795	875.220	870.210	843.972
Bundesergebnis (CRF 1.A + CRF 1.D.1.a)	985.570	951.739	906.580	896.921	878.184	878.100	900.063	869.365	862.817	837.486
Differenz Länder- zu Bundesergebnis (Gg)	-18.175	-4.607	-5.522	-1.837	-3.004	1.250	-268	5.855	7.393	6.486
Differenz Länder- zu Bundesergebnis (%)	-1,8	-0,5	-0,6	-0,2	-0,3	0,1	0,0	0,7	0,9	0,8

Bundesland	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
	[Gg CO ₂]									
Baden-Württemberg	74.181	79.613	76.303	75.898	74.995	77.137	77.933	70.614	72.400	66.227
Bayern	86.064	87.988	81.911	81.618	80.343	77.528	78.625	71.689	76.603	73.620
Berlin	23.167	23.521	20.705	20.691	19.621	19.391	19.243	16.758	17.717	17.240
Brandenburg	60.478	60.785	61.472	57.984	58.900	60.162	58.274	58.237	56.847	53.145
Bremen	14.029	14.115	13.988	14.693	13.076	12.152	12.627	13.558	12.947	12.665
Hamburg	12.809	13.208	12.856	12.065	11.997	11.958	11.579	11.063	11.173	11.300
Hessen	44.522	46.587	43.614	43.986	43.165	42.265	41.470	38.833	39.291	37.768
Mecklenburg-Vorpommern	10.256	10.718	10.908	10.696	10.906	10.354	11.133	10.044	10.835	9.515
Niedersachsen	73.273	72.287	71.300	70.670	70.040	70.283	70.526	69.915	69.304	66.087
Nordrhein-Westfalen	291.407	297.628	293.074	293.626	288.415	279.180	283.310	285.647	282.936	256.712
Rheinland-Pfalz	28.946	29.659	27.946	26.832	26.153	26.080	26.786	25.876	27.479	26.333
Saarland	23.409	23.213	22.914	23.232	23.900	24.776	23.555	25.697	22.947	18.498
Sachsen	41.511	48.837	49.006	49.605	48.437	47.312	48.493	46.830	46.115	46.894
Sachsen-Anhalt	25.857	26.463	27.039	27.554	26.591	27.275	27.205	25.890	26.843	26.662
Schleswig-Holstein	21.905	23.184	21.865	21.800	20.795	19.733	19.763	17.490	18.838	18.553
Thüringen	12.017	12.309	12.034	11.885	11.794	11.445	11.265	10.418	10.893	10.513
Länderesgebnis	843.831	870.114	846.935	842.835	829.128	817.031	821.787	798.559	803.168	751.732
Bundesergebnis (CRF 1.A + CRF 1.D.1.a)*	836.564	859.369	844.619	841.335	827.285	808.620	819.454	794.171	798.929	742.566
Differenz Länder- zu Bundesergebnis (Gg)	7.266	10.745	2.315	1.500	1.843	8.411	2.333	4.388	4.239	9.166
Differenz Länder- zu Bundesergebnis (%)	0,9	1,3	0,3	0,2	0,2	1,0	0,3	0,6	0,5	1,2

Bundesland	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	[Gg CO ₂]						
Baden-Württemberg	67.840	66.091	65.371	70.532	65.434	66.807	68.454
Bayern	76.730	74.954	74.955	75.792	71.210	72.284	73.734
Berlin	18.912	16.572	16.644	17.306	16.326	15.679	16.061
Brandenburg	55.639	56.220	56.867	56.907	55.773	55.647	56.311
Bremen	14.038	13.157	13.361	13.542	12.868	13.284	12.954
Hamburg	11.636	10.972	10.822	10.614	11.628	14.620	15.289
Hessen	38.625	36.896	36.886	36.561	33.974	35.688	36.954
Mecklenburg-Vorpommern	10.939	10.346	10.987	10.429	10.365	10.472	10.625
Niedersachsen	68.021	66.729	64.355	65.100	66.384	65.582	65.212
Nordrhein-Westfalen	271.891	264.618	268.337	263.936	255.798	258.445	262.226
Rheinland-Pfalz	27.318	25.336	25.604	26.783	25.331	25.747	26.238
Saarland	19.287	20.899	21.753	22.990	21.081	21.638	21.955
Sachsen	47.153	44.973	47.020	49.635	49.418	47.719	48.129
Sachsen-Anhalt	27.287	27.144	27.625	26.999	25.509	25.125	25.403
Schleswig-Holstein	19.362	17.507	18.027	18.103	17.179	17.239	17.125
Thüringen	10.750	10.079	10.362	10.496	9.878	9.922	10.286
Länderergebnis	785.428	762.493	768.976	775.725	748.156	755.898	766.956
Bundesergebnis (CRF 1.A + CRF 1.D.1.a)*	780.959	757.737	762.965	780.510	741.852	746.545	750.803
Differenz Länder- zu Bundesergebnis (Gg)	4.469	4.756	6.011	-4.785	6.304	9.353	16.153
Differenz Länder- zu Bundesergebnis (%)	0,6	0,6	0,8	-0,6	0,8	1,3	2,2

Anm.: Zahlen in kursiv und grau hinterlegt sind nicht Teil konsistenter Zeitreihen und wurden durch Verfahren zur Lückenschließung bzw. Extrapolation auf Basis einer Expertenschätzung generiert (s. Text).

Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen (Stand: 05.03.2019)

Im Ergebnis dieses Vergleiches wurde vom Trend her eine sehr gute Übereinstimmung der zusammengefassten Länderergebnisse mit dem Bundesinventar ermittelt. Im Durchschnitt der 26 Jahre wichen die CO₂-Emissionen der Bundesländer um 0,7 % vom Bundesergebnis ab. Die Abweichungen lagen in ihren Extremen bei - 1,8 % im Jahr 1990 und + 2,2 % im Jahr 2016.

3.2.1.2.3 Geplante Verbesserungen

Die Vergleichsergebnisse werden im Anschluss an die Berichterstattung regelmäßig mit den Vertretern des Länderarbeitskreises Energiebilanzen diskutiert und hinsichtlich weiterer Verbesserungsmöglichkeiten geprüft. Gegenwärtig bestehen keine weiteren konkreten Verbesserungspläne.

3.2.2 Internationale Bunkerbrennstoffe

3.2.2.1 Emissionen aus dem internationalen Verkehr (1.D.1.a/1.D.1.b)

Der internationale Verkehr gliedert sich in den internationalen zivilen Luftverkehr (1.D.1.a) und den internationalen Seeverkehr (1.D.1.b).

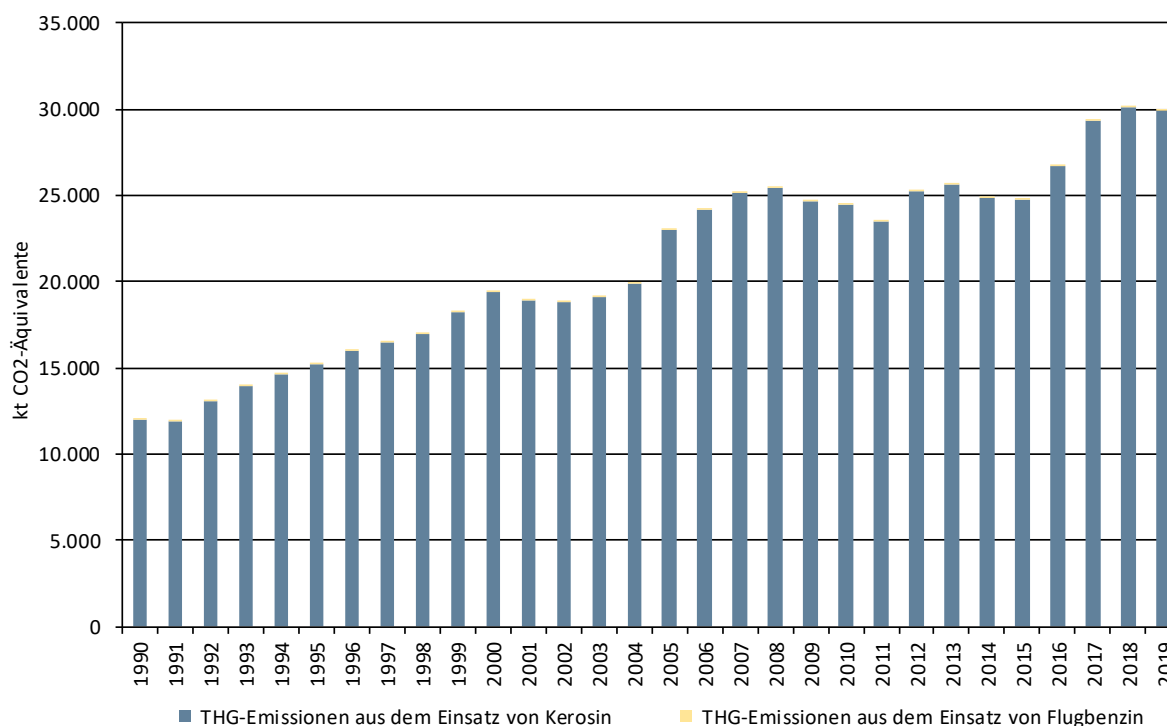
3.2.2.2 Emissionen aus dem internationalen Flugverkehr (1.D.1.a)

3.2.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.D.1.a)

Gas	angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS (Tier 3)	NS/IS/M	CS / D ^a
CH ₄	CS (Tier 3)	NS/IS/M	CS (M)
N ₂ O	CS (Tier 3)	NS/IS/M	CS (M)
NO _x , CO, NMVOC	CS (Tier 3)	NS/IS/M	CS (M)
SO ₂	Tier 1	NS/IS/M	CS

^a mitverbrannte Schmierstoffe

Die Emissionen aus dem Verbrauch von Kraftstoffen für den internationalen Luftverkehr sind in der Inventarberechnung berücksichtigt, werden jedoch nicht als Bestandteil der nationalen Gesamtinventare berichtet und sind damit auch nicht Teil der Hauptkategorienanalyse.

Abbildung 20: Treibhausgasemissionen des von Deutschland ausgehenden internationalen Flugverkehrs seit 1990

3.2.2.2.2 Methodische Aspekte (1.D.1.a)

Da anhand der deutschen Energiestatistiken eine Aufteilung der jährlichen Kraftstoffmengen auf internationalen und innerdeutschen Flugverkehr nicht verfügbar ist, erfolgt diese nachträglich anhand des jährlichen Anteils des nationalen Flugverkehrs am Gesamt-Treibstoffeinsatz, der innerhalb von TREMOD AV (Knörr et al., 2020a) berechnet wird.

Die so ermittelten Anteile des internationalen Flugverkehrs an den in AGEB (2020a) bzw. in den vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle veröffentlichten Amtlichen Mineralöl- und Kerosin-Daten (BAFA, 2020) ausgewiesenen Treibstoffmengen stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 18: jährliche Anteile der Auslandsflüge an den Kerosin-Inlandsablieferungen, in %

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
kerosene	83,9	87,9	88,2	90,3	91,4	91,8	92,1	92,7	92,7	92,7	92,8	93,2	93,3	93,1
avgas	20,1	16,0	17,4	16,2	16,9	13,4	13,4	12,6	11,5	13,3	6,9	7,1	6,4	5,3

Quelle: TREMOD AV (Knörr et al., 2020a)

Weitere Angaben zu den verwendeten Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren finden sich in Kapitel 3.2.10.1 zum nationalen zivilen Flugverkehr.

Zudem werden die Mengen mitverbrannter Schmierstoffe und die daraus resultierenden CO₂-Emissionen erfasst und berichtet. Gemäß Wallfarth (2014) wird dabei davon ausgegangen, dass die Menge mitverbrannter Schmierstoffe 0,01 % der eingesetzten Kraftstoffmenge entspricht (siehe Anhang-Kapitel 19.1.4).

3.2.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.D.1.a)

Siehe Nationaler Flugverkehr, Kapitel 3.2.10.1.3.

3.2.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.D.1.a)

Siehe Nationaler Flugverkehr, Kapitel 3.2.10.1.4.

3.2.2.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.D.1.a)

Gegenüber Submission 2020 erfolgten Rückrechnungen für sämtliche betrachteten Jahre.

Eine Revision der spezifischen LTO-Verbräuche zog dabei eine Korrektur der auf den Auslandsflugverkehr entfallenden jährlichen Anteile am inländischen Kerosinabsatz nach sich.

Tabelle 19: revidierte jährliche Anteile an den Kerosin-Inlandsablieferungen, in Prozent

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Submission 2021	83,9	87,9	88,2	90,3	91,4	91,8	92,1	92,7	92,7	92,7	92,8	93,2	93,3
Submission 2020	85,1	87,3	89,3	91,3	91,7	91,3	92,2	93,1	92,5	92,4	92,9	93,7	93,9
Änderung absolut	-1,17	0,59	-1,07	-0,99	-0,34	0,50	-0,12	-0,37	0,21	0,22	-0,10	-0,56	-0,59
Änderung relativ	-1,38%	0,67%	-1,20%	-1,09%	-0,37%	0,55%	-0,13%	-0,40%	0,23%	0,23%	-0,11%	-0,59%	-0,63%

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf TREMOD AV

Tabelle 20: resultierende Revision des Kerosin-Absatzes für Flüge ins Ausland, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Submission 2021	162.259	205.197	262.146	310.569	330.659	335.097	361.113	396.137	407.774
Submission 2020	164.528	203.828	265.329	313.986	331.888	334.312	361.520	398.498	410.370
Änderung absolut	-2.269	1.369	-3.183	-3.417	-1.229	785	-407	-2.361	-2.596
Änderung relativ	-1,38%	0,67%	-1,20%	-1,09%	-0,37%	0,23%	-0,11%	-0,59%	-0,63%

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf TREMOD AV

Gleichzeitig wurde das abgesetzte Flugbenzin erstmals auf Inlandsflüge und Flüge ins Ausland aufgeteilt.

Tabelle 21: erstmals zugewiesene Flugbenzin-Mengen, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Submission 2021	490	182	195	113	96	82	75	63	54	74	28	29	25
Submission 2020	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

Die resultierende Änderung des Gesamt-Treibstoffeinsatzes stellt sich wie folgt dar:

Tabelle 22: revidierte Gesamt-Treibstoffmenge, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Submission 2021	162.749	205.379	262.340	310.682	330.755	335.171	361.141	396.166	407.799
Submission 2020	164.528	203.828	265.329	313.986	331.888	334.312	361.520	398.498	410.370
Änderung absolut	-1.779	1.552	-2.989	-3.304	-1.133	859	-378	-2.332	-2.571
Änderung relativ	-1,08%	0,76%	-1,13%	-1,05%	-0,34%	0,26%	-0,10%	-0,59%	-0,63%

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf TREMOD AV

Darüber hinaus kam es zu einer Revision der Emissionsfaktoren für Methan aus dem Einsatz von Kerosin unterhalb 3.000 Fuß (L/TO-Zyklus).

Tabelle 23: revidierte Methan-Emissionsfaktoren für Kerosin während L/TO, in kg/TJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Submission 2021	14,9	9,03	6,42	5,72	5,31	5,19	5,12	5,08	4,97	5,12	5,06	5,19	5,36
Submission 2020	12,9	8,48	5,70	5,15	5,00	4,98	4,97	4,96	4,85	5,01	4,95	5,10	5,25
Änderung absolut	2,01	0,55	0,72	0,57	0,31	0,21	0,15	0,11	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10
Änderung relativ	15,5%	6,47%	12,6%	11,0%	6,17%	4,31%	2,97%	2,30%	2,44%	2,17%	2,28%	1,88%	1,96%

Diese umfassenden Veränderungen führten zu wie folgt veränderten Treibhausgas-Emissionen:

Tabelle 24: revidierte THG-Emissionen, in kt CO₂-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Kohlendioxid^a													
Subm. 2021	11.921	15.045	19.217	22.759	24.229	23.279	25.012	25.444	24.584	24.553	26.456	29.021	29.874
Subm. 2020	12.053	14.932	19.437	23.001	24.313	23.145	25.039	25.542	24.523	24.490	26.483	29.192	30.062
Änd. absolut	-132	113	-220	-242	-83,3	134	-27,1	-98,2	60,3	62,7	-27,8	-171	-188
Änd. relativ	-1,09%	0,76%	-1,13%	-1,05%	-0,34%	0,58%	-0,11%	-0,38%	0,25%	0,26%	-0,11%	-0,59%	-0,63%
Methan													
Subm. 2021	0,20	0,15	0,14	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18
Subm. 2020	0,18	0,14	0,12	0,13	0,13	0,12	0,13	0,14	0,13	0,14	0,15	0,17	0,18
Änd. absolut	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Änd. relativ	13,6%	8,7%	12,9%	11,6%	7,3%	6,2%	3,8%	2,3%	2,0%	2,0%	1,3%	0,4%	0,5%
Lachgas													
Subm. 2021	0,378	0,474	0,605	0,720	0,767	0,737	0,791	0,805	0,778	0,777	0,837	0,918	0,945
Subm. 2020	0,382	0,470	0,612	0,728	0,769	0,732	0,792	0,808	0,776	0,775	0,838	0,923	0,951
Änd. absolut	-0,004	0,004	-0,007	-0,008	-0,003	0,004	-0,001	-0,003	0,002	0,002	-0,001	-0,005	-0,006
Änd. relativ	-1,07%	0,76%	-1,12%	-1,05%	-0,34%	0,58%	-0,10%	-0,38%	0,26%	0,27%	-0,09%	-0,57%	-0,61%
Gesamt-THG^a													
Subm. 2021	12.038	15.190	19.401	22.977	24.461	23.502	25.251	25.688	24.819	24.788	26.709	29.299	30.160
Subm. 2020	12.171	15.075	19.622	23.221	24.545	23.366	25.278	25.787	24.758	24.725	26.737	29.472	30.350
Änd. absolut	-133	114	-221	-244	-84	135	-27	-99	61	63	-28	-172	-190
Änd. relativ	-1,09%	0,76%	-1,13%	-1,05%	-0,34%	0,58%	-0,11%	-0,38%	0,25%	0,26%	-0,10%	-0,59%	-0,63%

Quelle: eigene Berechnungen; ^a ohne CO₂ aus der Schmierstoff-Mitverbrennung

3.2.2.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.D.1.a)

Siehe Nationaler Flugverkehr, Kapitel 3.2.10.1.6.

3.2.2.3 Emissionen aus dem internationalen Seeverkehr/ Marine (1.D.1.b)

3.2.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (1.D.1.b)

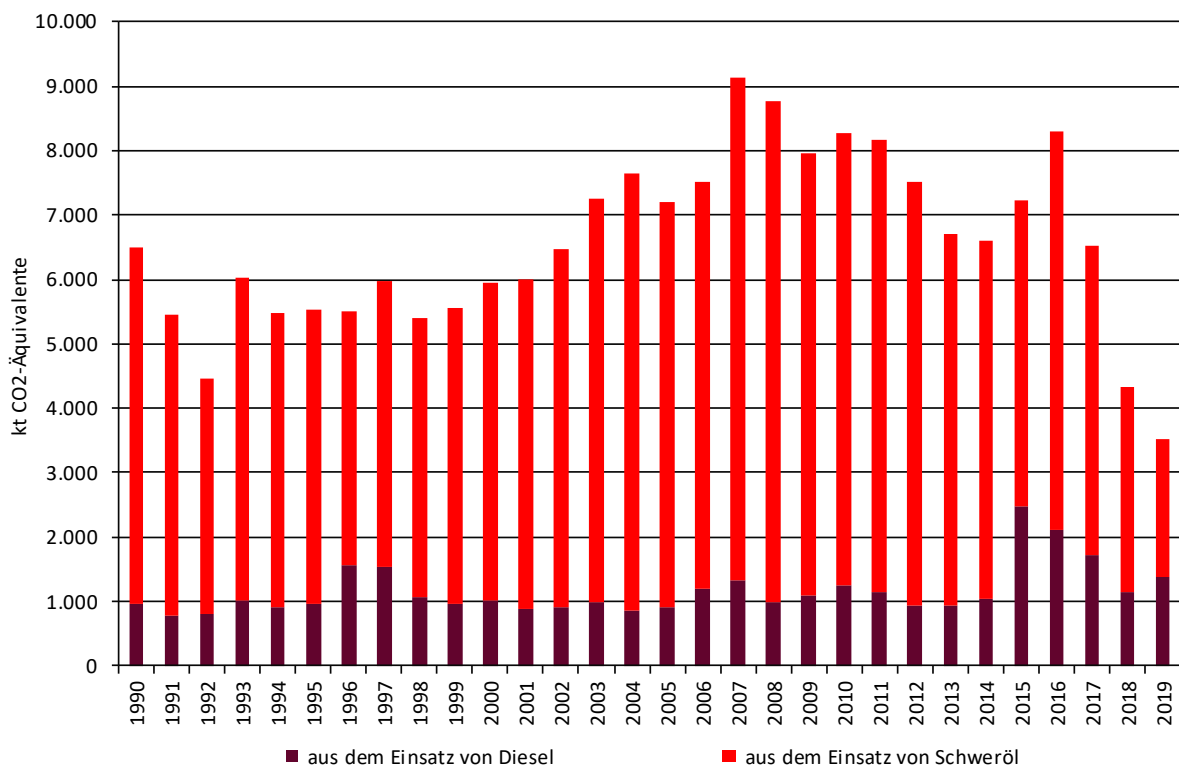
Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS (Tier 2)	NS/IS/M	D ^a / CS
CH ₄	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)
N ₂ O	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)

^a mitverbrannte Schmierstoffe

Die durch den von deutschen Seehäfen ausgehenden internationalen Seeverkehr verursachten Emissionen werden nicht als Bestandteil der nationalen Gesamtinventare berichtet und sind nicht Teil der Hauptkategorienanalyse.

Seit 1984 steigt der Schwerölverbrauch infolge hoher Mineralölpreise für Dieselkraftstoffe sowie des weltweit wachsenden Seeverkehrs und des zunehmenden Einsatzes schwerölfähiger Dieselmotoren. Der zeitweise Rückgang der Emissionen besonders in 1992 und 2009 wurde durch Handels- und Ölkrisen verursacht.

Ganz grundsätzlich werden die abgesetzten Kraftstoffmengen und damit auch die aus deren Verbrennung resultierenden Emissionen stark von Effekten wie etwa erheblichen Preisunterschieden zwischen den einzelnen Seehäfen, Lagerhaltung in den Häfen selbst und dem Umstand, dass ein Seeschiff nicht bei jedem Hafenaufenthalt Kraftstoff bunkern muss, beeinflusst und zeigen daher über die Jahre eine sehr heterogene Entwicklung.

Abbildung 21: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des internationalen Seeverkehrs seit 1990^a

3.2.2.3.2 Methodische Aspekte (1.D.1.b)

Deutschland berichtet gemäß Tier 1, das heißt, die Emissionen werden als Produkt aus den in Deutschland verkauften Kraftstoffen und landesspezifischen Emissionsfaktoren für CO₂ sowie Default-Emissionsfaktoren für CH₄ und N₂O berechnet.

Die **Aktivitätsraten** seegehender Schiffe stammen grundsätzlich aus den Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland (AGEB, 2020a), in denen aufgrund abweichender Besteuerung in Energiebilanzzeile 6 (EBZ 6) Hochseebunkerungen IMO-registrierter Seeschiffe gesondert ausgewiesen werden.

Für Jahre, für die eine Energiebilanz nicht rechtzeitig vorliegt, wird auf die „Amtlichen Mineralöl-daten für die Bundesrepublik Deutschland“ des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle zurückgegriffen (BAFA (2020): hier Tabelle 6j, Spalte: „Bunker int. Schifffahrt“), die in die Nationalen Energiebilanzen einfließen.

Die in diesen statistisch erfassten Mengen enthaltenen Bunkerungen national verkehrender Seeschiffe (Fracht und Passagiere (1.A.3.d), Fischerei (1.A.4.c iii) und Militär (1.A.5.b iii)) werden grundsätzlich gemäß Deichnik (2020) gesondert berechnet und von den in EBZ 6 geführten Gesamtmengen abgezogen. Die sich ergebende Restmenge wird dem von Deutschland ausgehenden internationalen Seeverkehr zugeordnet.

Der zwischen 2014 und 2015 zu beobachtende starke Anstieg der eingesetzten Dieselmengen resultiert dabei aus dem de-facto-Verbot von Schweröl in den sogenannten SECAs (*Sulphur*

Emission Control Areas), zu denen Nord- und Ostsee zählen, infolge des Inkrafttretens deutlich strengerer Grenzwerte für den Schwefelgehalt der Schiffskraftstoffe.²⁴

Zudem werden die Mengen mitverbrannter Schmierstoffe und die daraus resultierenden CO₂-Emissionen erfasst und berichtet. Gemäß Wallfarth (2014) wird dabei davon ausgegangen, dass die Menge mitverbrannter Schmierstoffe 0,15 % der eingesetzten Kraftstoffmenge entspricht (siehe Anhang-Kapitel 19.1.4).

Bezüglich der **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird auf Kapitel 18.8 verwiesen.

Für die Berechnung der Methan- und Lachgas-Emissionen wird auf die für den nationalen Seeverkehr verwendeten Emissionsfaktoren aus Dechnik (2020) zurückgegriffen.

Hinsichtlich der Mitverbrennung von Schmierstoffen wird dagegen davon ausgegangen, dass die anfallenden N₂O- und CH₄-Emissionen bereits in den Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe abgebildet und daher hier als IE (*included elsewhere*) zu berichten sind.

3.2.2.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.D.1.b)

Siehe Kapitel 3.2.10.4.3.

3.2.2.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.D.1.b)

Siehe Kapitel 3.2.10.4.4.

3.2.2.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnung (1.D.1.b)

Gegenüber Submission 2020 erfolgen einzig für das Jahr 2018 Rückrechnungen. Hier wurden zuletzt noch vorläufige Angaben der Energiebilanz durch finale Daten ersetzt.

Tabelle 25: revidierte Aktivitätsdaten für 2018, in Terajoule

	Diesel	Schweröl	Σ
Submission 2021	15.213	39.380	54.592
Submission 2020	15.419	39.287	54.706
Änderung absolut	-206	92	-113
Änderung relativ	-1,34%	0,24%	-0,21%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf AGEB (2020a), Dechnik (2020) und Knörr et al. (2020c)

Die modellierten Emissionsfaktoren für Methan und Lachgas bleiben dagegen unverändert.

Aus den revidierten Eingangsdaten resultieren die im Folgenden dargestellten neu berechneten Emissionsmengen für 2018.

Tabelle 26: revidierte Treibhausgas-Emissionen 2018, in kt bzw. kt CO₂-Äquivalenten

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	THG
Submission 2021	4.272	0,0361	0,1924	4.331
Submission 2020	4.280	0,0362	0,1927	4.338
Änderung absolut	-7,86	-0,0001	-0,0004	-7,97
Änderung relativ	-0,18%	-0,37%	-0,19%	-0,18%

ohne CO₂ aus der Schmierstoff-Mitverbrennung; Quelle: eigene Berechnungen

3.2.2.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.D.1.b)

Derzeit sind keine über die routinemäßige Revision des verwendeten Rechenmodells hinausgehenden Verbesserungen geplant.

²⁴ seit 01. Januar 2015: 0,10 % anstelle bisher 1,00 %

[http://www.imo.org/en/OurWork/environment/pollutionprevention/airpollution/pages/sulphur-oxides-\(sox\)-%E2%80%93regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/environment/pollutionprevention/airpollution/pages/sulphur-oxides-(sox)-%E2%80%93regulation-14.aspx)

3.2.3 Lagerhaltung

Diese Emissionen werden im Rahmen des CO₂-Referenz-Verfahrens berücksichtigt.

3.2.4 CO₂ Abscheidung von Abgasen und nachfolgende Speicherung (CCS) (CRF 1.C)

Derzeit befindet sich die Abscheidung und Speicherung von CO₂ (CCS) in Deutschland noch in der Erforschungsphase. Es gibt eine Pilotanlage. Nach Rückmeldung des Betreibers wurden in Deutschland ca. 67 kt CO₂ versuchsweise eingepresst (GFZ, 2018). Eine messtechnische Überwachung an den Versuchsanlagen hat keine Austritte des CO₂ nachgewiesen. Um dennoch konservativ zu berichten, wurden die eingespeicherten Mengen im deutschen Inventar nicht abgezogen. Mögliche Entweichungen sind daher bereits berücksichtigt.

Nach Empfehlungen im In-Country-Review 2016 wurde der Notation Key von *NE* auf *NO* gesetzt.

3.2.5 Landesspezifische Besonderheiten

Es liegen keine die Berichterstattung beeinflussenden Besonderheiten vor.

3.2.6 Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung (1.A.1.a)

3.2.6.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.1.a)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	fossil fuels	CO ₂	338.451,2	26,5	213.483,9	26,9	-36,9 %
-/-	1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		N ₂ O	2.407,5	0,2	1.837,9	0,2	-23,7 %
L/T	1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		CH ₄	172,2	0,0	2.620,4	0,3	1.422,0 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS	NS	CS
CH ₄	Tier 2	NS	CS
N ₂ O	Tier 2	NS	CS
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS	NS	CS

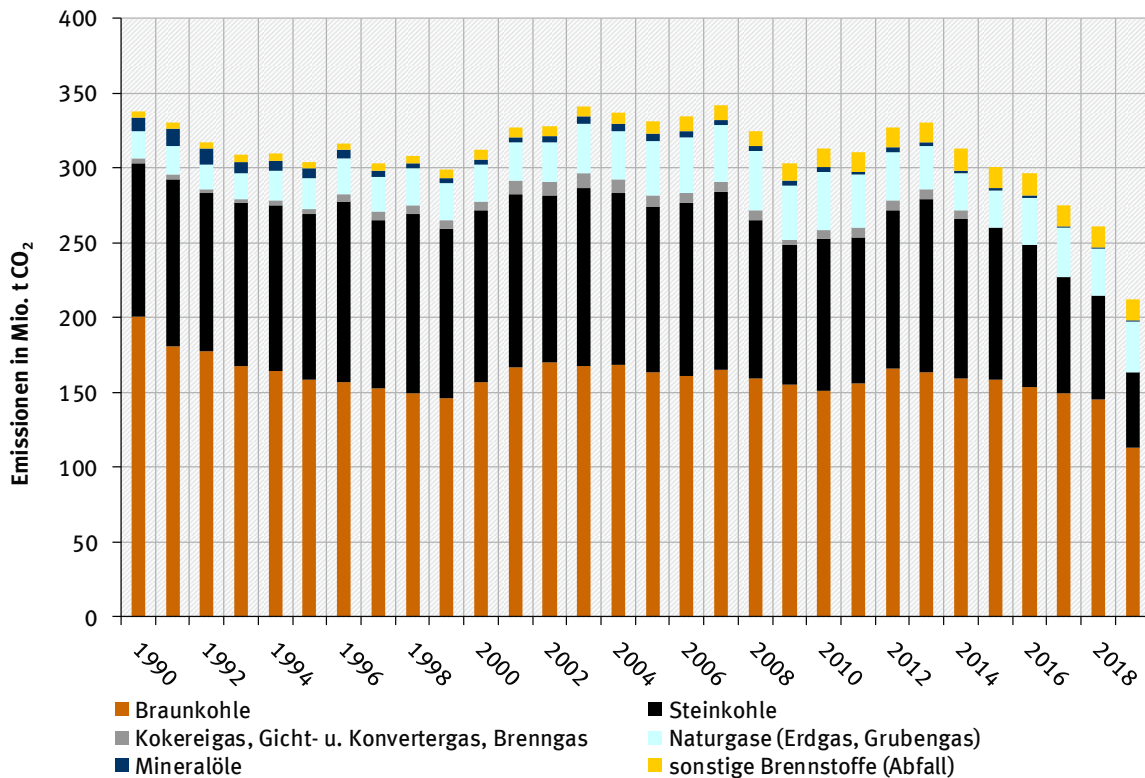
Die Kategorie der *Öffentlichen Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung* ist für CO₂- und CH₄-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Unter der Kategorie 1.A.1.a „Öffentliche Elektrizitäts- und Wärmeversorgung“ sind im ZSE die Fernheizwerke und die Strom- und Wärmeerzeugung der öffentlichen Kraftwerke zusammengefasst. Anlagen, die den aus Biomasse erzeugten Strom in das öffentliche Netz einspeisen werden ebenfalls der Kategorie 1.A.1.a zugeordnet.

In der öffentlichen Elektrizitätserzeugung war Ende 2019 eine Netto-Nennleistung von ca. 85 GW installiert. Davon wurden ca. 78 GW mit fossilen Energieträgern oder deren Umwandlungsprodukten betrieben. Alle fossil betriebenen Anlagen zusammen erzeugten ca. 221 TWh elektrische Arbeit (brutto). Das entspricht ca. 66 % der gesamten öffentlichen Stromerzeugung (ca. 333 TWh). Dabei entfiel auf die Brennstoffe Braun- und Steinkohle die Erzeugung von ca.165 TWh Strom.

Heizkraftwerke trugen im Jahr 2019 zur öffentlichen Versorgung mit einer Nettostromerzeugung von etwa 48 TWh und einer Nettowärmeerzeugung von 107 TWh bei. Ergänzt wird die Fernwärmeversorgung durch ungekoppelte Wärmeerzeugung aus Heizwerken, die meist im Spitzenlastbetrieb betrieben werden. (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 2.1.3).

Die folgende Graphik zeigt eine Übersicht über die Entwicklung der CO₂-Emissionen in der Kategorie 1.A.1.a:

Abbildung 22: Entwicklung der CO₂-Emissionen der Kategorie 1.A.1.a

Insgesamt weisen die Emissionen bis 1999 einen fallenden Trend auf, was im Wesentlichen auf die Schließung vieler braunkohlebefeuerteter Anlagen in den neuen Bundesländern zurückzuführen ist. Danach wurden einige Anlagen wieder ersetzt, so dass ab dem Jahr 2000 die neu installierte Leistung von Braunkohlenkraftwerken die der vom Netz genommenen überstieg, was wieder zu steigenden Emissionen führte. Auch im Jahr 2012 gingen noch einige neue Kraftwerksblöcke ans Netz, was zu einem erneuten Anstieg der Emissionen aus Braunkohle führte. Danach gingen die Emissionen aufgrund von Anlagenschließungen zurück. Über die gesamte Zeitreihe betrachtet bleiben die Emissionen aus Braunkohleverstromung deutlich unter dem Niveau von 1990.

Der Emissionstrend wird im Wesentlichen von der Entwicklung und der Struktur der Stromerzeugungsanlagen geprägt, da diese den Hauptteil der Emissionen ausmachen. Von 1990 bis zum Jahr 1993 sinkt der Stromverbrauch, bedingt durch den Zusammenbruch der Industrie in den neuen Bundesländern. Ab 1994 bis zum Jahr 2007 kommt es zu einer deutlichen Erhöhung des Stromverbrauches in allen Sektoren, was eine Erhöhung der Stromproduktion nach sich zieht. Dadurch steigen auch die Emissionen aus der Stromproduktion. Hinzu kommen steigende Stromexporte, die sich ab 2003 im Saldo bemerkbar machen. Der steigende Trend bis 2007 in dem, aufgrund niedriger Zertifikatspreise besonders viel Kohle zur Stromerzeugung eingesetzt wurde, wird 2008 zwischenzeitlich deutlich gesenkt, was auf einen erhöhten Einsatz von Kernkraft, Erdgas und erneuerbaren Energieträgern zurückzuführen ist. In 2009 zeigt sich deutlich auch in der öffentlichen Energieversorgung der Einfluss der Finanz- u. Wirtschaftskrise. Bereits im Jahr 2010 steigen die Emissionen aufgrund der wirtschaftlichen Erholung wieder an. Über die Zeitreihe betrachtet weisen die Steinkohlekraftwerke stärkere Schwankungen beim Brennstoffeinsatz auf, da sie im Gegensatz zur Braunkohle meist im Mittellastbereich gefahren werden und damit deutlicher auf Nachfrageschwankungen reagieren und zum anderen abhängig von Importpreisen sind. Außerdem kam es vor allem ab Mitte der 90er Jahre zu Sektorverschiebungen von der Industrie (1.A.1.c und 1.A.2.g) zur öffentlichen Versorgung (1.A.1.a), da Betreiber vermehrt zur öffentlichen Versorgung meldeten. Im Jahr 2012 sorgt die

Ummeldung eines weiteren größeren Unternehmens vom Steinkohlenbergbau (1.A.1.c) zur öffentlichen Versorgung (1.A.1.a), zu einer deutlichen Verschiebung von Emissionen zwischen den beiden Sektoren. Eine weitere Begründung für den Anstieg der Emissionen aus Steinkohlekraftwerken in der Quellgruppe 1.A.1.a waren die seit dem Jahr 2012 deutlich gefallen Weltmarktpreise für Steinkohle. Der gleichzeitige Anstieg der Erdgaspreise führte letztlich zu einer Verschiebung des Brennstoffmixes zu Gunsten der Steinkohle. Im Jahr 2016 kehrte sich dieser Effekt hinsichtlich der Preisrelation und des Brennstoffeinsatzes um. Die Mineralöle spielen für die deutsche Stromversorgung nur eine untergeordnete Rolle. Sie werden überwiegend zur Hilfs- und Stützfeuerung in Kohle- und Müllheizkraftwerken und zur Spitzenlastzeugung eingesetzt. Seit 1990 hat sich der Einsatz mehr als halbiert. Im Jahr 2009 wurde wieder etwas mehr Mineralöl zur Spitzenlastzeugung eingesetzt, da es im Krisenjahr deutlich preiswerter war als Erdgas. Seit dem sinken die Brennstoffeinsätze wieder und damit auch die Emissionen aus der Nutzung von Mineralöl.

Der Einsatz von Erdgas zur Stromerzeugung ist seit 1990 sehr deutlich angestiegen, was jedoch nicht in gleichem Maße zum Emissionsanstieg führte, da Erdgas deutlich niedrigere spezifische CO₂-Emissionen aufweist als Kohle. Der signifikante Anstieg des Erdgaseinsatzes ab 2005 ist insbesondere auf die Inbetriebnahme einer ganzen Reihe von großen GuD- und mittleren Gasturbinenkraftwerken zurückzuführen. Darüber hinaus wird Erdgas zunehmend als Regelenergie für die Stromerzeugung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien genutzt. Seit dem Jahr 2010 sank der Erdgaseinsatz zur Stromerzeugung preisbedingt wieder. Bis zum Jahr 2015 fiel der Wert sogar deutlich unter das Niveau von 2005. Im Jahr 2016 steigt der Erdgaseinsatz erstmals wieder deutlich an. Auch im Jahr 2019 ist ein solcher Anstieg zu verzeichnen.

Der Einsatz von Abfällen in Müllverbrennungsanlagen und zur Mitverbrennung nimmt aufgrund des seit Juni 2005 geltenden Ablagerungsverbots für nicht vorbehandelte Siedlungsabfälle zu. Die zusätzlichen Emissionen durch vermehrten Einsatz von Abfällen führen zur Vermeidung von Methanemissionen aus Deponien. Die Nutzung von Gicht- und Konvertergas zur Stromproduktion ist abhängig vom Gasaufkommen der Stahlproduktion und unterliegt damit den wirtschaftlichen Schwankungen. Seit 2015 wird in der öffentlichen Versorgung kein Gichtgas mehr eingesetzt. Aufgrund von Betreiberwechseln melden die betroffenen Kraftwerke die Brennstoffeinsätze nun in der Stahlindustrie. Insgesamt gibt es bei allen Brennstoffen immer wieder Wechsel in der Sektorzuordnung.

Aufgrund der wirtschaftlichen Erholung stieg im Jahr 2010 die Stromerzeugung aus fast allen fossilen Energieträgern z.T. sehr deutlich an, was zu einer Erhöhung der CO₂-Emissionen führte. Bis zum Jahr 2013 steigen die Emissionen weiter an. Das ist zum einen durch einen hohen Exportüberschuss zu erklären. Zum anderen durch den deutlich gesunkenen Anteil der Kernenergie am Strommix. Als weiterer Grund für die Steigerung der CO₂-Emissionen in den Jahren 2010, 2012 und 2013 sind die kalten Winter zu nennen. Der Ausbau der erneuerbaren Energien wirkt sich insgesamt emissionsmindernd aus. Seit dem Jahr 2014 sinken die CO₂ Emissionen wieder. Die deutliche Emissionsminderung im Jahr 2015 ist im Wesentlichen auf die statistische Ummeldung der Gichtgaskraftwerke in die Stahlindustrie sowie auf die deutliche Effizienzerhöhung, aufgrund der Inbetriebnahme neuer Steinkohlekraftwerke zurückzuführen. Trendbestimmend ist in den Jahren 2016 und 2017 die preisbedingte Verschiebung des Brennstoffmixes von Steinkohle zu Erdgas. Dieser Trend setzte sich 2019 fort. Wie schon in den vergangenen Jahren gingen auch 2019 weitere Steinkohlekraftwerke vom Netz. Zusätzlich wurden auch einige Braunkohleblöcke in die Sicherheitsbereitschaft überführt. Ein Braunkohletagebau musste die Förderung zeitweise einstellen, ein anderer deutlich reduzieren, was ebenfalls zu einer verminderten Braukohlenutzung führte. Außerdem waren die Preise für

CO₂ Zertifikate höher als in den Vorjahren. Der Einsatz der erneuerbaren Energien stieg dagegen weiter an. Das führte in der Summe zu einer außergewöhnlich deutlichen Reduktion der Emissionen aus Kohlekraftwerken.

Der Trend für das Treibhausgas N₂O wird im Wesentlichen vom Kohleeinsatz bestimmt. Da für N₂O keine Minderungsmaßnahmen in Energieerzeugungsanlagen bekannt sind, ist der seit 1990 sinkende Trend auf den verringerten Kohleeinsatz zurückzuführen.

Für CH₄ ist dagegen seit 1990 ein steigender Trend zu beobachten. Hier macht sich vor allem der seit 2003 deutliche Anstieg des Biogaseinsatzes bemerkbar. Biogas wird vorwiegend in Verbrennungsmotoren eingesetzt, die sehr hohe spezifische Methanemissionen aufweisen.

3.2.6.2 Methodische Aspekte (1.A.1.a)

Aktivitätsraten

Die in der Energiebilanz verbuchten Energieeinsätze werden im Modell „Bilanz der Emissionsursachen“ mit Hilfe statistischer Daten nach verschiedenen Kriterien auf mehrere Zeitreihen aufgeteilt. Ziel der Berechnungen ist es, eine an die technischen Belange der Strom- und Wärmeerzeugung angepasste Datenbasis zu schaffen. Folglich können brennstoff- und technikspezifische Emissionsfaktoren auf die Aktivitätsraten angewendet werden.

Um den Einsatz von Erdgas und leichtem Heizöl in Gasturbinen, GuD-Anlagen, Dampfturbinen und Gasmotoren zur Strom- und Wärmeerzeugung berechnen zu können wurde 2014 im UBA ein Verfahren entwickelt, mit dessen Hilfe aus der UBA-Kraftwerksdatenbank bekannte Wirkungsgrade in die Berechnung einbezogen wurden. Damit kann über die aus der Energiestatistik verfügbare Stromerzeugung für die o.g. Anlagenarten ein Brennstoffeinsatz berechnet werden.

Ab dem Jahr 2012 weist die Energiebilanz Mini-KWK Anlagen als sogenannte Einspeiser in das öffentliche Netz aus. Folgerichtig werden die Emissionen aus der Erdgasverbrennung sowie der Verbrennung von leichtem Heizöl in diesen Anlagen, in der Quellgruppe 1.A.1.a berichtet. Die Brennstoffeinsätze aus der Wärmeerzeugung werden in der Quellgruppe 1.A.4 berichtet.

Die Aktivitätsraten für die Neuen Bundesländer wurden für das Jahr 1990 bereits zur Berichterstattung 2006 im Rahmen des Forschungsprojektes (Zander and Merten (2006), FKZ 205 41 115 / Teilvorhaben A „Überarbeitung und Dokumentation der Brennstoffeinsätze für stationäre Feuerungsanlagen in den neuen Bundesländern für das Jahr 1990“) überarbeitet und dokumentiert.

Im Fall der Strom- und Wärmeerzeugung in Müllverbrennungsanlagen der öffentlichen Kraftwerke, sowie der Wärmeerzeugung in Müllverbrennungsanlagen der öffentlichen Fernheizwerke werden für die Bestimmung der Aktivitätsraten für Haus- und Siedlungsabfälle und Industriemüll sowohl Aktivitätsraten aus der Energiebilanz, als auch aus der Abfallstatistik (Statistisches Bundesamt, 2018) verwendet.

Bis vor einigen Jahren enthielten sowohl die Energiestatistik als auch die Energiebilanz deutlich geringere Abfallmengen als die Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, 2018). In den letzten Jahren hat sich die Datenlage der Energiestatistik deutlich verbessert. Differenzierte Brennstoffangaben machen es möglich feste Biomasse (vornehmlich Alt- und Restholz), biogene Gase, Klärschlamm und Abwärme heraus zu rechnen. Industriemüll taucht als Brennstoffkategorie erstmalig seit dem Jahr 2008 in der Energiestatistik auf. Um alle Brennstoffeinsätze beim Abfall möglichst vollständig zu erfassen, kann zumindest beim Industriemüll dennoch nicht auf Zusatzdaten aus der Abfallstatistik verzichtet werden, um die Lücke zur Energiestatistik zu schließen.

Der fossile und biogene Anteil von Hausmüll/Siedlungsabfall wird seit dem NIR 2006 im Verhältnis 1:1 separat ausgewiesen. Beim Industriemüll variiert die fossile/biogene Zusammensetzung je nach Art der Anlage, so wird der biogene Anteil für den Einsatz zur Mitverbrennung in Braun- und Steinkohlekraftwerken und für den Einsatz zur Strom- und Wärmeversorgung in Ersatzbrennstoffkraftwerken der öffentlichen Versorger getrennt ausgewiesen.

Die Aktivitätsraten der anderen Brennstoffe werden direkt aus der Energiebilanz entnommen. Sofern statistische Anhaltspunkte oder Expertenschätzungen vorliegen werden die Brennstoffeinsätze zusätzlich in zwei Größenklassen (Verbrennungsanlagen kleiner und größer 50 MW) eingeteilt. Die Einteilungsgrenze geht auf gesetzliche Vorschriften zur Genehmigung von Feuerungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland zurück.

Seit dem NIR 2011 werden die CO₂-Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in öffentlichen Kraftwerken in der Kategorie 1.A.1.a berichtet. Im Jahr 2015 meldeten sich alle Gichtgaskraftwerke, die bis dahin zur öffentlichen Versorgung berichteten, in die Industrie um. Von daher findet aktuell in der Quellgruppe 1.A.1.a kein Gichtgaseinsatz mehr statt. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die entsprechenden Emissionen aus der Gichtgasnutzung über die gesamte Zeitreihe seit 1990.

Tabelle 27: CO₂-Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in öffentlichen Kraftwerken

[Mio. t CO ₂]									
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
3,244	3,291	3,015	2,631	3,647	3,764	4,816	5,305	5,465	5,808
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
5,956	9,284	9,030	9,766	9,640	6,738	7,086	6,370	5,851	3,425
2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
6,276	6,258	6,080	6,465	5,532	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000

Emissionsfaktoren

Da CO₂ Emissionen von der Brennstoffqualität abhängen, werden die CO₂ Emissionsfaktoren Sektor übergreifend berechnet und genutzt. Eine detaillierte Beschreibung sowie eine Liste mit den verwendeten Faktoren ist im Anhang, Kapitel 18.8 verfügbar.

Datengrundlage für die verwendeten Emissionsfaktoren für alle anderen Treibhausgase und Vorläufersubstanzen ist der Bericht zum Forschungsvorhaben "Ermittlung und Evaluierung von Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen in Deutschland für die Jahre 1995, 2000 und 2010" (Rentz et al., 2002). Die Werte für die Zwischenjahre 1996 - 1999 und 2001 - 2009 werden durch lineare Interpolation ermittelt. Das Vorhaben sowie die lineare Interpolation für die Zwischenjahre ist ebenfalls die Grundlage für die Emissionsfaktoren der Kapitel 3.2.7, 3.2.8 und 3.2.9, soweit dort Kraftwerke, Gasturbinen oder Kesselfeuerungen zur Bereitstellung von Dampf, Heiß- und Warmwasser mit enthalten sind. Das Forschungsvorhaben wurde ausgeführt vom Deutsch-Französischen Institut für Umweltforschung (DFIU) an der Universität Karlsruhe und Ende 2002 abgeschlossen. Ziel des Vorhabens war die Ermittlung und Evaluierung repräsentativer Emissionsfaktoren für die wesentlichen Luftschadstoffe aus genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland, gültig für die Jahre 1995, 2000 und 2010. Dies beinhaltet in erster Linie eine Analyse und Charakterisierung der Emittentenstruktur und der damit verknüpften Emissionsfaktoren für das Jahr 1995 und eine adäquate Fortschreibung dieser Daten für die Jahre 2000 und 2010. Systematisch werden auf diese Weise Emissionsfaktoren für die Stoffe SO₂, NO_x, CO, NMVOC, Staub und N₂O ermittelt. Dabei wird zwischen 12 Kohlenbrennstoffen, 4 flüssigen Brennstoffen, 7 gasförmigen Brennstoffen sowie Brennholz unterschieden. Darüber hinaus werden die verfügbaren Daten an

Emissionsfaktoren weiterer Stoffe zusammengestellt; dazu gehören PAH, PCDD/F, As und Cd für genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen sowie CH₄ für Gasturbinen und genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen, die unter die TA Luft fallen. Informationen zur Vorgehensweise des Forschungsvorhabens sind im Anhang 3 dargestellt (Kapitel 19.1.2)

Wir haben im Zuge eines größeren Forschungsvorhabens, das Ende 2008 gestartet ist und im Jahre 2011 abgeschlossen werden konnte Fichtner et al. (2011) die beschriebene Datengrundlage für Emissionsfaktoren (außer CO₂) aktualisiert. Bezugsjahr für die Vorschlagswerte ist das Jahr 2004; davon ausgehend werden Prognosewerte für Emissionsfaktoren für die Jahre 2010, 2015 und 2020 ermittelt. Auf der Grundlage der Forschungsergebnisse wurden, wie in den Berichten für 2012, 2013 und 2014 dargestellt, zahlreiche Emissionsfaktoren des ZSE aktualisiert. N₂O unterliegt in Deutschland nur in Ausnahmefällen der Überwachung; aus diesem Grunde liegen keine regelmäßigen Messdaten vor. Allerdings wurde das Emissionsverhalten bei Einsatz von Stein- und Braunkohlen, insbesondere bei Einsatz in Wirbelschichtfeuerungen und insbesondere in den 90er Jahren gezielt untersucht. Das Vorhaben Fichtner et al. (2011) hat die bisher verwendeten Werte überprüft und aktualisiert. Tabelle 28 zeigt die Ergebnisse für große Anlagen der öffentlichen Kraftwerke (Feuerungswärmeleistung 50 Megawatt oder mehr), die Tabelle 29 die Ergebnisse für kleinere Anlagen der Energiewirtschaft und der Industrie. Auf Grundlage dieser Werte wurden die kategoriespezifischen Emissionsfaktoren für das ZSE berechnet.

Tabelle 28: Technologische Emissionsfaktoren für Lachgas aus GFA

Brennstoff / Feuerungstechnologie	N ₂ O-Emissionfaktor [kg/TJ]
Öffentliche Kraftwerke:	
Steinkohle / Trockenfeuerung	1,0
Steinkohle / Schmelzkammerfeuerung	1,9
Braunkohle / Trockenfeuerung	3,5
Flüssigbrennstoff / Kesselfeuerungen	1,0
Erdgas / Kesselfeuerungen	0,5
Industriekraftwerke, Industriekessel und Fernheizwerke:	
Steinkohle / Trockenfeuerung	1,0
Steinkohle / Schmelzkammerfeuerung	2,0
Steinkohle / Wirbelschichtfeuerung	20
Steinkohle / Rostfeuerung	4,0
Braunkohle / Trockenfeuerung	3,4
Braunkohle / Wirbelschichtfeuerung	8,0
Braunkohle / Rostfeuerung	3,5
Flüssigbrennstoff / Kesselfeuerungen	1,0
Erdgas / Kesselfeuerungen	0,5
Gasturbinen und Gas- und Dampfturbinenanlagen:	
Erdgas	1,7
leichtes Heizöl	2,0
Müllverbrennungsanlagen	1,2

Tabelle 29: Technologische Emissionsfaktoren für Lachgas aus Anlagen < 50 MW FWL

Brennstoff / Feuerungstechnologie	N ₂ O-Emissionfaktor [kg/TJ]
Kesselfeuerungen bei Einsatz von:	
Steinkohle	10,0
Braunkohle	10,7
Biomasse	3,0
leichtem Heizöl	1,1
schwerem Heizöl	3,0
Erdgas	0,6
Gasturbinen und Gas- und Dampfturbinenanlagen:	
Erdgas	1,7
leichtes Heizöl	2,0

Tabelle 30: Methan-Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen ab 50 MW FWL und für Gasturbinen

Anlagenart	Brennstoff	CH ₄ -E-Faktor [kg/TJ]
Feuerungsanlagen ≥ 50 MW FWL	Steinkohle	1,0
	Braunkohle	0,63
	Heizöl, schwer	4,1
	Heizöl, leicht	3,3
	Erdgas	2,0
Gasturbinen (einschl. GuD)	Heizöl, leicht	8,0
	Erdgas	10,925
Verbrennungsmotoren	Erdgas	309,0
	Biogase	312,3
Müllverbrennung		1,8

In einem von IZT durchgeführten Forschungsvorhaben: „Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11.BImSchV“ (Jörß & Gronewäller, 2010) konnten spezielle CH₄-Emissionsfaktoren für Gasmotoren ermittelt werden. Der Durchschnittswert für den Brennstoff Erdgas liegt mit 309 kg/TJ sehr deutlich über den bis dahin verwendeten Wert von 0,3 kg/TJ, der

in etwa dem Wert für Dampfturbinenkraftwerken entspricht. Der hohe Methanschlupf, der durch ein Entweichen von unverbranntem Erdgas entsteht, konnte durch Daten aus der Emissionsüberwachung bestätigt werden. Die Messwerte können abhängig von der Art des Motors und dem Wartungszustand erheblich schwanken. Für Biogas, Klärgas und Deponiegas wird ein durchschnittlicher CH₄-Emissionsfaktor von 312,3 kg/TJ verwendet. Dieser Wert wurde in dem Projekt: „Emissionsanalyse und Quantifizierung von Stoffflüssen durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung und Inventarisierung der deutschen Landwirtschaft“ des Deutschen Biomasse Forschungszentrums (DBFZ, 2011), ermittelt.

Die für die Abfallverbrennung verwendeten Emissionsfaktoren stammen größtenteils aus dem von ATZ durchgeführten Forschungsvorhaben „Überprüfung der Emissionsfaktoren für die Abfallverbrennung“ (Daschner et al., 2010). Die N₂O-Emissionsfaktoren stammen aus der Dänischen Studie „Emissions from decentralized CHP plants 2007“ (Nielsen, 2010). Da die Emissionsfaktoren der übrigen Schadstoffe mit denen der Deutschen Müllverbrennungsanlagen gut übereinstimmen, können auch die N₂O-Faktoren auf das Deutsche Inventar übertragen werden. Für die mit verbrannten Abfälle werden gewichtete Emissionsfaktoren berechnet, je nach Anteil der als Hauptbrennstoff eingesetzten einzelnen Kohlearten.

Informationen zu den prozessbedingten CO₂-Emissionen aus der Abgasreinigung (REA) von Großfeuerungsanlagen liefert der Anhang 3 im Kapitel 19.1.2.2.

3.2.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.a)

Unsicherheiten für die Aktivitätsraten wurden erstmals für das Berichtsjahr 2004 bestimmt (Jührich & Wachsmann, 2007). Die Methode zur Bestimmung der Unsicherheiten ist im Anhang 2, Kapitel 13.6 des NIR 2007 beschrieben.

Weitere Aspekte zur Zeitreihenkonsistenz der Aktivitätsraten werden in Kapitel 18.4 und Kapitel 18.7 erläutert.

Die Angaben für die Unsicherheit des CO₂-Emissionsfaktors und deren statistische Verteilungsfunktion wurden vom Umweltbundesamt geschätzt. Die Zahlenwerte stützen sich auf die Spannweite der Kohlenstoffgehalte der einzelnen Brennstoffe.

Im Rahmen des in Kapitel 3.2.6.2 genannten Vorhaben Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) wurde die Unsicherheit der ermittelten Emissionsfaktoren evaluiert.

3.2.6.3.1 Methodik zur Bestimmung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren

Die Unsicherheit von Emissionsdaten beruht auf mehreren Ursachen. Dies ist die *Genauigkeit*, beeinflusst durch zufällige und systematische Fehler im Rahmen einer Emissionsmessung sowie die Vollständigkeit der Datenbasis hinsichtlich fehlender Messungen. Hinzu kommt die *Variabilität* der Emissionen. Hier ist zu unterscheiden zwischen der Variabilität der Emission einer Anlage innerhalb des Betrachtungszeitraumes (*intra-plant variability*) und dem unterschiedlichen Emissionsverhalten der verschiedenen betrachteten Quellen (*inter-plant variability*).

Bei der Berechnung von Emissionen mit Hilfe von Emissionsfaktoren kommen weitere Quellen möglicher Unsicherheiten hinzu. Im Rahmen der IPCC-GPG (Penman et al. (2000): Kapitel 6) werden jeweils an die Datenverfügbarkeit angepasste Methoden vorgeschlagen:

Beim Vorliegen *kontinuierlicher Messungen* sollten Unsicherheiten über die direkte Bestimmung statistischer Kennzahlen wie Standardabweichung und 95%-Vertrauensbereich charakterisiert werden.

Bei der Ermittlung *anlagenspezifischer Emissionsfaktoren* sollten vor Ort verfügbare Messwerte herangezogen werden. Hinzu kommt das Einbeziehen von Sonderbetriebszuständen (An- und Abfahrvorgänge) und Lastwechseln sowie eine Überprüfung der Repräsentativität verfügbarer Messdaten im Hinblick auf das Emissionsverhalten der Anlage.

Bei der Verwendung von *Emissionsfaktoren aus der Literatur* sollten alle dort gemachten Angaben zur Datenqualität genutzt werden. Weiterhin ist die Übertragbarkeit zu prüfen, inwieweit der Emissionsfaktor für die Situation im Untersuchungsgebiet repräsentativ ist. Ist dies nicht gegeben, sollte vielmehr eine Expertenschätzung vorgenommen werden.

Auf die Verwendung von *Expertenschätzungen* wird grundsätzlich verwiesen, wenn verfügbare empirische Daten für eine Quantifizierung nicht ausreichen. Eine beispielhafte Erläuterung wurde im Anhang 3 in Kapitel 14.1.2.2 im NIR 2007 gegeben.

3.2.6.3.2 Ergebnis für N₂O

Die Einzelbewertungen der Unsicherheiten der N₂O-Emissionsfaktoren sind in dem Abschlussbericht des Forschungsvorhabens Fichtner et al. (2011) dargestellt. Im Zuge einer durch den Forschungsnehmer vorgenommenen Monte-Carlo-Simulation wurden für die prozentuale Unsicherheit im CRF-Bereich 1.A.1.a (und ebenso in den Bereichen 1.A.1.b, 1.A.1.c und 1.A.2.gviii / all other) Unsicherheiten von bis zu +/- 50 % angegeben (Anmerkung: bei Angabe von +/- -Bereichen ist der Wert durch 2 zu teilen, vergleiche IPCC-GPG (Penman et al. (2000): Kapitel 6, S. 6.14); dabei gehen wir wie bisher von einer uniformen Verteilung der Unsicherheiten aus.

3.2.6.3.3 Ergebnis für CH₄

Feuerungsanlagen unterliegen hinsichtlich der CH₄-Emissionen in Deutschland keiner Überwachung, aus diesem Grunde liegen keine systematischen Messdaten vor. Herangezogen wurden daher die in Deutschland und der Schweiz verfügbaren Einzelinformationen. Infolge dieser eingeschränkten Datenlage wurde im Forschungsvorhaben von einer systematischen Zuordnung zu den dort behandelten Quellgruppen (vergleiche Kapitel 3.2.6.2) abgesehen. Die im Forschungsvorhaben Fichtner et al. (2011) für einzelne Brennstoffe ermittelten und für die Berichterstattung verwendeten CH₄-Emissionsfaktoren für Feuerungs- und Gasturbinenanlagen einschließlich GuD sind im Anhang 19.1.2.2 zusammengestellt. Im Zuge einer durch den Forschungsnehmer vorgenommenen Expertenschätzung gemäß Tier 1 der IPCC-GPG (Penman et al. (2000): Kapitel 6) wurde für die prozentuale Unsicherheit in der Quellgruppe 1.A.1.a (und ebenso in den Quellgruppen 1.A.1.b, 1.A.1.c und 1.A.2.gviii / all other) eine obere Grenze von +/- 50 % geschätzt; dabei gehen wir - ebenso wie bei N₂O - von einer uniformen Verteilung der Unsicherheiten aus.

3.2.6.3.4 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren für N₂O wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Fichtner et al. (2011) für den Zeitpunkt 2004 (Bezugsjahr) ermittelt. Das Forschungsvorhaben sieht keine Anhaltspunkte für zeitliche Änderungen für den einzelnen Emissionsfaktor. Frühere Annahmen, dass zumindest die Werte für Gasturbinen zeitvariabel sein können, haben sich nicht bestätigt. Aus diesem Grunde haben wir für jede Zeitreihe konstante Werte für den Zeitraum 1995 bis 2018 eingesetzt und diese Werte auch als Prognosewerte bis 2020 angenommen

Die Zeitreihen für N₂O zwischen 1995 und 2018 sind vor diesem Hintergrund insgesamt als konsistent zu bewerten. Die Zeitreihen der CH₄-Emissionsfaktoren für die Jahre 1995 bis 2018 wurden ebenfalls geprüft und als in sich konsistent bewertet.

Zum Zeitraum von 1990 bis 1994 haben wir im NIR 2009 berichtet.

Zur Sicherung der Zeitreihenkonsistenz wurden die für Verbrennungsmotoranlagen ermittelten CH₄-Emissionsfaktoren bis 1990 zurückgeschrieben. Es ist zwar davon auszugehen, dass der Methanschlepp Anfang der 90er Jahre noch deutlich höher lag, als bei modernen Motoranlagen, es liegen für diesen Zeitraum jedoch zu wenig Messwerte vor.

Da für die meisten biogenen Brennstoffe erst ab dem Jahr 2003 statistische Daten zum Brennstoffeinsatz vorliegen, kann für diese Brennstoffe keine konsistente Zeitreihe ab 1990 vorgelegt werden. Das hat ausschließlich Auswirkungen auf den Trend der CH₄-Emissionen, der ab dem Jahr 2003 steil ansteigt.

3.2.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.a)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Zur Dokumentation ihrer Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Erstellung der Energiebilanzen legt die AGEB dem Umweltbundesamt entsprechende Qualitätsberichte der vor (siehe Kapitel 18.4.1). Seit dem Jahr 2012 führt die AGEB systematische Vergleiche zwischen der Schätzbilanz des Jahres x-1 (vorläufig) mit der Energiebilanz des Jahres x-2 (endgültig) durch, erstmals für das Berichtsjahr 2010 (siehe Kapitel 18.4.1).

Die Qualitätssicherung der amtlichen Statistik erfolgt über ein internes Qualitätssystem, dessen Qualitätsberichte innerhalb der Internetveröffentlichungen des *Statistischen Bundesamtes* einsehbar sind.

Zusätzlich zu diesen Maßnahmen findet eine Einbindung der AGEB in den jährlichen Überprüfungsprozess sowie ein regelmäßiger Erfahrungsaustausch mit der AGEB im Rahmen einer jährlichen Sitzung oder im schriftlichen Umlaufverfahren statt, zu der UBA alle an der Erstellung der Energiebilanz beteiligten Institute einlädt. Hier werden vor dem Hintergrund der Erfahrungen aus der Inventarerstellung und der Inventarüberprüfung methodische Fragen angesprochen und es erfolgt ein genereller Austausch, der dem besseren Verständnis der Datenerhebung sowie der Verifizierung der Daten dient.

Die generellen qualitätssichernden Maßnahmen zu den Emissionsfaktoren von Feuerungsanlagen im Rahmen der Forschungsvorhaben Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) sind in der Methodikbeschreibung im Anhang 3, Kapitel 19.1.2.1 (hinter Abbildung 85) dargestellt. Ihre Ergebnisse wurden im NIR 2005 berichtet.

3.2.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.a)

Tabelle 31: Rückrechnungen CRF 1.A.1.a

Einheit [kt]	NIR 2020	NIR 2021	Abweichung absolut					Abweichung relativ
			gas	liquid	other	solid	gesamt	
Jahr	gesamt	gesamt						gesamt
2018	261.498	262.191	-593	53	872	360	693	0,27%

Im Jahr 2018 kommt es wie gewohnt zu Rückrechnungen bei allen Energieträgern, nachdem die vorläufigen Daten durch die endgültige Energiebilanz ersetzt wurde.

3.2.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.a)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.7 Mineralölraffinerien (1.A.1.b)

3.2.7.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.1.b)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	1 A 1 b, Petroleum Refining	fossil fuels	CO ₂	20.165,6	1,6	21.757,4	2,7	7,9 %
-/-	1 A 1 b, Petroleum Refining		N ₂ O	100,4	0,0	68,8	0,0	-31,5 %
-/-	1 A 1 b, Petroleum Refining		CH ₄	16,1	0,0	17,7	0,0	10,2 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS	NS	CS
CH ₄	Tier 2	NS	CS
N ₂ O	Tier 2	NS	CS
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS	NS	CS

Die Kategorie der *Mineralölraffinerien* ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

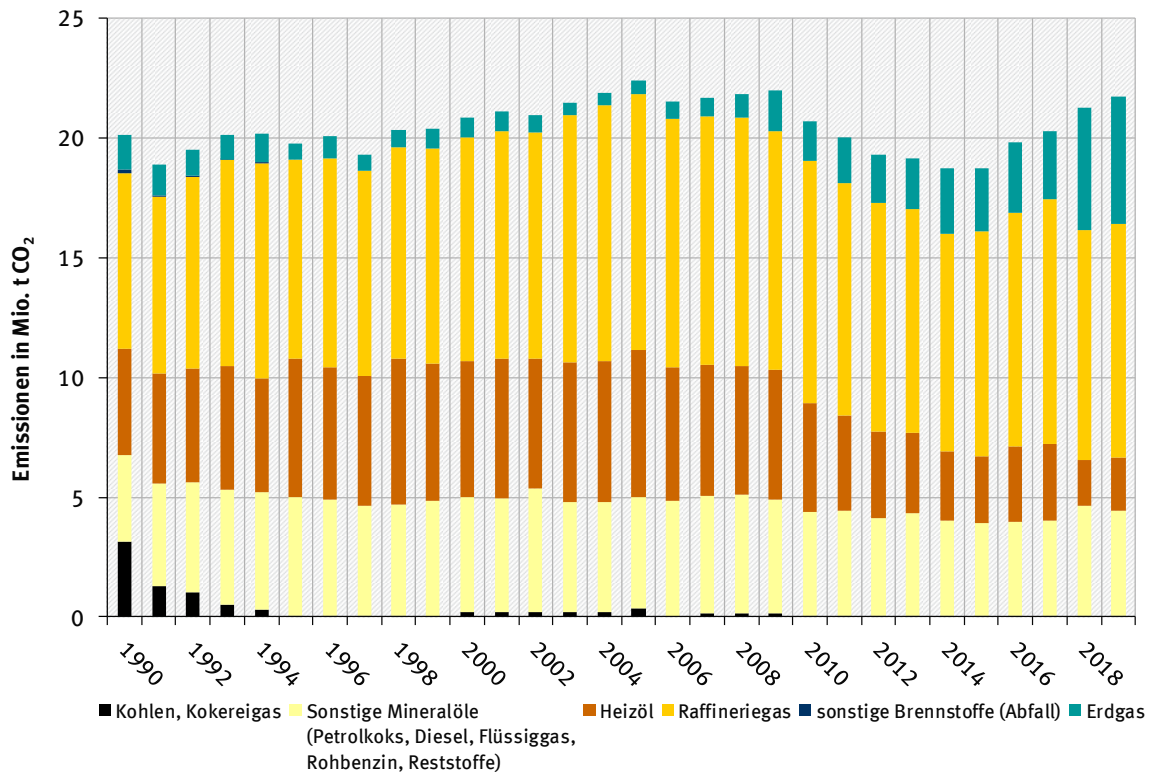
Die oben angegebenen Werte gelten für Raffineriekraftwerke (Teil der Kategorie 1.A.1.b).

Die Rohöldestillationskapazität der deutschen Mineralölraffinerien betrug im Jahr 2019 rund 103 Mt. In diesem Zeitraum wurden 87,8 Mt Rohöl und 16,2 Mt Zwischenprodukte zur Weiterverarbeitung eingesetzt. Die Erzeugung an Mineralölprodukten betrug insgesamt 101 Mt, davon entfielen ca. 52 Mt auf Kraftstoffe, ca. 20,5 Mt auf Heizöle, ca. 7 Mt auf Naphtha und ca. 22,0 Mt auf andere Produkte. (MWV (2020b), Tab PRE1.1, Tab 4, Tab 5j).

In der Mineralölverarbeitung werden Kraftwerke mit einer elektrischen Leistung von etwa 1,0 GW betrieben. Diese Kraftwerke erzeugten im Jahr 2019 5 TWh Strom (Statistisches Bundesamt, 2020c).

Der Kategorie 1.A.1.b Raffinerien sind im ZSE die Raffinerie-Unterfeuerungen sowie die Strom- und Wärmeerzeugung der Raffineriekraftwerke zugeordnet.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über den Emissionsverlauf der Kategorie 1.A.1.b:

Abbildung 23: Entwicklung der CO₂-Emissionen der Kategorie 1.A.1.b

In den frühen 1990er Jahren wurden in den neuen Bundesländern noch Rohbraunkohlen eingesetzt, jetzt wird unter den festen Brennstoffen nur noch ein kleine Menge Kokereigas berichtet. Insgesamt zeigen die Emissionen bis zum Jahr 2005 einen leicht steigenden Trend, danach sinken sie wieder. Seit 1990 kam es in diesem Sektor zwar zu Anlagenschließungen, wenn auch in deutlich geringerem Umfang wie im Stein- u. Braunkohlenbergbau, dennoch wurde die Produktion erhöht. Die Anlageneffizienz wurde verbessert - allerdings führten im Gegenzug die vermehrte Produktion leichterer Mineralölprodukte sowie die verstärkte Tiefenentschwefelung zunächst zu einer Erhöhung der spezifischen Brennstoffverbräuche. Die Emissionsschwankungen über die Jahre lassen sich durch die unterschiedlichen Produktionsmengen erklären. Das bisherige Produktionsmaximum an Mineralölprodukten lag in 2005 bei insgesamt 123,6 Mio. t, was zu entsprechend hohen Emissionen führte. Danach sank die Produktion, bis auf 103,3 Mio. t Mineralölprodukte in 2011, einhergehend mit sinkenden Emissionen. Die Marktlage der Mineralölraffinerien ist noch immer schwierig, aufgrund von Überkapazitäten, vor allem in Europa. Eine deutsche Raffinerie stellte 2010 ihren Betrieb ein, so dass die Auslastung der anderen deutschen Raffinerien etwas gesteigert werden konnte. Im Jahr 2012 kam es trotz einer leichten Steigerung der Produktionsmenge auf 104,4 Mio. t zu einer Verringerung der Emissionen. Diese Entwicklung ist auf den erhöhten Einsatz vom emissionsärmeren Erdgas sowie einer Erhöhung der Anlageneffizienz zurückzuführen. Nach einer Produktionssenkung in den Jahren 2013 und 2014, erhöhte sich seit 2015 die Bruttoreaffinerieerzeugung. Entsprechend stiegen auch die CO₂ Emissionen.

3.2.7.2 Methodische Aspekte (1.A.1.b)

Aktivitätsraten

Die gesamten Daten zur Erzeugung von Mineralölprodukten in der Energiebilanz stammen aus der Amtlichen Mineralölstatistik. Die Mineralölstatistik gibt ein umfassendes Bild über Mineralölimporte, dem Umwandlungseinsatz in den Raffinerien, sowie der Produktion und dem Eigenverbrauch der Raffinerien. Zur Sicherung der Konsistenz folgt die Berichterstattung der

Struktur der Mineralölstatistik sowie den entsprechenden Definitionen. In der Energiestatistik melden unter dem Wirtschaftszweig 19.2 Mineralölverarbeitung weitere Unternehmen, die z.B. Kohlen verarbeiten aber auch Altöl- oder Schmierstoffraffinerien. Diese Anlagen werden in der Kategorie 1.A.1.c berichtet. Folgerichtig wird in der Kategorie 1.A.1.b nur die Rohölverarbeitung berichtet.

Für die Berichterstattung der Emissionen aus Rohölraffinerien werden die Anlagen in Raffineriekraftwerke und Unterfeuerungen unterteilt. Die Aktivitätsraten zur Raffinerie-Unterfeuerung bestimmen sich als Differenzbetrag beim Abzug des Brennstoffeinsatzes in Raffineriekraftwerken, (aus der Energiestatistik), zum Eigenverbrauch der Raffinerien, (aus der Amtlichen Mineralölstatistik). Diese Unterscheidung ist für die Berechnung der Treibhausgasemissionen nicht relevant, aber für die Berechnung der Vorläufersubstanzen sowie weiterer Luftschadstoffe, ist diese Unterscheidung wichtig, da die Anlagen ein unterschiedliches Emissionsverhalten aufweisen.

Der in der Amtlichen Mineralölstatistik ausgewiesene Eigenverbrauch an Petrolkoks repräsentiert den Katalysatorabbrand der Anlagen. Da nicht bekannt ist auf welcher Grundlage die Betreiber den Petrolkokeinsatz berechnen, ist es nicht möglich einen passenden CO₂ Emissionsfaktor zu ermitteln. Für die Jahre 2005 bis 2014 konnte aus den vom Emissionshandel vorliegenden Gesamtemissionen aus dem Katalysatorabbrand und dem Eigenverbrauch an Petrolkoks Emissionsfaktoren ermittelt werden. Damit können die Emissionen aus dem Katalysatorabbrand für die aktuellen Jahre exakt und in Übereinstimmung mit dem Emissionshandel erfasst werden. Um entsprechende Faktoren rückwirkend bis 1990 bilden zu können, wurde zunächst ein spezifischer Faktor gebildet, der sich auf die Kapazität der Konversionsanlagen bezieht. Dieses Vorgehen hat sich nach verschiedenen Prüfungen als die realitätsnaheste Methode herausgestellt, da In- und Output der Reformer und FCC-Anlagen statistisch nicht erfasst werden. Als Ergebnis liegen die Emissionen aus dem Katalysatorabbrand im Jahr 1990 deutlich unter den Emissionen im aktuellen Jahr. Das erscheint plausibel, da die Weiterverarbeitung von schweren Mineralölprodukten seit 1990 deutlich zugenommen hat.

Da für die Jahre 1990 – 1993 für die Neuen Bundesländer kein Eigenverbrauch an Petrolkoks ausgewiesen wird, mussten diese Werte über den aus den Emissionshandelsdaten ermittelten Emissionsfaktor berechnet werden.

Da in den Mineralölraffinerien Emissionen fast ausschließlich aus Verbrennungsprozessen entstehen, werden diese in der Kategorie 1.A.1.b berichtet. Nur die diffusen Emissionen aus der Herstellung von Kalzinat sowie die Fackelemissionen werden in der Kategorie 1.B.2.a.iv berichtet.

Emissionsfaktoren

Eine Beschreibung sowie eine Liste der verwendeten CO₂ Emissionsfaktoren ist im Anhang, Kapitel 18.8 verfügbar.

Die Emissionsfaktoren für N₂O, CH₄ sowie die Vorläufersubstanzen für Raffineriekraftwerke sind den Forschungsvorhaben Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) entnommen. Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise ist dem Kapitel 3.2.6.2 in Verbindung mit dem Kapitel 19.1.2.1 im Anhang 3 zu entnehmen. Für die Prozesswärme bereitstellenden Unterfeuerungen liefert das zitierte Vorhaben keine Emissionsfaktoren. Ersatzweise werden daher für Unterfeuerungen dieselben Werte für N₂O und CH₄ gewählt, die auch für Raffineriekraftwerke angesetzt werden.

3.2.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.b)

Erstmals wurden im Berichtsjahr 2004 für die Aktivitätsraten Unsicherheiten bestimmt (Jührich & Wachsmann, 2007). Die Methode zur Bestimmung der Unsicherheiten ist im Anhang 2, Kapitel „Unsicherheiten der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen“ (Kapitel 13.6 des NIR 2007) beschrieben.

3.2.7.3.1 Ergebnis für N₂O

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3.2 gelten entsprechend.

3.2.7.3.2 Ergebnis für CH₄

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3 gelten entsprechend.

3.2.7.3.3 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3.4 gelten entsprechend.

3.2.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.b)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Bezüglich der Raffinerien wurden Vergleiche mit Daten aus dem Britischen Inventar durchgeführt. Die Raffineriekapazität beider Länder liegt in einer ähnlichen Größenordnung. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden zahlreiche Indikatoren gebildet, die nicht nur den emissionsrelevanten Eigenverbrauch, sondern auch den Umwandlungseinsatz und die Produktionsdaten abbildeten. Der Vergleich der Indikatoren zeigt eine sehr gute Übereinstimmung.

Zur Überprüfung der Datenqualität wird außerdem eine Kohlenstoffbilanz erstellt, die über die Jahre nur sehr geringe statistische Differenzen aufweist.

Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe CRF 1.A.1.a (Kapitel 3.2.6.4).

Bezüglich der Emissionsfaktoren gelten die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3 entsprechend.

3.2.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.b)

Tabelle 32: Rückrechnungen CRF 1.A.1.b

Einheit [kt]	NIR 2020	NIR 2021	Abweichung absolut				Abweichung relativ gesamt
			gas	liquid	solid	gesamt	
Jahr	gesamt	gesamt					
2015	18.779	18.771	-7	0	0	-7	-0,04%
2016	19.653	19.817	163	0	0	163	0,83%
2017	20.032	20.279	-2	248	0	246	1,23%
2018	18.885	21.297	1.739	678	-5	2.412	12,77%

In den Jahren 2015 - 2017 kommt es zu einer Rückrechnung bei Erdgas, aufgrund einer Korrektur der Emissionshandelsdaten für die Erdgasverdichter, die in der Energiebilanz mit im Umwandlungsbereich verbucht werden.. Nach dem Vorliegen der finalen Energiebilanz für 2018 wurden die vorläufigen Werte ersetzt. Das führte zu Rückrechnungen bei allen Brennstoffen.

3.2.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.b)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.8 Herstellung von festen Brennstoffen und sonstige Energieerzeuger (1.A.1.c)

3.2.8.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.1.c)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990- 2019
L/T	1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	fossil fuels	CO ₂	65.289,1	5,1	9.580,9	1,2	-85,3 %
-/-	1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		N ₂ O	659,2	0,1	166,0	0,0	-74,8 %
-/-	1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		CH ₄	92,0	0,0	162,6	0,0	76,8 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS	NS	CS
CH ₄	Tier 2	NS	CS
N ₂ O	Tier 2	NS	CS
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS	NS	CS

Die Kategorie der *Herstellung von festen Brennstoffen und der sonstigen Energieerzeuger* ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die obigen Angaben beziehen sich auf die Kraftwerke und die sonstigen Kesselfeuerungen zur Dampf-, Heiß- und Warmwasserbereitstellung in der Kategorie 1.A.1.c.

Der Kategorie 1.A.1.c werden der Steinkohlen- und Braunkohlenbergbau sowie die Kokereien und Brikettfabriken zugerechnet, außerdem die Gewinnung von Rohöl und Erdgas. Für den deutschen Steinkohlenbergbau ergab sich in 2018 eine verwertbare Förderung von 2,6 Mio. t Steinkohle (3,7 Mio. t in 2017)²⁵. Die Kokserzeugung im Jahr 2018 betrug 9,2 Mio. t (2017 6,7 Mio. t)²⁶. Die Herstellung von Steinkohlenbriketts wurde Anfang 2008 eingestellt.

Im Jahr 2019 wurden in Deutschland 131,3Mio. t Rohbraunkohle gefördert (2018 166,3 Mio. t)²⁷. Die Herstellung von Braunkohlenbriketts und anderen Braunkohlenprodukten (Braunkohlenwirbelschicht und – trockenkohlen sowie Braunkohlenkoks) betrug 6,0 Mio.t (2018 6,6 Mio. t). Der Dampf zur Trocknung der Rohbraunkohle für die Herstellung von Braunkohlenveredelungsprodukten wird aus Braunkohlenkraftwerken mit Prozessdampfauskopplung (KWK-Anlagen) bereitgestellt. Aus diesen Anlagen wird Dampf zur Trocknung der Rohbraunkohle für die Herstellung der Braunkohlenprodukte ausgekoppelt.

Die deutsche Förderung von Erdöl im Jahr 2019 betrug 1,7 Mio. t (2018 2,07Mio. t) (MWV, 2020b) und die Erdgasförderung erreichte 2019 ca. 59,2Mrd. kWh Hs (2018 ca. 61,6 Mrd. kWh Hs) (BVEG, 2020b). Der für den Betrieb der Anlagen erforderliche Brennstoffeinsatz für den Eigenbedarf wird in der Kategorie 1.A.1.c berichtet.

Unter die Kategorie 1.A.1.c Produktion fester Brennstoffe und anderer Energien fallen im ZSE die Strom- und Wärmeerzeugung in Dampfturbinenkraftwerken, getrennt nach Steinkohlenbergbau und Braunkohlenbergbau (Grubenkraftwerke), die Strom- und Wärmeerzeugung in Gasturbinen, Gasmotoren und Dieselmotoren der Zechen- und Grubenkraftwerke zusammen, die übrige Wärmeerzeugung in Industriekesseln des Umwandlungsbereichs (ohne Raffinerien) sowie die Herstellung von Steinkohlenkoks und der Betrieb von Dieselmotoren zu Antriebszwecken in

²⁵ Statistik der Kohlewirtschaft siehe <https://kohlenstatistik.de/18-0-Steinkohle.html>

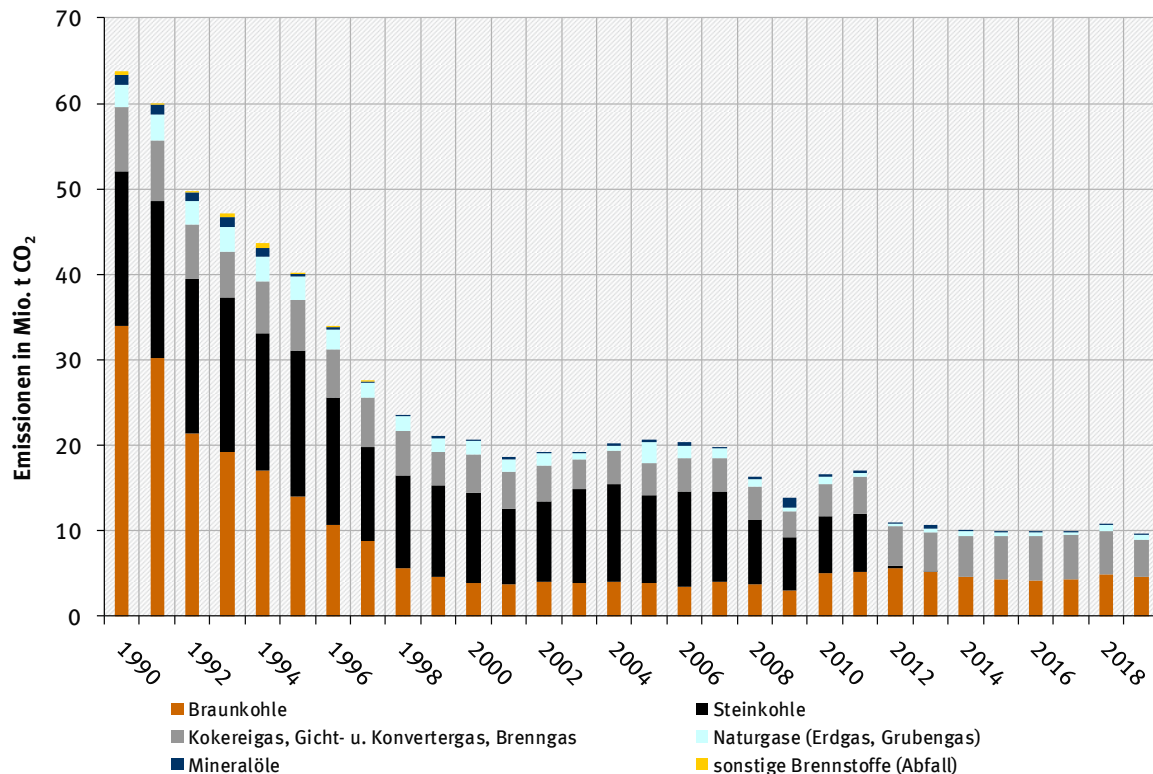
²⁶ Verein deutscher Kokerei-Fachleute VdKF – siehe <https://www.vdkf-ev.de/web/site/index.php/produktionskennzahlen/>

²⁷ siehe DEBRIV - <https://kohlenstatistik.de/files/foerder.xlsx>

Zechen- und Grubenkraftwerken. Sie werden getrennt nach Großfeuerungsanlagen und TA Luftanlagen berichtet.

Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht über die Emissionsentwicklung der Kategorie 1.A.1.c:

Abbildung 24: Entwicklung der CO₂-Emissionen der Kategorie 1.A.1.c



Die Abbildung zeigt sehr deutlich wie stark die Emissionen in dieser Kategorie seit 1990 zurückgegangen sind. Den stärksten Emissionsrückgang verzeichnet die Braunkohle, die in den neuen Bundesländern Anfang der 1990er Jahre stark rückläufig war. Die DDR-Wirtschaft basierte im Wesentlichen auf Braunkohle. Aus der Rohbraunkohle wurden verschiedene Veredlungsprodukte für die Industrie, Haushalte kleinere Gewerbebetriebe hergestellt. Bis Ende der 90er Jahre erfolgte eine umfangreiche Umstellung von Braunkohlen auf andere Energieträger. In einer deutlich reduzierten Anzahl an Industrieanlagen und Gewerbebetrieben wurde nun vermehrt Steinkohle, Mineralöl und Erdgas eingesetzt, während in den Haushalten die Kohleöfen durch modernere heizöl- und erdgasbefeuerte Heizungsanlagen ersetzt wurden. Dadurch sank die Brikett- und Staubproduktion in den neuen Bundesländern von fast 39 Mio. t in 1990 auf ca. 2,6 Mio. t im Jahr 1997. Die Schließung der meisten Anlagen der Braunkohlenverarbeitung in diesem Zeitraum führte zu einer sehr starken Emissionsreduktion. Ab 1998 erfolgte die Bereitstellung der Trocknungsenergie für die Braunkohlenprodukte in den neuen Bundesländern ausschließlich durch Prozessdampf aus öffentlichen Kraftwerken. In den alten Bundesländern führten eine Verbesserung der Anlageneffizienz und ebenfalls eine Verringerung der Produktion bis zum Jahr 2003 zu sinkenden Emissionen. Danach traten aufgrund von Produktionserhöhungen auch wieder leichte Anstiege auf.

Die Emissionen aus der Steinkohlennutzung im Sektor 1.A.1.c sinken seit dem Jahr 1990 deutlich. Das hat zum einen mit einer starken Reduktion der Steinkohlenförderung zu tun, die 1990 noch über 70 Mio. t betrug und im Jahr 2016 rund 4 Mio. t erreicht. Zum anderen haben sich über die Jahre einige Anlagen vom Steinkohlenbergbau in die öffentliche Versorgung

umgemeldet, was zu einer Verschiebung der Emissionen führte. Auch die bis 2011 in der Kategorie 1.A.1.c verbliebenen Kraftwerke speisten Strom in das öffentliche Netz ein. Ab dem Jahr 2010 kam es aufgrund der konjunkturellen Erholung und der damit einhergehenden erhöhten Stromnachfrage, zu einer Erhöhung der Brennstoffeinsätze von Braun- und Steinkohlekraftwerken, die der Kategorie 1.A.1.c zugeordnet werden. Eine weitere Erklärung für den gestiegenen Braunkohleverbrauch ist die Ummeldung einiger Kraftwerke aus der öffentlichen Versorgung in den Braunkohlenbergbau. Das führte insgesamt zu höheren Emissionen.

Der Einsatz von Industriegasen (Kokereigas, Gicht- und Konvertergas) zeigt bis Ende der 90er Jahre ebenfalls einen abnehmenden Trend. Die Ursache liegt vor allem in der Einstellung der Stadtgaserzeugung bis 1996 und der damit verbundenen Schließung der Ortsgaswerke. Die Koksproduktion ging ebenfalls deutlich zurück. Während 1990 noch 19 Mio. t Steinkohlenkoks produziert wurden, war es 2008 nur noch knapp die Hälfte. Im Jahr 2009 aufgrund der geringen Stahlproduktion 6,7 Mio. t. Durch die verbesserte Wirtschaftslage erhöhte sich die Steinkohlenkoksproduktion in den Jahren ab 2010 wieder auf etwa 8 Mio. t. Auf diesem Niveau blieb die Produktion bis zum Jahr 2013. Aufgrund der Erweiterung einer Kokereianlage im Jahr 2014 stieg die Koksproduktion wieder leicht an, bis zum Jahr 2018 auf 9,2 Mio. t. Damit stiegen auch die Emissionen aus der Verbrennung von Gicht- und Kokereigas an. Während es 1990 noch 8 Zechenkokereien gab, gehören die derzeit noch betriebenen 5 Kokereien alle zur Stahlindustrie („Hüttenkokereien“). Insgesamt führten Anlagenschließungen und Ertüchtigungen zu einer deutlichen Emissionsminderung in diesem Sektor.

Im Jahr 2012 führte die erneute Ummeldung einiger bedeutender Anlagen des Steinkohlenbergbaus in den öffentlichen Sektor zu einer sehr deutlichen Reduzierung der Emissionen in der Kategorie 1.A.1.c. Dieser statistische Effekt führte allerdings zu einer Erhöhung der Emissionen aus der Steinkohlenutzung im Sektor 1.A.1.a. Insgesamt kam es im Jahr 2012 sektorübergreifend zu einer Erhöhung der Emissionen aus der Steinkohleverstromung.

Der leichte Emissionsrückgang im Jahr 2013 ist im Wesentlichen auf die Schließung eines Grubenkraftwerkes im Mitteldeutschen Braunkohlenrevier sowie auf einen verringerten Brennstoffeinsatz in Rheinischen Grubenkraftwerken zurückzuführen. Der Emissionsrückgang fiel deutlich moderater aus, da zeitgleich der Erdgaseinsatz der „sonstigen Energieerzeuger“ anstieg. In den Jahren 2014 bis 2019 blieben die Emissionen weitgehend stabil.

3.2.8.2 Methodische Aspekte (1.A.1.c)

Die Auswahl der Berechnungsmethode ist auf Basis der aktuellen Hauptkategorienanalyse erfolgt.

Der Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung in Kraftwerken des Steinkohlen- bzw. des Braunkohlenbergbaus ist in der Energiebilanzzeile 12 „Industriewärmeleistung“ enthalten. Der Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung im Umwandlungsbereich ist den Energiebilanzzeilen 33-39 bzw. der Summenzeile 40 („Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt“) zu entnehmen.

Mit Hilfe von Angaben des Statistischen Bundesamtes (2020c) wird der Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung in Kraftwerken des Steinkohlenbergbaus ermittelt. Die Aktivitätsraten zur Wärmeerzeugung in Kraftwerken des Steinkohlenbergbaus entsprechen der Energiebilanzzeile 34 „Energieeinsatz in Steinkohlenzechen- und -brikettfabriken“.

Der ausgewiesene Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung in Grubenkraftwerken beruht auf Verbandsangaben (persönliche Mitteilung des DEBRIV – Bundesverband Braunkohle). Der

Einsatz zur Wärmeerzeugung, insbesondere zur Braunkohlentrocknung zur Herstellung von Braukohlenprodukten ist nicht in der Energiebilanz enthalten. Dieser wird aus den Produktionszahlen der Braunkohlenprodukte²⁸ und den für die Trocknung notwendigen spezifischen Brennstoffeinsatz berechnet und als „Nicht- Energiebilanz“ – Einsatz im ZSE verbucht und berichtet. Die Daten werden jährlich abgefragt und aktualisiert.

Die für die Herstellung von Steinkohlenkoks eingesetzten Brennstoffmengen werden direkt aus der Energiebilanz, EBZ 33 (Kokereien) genommen. Darin wird der Eigenverbrauch der Kokereien verbucht. Die Brennstoffnutzung in den Unterfeuerungen ist die größte Emissionsquelle der Kokereien. Bevor der Koks gelöscht wird, entstehen aber auch diffuse Emissionen, die in der Kategorie 1.B.1.b berichtet werden.

Der Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung im Übrigen Umwandlungsbereich setzt sich aus den Energieverbräuchen der Energiebilanzzeilen 33 bis 39 (Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt) zusammen. Dazu zählt der Grubenselbstverbrauch, Anlagen zur Erdöl- und Erdgasgewinnung sowie der Altölaufbereitung, Kohlenwertstoffbetriebe, Anlagen zur Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen und der Eigenverbrauch von Kläranlagen.

Seit der Berichterstattung 2011 werden die CO₂-Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in Kokereien in der Kategorie 1.A.1.c berichtet. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht der CO₂-Emissionen aus der Gichtgasnutzung in Kokereien über die gesamte Zeitreihe ab 1990.

Tabelle 33: CO₂-Emissionen aus der Gichtgasverbrennung in Kokereien

[Mio. t CO ₂]										
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
5,340	5,251	4,590	4,083	5,066	4,924	4,707	4,969	4,362	3,145	
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
3,652	3,741	3,684	3,029	3,356	3,247	3,281	3,226	3,226	2,500	
2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
3,245	3,895	4,289	4,341	4,554	4,648	4,872	4,905	4,809	3,979	

Die Überarbeitung der Daten für 1990 und die Folgejahre 1991-1994 für die Neuen Bundesländer ist in Anhang 19.1.1 beschrieben.

Emissionsfaktoren

Eine Liste der verwendeten CO₂ Emissionsfaktoren, sowie eine methodische Beschreibung sind im Anhang, Kapitel 18.8 verfügbar.

Die Emissionsfaktoren für Kraftwerke und sonstige Kesselfeuerungen zur Dampf-, Heiß- und Warmwasserbereitstellung in der Kategorie 1.A.1.c sind Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) entnommen. Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise ist dem Kapitel 3.2.6.2 in Verbindung mit dem Kapitel 19.1.2.1 im Anhang 3 zu entnehmen. Die Forschungsvorhaben unterscheiden innerhalb des Sektors nach Kraftwerken der STEAG, den übrigen Kraftwerken des Steinkohlenbergbaus, den Kraftwerken des Braunkohlenbergbaus sowie den sonstigen Kesselfeuerungen zur Dampf-, Heiß- und Warmwasserbereitstellung.

Die Emissionsfaktoren für Kokereien wurden größtenteils aus Hensmann et al. (2012) entnommen. Die dort ermittelten Emissionsfaktoren für gefasste Quellen wurden der Kategorie 1.A.1.c zugeordnet, da diese Emissionen hauptsächlich aus der Unterfeuerung der Koksöfen resultieren. Die ermittelten Emissionsfaktoren für diffuse Quellen wurden dagegen

²⁸ Statistik der Kohlewirtschaft 2019 siehe <https://kohlenstatistik.de/19-0-Braunkohle.htm>

definitionsgemäß der Kategorie 1.B.1.b zugeordnet. Neben weiteren Schadstoffen werden auch CO-Emissionen aus Kokereien in beiden Kategorien berechnet.

3.2.8.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.1.c)

Erstmals wurden im Berichtsjahr 2004 für die Aktivitätsraten Unsicherheiten bestimmt (Forschungsvorhaben FKZ 204 41 132, Jührich and Wachsmann (2007)). Die Methode zur Bestimmung der Unsicherheiten ist im Anhang 2, Kapitel 13.6 des NIR 2007 beschrieben.

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Unsicherheiten für die Emissionsfaktoren ist in dem Kapitel 3.2.6.3.1 beschrieben.

3.2.8.3.1 Ergebnis für N₂O

In Anlagen des Braunkohlenbergbaus - sie sind Teil des Sektors 1.A.1.c - werden vergleichsweise viele Wirbelschichtfeuerungen eingesetzt. Es ist bekannt, dass diese relativ höhere N₂O-Emissionen aufweisen als andere Kohlefeuerungstechnologien. Das Emissionsverhalten bei Einsatz von Stein- und Braunkohlen wurde insbesondere bei Einsatz in Wirbelschichtfeuerungen und insbesondere in den 90er Jahren gezielt untersucht. Daher lagen ausreichend Messdaten vor, die eine systematische Erhebung von N₂O-Emissionsfaktoren im Forschungsvorhaben ermöglichten. Die Ausführungen aus Kapitel 3.2.6.3.2 gelten entsprechend.

3.2.8.3.2 Ergebnis für CH₄

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3.3 gelten entsprechend.

3.2.8.3.3 Zeitreihenkonsistenz der Emissionsfaktoren

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3.4 gelten entsprechend.

3.2.8.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.1.c)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.2 gelten entsprechend.

3.2.8.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.1.c)

Tabelle 34: Rückrechnungen CRF 1.A.1.c

Einheit [kt]	NIR 2020	NIR 2021	Abweichung absolut				Abweichung relativ	
			gas	liquid	other	solid	gesamt	gesamt
2015	9.781	9.780	-1	0	0	0	-1	-0,01%
2016	9.811	9.829	18	0	0	0	18	0,19%
2017	9.810	9.898	89	0	0	0	89	0,90%
2018	9.701	10.672	285	-3	0	689	971	10,01%

Aufgrund einer Korrektur der Emissionshandelsdaten für die Erdgasverdichter kommt es ab dem Jahr 2015 zu Rückrechnungen bei Erdgas. Der Erdgaseinsatz der Verdichter wird in der Energiebilanz im Umwandlungsbereich verbucht. Dadurch kommt es bei Änderungen dieser Rechengröße gleichzeitig zu Änderungen der Erdgasmengen im übrigen Umwandlungsbereich. Im Berichtsjahr 2018 wurden die vorläufigen Daten durch die nun vorliegende endgültige Energiebilanz ersetzt. Dadurch kommt es zu Rückrechnungen bei allen Brennstoffen.

3.2.8.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.1.c)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.9 Verarbeitendes Gewerbe (1. A.2)

Die Kategorie setzt sich aus mehreren Subkategorien in enger Anlehnung an die IPCC-Gliederung (CRF) zusammen und ist in den Unterkapiteln detailliert beschrieben.

Die Berechnungsalgorithmen der Strukturelemente der BEU der Kategorie 1.A.2 wurden innerhalb des Forschungsvorhabens „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (FKZ 204 41 132, Juhrich and Wachsmann (2007)) überarbeitet und unterliegen einer einheitlichen Systematik. Sie basieren überwiegend auf der Grundlage von gesicherten Daten des Statistischen Bundesamtes.

Eine Sektordifferenzierung der Aktivitätsraten nach Branchen erfolgt ausschließlich für die Prozessfeuerungen. Hier kam es in Folge der neuen CRF-Kategorisierung zu Neuordnungen ab dem NIR 2015.

Bedingt durch den Umstieg der Wirtschaftszweigklassifikation in den Energie-Statistiken ab dem Jahr 2008 von „WZ 2003“ auf „WZ 2008“ wurde die Erfassung der Aktivitätsdaten für die Prozessfeuerungen aus den Einzelstatistiken entsprechend dem Umsteigeschlüssel realisiert (Statistisches Bundesamt (2008): Umsteigeschlüssel WZ 2003 auf WZ 2008).

Dies führt ab der Berichterstattung 2015 zu Schwierigkeiten bei der Zuordnung zu den neuen CRF-Kategorien der Guidelines 2006.

Die Aggregation der Industriekraftwerke und Kessel erfolgt für die Strom- und Wärmeerzeugung nach Technologien (Gasmaschinen, Gasturbinen, GuD-Anlagen und Dampfturbinen) sowie nach genehmigungsrechtlichen Regelungen (TA-Luft und 13. BImSchV). Die Berechnung der Anlagensplittung zwischen TA-Luft-Anlagen und Anlagen genehmigt nach 13. BImSchV wurde 2018 aktualisiert.

Die einzelnen Berechnungsalgorithmen sind im genannten Forschungsvorhaben ausführlich dokumentiert.

Nach der Emissionsberechnung auf der Ebene der Strukturelemente werden durch eine weitestgehend IPCC-konforme Aggregation der Ergebnisse die Summenwerte für die Subkategorien in 1.A.2 bis NIR 2014 nach den Guidelines von 1996, ab NIR 2015 entsprechend der Guidelines von 2006 gebildet. Seit dem NIR 2006 werden die Prozessfeuerungen zum großen Teil branchenbezogen berichtet. Die Disaggregation ist bei der vorhandenen Datenlage nicht vollständig IPCC-konform möglich. So kann die Strom- und Wärmeerzeugung der Industriekraftwerke und -wärmekraftwerke nicht vollständig den Branchen zugeordnet werden und wird daher zusammengefasst unter 1.A.2.gviii Sonstige berichtet.

Die Abgrenzung der energiebedingten Prozessfeuerungen zur Strom- und Wärmeerzeugung in Industriekraftwerken und Kesseln erfolgt mittels Statistik 067 (Stromerzeugungsanlagen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden; (Statistisches Bundesamt, 2020c).

Eine Veränderung in der Statistik 067 (ebd.) des Statistischen Bundesamtes bedingt einen Sprung der Aktivitätsraten in der Strom- und Wärmeproduktion. Bis 2001 wurde lediglich der Brennstoffeinsatz zur Stromproduktion in Stromerzeugungsanlagen ausgewiesen. Ab 2002 wird der Brennstoffeinsatz zur Strom- und Wärmeproduktion angegeben. Zu den Einsätzen zur Wärmeproduktion für die Jahre vor 2002 liegen keine Daten vor.

Im März 2017 wurde das Energiestatistikgesetz novelliert. Dies führt durch Verzögerungen in der Datenerfassung zu Datensprüngen ab dem Jahr 2018. Endgültig qualitätsgesicherte Daten aus den förderal erhobenen Statistiken werden erst zur Berichterstattung 2022 vorliegen.

Das Verhältnis des fossilen und biogenen Anteils von Industriemüll ergibt sich aus der Abfallstatistik (Statistisches Bundesamt, 2018), den Angaben der entsprechenden Industrieverbände zu Ersatzbrennstoffen und dem Forschungsvorhaben „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Lechtenböhrer et al. (2006c), FKZ 204 42 203/02). Die eingesetzten Mengen an Regelbrennstoffen aller Subkategorien sind vollständig aus der Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland entnommen und in der BEU disaggregiert. Über die Energiebilanz hinaus werden in verschiedenen Subkategorien Ersatzbrennstoffe berücksichtigt, die im Forschungsprojekt Lechtenböhrer et al. (2006c) ermittelt wurden und nun über Verbandsdaten jährlich aktualisiert werden (s.u.). Demnach kommen Ersatzbrennstoffe vermehrt zum Einsatz, um teurere konventionelle Brennstoffe zu ersetzen.

Im bereits genannten Forschungsprojekt „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Lechtenböhrer et al., 2006c) wurde der Verbesserungsbedarf zum Thema „waste fuels“ im Energiebereich auf Ersatzbrennstoffe in vier Industriebranchen eingegrenzt und die Daten von den jeweiligen Industrieverbänden ermittelt. In den Industriebranchen Roheisenerzeugung, Zellulose- und Papierherstellung sowie Herstellung von Kalk und Zement liegen hiermit deutlich verbesserte und branchenspezifische Daten für den Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Prozessfeuerungen und in Industriekraftwerken vor.

Besonderheiten der Subkategorien sind in den Unterkapiteln beschrieben. Speziell die Sammelgruppe 1.A.2.g Sonstige ist zu beachten.

Für die im Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Jührich & Wachsmann, 2007) neu geschaffenen Strukturelemente wurden die Unsicherheiten entsprechend der im Rahmen des Forschungsberichts Lechtenböhrer et al. (2006c) dokumentierten Methode ermittelt. Dies ist im Endbericht zum Forschungsvorhaben Jührich and Wachsmann (2007) und Anhang 13.6 des NIR 2007 dokumentiert.

Kohlendioxidemissionen dominieren die CRF-Kategorie 1.A.2. Andere Treibhausgase tragen nur in sehr geringem Maß zu den Gesamtemissionen bei.

Im Zeitraum 1990 bis 1994 ist ein starker Rückgang der Treibhausgasemissionen zu verzeichnen. Dies ist bedingt durch die Stilllegung ineffizienter Anlagen des verarbeitenden Gewerbes in den Neuen Bundesländern nach dem politischen Wechsel 1990 in Deutschland.

In den Folgejahren auftretende Schwankungen der Emissionen spiegeln den konjunkturellen Verlauf der Produktion im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland wider.

3.2.9.1 Verarbeitendes Gewerbe - Eisenschaffende Industrie (1.A.2.a)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	1 A 2 a, Iron and steel	fossil fuels	CO ₂	35.269,3	2,8	35.729,8	4,5	1,3 %
-/-	1 A 2 a, Iron and steel		N ₂ O	155,1	0,0	111,5	0,0	-28,1 %
-/-	1 A 2 a, Iron and steel		CH ₄	62,5	0,0	65,2	0,0	4,4 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS	NS	CS
CH ₄	CS	NS	CS
N ₂ O	CS	NS	CS
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS	NS	CS

Die Kategorie *Verarbeitendes Gewerbe - Eisenschaffende Industrie* ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die Eisenschaffende Industrie (Subkategorie 1.A.2.a) ist neben der Zementindustrie die zweite bedeutende CO₂-Emissionsquelle unter den Prozessfeuerungen.

3.2.9.1.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.a)

Die Kategorie umfasst die Produktionsbereiche Roheisen (Hochofen), Eisenschwamm (Direktreduktion), Sinter, Walzstahl, Eisen-, Stahl-Temporguss, Siemens-Martin-Stahl und Elektrostahl, sowie Kraftwerke und Kessel der gesamten Stahlindustrie.

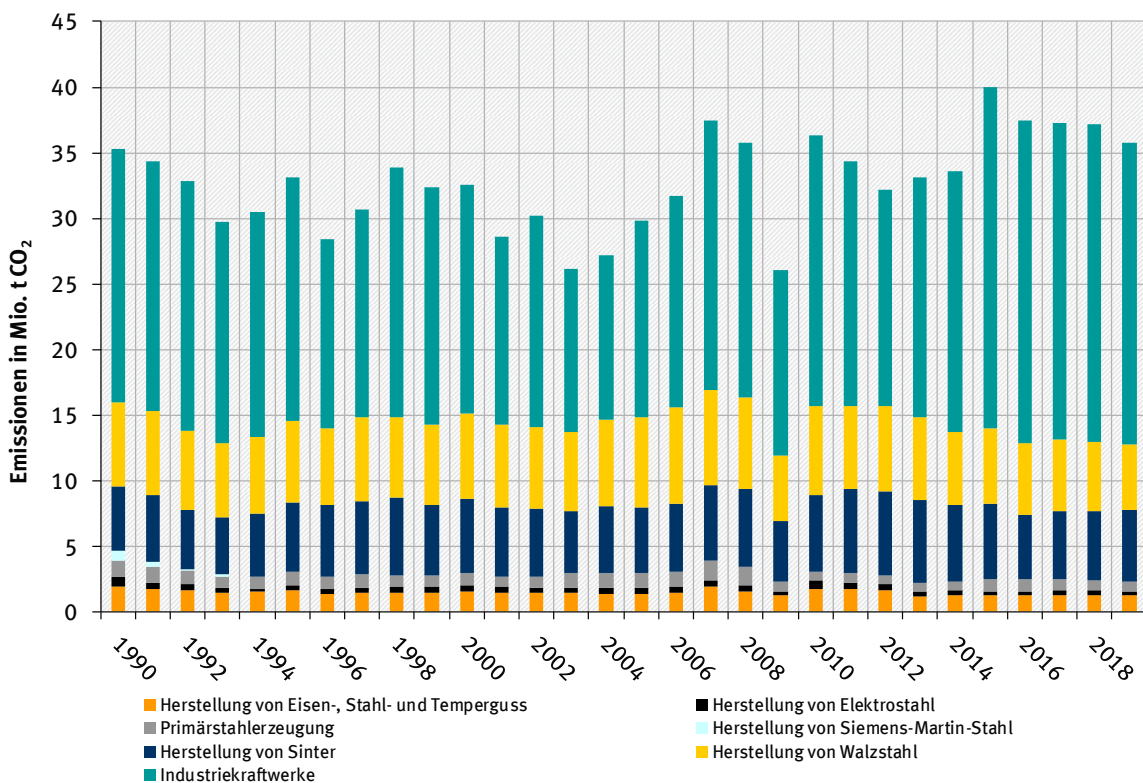
Die Herstellung von Siemens-Martin-Stahl führte nur in den neuen Bundesländern bis kurz nach 1990 zu Emissionen. In den alten Bundesländern war die Produktion von Siemens-Martin-Stahl schon vor 1990 eingestellt worden.

Eine Produktion von Eisenschwamm (direkt reduziertem Eisen; *engl.* DRI) erfolgt in Deutschland nur in geringem Umfang (ca. 0,5 Mio. t pro Jahr) und nur in einer Anlage. Die bei der Produktion von Eisenschwamm entstehenden CO₂-Emissionen resultieren aus dem Einsatz von Erdgas bzw. dem daraus erzeugten Gemisch der Reduktionsgase CO und H₂. Die eingesetzte Menge an Erdgas ist über die gesamte Zeitreihe in den unter 1.A.2.a berichteten Einsätzen von Erdgas enthalten. Somit werden die CO₂-Emissionen aus der Produktion von Eisenschwamm über die gesamte Zeitreihe unter 1.A.2.a berichtet. Eine gesonderte Ausweisung der CO₂-Emissionen aus der Produktion von Eisenschwamm ist aus Geheimhaltungsgründen nicht möglich.

Bei der Herstellung von Roheisen wird ein Großteil der im Hochofen eingesetzten Energieträger für die darin ablaufenden Reduktionsprozesse benötigt, während in den anderen Produktionsbereichen der Eisenschaffenden Industrie Brennstoffe zum großen Teil zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden.

Die folgende Graphik zeigt eine Übersicht über die CO₂-Emissionen aus den einzelnen Subkategorien in 1.A.2.a.

Abbildung 25: Entwicklung der CO₂-Emissionen in Kategorie 1.A.2.a



Die Übersicht zeigt über die Jahre z.T. große Schwankungen, die überwiegend der Produktionsentwicklung folgen. In den Jahren 1990 bis 1994 ist die Absenkung der Emissionen geprägt durch die Umstrukturierung im Eisen und Stahlbereich in den neuen Bundesländern nach dem politischen Wechsel 1990.

Besonders deutlich ist der Einbruch der CO₂-Emissionen im Krisenjahr 2009 zu erkennen, in dem die Stahlindustrie einen sehr starken Produktionsrückgang verzeichnete. Der erneute Emissionsanstieg in 2010 ist der Wiederbelebung der Konjunktur zuzurechnen, bei der die Stahlindustrie fast wieder das Produktionsniveau von 2008 erreichte. Grundsätzlich folgen die CO₂ Emissionen der Konjunktorentwicklung in der Stahlindustrie. Da die Oxygenstahlproduktion im Jahr 2019 wie im Vorjahr geringfügig sank, gingen die CO₂ Emissionen im aktuellen Berichtsjahr weiter leicht zurück.

Der auffällig hohe Emissionsanstieg im Jahr 2015 ist auf die Ummeldung einiger Gichtgaskraftwerke aus der öffentlichen Versorgung (CRF 1.A.1.a) in die Industrie (1.A.2.a) zurückzuführen. Dadurch kommt es zu einer Verschiebung der Emissionen. Insgesamt betrachtet steigen die CO₂ Emissionen nur leicht infolge des Produktionsanstieges an. Das ist in der Abbildung 41: Zeitlicher Verlauf und Quellgruppenzuordnung der aus dem Reduktionsmitteleinsatz zur Primärstahlerzeugung bzw. Gichtgasaufkommen resultierenden CO₂-Emissionen im Kapitel 4.4.1 Metallproduktion: Eisen- und Stahlproduktion (2.C.1), gut zu erkennen.

Nach den Industriekraftwerken (zur Eigenstromerzeugung aus Gicht- und Konvertergas) kommen die anteilig höchsten Emissionen aus der Walzstahl- und Sintererzeugung. Für den Hochofen werden nur die zur Energieerzeugung benötigten Erd- und Kokereigaseinsätze in der Kategorie 1.A.2.a berichtet. Die prozessbedingten Emissionen werden in der Kategorie 2.C.1 verbucht.

Bei der Roheisenerzeugung im Hochofen kann ab 2010 eine kontinuierliche Abnahme der Einsatzmengen an schwerem Heizöl festgestellt werden. Das Heizöl wird größtenteils durch Einblaskohle ersetzt, was durch eine Umstellung der Einblasvorrichtungen ermöglicht wird. Die Brennstoffumstellung erfolgt preisbedingt. In einzelnen Hochöfen wird neben gemahlener Steinkohle auch gemahlene Braunkohle eingesetzt, wobei auch diese Umstellung nur vom Preis abhängt. Das führt insgesamt zu einem leichten Anstieg der spezifischen Emissionen.

3.2.9.1.2 Methodische Aspekte (1.A.2.a)

Diese Subkategorie umfasst die Prozessfeuerungen der verschiedenen Produktionsbereiche der Eisenschaffenden Industrie. Die entsprechenden Brennstoffeinsätze inklusive der Sekundärbrennstoffe sind in der BEU enthalten.

Für die Bereitstellung der Aktivitätsdaten der konventionellen Brennstoffe der Kategorie wird ab dem Berichtsjahr 2011 der sogenannte BGS-Bogen (Brennstoff-, Gas- und Stromwirtschaft der Hochofen-, Stahl- und Walzwerke sowie Schmiede-, Press- und Hammerwerke einschließlich der örtlich verbundenen sonstigen Betriebe (ohne eigene Kokerei)), als Datenquelle genutzt. Diese ermöglicht eine verbesserte Disaggregation der Energiedaten in der Bilanz der Emissionsursachen (BEU). Da die gesetzliche Grundlage für die Erhebungen des BGS-Bogens seit dem Berichtsjahr 2012 entfallen ist, werden die Daten seitdem auf der Grundlage einer Vereinbarung mit der Wirtschaftsvereinigung Stahl in gleicher Struktur bereitgestellt. Aus Datenschutzgründen werden die auf den Bezug „Gesamtzahl für Deutschland“ aggregierten Daten ab 2018 über einen Datentreuhändler übermittelt. Diese Änderung hat auf die Berechnungen keinen Einfluss.

Die Angaben im BGS-Bogen ermöglichen neben der Darstellung der Aktivitätsdaten in Sinteranlagen, Hochofenbetrieben, Oxygenstahlwerken (Konverter) und Walzwerken die zusätzliche Disaggregation für die Elektrostahlwerke.

Weiterhin erfolgt eine datenbasierte Differenzierung der festen Brennstoffe nach „Steinkohle und Steinkohlebriketts“; „Koks“ und „Koksgrus unter 10 mm“. Die Brennstoffeinsätze für Koks und Koksgrus werden in der Datenbank als „Koks“ summiert ausgewiesen, da die Energiestatistik den aggregierten Brennstoff „Koks“ ausweist. Die im BGS-Bogen ausgewiesenen „flüssigen Brennstoffe“ werden dem „Heizöl schwer“ zugeordnet.

Da der BGS-Bogen Brennstoffeinsätze in natürlichen Einheiten ausweist, werden diese mit den von der Arbeitsgemeinschaft der Energiebilanzen (AGEB) ausgewiesenen Heizwerten für festen und flüssigen Einzelbrennstoffe in Energieeinheiten umgerechnet. Für die Gase wurde im BGS-Bogen eine Normierung auf 35,16912 MJ/m³ definiert, die in der Methodik der Berechnung der Aktivitätsraten für Hochofen-, Kokerei-, Erd- und Konvertergas übernommen wurde.

Die Emissionsberechnung der Sekundärbrennstoffe wurde entsprechend der Ergebnisse des Forschungsprojektes „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Lechtenböhrer et al. (2006c), FKZ 204 42 203/02) beibehalten.

Die Emissionen aus der Eisen- und Stahlindustrie werden für die gesamte Zeitreihe ab 1990 in prozessbedingte und energiebedingte Emissionen unterschieden. Die Methode zur Berechnung der prozessbedingten Emissionen ist im Kapitel 4.4.1.2 der Kategorie 2.C.1 beschrieben.

3.2.9.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.a)

Unsicherheiten wurden in 2004 für alle Brennstoffe außer Ersatzbrennstoffe und für Ersatzreduktionsmittel hinsichtlich der kompletten Zeitreihe bestimmt. Die Methode ist im Forschungsbericht Lechtenböhrer et al. (2006c) erläutert. Sie wurden für die Aktivitätsraten im Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten (FKZ 204 41 132)“ aktualisiert und im Endbericht dokumentiert.

Die bis zur Berichterstattung 2011 verwendeten Daten zur Berechnung aus der Statistik - Fachserie 4 Reihe 8.1 - des Statistischen Bundesamtes wurden auf der Grundlage des BGS-Bogens in dieser Statistik aggregiert. Nach Einstellung der Statistik werden die Basisdaten des BGS-Bogens direkt zur Berechnung herangezogen.

Die direkte Verwendung der Daten aus dem BGS-Bogen führt zu keiner Erhöhung der Unsicherheiten. Die auf dem Forschungsbericht basierenden Unsicherheiten wurden entsprechend der konservativen Betrachtungsweise beibehalten.

3.2.9.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.a)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe CRF 1.A.1.a (Kapitel 3.2.6.4).

Die Qualitätssicherung der BGS-Daten durch den Verband entsprechend QSE-Handbuch wurden in der Verbandsvereinbarung festgelegt. Der Qualitätsbericht des Verbandes wird mit den Daten übermittelt.

3.2.9.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.a)

Für das Jahr 2018 wurden die vorläufigen Daten durch die nun vorliegende endgültige Energiebilanz ersetzt. Eine Fehlerkorrektur im Jahr 2017 führte zu Rückrechnungen beim Gichtgas.

Tabelle 35: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.a

Einheit [kt]	NIR 2020	NIR 2021	Abweichung absolut			Abweichung relativ	
			gas	liquid	solid		
Jahr	gesamt	gesamt	gesamt	gesamt	gesamt	gesamt	
2017	37.590	37.220	0	0	-370	-370	-0,98%
2018	36.534	37.167	-9	0	642	633	1,73%

3.2.9.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.a)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.9.2 Verarbeitendes Gewerbe – Nichteisen-Metalle (1.A.2.b)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	1 A 2 b, Non-ferrous metals	fossil fuels	CO ₂	1.629,2	0,1	1.623,6	0,2	-0,3 %
-/-	1 A 2 b, Non-ferrous metals		N ₂ O	17,1	0,0	8,6	0,0	-50,0 %
-/-	1 A 2 b, Non-ferrous metals		CH ₄	1,4	0,0	1,8	0,0	29,8 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS	NS	CS
CH ₄	CS	NS	CS
N ₂ O	CS	NS	CS
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS	NS	CS

Die Kategorie Nichteisen-Metalle ist keine Hauptkategorie.

3.2.9.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.b)

Diese Kategorie umfasst die Prozessfeuerungen der Produktionsbereiche der Nichteisenmetalle in aggregierter Form. Eine detailliertere Darstellung ist aufgrund der Datenlage nicht möglich.

3.2.9.2.2 Methodische Aspekte (1.A.2.b)

Die entsprechenden Brennstoffeinsätze sind in der BEU enthalten. Quelle für die Brennstoffeinsätze ist die Statistik des produzierenden Gewerbes (Statistik 060 – Energieverwendung des produzierenden Gewerbes; (Statistisches Bundesamt, 2020b) (Melde-Nr. 27.43 (WZ 2003 alt) → 24.43 (WZ 2008 neu), Erzeugung und erste Bearbeitung von Blei, Zink und Zinn und 27.44 (WZ 2003 alt) → 24.44 (WZ 2008 neu), Erzeugung und erste Bearbeitung von Kupfer) und für Abgrenzungen zur Strom- und Wärmeerzeugung die Statistik 067 (Statistisches Bundesamt, 2020c).

Um die Berechnungsalgorithmen für die Aktivitätsdaten in der Bilanz der Emissionsursachen (BEU) homogener, konsistenter und transparenter darzustellen erfolgte eine Überarbeitung. Im Ergebnis dieser Überarbeitung wurde die Erzeugung und erste Bearbeitung von Edelmetallen, Aluminium und sonstige NE-Metalle zur Ermittlung der Aktivitätsdaten mit aufgenommen. Im Endbericht zum Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (FKZ 204 41 132) werden die Berechnungsalgorithmen ausführlich beschrieben.

Die Aktivitätsraten für die Neuen Bundesländer für 1990 wurden im Projekt „Basisjahr und Aktualisierung“ (Zander and Merten (2006): FKZ 205 41 115) mit neuem Datenmaterial überarbeitet und dokumentiert, s. Anhangkapitel 19.1.1).

3.2.9.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.b)

Im Jahr 2004 wurden für alle Aktivitätsraten Unsicherheiten bestimmt. Die Methode ist im Anhangkapitel 13.6 des NIR 2007 erläutert.

3.2.9.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.b)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe CRF 1.A.1.a (Kapitel 3.2.6.4).

3.2.9.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.b)**Tabelle 36: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.b**

Einheit [kt] Jahr	NIR 2020 gesamt	NIR 2021 gesamt	Abweichung absolut				Abweichung relativ gesamt
			gas	liquid	solid	gesamt	
2018	1.575	1.625	53	-2	0	50	3,17%

Nach dem Vorliegen der endgültigen Energiebilanz wurden die vorläufigen Werte für das Jahr 2018 durch aktuelle Werte ersetzt. Dadurch kommt es bei allen Brennstoffen zu Rückrechnungen.

3.2.9.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.b)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.9.3 Verarbeitendes Gewerbe – Chemische Industrie (1.A.2.c)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2017 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990- 2017
-/-	1.A.2.c	all fuels	IE	IE	IE	IE	IE	IE

In der chemischen Industrie kommen hauptsächlich Industriekraftwerke sowie Kessel zum Einsatz. Diese Anlagen werden kategorieübergreifend in der Subkategorie 1.A.2.g Sonstige berichtet.

Die Einsätze an Energieträgern in der Kalziumkarbidproduktion sind prozessbedingt und werden unter CRF 2.B.5 berichtet (siehe Kapitel 4.3.5).

Dies bestätigt auch das Forschungsprojekt „Basisjahr und Aktualisierung“ (Zander and Merten (2006), FKZ 205 41 115) für das Jahr 1990 in den Neuen Bundesländern (wesentlicher Produktionsstandort): der Koks wurde stofflich und nicht energetisch genutzt. Die Kalziumkarbidproduktion ist demnach keine Quelle für energiebedingte CO₂-Emissionen.

Die Emissionen der gesamten Subkategorie 1.A.2.c werden somit an anderer Stelle berücksichtigt (IE - included elsewhere). Von daher wird die Subkategorie 1.A.2.c nicht gesondert in der Hauptkategorienanalyse aufgeführt.

Der Hauptteil der Emissionen aus der chemischen Industrie kommt aus Verbrennungsprozessen. Da die Brennstoffeinsätze für die chemische Industrie erst ab dem Jahr 2003 vorliegen, ist es nicht möglich Zeitreihen ab 1990 zu erstellen. Deshalb werden die Emissionen aus der energetischen Nutzung von Brennstoffen in der chemischen Industrie zusammengefasst mit anderen Industriebereichen in der Kategorie 1.A.2.gviii „Sonstige“ berichtet. Dennoch konnten die vorhandenen Daten genutzt werden, um mit den verfügbaren Daten aus dem Emissionshandel abgeglichen zu werden. Dabei sollten zum einen Doppelzählungen mit den IPPU Sektor vermieden werden. Zum anderen sollte eine Unterfassung der Emissionen aus der Verbrennung der sonstigen hergestellten Gase ausgeschlossen werden. Im Vergleich zeigt sich,

dass die in der Energiestatistik ab dem Jahr 2012 berichteten Daten gut mit den Brennstoffmengen im Emissionshandel zusammenpassen. Insgesamt sind die in den Vorjahren statistisch erfassten Gasmengen zu gering. Deshalb wurde zunächst ausgewertet, in welchen Bereichen der chemischen Industrie sonstige hergestellte Gase entstehen und energetisch genutzt werden. Über die Hälfte des gesamten Gasaufkommens wird bei der Herstellung von sonstigen organischen Grundstoffen und Chemikalien eingesetzt. Danach folgen die Herstellung von sonstigen anorganischen Grundstoffen und die Herstellung von Farbstoffen und Pigmenten. Einen kleineren Einsatz dieser Gase gibt es auch bei Herstellung von Kunststoffen in Primärformen. Für die Rückrechnung der Gasverbräuche wurden für jeden Sektor die Hauptprodukte ermittelt. Diese Daten sind aus den jährlichen VCI Berichten „Chemiewirtschaft in Zahlen“ bis zum Jahr 1990 zurück verfügbar. Lediglich für die neuen Bundesländer gibt es für das Jahr 1990 keine Produktionsdaten. Da in der Energiebilanz für die Neuen Bundesländer größere Mengen an sogenannten Brenngasen verbucht werden, ist davon auszugehen, dass diese Gase zumindest energieseitig berücksichtigt werden. Mit Hilfe der Produktionsdaten und den in der Energiestatistik für das Jahr 2013 ausgewiesenen Gasmengen konnten für jeden Teilssektor spezifische Faktoren gebildet werden, mit denen die Brennstoffeinsätze rückwirkend berechnet werden konnten.

3.2.9.4 Verarbeitendes Gewerbe – Zellstoff und Papierindustrie (1.A.2.d)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990- 2019
-/-	1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	fossil fuels	CO ₂	3,6	0,0	4,4	0,0	19,5 %
-/-	1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		N ₂ O	2,8	0,0	10,3	0,0	268,5 %
-/-	1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		CH ₄	0,7	0,0	2,4	0,0	268,5 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS	NS	CS
CH ₄	CS	NS	CS
N ₂ O	CS	NS	CS
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂		IE	

Die Kategorie *Zellstoff und Papier* ist keine Hauptkategorie.

3.2.9.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.d)

Der Energieverbrauch für die Herstellung von Zellstoff, und Papier, kurz in der Zellstoff- und Papierindustrie, kann nur für Ersatzbrennstoffe abgebildet werden, wobei diese in großem Umfang eingesetzt werden.

Emissionen aus dem Einsatz von Regelbrennstoffen in Prozessfeuerungen sowie Emissionen der Eigenstromerzeuger sind nicht gesondert ausgewiesen, sondern werden unter 1.A.2.g Sonstige zusammengefasst berichtet.

3.2.9.4.2 Methodische Aspekte (1.A.2.d)

Die in der Papierindustrie eingesetzten Ersatzbrennstoffe werden nur teilweise in der Energiebilanz abgebildet. Dies sind Abfälle aus dem eigenen Produktionsbereich. Die Arten und Mengen der eingesetzten Stoffe wurden vom Verband Deutscher Papierfabriken (VDP) zur Verfügung gestellt. Der überwiegende Teil der im Sektor eingesetzten Ersatzbrennstoffe besteht aus Holz- und Zellstofffasern und damit aus Biomasse. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Zander and Merten (2006), FKZ 204 42 203/02) wurden für Brennstoffe die biogenen und fossilen Anteile hergeleitet. Ebenso wurden CO₂-Emissionsfaktoren auf der Basis von Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten abgeleitet.

Die Daten der amtlichen Statistik zum Einsatz der Regelbrennstoffe in der Papierindustrie wurden einer Prüfung unterzogen.

Der Quelle für die Brennstoffeinsätze ist in der Statistik des produzierenden Gewerbes (Statistik 060 – Energieverwendung des produzierenden Gewerbes; Statistisches Bundesamt (2020b) nach neuer Wirtschaftszweigsystematik (WZ 2008 neu), die Wirtschaftszweignummer 17 „Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus“ zuzuordnen.

Zurzeit ist die eindeutige Zuordnung der Quelle für eine Zeitreihe entsprechend der alten Wirtschaftszweignummer (WZ 2003) nicht möglich. Der WZ 17 der neuen Wirtschaftszweigsystematik 2008 stehen Anteile der WZ 17,21,22 und 36 der abgelösten Wirtschaftszweigsystematik 2003 gegenüber.

Zur Sicherung der Geheimhaltung der Einzel - Brennstoffeinsätze ist eine disaggregierte Ausweisung zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich. Gleiches gilt die Statistik 067 (Statistisches Bundesamt, 2020c), welche für die Abgrenzungen zur Strom- und Wärmeerzeugung herangezogen wird.

3.2.9.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.d)

Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurden für die die Ersatzbrennstoffe die Unsicherheiten der hergeleiteten CO₂-Emissionsfaktoren nach der Monte-Carlo-Methode bestimmt (Zander and Merten (2006), FKZ 204 42 203/02). Dabei wurden die Angaben zu C-Gehalt, Wassergehalt und Heizwert berücksichtigt. Diesen Angaben liegen Schätzungen mit Schwankungen und wenige Mess- oder Analyseergebnisse zugrunde und führen zu einer großen Bandbreite. CO₂-Emissionsfaktoren für Sekundärbrennstoffe gelten inklusive der Unsicherheitenangabe für die gesamte Zeitreihe, weil keine Erkenntnisse zu Trends vorliegen. Die Zeitreihen sind somit konsistent.

3.2.9.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.d)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die statistische Erfassung des Einsatzes sekundärer Brennstoffe hat in der Papierindustrie eine lange Tradition. Die Daten werden jährlich in einem Leistungsbericht veröffentlicht. Trotz kleinerer Strukturbrüche in den dort ausgewiesenen Zeitreihen spiegeln die dort bereitgestellten Daten die fortschreitende Substitution von Regel- durch Ersatzbrennstoffe in der Papierindustrie gut wider.

3.2.9.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.d)

Es waren keine Rückrechnungen nötig.

3.2.9.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.d)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.9.5 Verarbeitendes Gewerbe – Zuckerherstellung (1.A.2.e)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990- 2019
-/T	1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	fossil fuels	CO ₂	2.015,9	0,2	259,9	0,0	-87,1 %
-/-	1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		N ₂ O	24,6	0,0	2,4	0,0	-90,4 %
-/-	1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		CH ₄	4,5	0,0	0,2	0,0	-95,7 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS	NS	CS
CH ₄	CS	NS	CS
N ₂ O	CS	NS	CS
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS	NS	CS

Die Kategorie *Zuckerherstellung* ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach dem Trend (siehe Tabelle 6). Aufgrund der seit 1990 stark fallenden Emissionen (-89,6 %) und des dadurch erreichten sehr geringen Emissionsniveaus hat die Nationale Koordinierungsstelle aus Gründen der Ressourcenpriorisierung entschieden, die für Hauptkategorien vorgesehenen höheren Ansprüche an die Methodik für diese Kategorie nicht umzusetzen.

3.2.9.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.e)

In dieser Kategorie sind nur Prozessfeuerungen der Zuckerindustrie erfasst. Eigenstromerzeuger sind nicht gesondert ausgewiesen, sondern werden unter 1.A.2.g „Sonstige“ berichtet.

3.2.9.5.2 Methodische Aspekte (1.A.2.e)

Um die Berechnungsalgorithmen für die Aktivitätsdaten in der Bilanz der Emissionsursachen (BEU) homogener, konsistenter und transparenter darzustellen erfolgte eine Überarbeitung. Im Ergebnis dieser Überarbeitung wurde ermittelt, dass die Statistiken 060 (Statistisches Bundesamt, 2020b) und 067 (Statistisches Bundesamt, 2020c) alle Brennstoffe für die Berechnung der Aktivitätsraten ausweisen und als Datenquelle verwendet werden.

Im Endbericht zum Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Jührich & Wachsmann, 2007) werden die Berechnungsalgorithmen und Sonderauswertungen zum Brennstoffeinsatz ausführlich beschrieben.

3.2.9.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.e)

Erstmals für 2004 wurden für alle Aktivitätsraten Unsicherheiten bestimmt. Die Methode ist im Anhangkapitel 13.6 des NIR 2007 erläutert.

3.2.9.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.e)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe CRF 1.A.1.a (Kapitel 3.2.6.4).

3.2.9.5.5 **Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.e)**Tabelle 37: **Rückrechnungen in CRF 1.A.2.e**

Einheit [kt] Jahr	NIR 2020 gesamt	NIR 2021 gesamt	Abweichung absolut				Abweichung relativ gesamt
			gas	liquid	solid	gesamt	
2018	239	263	9	9	5	23	9,80%

Für das Jahr 2018 wurden die vorläufigen Daten durch die nun vorliegende endgültige Energiebilanz ersetzt. Dadurch wurden Rückrechnungen für fast alle Energieträger notwendig.

3.2.9.5.6 **Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.e)**

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

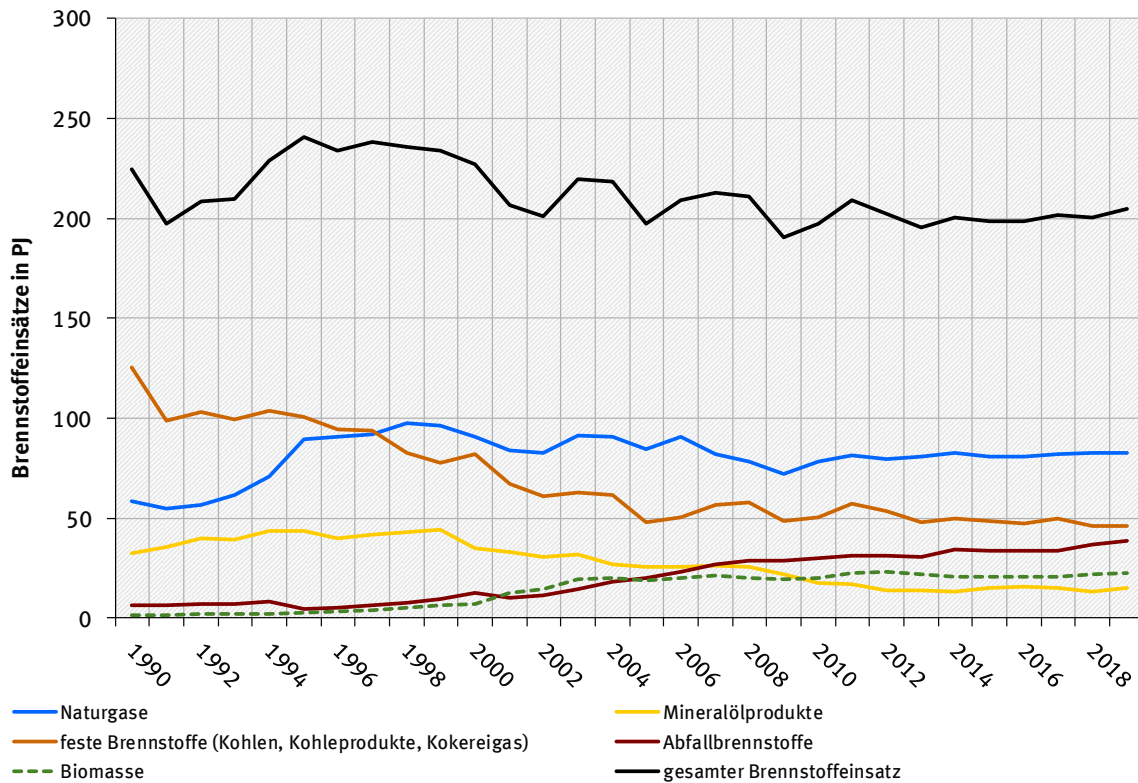
3.2.9.6 **Verarbeitendes Gewerbe – Mineralische Industrie (1.A.2.f)**

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990- 2019
L/T	1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	fossil fuels	CO2	18.507,4	1,4	13.286,4	1,7	-28,2 %
-/-	1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		N2O	205,3	0,0	122,4	0,0	-40,4 %
-/-	1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		CH4	50,3	0,0	15,6	0,0	-69,0 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS	NS	CS
CH ₄	CS	NS	CS
N ₂ O	CS	NS	CS
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS/IE	NS/IE	CS/IE

Die Kategorie *Verarbeitendes Gewerbe* - Mineralische Industrie über alle weiteren Subkategorien ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und Trend.

Im Inventar werden im Wesentlichen die Kategorien separat ausgewiesen, in denen Feuerungsanlagen mit einem spezifischen Emissionsverhalten, sogenannte Prozessfeuerungen, zum Einsatz kommen. Deshalb werden die Subkategorien 1.A.2.f Zement (Strukturelement „Herstellung von Zementklinker (Prozessfeuerung)“), 1.A.2.f Keramik (Strukturelement „Herstellung von keramischen Erzeugnissen (Prozessfeuerung)“), 1.A.2.f Glas (Strukturelement „Herstellung von Glas (Prozessfeuerung)“), 1.A.2.f Kalk (Strukturelement „Herstellung von Kalk (Prozessfeuerung)“) einzeln ausgewiesen.

Abbildung 26: Entwicklung der Brennstoffeinsätze der Kategorie 1.A.2.f Non-Metallic Minerals

Im Bereich der Mineralischen Industrie können zwei Brennstoffwechsel beobachtet werden.

So verdrängen Mitte der Neunziger Jahre gasförmige Brennstoffe zunehmend die festen Brennstoffe. Beide Brennstoffgruppen dominieren diese Quellgruppe aktuell.

In den 2000er Jahren werden die flüssigen Brennstoffe (Mineralölprodukte) überwiegend ersetzt, zuerst durch die Abfälle und Sekundärbrennstoffe und dann durch Biomasse.

Der stetige Anstieg des Einsatzes der Sekundärbrennstoffe seit 2017 ist Treiber für den Anstieg des Gesamtbrennstoffeinsatzes. Naturgas, feste Brennstoffe, Mineralöle und Biomasse verharren auf dem Vorjahresniveau.

3.2.9.6.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.f, Mineralische Industrie)

In dieser Kategorie werden die Prozessfeuerungen des Brennens von Zementklinker ausgewiesen. Der letzte Schritt der Zementherstellung, d.h. der Mahl- und Mischvorgang, ist nicht enthalten, sondern als stromintensiver Prozess über die Strombereitstellung (1.A.1) abgedeckt. Weiterhin werden die Prozessfeuerungen der Ziegelindustrie sowie sonstiger Baukeramik berichtet. Für die Glasindustrie umfassen die Prozessfeuerungen die Herstellung von Flachglas, Hohlglas, die Herstellung von Glasfasern, die Veredlung und Verarbeitung von Flachglas sowie die Herstellung und Veredlung von sonstigem Glas und technischen Glaswaren. Außerdem werden die Prozessfeuerungen bei der Herstellung von Kalk berücksichtigt. Eine gegebenenfalls stattfindende Eigenstromerzeugung wird nicht gesondert ausgewiesen, sondern ist 1.A.2.gviii „Sonstige“ enthalten.

3.2.9.6.1 Methodische Aspekte (1.A.2.f, Mineralische Industrie)

Die Brennstoffeinsätze von konventionellen Brennstoffen sind in der BEU enthalten. Die Quelle für die Brennstoffeinsätze der energiebedingten Prozessfeuerungen ist die Statistik des produzierenden Gewerbes. Dabei sind folgende WZ Nummern relevant: Melde-Nr. 26.51 (WZ 2003 alt) → 23.51 (WZ 2008 neu), Herstellung von Zement, Melde-Nr. 26.40 (WZ 2003 alt) →

23.32 (WZ 2008 neu), Ziegelei, Herstellung von sonstiger Baukeramik, Melde-Nr. 26.1 (WZ 2003 alt) → 23.1 (WZ 2008 neu), Herstellung von Glas und Glaswaren sowie die Melde-Nr. 26.52 (WZ 2003 alt) → 23.52 (WZ 2008 neu), Herstellung von Kalk. Eine Trennung zwischen Kalk und Gips ist auf Grund der Änderung der Meldenummern nicht mehr möglich und erfolgt mit Hilfe eines Splitfaktors, der auf Basis alter Einzelstatistiken ermittelt wurde. Für Abgrenzungen zur Strom- und Wärmeerzeugung die Statistik 067 (Statistisches Bundesamt, 2020c).

Ab 2002 liegen für die Statistik 067 (ebd.) die Daten nur im dreistelligen Meldenummernbereich vor. Das heißt, es können nur Daten für die Meldenummer 26.5 (WZ 2003 alt) → 23.5 (WZ 2008 neu) (Herstellung von Zement, Kalk und gebrannten Gips) als Datengrundlage verwendet werden.

Im Endbericht zum Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Jührich & Wachsmann, 2007) und im NIR 2013 3.2.9.7 bis 3.2.9.10 werden die Berechnungsalgorithmen ausführlich beschrieben.

Die Brennstoffeinsätze für die Neuen Bundesländer 1990 wurden mittels des spezifischen Brennstoffverbrauchs des Jahres 1989 und der Produktion des Jahres 1990 errechnet.

In der Zementindustrie werden in nennenswertem Umfang Ersatzbrennstoffe eingesetzt, die nicht in nationalen Statistiken und der Energiebilanz berücksichtigt sind. Als Quelle für die Produktionsangaben und Brennstoffeinsätze werden Angaben der jeweiligen Industrieverbände genutzt. Das Verfahren für die Zusammenstellung der Aktivitätsdaten mit Raumbezug alte und neue Bundesländer ab 1990 sowie Deutschland ab 1995 ist im Endbericht zum Forschungsvorhaben Einsatz von Sekundärbrennstoffen dokumentiert (Lechtenböhrer et al. (2006c), FKZ 204 42 203/02). In einem ersten Schritt wurden IPCC-gemäß die Brennstoffeinsätze den Gruppen Biomasse oder sonstige Brennstoffe (Abfälle) zugeordnet. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ wurden biogene Anteile von Brennstoffen hergeleitet und über Splitfaktoren in die Berechnung eingespeist. Im gleichen Vorhaben wurden für Ersatzbrennstoffe CO₂-Emissionsfaktoren auf der Basis von Angaben zu Kohlenstoffgehalten, Wassergehalten und Heizwerten abgeleitet (Lechtenböhrer et al., 2006c).

3.2.9.6.2 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.f, Mineralische Industrie)

Unsicherheiten wurden in 2004 für alle Brennstoffe und für die o.g. Ersatzbrennstoffe hinsichtlich der kompletten Zeitreihe bestimmt. Die Methoden sind im Anhang 13.6 des NIR 2007 und im Endbericht des Forschungsprojekts (Lechtenböhrer et al., 2006c) erläutert.

Sie wurden für die Aktivitätsraten im Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Jührich & Wachsmann, 2007) aktualisiert und im Endbericht dokumentiert.

Die Aktivitätsraten der neuen Bundesländer für das Basisjahr und die Folgejahre 1991-1994 wurden entsprechend den Erkenntnissen aus dem Forschungsprojekt (Zander and Merten (2006): FKZ 205 41 115 / Teilvorhaben A „Überarbeitung und Dokumentation der Brennstoffeinsätze für stationäre Feuerungsanlagen in den neuen Bundesländern für das Jahr 1990“) angepasst.

3.2.9.6.3 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.f, Mineralische Industrie)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe CRF 1.A.1.a (Kapitel 3.2.6.4).

3.2.9.6.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.f Mineralische Industrie)**Tabelle 38: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.f**

Einheit [kt] Jahr	NIR 2019 gesamt	NIR 2020 gesamt	Abweichung absolut					Abweichung relativ gesamt
			gas	liquid	other	solid	gesamt	
2018	15.337	13.020	35	-330	0	-390	-2.318	-15,11%

Im Jahr 2018 kommt es zu Rückrechnungen bei allen konventionellen Energieträgern, da die vorläufigen Werte durch endgültige Energiebilanzwerte ersetzt wurden.

3.2.9.6.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.f, Mineralische Industrie)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.9.7 Verarbeitendes Gewerbe - Weitere Energieerzeugung (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990- 2019
L/T	1 A 2 g, Other	fossil fuels	CO ₂	127.739,5	10,0	73.409,6	9,3	-42,5 %
-/-	1 A 2 g, Other		N ₂ O	945,4	0,1	575,8	0,1	-39,1 %
-/-	1 A 2 g, Other		CH ₄	132,4	0,0	207,4	0,0	56,7 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS	NS	CS
CH ₄	CS	NS	CS
N ₂ O	CS	NS	CS
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS	NS	CS

Die Einordnung in die Hauptkategorien erfolgt für die Kategorien 1.A.2.g für stationäre & mobile Quellen gemeinsam. Demnach ist die Kategorie *1.A.2.g Verarbeitendes Gewerbe - Weitere Energieerzeugung* für CO₂ eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Diese Subkategorie ist wegen ihrer Eigenschaft als Auffangposition für nicht branchenscharf disaggregierbare Brennstoffeinsätze besonders bedeutsam und trägt substantziell zu den CO₂-Emissionen des gesamten Energiesektors bei.

3.2.9.7.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

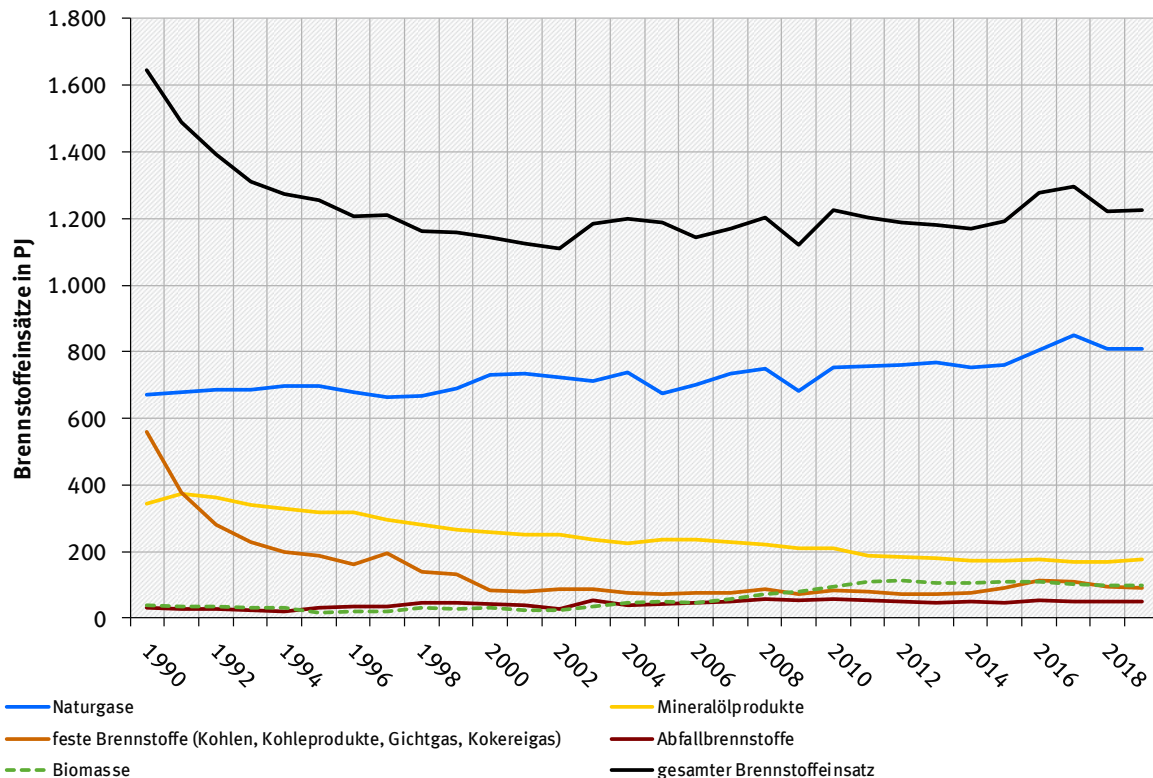
In dieser Subkategorie werden alle Emissionen berichtet, für die sich die Energieeinsätze nicht entsprechend der Gliederung für 1.A.2 disaggregieren lassen. Diese Subkategorie ist für ca. 70 % der gesamten CO₂-Emissionen der Kategorie 1.A.2 verantwortlich.

In dieser Subkategorie ist die gesamte Strom- und Wärmeerzeugung in Industriekraftwerken und Kesseln aufgeführt, weil sich diese Anlagenarten aufgrund ihres Emissionsverhaltens zusammenfassen lassen. Da in der chemischen Industrie im Wesentlichen KWK-Anlagen und Kessel zu Einsatz kommen, werden die Emissionen aus der Kategorie 1.A.2.c mit in der Subkategorie 1.A.2.gviii „Sonstige“ berichtet. Eine weitere Aufteilung der Industriekraftwerke und Kessel in die vorgesehenen Subkategorien wäre nicht mit einer Verbesserung der Daten verbunden, da das Emissionsverhalten der Anlagen nicht vom Industriezweig abhängt. Vor allem die Erstellung von Zeitreihen ist mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, da im Jahr 1990 Deutschland noch aus zwei Ländern bestand. Von daher gab es auch zwei verschiedene statistische Systeme, die in einer Übergangszeit bis 1994 zusammengeführt wurden. Es wurden große Anstrengungen unternommen, um für das Basisjahr 1990 die geforderte Dokumentation und Datenqualität bereitzustellen. Weiterhin wurde mit der Novellierung des

Energiestatistikgesetzes im Jahr 2003 die Datenerhebung, vor allem für KWK-Anlagen deutlich verbessert. Eine rückwirkende Erhebung dieser Daten von 2002 – 1990 ist nicht möglich. Die Zeitreihenkonsistenz konnte auf aggregierter Ebene weitgehend sichergestellt werden. Eine weitere Disaggregation würde aber zu Brüchen in den Zeitreihen führen, weil die Daten nicht durchgängig disaggregiert vorliegen und eine systematische Zuordnung ebenfalls nicht möglich ist. Dennoch wurde die Möglichkeit einer weiteren Disaggregation umfangreich geprüft, bisher jedoch ohne erfolgreichen Lösungsansatz. Hinzu kommt, dass viele Energiedaten in Deutschland der Geheimhaltung unterliegen, so dass zur Wahrung der Geheimhaltung oft eine Aggregation zwingend erforderlich ist. In einigen bisher einzeln ausgewiesenen Branchen müssen einzelne Brennstoffe aufgrund der Geheimhaltung zusammengefasst und unter der Kategorie 1.A.2.gviii „Sonstige“ berichtet werden. Das führt ebenfalls zu einer deutlichen Verringerung der Aussagekraft der Daten in den einzelnen Sektoren. Die Novellierung des Energiestatistikgesetzes aus März 2017 führte zu keiner Verbesserung hinsichtlich der Disaggregationsmöglichkeiten der Industriekraftwerke und Kessel.

Letztlich ist die Grenze zwischen den einzelnen Industriesektoren und der öffentlichen Versorgung nicht eindeutig zu ziehen. Der in den IPCC Guidelines beschriebene Begriff „autoproducer“ ist in der Realität in dieser reinen Form kaum zu finden. Die Strom- und Wärmeversorgung ist in den einzelnen Unternehmen unterschiedlich geregelt. Einige Unternehmen betreiben eigene Kraftwerke, die häufig auch Strom in das öffentliche Netz einspeisen. Andere Betriebe beziehen Strom oder auch Wärme aus dem öffentlichen Netz. Im Zuge der Liberalisierung des Energiemarktes kommt es zu häufigen strukturellen Änderungen. Da die Nationale Statistik die Grundlage für die Inventarerstellung bildet, wird die in der Statistik vorgenommene Zuordnung der Anlagen übernommen. Diese Zuordnung ist weder konstant über die Zeitreihe noch durchgehend konsistent mit den Angaben im Emissionshandel und kann daher in den bestehenden Datensätzen nicht harmonisiert werden.

Eine internationale Vergleichbarkeit jener Subkategorien, in denen hauptsächlich Industriekraftwerke zum Einsatz kommen ist nicht möglich, da sich die Versorgungsstrukturen deutlich unterscheiden.

Abbildung 27: Entwicklung der Brennstoffeinsätze der Kategorie 1.A.2.g viii Sonstige

Die Kategorie weist einen deutlichen Wechsel im Brennstoffeinsatz aus.

Besonders auffällig ist der Rückgang des Einsatzes an festen Brennstoffen bis 2014, vor allem durch einen deutlich geringeren Einsatz von Braunkohle. Von 2014 bis 2016 stiegen die festen Brennstoffe wieder leicht an um dann auf dem erreichten Niveau zu verharren.. Zudem erhöht sich der Einsatz von Biomasse und Ersatzbrennstoffen (Abfall), sodass der Brennstoffeinsatz insgesamt wieder steigt. Da der Einsatz der Naturgase die Kategorie dominiert, folgt der Gesamtenergieeinsatz dem Trend des Gaseinsatzes. Hier ist für 2017 ein stärkerer Anstieg des Einsatzes zu verzeichnen, der preisgetrieben war. Ab 2018 ist eine Konsolidierung des Gaseinsatzes auf leicht gestiegenen Einsatz gegenüber dem Trend 2014 bis 2016 zu beobachten. Im Bereich der Biomasse ist ein statistischer Bruch zu verzeichnen. Vor Einführung des Energiestatistikgesetzes wurde der Biomasseeinsatz zur Energieerzeugung statistisch nicht bzw. nur teilweise erfasst. Der Anteil der Biomasse steigt über die Jahre an.

3.2.9.7.2 Methodische Aspekte (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

Die Brennstoffeinsätze zur Stromerzeugung in Industriekraftwerken sind in der Energiebilanzzeile 12 enthalten. Nach Abzug der Brennstoffeinsätze für Raffineriekraftwerke, Grubenkraftwerke, der Kraftwerke des Steinkohlenbergbaus und bis 1999 der Kraftwerke der Deutschen Bahn bleiben als Differenzbetrag die Aktivitätsdaten in den übrigen Industriekraftwerken, die sich zur Zeit nicht weiter untergliedern lassen.

Für die Zuordnung der Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung in Industriekraftwerken und Kesseln werden zusätzliche Daten vom Statistischen Bundesamt benötigt. Aus den Statistiken lassen sich die Brennstoffeinsätze zur KWK-Wärmeerzeugung ermitteln. Die Aktivitätsdaten für die Kessel werden als Differenzbetrag errechnet.

Sowohl für die Stromerzeugung als auch für die Wärmeerzeugung erfolgt eine Aufteilung in Dampfturbinen, Gasturbinen, GuD-Anlagen und Gasmotoren, da sich vor allem die

Methanemissionen dieser Verbrennungstechniken unterscheiden. Diese Aufteilung wurde in der Submission 2015 grundlegend überarbeitet und ist unter 1.A.1.a beschrieben.

Eine ausführliche Beschreibung der Berechnungsalgorithmen, die für das Berichtsjahr 2008 grundlegend überarbeitet wurden, liegt im Endbericht zum Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Juhrich & Wachsmann, 2007) vor.

Die neue Datenquelle BGS-Bogen ermöglichte für die Eisenschaffende Industrie die Ausweisung an Gichtgas zur Energieerzeugung im Bereich der Frischdampfkessel.

Die in der Energiebilanzzeile 54 (Metallerzeugung) ausgewiesene Gesamtenergiemenge für die Verwendung von Gichtgas unterschätzt in einigen Jahren in Summe die Einsatzmenge an Gichtgas entsprechend BGS-Bogen. In diesen Fällen werden die Daten der Energiebilanz durch Daten aus dem BGS-Bogen ergänzt.

Emissionsfaktoren

Eine Liste der verwendeten CO₂-Emissionsfaktoren sowie eine methodische Beschreibung ist im Anhang, Kapitel 18.8 verfügbar.

Alle anderen Emissionsfaktoren für Treibhausgase und Vorläufersubstanzen für Kraftwerke und sonstige Kesselfeuerungen zur Dampf-, Heiß- und Warmwasserbereitstellung in der Kategorie 1.A.2.gviii / all other sind Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) entnommen. Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise ist dem Kapitel 3.2.6.2 in Verbindung mit dem Kapitel 19.1.2.1 im Anhang 3 zu entnehmen. Die Forschungsvorhaben unterscheiden innerhalb des Sektors nach Kraftwerken der Deutschen Bahn AG, den übrigen Industriekraftwerken sowie den sonstigen Kesselfeuerungen zur Dampf-, Heiß- und Warmwasserbereitstellung.

3.2.9.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

Aktivitätsraten

Die Unsicherheiten wurden erstmals für das Jahr 2004 bestimmt. Die Methode ist im Anhang-Kapitel 13.6 des NIR 2007 zu finden.

Sie wurden für die Aktivitätsraten im Forschungsvorhaben „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Juhrich & Wachsmann, 2007) aktualisiert und im Endbericht dokumentiert.

Emissionsfaktoren

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Unsicherheiten ist in dem Kapitel 3.2.6.3.1 beschrieben.

Ergebnis für N₂O: Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3.2 gelten entsprechend.

Ergebnis für CH₄: Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.3.3 gelten entsprechend.

Die Ergebnisse der Ermittlung der Zeitreihenkonsistenz des Kapitels 3.2.6.3.4 gelten entsprechend.

3.2.9.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe CRF 1.A.1.a (Kapitel 3.2.6.4).

Aktivitätsraten

Die Qualität der Daten wurde bei der Bearbeitung des Forschungsvorhabens „Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsraten“ (Jührich & Wachsmann, 2007) überprüft und durch die Verwendung von Statistiken des Statistischen Bundesamtes als Datengrundlage verbessert. Andere, langfristig verfügbare Datenquellen konnten nicht identifiziert werden.

Emissionsfaktoren

Die Ergebnisse der generellen Vorgehensweise bei der quellspezifischen Qualitätssicherung / -kontrolle und Verifizierung des Kapitels 3.2.6.2 gelten entsprechend.

3.2.9.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

Tabelle 39: Rückrechnungen in CRF 1.A.2.gviii

Einheit [kt] Jahr	NIR 2020 gesamt	NIR 2021 gesamt	Abweichung absolut					Abweichung relativ gesamt
			gas	liquid	other	solid	gesamt	
2017	74.611	74.274	-89	-248	0	0	-337	-0,45%
2018	73.700	69.774	-2.379	-182	-4	-1.360	-3.926	-5,33%

Nach dem Vorliegen der endgültigen Energiebilanz wurden die vorläufigen Werte für das Jahr 2018 durch aktuelle Werte ersetzt. Dadurch kommt es bei allen Brennstoffen zu Rückrechnungen. Weiterhin führen zwei Fehlerkorrekturen zu Rückrechnungen bei den gasförmigen und flüssigen Brennstoffen für das Jahr 2017.

3.2.9.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.g, Sonstige, stationär)

Aktivitätsraten:

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Emissionsfaktoren:

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.9.8 Bauwirtschaftlicher Verkehr (1.A.2.g vii)

3.2.9.8.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.2.g vii)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 1 ^a , CS	NS/M	CS, D ^a
CH ₄	CS (Tier 2)	NS/M	CS (M)
N ₂ O	CS (Tier 2)	NS/M	CS (M)
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS (Tier 2)	NS/M	CS (M)

^a Biodiesel: gemäß (IPCC (2006): Band 2, Tab. 2.4)

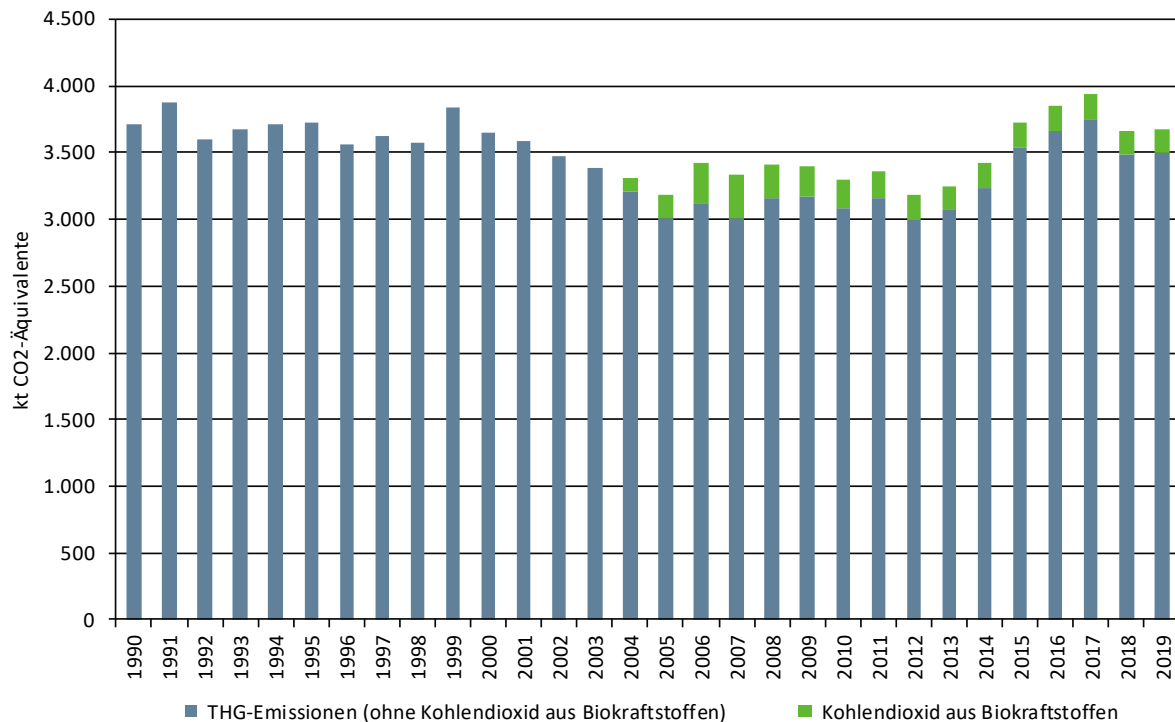
Die Einordnung in die Hauptkategorien erfolgt für die Kategorien 1.A.2.g für stationäre & mobile Quellen gemeinsam. (Übersicht siehe Kapitel 3.2.9.7.). Demnach ist die Kategorie 1.A.2.g vii – *Übrige: Offroad-Fahrzeuge und sonstige Maschinen*, in der die Emissionen des bauwirtschaftlichen Verkehrs berücksichtigt sind, für CO₂ eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

3.2.9.8.2 Methodische Aspekte (1.A.2.g vii)

Die Emissionen werden gemäß IPCC 2006 Guidelines (IPCC (2006): Seite 3.33; Gleichung 3.3.2) als Tier 2-Produkt aus verbrauchten Kraftstoffen und technikspezifischen Emissionsfaktoren berechnet.

Die CO₂-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe werden mit dieser Berichterstattung erstmals separat ausgewiesen und den nationalen Gesamtemissionen zugeordnet (s. Erläuterungen in Kapitel 19.1.5).

Abbildung 28: Entwicklung der THG-Emissionen aus Fahrzeugen und mobilen Maschinen der Bauwirtschaft seit 1990



Die **Aktivitätsraten** für fossile Diesel- und Ottokraftstoffe werden, nach Abzug der Energieeinsätze des militärischen Verkehrs, aus den Angaben der Energiebilanzzeilen 79 (bis 1994) bzw. 67 „Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“ berechnet. Da für die Jahre 2005 bis 2009 für den Einsatz von Diesel- und Ottokraftstoffen in den einzelnen Verkehrsträgern (siehe nachfolgende Kapitel zu Straßen- und Schienenverkehr) Angaben des MWV verwendet werden, werden – um die nötige Konsistenz mit den Gesamtmengen gemäß NEB herzustellen – die für diese fünf Jahre zugrunde gelegten Primärdaten in TREMOD berechnet. Der Einsatz von Biokraftstoffen wird, anhand der offiziellen Beimengungsraten, ebenfalls rechnerisch ermittelt.

Zur weiteren Aufteilung der Kraftstoffmengen auf mobile Quellen in Bauwirtschaft, Handel & Gewerbe (1.A.4.a ii) sowie Land- und Forstwirtschaft (1.A.4.c ii) werden dabei in TREMOD-MM (Transport Emission Model-Mobile Machinery) modellierte, jährlich schwankende Splitfaktoren herangezogen (Knörr et al., 2020b)

Die **Emissionsfaktoren** stützen sich auf Ergebnisse verschiedener Forschungsprojekte und Expertenbetrachtungen des UBA.

Hinsichtlich Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen. Es kommen sowohl landesspezifische als auch Default-Werte (Biodiesel) zum Einsatz. Weiterführende Informationen speziell zur Schmierstoffmitverbrennung finden sich in Kapitel 19.1.4.

Für Methan und Lachgas kommen landesspezifische Werte aus Knörr et al. (2020b) zum Einsatz. Ihre Entwicklung spiegelt die seit Mitte der Neunziger Jahre schrittweise eingeführten Grenzwerte für die Abgasemissionen von bauwirtschaftlichen Maschinen wider.

Bezüglich der Freisetzung dieser beiden Treibhausgase aus der Schmierstoff-Mitverbrennung wird davon ausgegangen, dass diese bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe berücksichtigt und daher als IE (*included elsewhere*) zu berichten ist.

Tabelle 40: für das Berichtsjahr 2019 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH ₄	N ₂ O	Ursprung
Diesel & Biodiesel	0,72 (4,15)	2,95 (28,60)	gemäß Knörr et al. (2020b)
Ottokraftstoff & Bioethanol	19,57 (50)	1,41 (2,00)	gemäß Knörr et al. (2020b)

in Klammern: Defaults gemäß IPCC (2006): Band 2 – Energy, Kapitel 3 – Mobile, Tab. 3.3.1: Industry

3.2.9.8.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.2.g vii)

Die von der mathematischen Unsicherheit des in TREMOD MM entwickelten Verteilschlüssels (siehe oben: Methodische Aspekte) dominierten Unsicherheitenangaben der spezifischen Energieeinsätze basieren auf Expertenschätzungen. Gleiches gilt für die verwendeten Kohlendioxid-Emissionsfaktoren. Während bzgl. der Emissionsfaktoren für Methan dagegen Ergebnisse aus Knörr et al. (2009) zugrunde gelegt werden, muss bzgl. Lachgas bis auf weiteres auf Richtwerte gemäß IPCC zurückgegriffen werden.

3.2.9.8.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.2.g vii)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Zur Qualitätssicherung der Energiebilanzen liegen dem Umweltbundesamt entsprechende Qualitätsberichte der AG Energiebilanzen vor.

Tabelle 41: Übersicht relevanter Datenvergleiche

	Vergleich mit...	Erläuterung
CO ₂	alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO ₂	Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 3, Tabelle 3.3.1: Industry	siehe Tabelle 42
CH ₄ , N ₂ O	Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 3, Tab. 3.3.1: Industry	siehe Tabelle 40
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 43

Tabelle 42: Vergleich der verwendeten EF(CO₂) mit Default-Werten, in kg/TJ

	Inventarwerte ^a	Default ^b	Untergrenze	Obergrenze
Dieselmotorkraftstoff	74.027	74.100 ^c	72.600	74.800
Ottomotorkraftstoffe	75.285	69.300 ^c	67.500	73.000
Biodiesel	70.800 ^d	70.800 ^d	59.800	84.300
Bioethanol	71.607	70.800 ^d	59.800	84.300

^a für das Berichtsjahr 2019; ^b gemäß IPCC (2006): Band 2, ^c Kap. 3, Tab. 3.3.1; ^d Kap. 2, Tab. 2.4

Nachfolgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten, der sich aufgrund des heterogenen Quellgruppenzuschnitts jedoch schwierig gestaltet.

Tabelle 43: länderübergreifender Vergleich der IEF für fossile Flüssigbrennstoffe, in kg/TJ

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Deutschland	74.328	1,93	2,85
Dänemark	73.409	2,50	3,38
Frankreich			
Niederlande	72.069	1,46	0,80
Großbritannien	74.197	11,9	2,95
EU-28			

Deutschland: IEF für das Berichtsjahr 2019; alle anderen: IEF für 2018 gemäß CRF-Submission 2020

3.2.9.8.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.2.g vii)

Wie oben beschrieben, sind die Aktivitätsraten des bauwirtschaftlichen Verkehrs Teil der in EBZ 67 angegebenen Primärdaten. Für das Jahr 2017 wurden hier die in Submission 2019 noch vorläufigen Daten durch Angaben der finalen NEB 2017 ersetzt. Die anhand der offiziellen Beimengungsraten ermittelten Mengen eingesetzter Biokraftstoffe wurden entsprechend neu berechnet.

Tabelle 44: revidierte Primäraktivitätsdaten 2018, in Terajoule

	Dieselmotorkraftstoff	Ottomotorkraftstoff
Submission 2021	101.519	7.204
Submission 2020	101.246	7.204
Änderung absolut	273	0
Änderung relativ	0,27%	0,00%

Quelle: Energiebilanz für 2018 (AGEB, 2020b) und eigene Berechnungen basierend auf Knörr et al. (2020b)

Parallel dazu erfolgte eine Revision der offiziellen Beimengungsraten für Biodiesel, die in teils deutlich erhöhten Biodiesel-Mengen resultiert.

Tabelle 45: revidierte Primäraktivitätsdaten für Biodiesel, in Terajoule

	2004	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Submission 2021	2.962	5.460	6.863	6.375	6.355	5.538	5.986	5.575	5.614	5.806	5.901
Submission 2020	748	1.866	5.806	5.989	5.880	5.408	5.906	5.509	5.562	5.768	5.525
Änderung absolut	2.214	3.594	1.057	386	475	130	80	65	52	38	376
Änderung relativ	296%	193%	18,2%	6,45%	8,08%	2,40%	1,35%	1,18%	0,93%	0,66%	6,81%

Innerhalb TREMOD MM erfolgte zudem eine Revision des für die Aufteilung der Primärdaten verwendeten Verteilschlüssels.

Tabelle 46: revidierte Aktivitätsdaten, in Terajoule

	1990	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Dieselmotorkraftstoffe												
Submission 2021	43,0	47,0	43,7	43,1	43,4	43,7	43,2	43,5	43,1	43,0	42,9	42,6
Submission 2020	42,3	44,5	40,2	39,4	39,7	40,0	40,1	40,3	39,8	39,7	39,6	39,4
Änderung absolut	0,69	2,51	3,56	3,69	3,71	3,73	3,11	3,26	3,31	3,29	3,32	3,14
Änderung relativ	1,64%	5,63%	8,87%	9,35%	9,35%	9,34%	7,74%	8,08%	8,31%	8,29%	8,38%	7,96%
Ottomotorkraftstoffe												
Submission 2021	31,5	55,1	58,6	64,5	64,4	66,9	67,1	66,9	66,7	68,4	68,1	64,2
Submission 2020	31,5	55,1	58,4	64,0	63,8	66,3	66,5	66,2	65,9	67,6	67,3	67,3
Änderung absolut	0,00	0,00	0,19	0,47	0,53	0,57	0,63	0,70	0,76	0,80	0,87	-3,06
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,33%	0,73%	0,83%	0,86%	0,95%	1,05%	1,15%	1,19%	1,29%	-4,55%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Knörr et al. (2020b)

Daraus resultierten folgende Veränderungen der letztlich verwendeten sektoralen Aktivitätsraten:

Tabelle 47: resultierende Revision der Aktivitätsdaten, in Terajoule

	1990	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Dieselmkraftstoff										
Submission 2021	48.078	45.337	44.668	38.427	35.814	38.154	43.686	45.281	46.495	43.089
Submission 2020	47.301	44.401	42.286	35.445	32.896	34.891	40.336	41.816	42.900	39.804
Änderung absolut	776	937	2.382	2.982	2.919	3.264	3.350	3.466	3.595	3.285
Änderung relativ	1,64%	2,11%	5,63%	8,41%	8,87%	9,35%	8,31%	8,29%	8,38%	8,25%
Ottokraftstoffe										
Submission 2021	1.420	4.453	4.079	4.403	4.272	2.799	3.326	3.406	3.394	3.123
Submission 2020	1.420	4.453	4.079	4.392	4.258	2.779	3.288	3.366	3.351	3.271
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	10,21	13,86	20,2	37,9	40,0	43,3	-149
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,23%	0,33%	0,73%	1,15%	1,19%	1,29%	-4,55%
Biodiesel										
Submission 2021	0	0	0	1.322	2.354	2.930	2.390	2.401	2.482	2.505
Submission 2020	0	0	0	305	719	2.263	2.181	2.196	2.275	2.172
Änderung absolut				1.017	1.635	667	209	204	207	333
Änderung relativ				333%	227%	29,5%	9,60%	9,31%	9,09%	15,3%
Bioethanol										
Submission 2021	0	0	0	5	29	108	144	148	142	140
Submission 2020	0	0	0	5	29	107	143	146	141	147
Änderung absolut				0,01	0,10	0,78	1,65	1,74	1,82	-6,69
Änderung relativ				0,23%	0,33%	0,73%	1,15%	1,19%	1,29%	-4,55%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Knörr et al. (2020b)

Darüber hinaus erfolgte innerhalb TREMOD MM eine Revision ausgewählter Emissionsfaktoren.

Tabelle 48: revidierte Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
EF(CH₄) Dieselmkraftstoff													
Submission 2021	4,54	3,82	3,22	2,15	1,41	1,31	1,23	1,15	1,06	0,98	0,90	0,83	0,77
Submission 2020	4,55	3,86	3,30	2,22	1,54	1,46	1,39	1,30	1,21	1,12	1,03	0,96	0,88
Änderung absolut	-0,01	-0,03	-0,07	-0,07	-0,13	-0,15	-0,16	-0,15	-0,15	-0,14	-0,13	-0,12	-0,11
Änderung relativ	-0,25%	-0,84%	-2,16%	-3,15%	-8,36%	-10,1%	-11,3%	-11,9%	-12,4%	-12,6%	-12,8%	-12,8%	-12,6%
EF(N₂O) Dieselmkraftstoff													
Submission 2021	2,826	2,885	2,93	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95
Submission 2020	2,822	2,876	2,92	2,93	2,93	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92
Änderung absolut	0,004	0,008	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Änderung relativ	0,13%	0,29%	0,59%	0,85%	1,04%	1,10%	1,15%	1,20%	1,26%	1,27%	1,28%	1,28%	1,28%

Aus den beschriebenen Korrekturen resultiert eine Rekalkulation der berichteten Emissionen.

Tabelle 49: revidierte Emissionsmengen, in kt bzw. kt CO₂-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Kohlendioxid^a													
Submission 2021	3.663	3.682	3.605	2.973	3.041	3.113	2.951	3.034	3.189	3.494	3.619	3.708	3.435
Submission 2020	3.605	3.612	3.428	2.749	2.795	2.860	2.702	2.819	2.955	3.243	3.358	3.437	3.202
Änderung absolut	57,4	69,3	176	223	246	252	248	215	235	252	260	270	233
Änderung relativ	1,59%	1,92%	5,14%	8,13%	8,79%	8,83%	9,19%	7,61%	7,94%	7,76%	7,75%	7,86%	7,28%
Methan													
Submission 2021	0,252	0,271	0,226	0,167	0,115	0,107	0,068	0,065	0,064	0,114	0,113	0,111	0,100
Submission 2020	0,249	0,269	0,221	0,159	0,114	0,108	0,069	0,067	0,067	0,115	0,115	0,112	0,105
Änderung absolut	0,003	0,002	0,005	0,008	0,001	0,000	-0,001	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	-0,005
Änderung relativ	1,20%	0,80%	2,11%	4,83%	1,03%	-0,31%	-1,71%	-3,52%	-3,62%	-1,51%	-1,48%	-1,30%	-4,71%
Lachgas													
Submission 2021	0,138	0,137	0,137	0,119	0,126	0,128	0,124	0,127	0,133	0,141	0,146	0,150	0,139
Submission 2020	0,135	0,134	0,129	0,105	0,113	0,116	0,112	0,116	0,122	0,129	0,133	0,137	0,127
Änderung absolut	0,002	0,003	0,008	0,014	0,013	0,012	0,012	0,011	0,011	0,012	0,013	0,013	0,012
Änderung relativ	1,75%	2,29%	5,98%	13,7%	11,3%	10,7%	11,1%	9,10%	9,44%	9,43%	9,41%	9,49%	9,46%
Gesamt-Treibhausgase^a													
Submission 2021	3.710	3.729	3.651	3.012	3.081	3.154	2.990	3.073	3.231	3.539	3.665	3.755	3.479
Submission 2020	3.652	3.659	3.472	2.785	2.832	2.898	2.738	2.855	2.993	3.284	3.401	3.481	3.243
Änderung absolut	58,2	70,3	179	228	250	256	252	218	238	255	264	274	237
Änderung relativ	1,59%	1,92%	5,15%	8,18%	8,81%	8,84%	9,21%	7,63%	7,95%	7,77%	7,76%	7,87%	7,30%

Quelle: eigene Berechnungen; ^a inkl. fossiles CO₂ aus der Verwendung von Biokraftstoffen

3.2.9.8.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.2.g vii)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.10 Transport (1.A.3)

3.2.10.1 Transport - Ziviler Luftverkehr (1.A.3.a)

3.2.10.1.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.a)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	1 A 3 a, Domestic Aviation	fossil fuels	CO ₂	2.412,4	0,2	2.218,1	0,3	-8,1 %
-/-	1 A 3 a, Domestic Aviation		N ₂ O	24,3	0,0	22,3	0,0	-8,5 %
-/-	1 A 3 a, Domestic Aviation		CH ₄	3,1	0,0	3,2	0,0	3,6 %

Gas	angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 1 ^a , CS (Tier 3a)	NS/IS/M	D ^a , CS ^b
CH ₄	CS (Tier 3a)	NS/IS/M	CS ^c (M)
N ₂ O	CS (Tier 3a)	NS/IS/M	CS ^c (M)
NO _x , CO	CS (Tier 3a)	NS/IS/M	CS ^c (M)
NM VOC	CS (Tier 3a)	NS/IS/M	CS ^c (M)
SO ₂	Tier 1	NS/IS/M	D

^a Flugbenzin: gemäß IPCC (2006), Kapitel 3.6 – *Civil Aviation*, Tabelle 3.6.4

^b abgeleitet aus Default von 3.150 kg/ t Kerosin gemäß IPCC et al. (1997) und spezifischem Heizwert gemäß AGEB (2020b)

^c abgeleitet aus Tier3-defaults gemäß EMEP (2016)

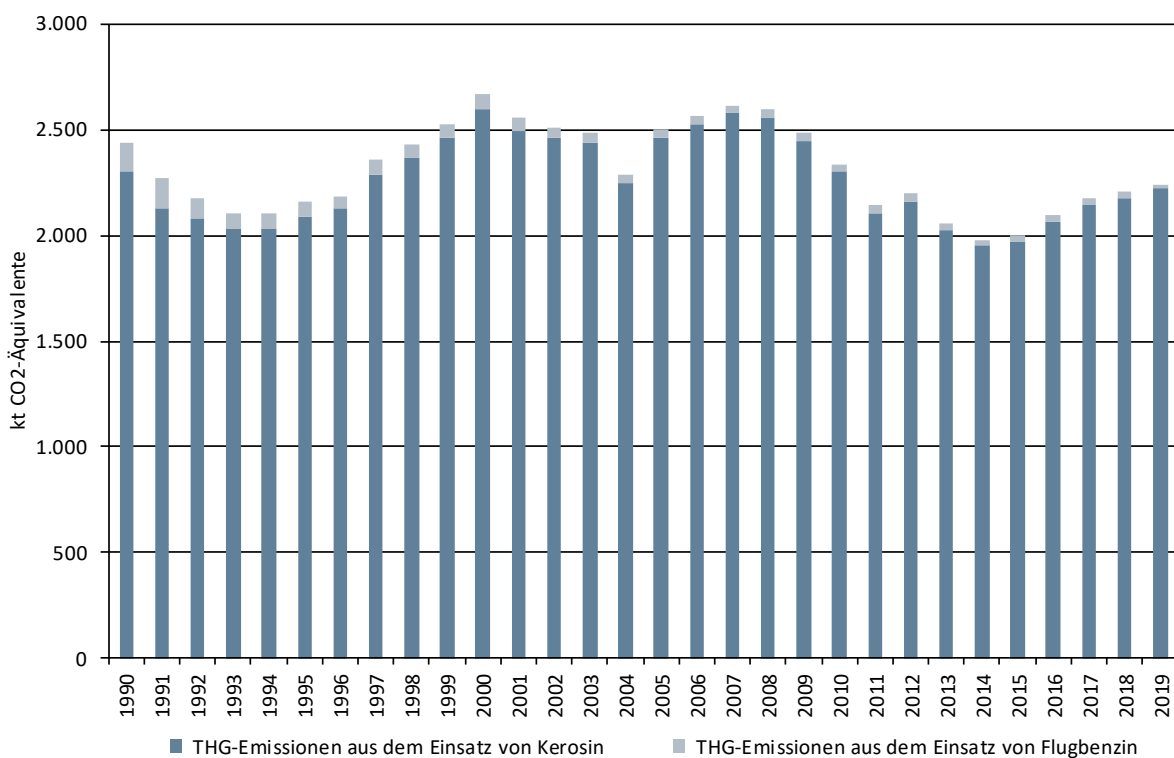
Die Kategorie *Ziviler Luftverkehr* ist für die CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Der Flugverkehr unterscheidet sich in der Entstehung seiner Emissionen in hohem Maße von den land- und wassergebundenen Verkehrsträgern: die Verbrennung der Treibstoffe findet hier

weitestgehend unter von bodengebundenen Verhältnissen verschiedenen und zudem wechselnden atmosphärischen Bedingungen statt. Wesentliche Einflussfaktoren auf den Verbrennungsprozess sind der atmosphärische Druck, die Umgebungstemperatur sowie die Luftfeuchte, also Faktoren, die mit der Flughöhe erheblich variieren.

In der Debatte um die Klimawirksamkeit und die durch Luftschadstoffemissionen hervorgerufenen Umweltauswirkungen des Flugverkehrs werden neben Kohlendioxid hauptsächlich Wasserdampf sowie Stickstoffoxide und nachrangig Kohlenwasserstoffe, Partikel, Kohlenmonoxid und Schwefeldioxid wahrgenommen. Im Rahmen der nationalen Emissionsberichterstattung werden allerdings auch Angaben für weitere Emissionen gefordert. Die folgenden Ausführungen beziehen sich daher auf die Emissionen von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O, Lachgas), Stickstoffoxide (NO_x, d.h. NO und NO₂), Kohlenmonoxid (CO), flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC) sowie Schwefeldioxid (SO₂).

Abbildung 29: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des nationalen zivilen Flugverkehrs seit 1990



3.2.10.1.2 Methodische Aspekte (1.A.3.a)

Die Berechnung der Luftverkehrsemissionen erfolgt nach Tier3a, also unter Berücksichtigung der von einzelnen Flugzeugtypen jährlich geflogenen Strecken, getrennt nach nationalen und internationalen Flügen und unter Berücksichtigung der Flugbetriebszustände LTO (Landing/Take-off-Zyklus, d.h. Flugbewegungen bis 3.000 Fuß bzw. ca. 915 m) und Cruise (Reiseflug oberhalb 3.000 Fuß).

Grundsätzlich basiert die Ermittlung der Emissionen auf den Verbrauchsdaten der Energiebilanz für Kerosin und Flugbenzin (AGEB, 2020a). Für Jahre, für die noch keine oder nur eine vorläufige Energiebilanz vorliegt, werden die Absatzzahlen des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA, 2020) verwendet. Entscheidend für die Berichterstattung ist die Aufteilung in innerdeutschen und internationalen Flugverkehr, die innerhalb des Modells

TREMOD AV (TREMOD Aviation) (Knörr et al., 2015) erfolgt. Die dazu notwendigen Bewegungsdaten werden vom Statistischen Bundesamt erfasst.

Für die Berichterstattung werden die Emissionen durch die Multiplikation des Treibstoffverbrauchs der jeweiligen Flugphase mit spezifischen Emissionsfaktoren ermittelt. CO₂- und SO₂-Emissionen beruhen unabhängig von der verwendeten Methode allein auf der Menge bzw. den Eigenschaften des eingesetzten Treibstoffs. Emissionen von NMVOC, CH₄, CO, NO_x und N₂O hingegen sind abhängig von Motoren, Flughöhen, Flugphasen u.a. und werden mit einem höherem Tier-Ansatz genauer beschrieben. Die Emissionsfaktoren für NO_x und CO werden deshalb aus den TREMOD-Berechnungen übernommen.

Von diesem Ansatz abweichend werden die durch den Einsatz von Flugbenzin verursachten Emissionen, wie in (IPCC (2006): Band 2, Kap. 3: Mobile Combustion) vorgeschlagen, mit angepassten Emissionsfaktoren und Heizwerten separat nach Tier 1 berechnet. Eine Aufteilung in einen nationalen und internationalen Anteil ist hier, da Flugbenzin nur in kleineren, hauptsächlich inländisch verkehrenden Flugzeugen Verwendung findet, nicht angezeigt.

Die **Aktivitätsraten** (Energieeinsätze) entsprechen dem in Deutschland abgesetzten Flugtreibstoff nach (AGEB (2020a); aktuell bis 2019) bzw. den vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle veröffentlichten *Amtlichen Mineralöl Daten für die Bundesrepublik Deutschland (BAFA, 2020)*.

Die innerhalb TREMOD AV erfolgenden Berechnungen bzgl. **Kerosin** berücksichtigen die Anzahl der Flüge nach Flugzeugtypen und Großkreisentfernungen für den nationalen und internationalen Flugverkehr. Einbezogen werden die vom Statistischen Bundesamt erfassten gewerblichen Flüge auf ausgewählten Flugplätzen. Flüge von „anderen Flugplätzen“ sowie nicht-gewerbliche Flüge werden vom Statistischen Bundesamt nur nach Gewichts- oder Flugzeug-Klassen, jedoch nicht nach Destination unterschieden. Dabei handelt es sich zu einem weit überwiegenden Teil um Flüge mit kleinen, mit Flugbenzin betriebenen Maschinen.

Tabelle 50: jährliche Anteile der Inlandsflüge an den Kerosin-Inlandsablieferungen, in %

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Kerosin	16,1	12,1	11,8	9,67	8,59	8,21	7,88	7,31	7,28	7,34	7,17	6,82	6,73	6,90
Flugbenzin	79,9	84,0	82,6	83,8	83,1	86,6	86,6	87,4	88,5	86,7	93,1	92,9	93,6	94,7

Quelle: TREMOD AV (Knörr et al., 2020a)

Die Aufteilung der Treibstoffverbräuche auf die beiden Flugphasen Landung/Start (LTO-Zyklus) und Reiseflug (Cruise) erfolgt, basierend auf Daten des Statistischen Bundesamtes, ebenfalls anhand von TREMOD-AV-Berechnungen. Diese ermöglichen die Ausspielung der Kerosinverbräuche in der Flugphase LTO für den nationalen und internationalen Flugverkehr. Der Verbrauch im Reiseflug ergibt sich entsprechend als Differenz des Kerosinverbrauchs nach der Energiebilanz abzüglich des LTO-Verbrauchs.

Die Menge **mitverbrannter Schmierstoffe** wird gemäß (VSI, 2014) aus den jährlichen Treibstoffmengen abgeleitet (siehe Kapitel 19.1.4 im Anhang).

Hinsichtlich der verwendeten **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen.

Der Emissionsfaktor für *Kohlendioxid* aus dem Einsatz von **Kerosin** wurde aus dem Gehalt an Kohlenstoff im Kerosin abgeleitet und beträgt *3.150 g/kg*. Dieser Wert ist durch zahlreiche Publikationen abgesichert und wird für den gesamten Flugverkehr verwendet.

Distickstoffoxid (Lachgas) ist ein Produkt der Oxidation von Stickstoff in der Brennkammer, das in Spuren entstehen kann. Die diesbezügliche Datenlage ist grundsätzlich schlecht. Da eine

Aufgliederung der Emissionsfaktoren in die beiden Flugphasen erforderlich ist, werden die Emissionsfaktoren sowohl für Lachgas als auch *Methan* der IPCC-Emissionsfaktoren-Datenbank (EFDB) entnommen (siehe Tabelle 559). Für Methan wird dabei davon ausgegangen, dass Emissionen nur während des LTO-Zyklus auftreten (siehe IPCC (2006): Band 2, Kap. 3.6, Tab. 3.6.5). Dagegen werden N₂O-Emissionen auch für den Reiseflug berechnet.

Die weiteren Emissionen werden, basierend auf den jeweiligen Emissionsfaktoren, nach Flugphasen getrennt berechnet. Dabei werden unterschiedliche Quellen verwendet.

Die für NO_x, CO und NMVOC verwendeten impliziten Emissionsfaktoren stellen Quotienten aus in TREMOD berechneten und auf aggregierten Flugzeugtyp-spezifischen Emissionen und dem jährlichen Kerosinverbrauch dar. Die dazu in TREMOD berechneten Detail-Emissionen beruhen dabei wiederum auf Flugzeugtyp-spezifischen Emissionsfaktoren aus der EMEP/EEA-Datenbank.

Angaben zu den darüber hinaus betrachteten Luftschadstoffen finden sich in Kapitel 19.1.3.1 im Anhang.

Die Umrechnung der in [g/kg] vorliegenden Emissionsfaktoren in Angaben mit der Einheit [g/TJ] erfolgt über einen Heizwert in Höhe von 43.000 kJ/kg (AGEB, 2020a).

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen wird der Standard-Wert gemäß (IPCC (2006): Band 2, Kap. 3: Mobile Combustion) übernommen. In diesen Richtlinien (Seite 3-64) werden die *Methan*- und *Lachgas*-Emissionsfaktoren explizit mit den für die Verwendung von Kerosin angegebenen Werten gleichgesetzt. Diese Annahme wird hier übernommen.

Die für NO_x und CO verwendeten impliziten Emissionsfaktoren werden, wie oben für Kerosin beschrieben, aus in TREMOD berechneten und anschließend auf aggregierten Flugzeugtyp-spezifischen Emissionen und dem jährlichen Flugbenzinverbrauch abgeleitet.

CO₂-Emissionen aus der unbeabsichtigten Mitverbrennung von Schmierstoffen werden unter CRF 2.D.1 berichtet. Bezüglich der Freisetzung von Methan und Lachgas wird davon ausgegangen, dass diese bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe berücksichtigt und daher als IE (*included elsewhere*) zu berichten ist.

Tabelle 51: für das Berichtsjahr 2018 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH ₄	N ₂ O	Ursprung
Kerosin: LTO	9,41	2,80 (2,00)	gemäß TREMOD AV, abgeleitet aus EFDB-defaults in kg/LTO
Kerosin: Reiseflug	0,00	2,34 (2,00)	gemäß TREMOD AV, abgeleitet aus EFDB-defaults in kg/t Kerosin
Flugbenzin: LTO	165 (-)	2,30 (-)	gemäß TREMOD AV
Flugbenzin: Reiseflug	0 (-)	2,30 (-)	gemäß TREMOD AV
Schmierstoffe	IE	IE	in EF der Treibstoffe abgebildet

Quellen: Knörr et al. (2020a) und Gores (2020); in Klammern: Defaults gemäß IPCC (2006): Band 2, Kap. 3.6, Tab. 3.6.5

3.2.10.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.a)

Zur Ermittlung der Unsicherheiten werden die einzelnen Komponenten identifiziert, die in die Berechnung der Emissionen einfließen, und deren Unsicherheiten (U₁ bis U_n) quantifiziert. Durch die additive Verknüpfung der quadrierten Teilunsicherheiten ergibt sich jeweils die Gesamtunsicherheit U_{ges} laut IPCC (2006): Band 1, Kapitel 3, Seite 3.28, Formel 3.1:

$$U_{ges} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

Die Unsicherheiten wurden für alle Zeitreihen und Flugphasen als Mittelwerte abgeschätzt. Die Berechnung der Gesamt-Unsicherheiten erfolgte wie in Anhang-Kapitel 19.1.3.1.2 dargestellt. In der linken Spalte werden dort die Komponenten der Unsicherheitsberechnung, rechts daneben

die Teil-Unsicherheiten aufgeführt. Darauf folgen die Spalten der Werte für die zu bestimmenden Gesamt-Unsicherheiten. Diese stellen zum Teil ebenfalls wieder Einzelkomponenten der Unsicherheitsberechnung eines anderen Wertes dar: Zum Beispiel berechnet sich die Unsicherheit für den nationalen Kerosinverbrauch in den beiden Flugphasen LTO und Cruise aus den Teilunsicherheiten des gesamten nationalen Kerosinverbrauchs sowie der Teilunsicherheit der LTO-Cruise-Aufteilung. Letztere basiert auf der Anzahl der Flugbewegungen nach dem *Statistischen Bundesamt* und den Annahmen zur Flottenaufteilung. Die Gesamt-Unsicherheit des LTO- bzw. Cruise-Kerosinverbrauchs stellt wiederum eine Teilunsicherheit bei der Ermittlung der Unsicherheiten für die Emissionen dar.

3.2.10.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.a)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine mit der Zeit steigende Zahl von Flugzeugtypen, für die keine spezifischen Daten verfügbar sind, mussten Emissionsfaktoren mit Hilfe von Regressionen auf Basis des Startgewichts gewonnen werden. Die Verwendung aktuellerer und vollständigerer Flugzeugtypspezifischer Daten würde die Qualität der Berechnungen weiter erhöhen. Auch eine Erweiterung der TREMOD-Berechnung um die Unterscheidung nach verwendeten Antrieben würde eine weitere Verbesserung bedeuten.

Bis auf die Emissionsfaktoren für Schwefeldioxid wurden internationale Standardwerte verwendet, die der IPCC-Emissionsfaktoren-Datenbank bzw. der EMEP/EEA-Datenbank sowie EMEP (2016) entnommen wurden. Eine Diskussion der einzelnen Von Eurocontrol bereitgestellte landesspezifische Verbrauchs- und Emissionsdaten werden derzeit nur zur Verifikation der eigenen Erhebungen herangezogen.

Tabelle 52: Übersicht relevanter Datenvergleiche

	Vergleich mit...	Erläuterung
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO ₂	spezif. Tier 1 default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kap. 3.6, Tab. 3.6.4	siehe Tabelle 53
CH ₄ , N ₂ O	spezif. Tier 1 default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kap. 3.6, Tab. 3.6.5	siehe Tabelle 51
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	spezifischen IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 54

Tabelle 53: Vergleich der im Inventar verwendeten EF(CO₂) mit Default-Werten ^a, in kg/TJ

	Inventarwert	Default	Untergrenze	Obergrenze
Kerosin	73.256	71.500	69.700	74.400
Flugbenzin	70.000		67.500	73.000

^a gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4

Die folgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten.

Tabelle 54: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ

	Kerosin			Flugbenzin		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Deutschland	73.256	3,03	2,47	70.000	125	2,30
Dänemark	72.392	0,51	3,16	72.619	7,78	2,00
Frankreich	71.591	0,91	2,00	70.500	1,91	1,97
Niederlande	71.500	0,50	2,00	72.000	0,50	2,00
Großbritannien	71.739	1,26	2,28	69.655	60,8	2,23
EU (28)	72.051	1,31	2,15	70.363	13,8	4,36

Deutschland: aktuelle IEF für das Berichtsjahr 2019; alle anderen: IEF für 2018 gemäß CRF-Submission 2020

3.2.10.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.a)

Infolge der Revision der im Modell TREMOD AV hinterlegten jährlichen Anteil der Inlandsflüge an den Gesamt-Inlandsablieferungen von Kerosin kommt es gegenüber der Submission 2019 zu Rückrechnungen für alle betrachteten Jahre.

Tabelle 55: revidierte jährl. Anteile der Inlandsflüge an den Kerosin-Inlandsablieferungen, in %

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Subm. 2021	16,1	12,1	11,8	9,67	8,59	8,21	7,88	7,31	7,28	7,34	7,17	6,82	6,73
Subm. 2020	14,9	12,7	10,7	8,68	8,26	8,72	7,76	6,94	7,49	7,56	7,07	6,27	6,14
Änd. absolut	1,17	-0,59	1,07	0,99	0,34	-0,50	0,12	0,37	-0,21	-0,22	0,10	0,56	0,59
Änd. relativ	7,88%	-4,62%	9,97%	11,5%	4,12%	-5,78%	1,53%	5,39%	-2,85%	-2,87%	1,48%	8,86%	9,67%

Quelle: TREMOD AV (Knörr et al., 2020a)

Die durch Inlandsflüge verbrauchten Kerosinmengen wurden damit in gleichem Maße nach oben korrigiert.

Tabelle 56: resultierende Revision des durch Inlandsflüge verbrauchten Kerosins, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Subm. 2021	31.070	28.240	35.112	33.258	31.092	28.421	29.197	27.396	26.335	26.554	27.911	29.003	29.429
Subm. 2020	28.801	29.609	31.929	29.841	29.863	30.166	28.756	25.996	27.107	27.339	27.504	26.642	26.833
Änd. absolut	2.269	-1.369	3.183	3.417	1.229	-1.745	441	1.400	-771	-785	407	2.361	2.596
Änd. relativ	7,88%	-4,62%	9,97%	11,5%	4,12%	-5,78%	1,53%	5,39%	-2,85%	-2,87%	1,48%	8,86%	9,67%

Quelle: eigene Berechnungen

Gleichzeitig erfolgt mit der aktuellen Berichterstattung erstmals auch die Aufteilung des eingesetzten Flugbenzins auf Inlands- und Auslandsflüge. Damit ändern sich auch die durch Inlandsflüge verbrauchten Flugbenzin-Mengen.

Tabelle 57: Revision des durch Inlandsflüge verbrauchten Flugbenzins, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Subm. 2021	1.948	960	925	585	472	532	483	433	418	479	379	374	364
Subm. 2020	2.438	1.142	1.120	698	568	614	558	496	472	553	407	403	389
Änd. absolut	-490	-182	-195	-113	-95,8	-82,4	-74,7	-62,5	-54,2	-73,8	-28,1	-28,7	-25,0
Änd. relativ	-20,1%	-16,0%	-17,4%	-16,2%	-16,9%	-13,4%	-13,4%	-12,6%	-11,5%	-13,3%	-6,9%	-7,12%	-6,42%

Quelle: eigene Berechnungen

Die relativen Änderungen der berichteten Treibhausgas-Emissionen entsprechen weitestgehend denen der Kerosinverbürche. Einzige Ausnahme ist hier das Methan: Da davon ausgegangen wird, dass während des Reiseflugs keine entsprechenden Emissionen entstehen, wirkt sich die Herabsetzung der LTO-Verbräuche überproportional stark aus.

Tabelle 58: revidierte Methan-Emissionsfaktoren für Kerosin im L/TO-Zyklus, in kg / TJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Submission 2021	7,09	7,23	7,63	8,11	8,07	7,99	8,00	8,71	9,25	9,23	9,11	9,58	9,78
Submission 2020	6,66	6,89	6,97	7,41	7,62	7,58	7,66	8,40	8,61	8,85	8,90	9,35	9,42
Änderung absolut	0,43	0,34	0,66	0,70	0,45	0,40	0,34	0,31	0,64	0,38	0,21	0,23	0,36
Änderung relativ	6,51%	4,98%	9,49%	9,47%	5,91%	5,28%	4,48%	3,74%	7,42%	4,26%	2,35%	2,45%	3,82%

Tabelle 59: revidierte THG-Emissionen, in kt bzw. kt CO₂-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Kohlendioxid - CO₂													
Subm. 2021	2.412	2.136	2.637	2.477	2.311	2.119	2.173	2.037	1.958	1.979	2.071	2.151	2.181
Subm. 2020	2.280	2.249	2.417	2.235	2.227	2.253	2.146	1.939	2.019	2.041	2.043	1.980	1.993
Änd. absolut	132	-113	220	242	83	-134	27	98	-60	-63	28	171	188
Änd. relativ	5,79%	-5,03%	9,08%	10,9%	3,74%	-5,93%	1,26%	5,06%	-2,99%	-3,07%	1,36%	8,63%	9,45%
Methan - CH₄													
Subm. 2021	0,124	0,115	0,123	0,122	0,106	0,102	0,103	0,104	0,105	0,107	0,108	0,115	0,122
Subm. 2020	0,107	0,083	0,085	0,076	0,075	0,076	0,073	0,071	0,074	0,079	0,077	0,078	0,080
Änd. absolut	0,017	0,031	0,039	0,046	0,032	0,026	0,030	0,032	0,031	0,028	0,031	0,036	0,042
Änd. relativ	16,0%	37,7%	45,9%	59,9%	42,5%	33,9%	40,4%	45,4%	41,8%	35,9%	40,1%	46,3%	52,3%
Lachgas - N₂O													
Subm. 2021	0,082	0,072	0,088	0,083	0,078	0,071	0,073	0,069	0,066	0,067	0,070	0,072	0,074
Subm. 2020	0,077	0,076	0,081	0,075	0,075	0,076	0,072	0,065	0,068	0,069	0,069	0,067	0,067
Änd. absolut	0,004	-0,004	0,007	0,008	0,003	-0,005	0,001	0,003	-0,002	-0,002	0,001	0,006	0,006
Änd. relativ	5,79%	-5,03%	9,08%	10,8%	3,73%	-5,95%	1,24%	5,05%	-2,97%	-3,09%	1,34%	8,62%	9,44%
Gesamt-Treibhausgase													
Subm. 2021	2.440	2.160	2.666	2.505	2.337	2.143	2.197	2.060	1.981	2.001	2.095	2.175	2.206
Subm. 2020	2.306	2.274	2.444	2.259	2.252	2.277	2.169	1.960	2.041	2.064	2.066	2.002	2.015
Änd. absolut	134	-113	223	246	85	-134	28	100	-60	-63	29	174	191
Änd. relativ	5,80%	-4,99%	9,11%	10,9%	3,77%	-5,90%	1,29%	5,10%	-2,95%	-3,03%	1,40%	8,67%	9,50%

Quelle: eigene Berechnungen

3.2.10.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.a)

Nach der erfolgten grundlegenden Revision des Modells TREMOD AV sind vorerst keine größeren Arbeiten geplant. Das Hauptaugenmerk liegt nunmehr auf der regelmäßigen Aktualisierung des Modells anhand des von der Europäischen Organisation zur Sicherung der Luftfahrt Eurocontrol betriebenen *Advanced Emission Model (AEM)*²⁹.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.10.2 Transport - Straßenverkehr (1.A.3.b)

3.2.10.2.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.b)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990- 2019
L/T	1 A 3 b, Road Transport	fossil fuels	CO ₂	151.886,3	11,9	157.719,8	19,9	3,8 %
-/T	1 A 3 b, Road Transport		CH ₄	1.561,1	0,1	227,5	0,0	-85,4 %
-/T	1 A 3 b, Road Transport		N ₂ O	1.343,4	0,1	1.748,6	0,2	30,2 %

Gas	angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 1 ^a , CS (Tier 2)	NS / M	D ^a , CS
CH ₄	Tier 1 ^b , CS (Tier 3)	NS / M	D ^b , CS (M)
N ₂ O	Tier 1 ^b , CS (Tier 3)	NS / M	D ^b , CS (M)
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS (Tier 3)	NS / M	CS (M)

^a Biodiesel, Petroleum, in Zweitaktern mitverbrannte Schmierstoffe; ^b Flüssiggas

Die Kategorie *Straßenverkehr* ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend, für CH₄- & N₂O-Emissionen nur nach dem Trend.

In der genannten Kategorie werden die Emissionen aus dem motorisierten Straßenverkehr in Deutschland berichtet. Berücksichtigt ist der Verkehr auf öffentlichen Straßen im Inland ohne den land- und forstwirtschaftlichen sowie den militärischen Verkehr. Die Berechnungen erfolgen

²⁹ <https://www.eurocontrol.int/model/advanced-emission-model>

für die Fahrzeugkategorien Personenkraftwagen (PKW), motorisierte Zweiräder (MZR), leichte Nutzfahrzeuge (LNF), schwere Nutzfahrzeuge (SNF) und Busse. Diese werden für die Berechnung in so genannte *Fahrzeugschichten* mit gleichem Emissionsverhalten untergliedert. Hierzu werden die Fahrzeugkategorien zusätzlich nach der Art des verwendeten Kraftstoffs, der Fahrzeuggröße (Nutzfahrzeuge und Busse nach ihrer Gewichtsklasse; PKW und motorisierte Zweiräder nach ihrem Hubraum) und der eingesetzten Schadstoffminderungstechnik gemäß den EU-Richtlinien zur Abgasgesetzgebung („EURO-Normen“) sowie des regionalen Fahraufkommens (außerorts, innerorts und Autobahn) differenziert.

3.2.10.2.2 Methodische Aspekte (1.A.3.b)

- siehe auch Kapitel 19.1.3.2 -

Durch Einführung des Katalysators und motortechnischen Verbesserungen infolge der kontinuierlichen Verschärfung der zulässigen Abgaswerte sowie durch verbesserte Kraftstoffqualitäten sind die Emissionen aus dem Straßenverkehr an CH₄, NO_x, CO, NMVOC und SO₂ seit 1990 drastisch zurückgegangen.

Die starke Abnahme des Methan-Emissionsfaktors für Benzin und damit auch der Methan-Emissionen zwischen 1990 und 1993 ist insbesondere auf die massive Reduzierung der Kraftfahrzeuge mit Zweitaktmotoren in den neuen Bundesländern zurückzuführen. Weitere Minderungen sind Folge der genannten Abgas-Grenzwertverschärfungen.

Für Busse und schwere Nutzfahrzeuge (über 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht) wurde der zulässige Abgasgrenzwert für Kohlenwasserstoffe (HC) mit Einführung der EURO3-Norm im Jahr 2000 erheblich gesenkt (-40 %). Da EURO3-Fahrzeuge ab dem Jahr 2000 sehr schnell in den Markt kamen, verminderten sich der Emissionsfaktor und die Emissionen für Kohlenwasserstoffe aus Dieselmotoren nach 2000 deutlich. Dies gilt analog für Methan, das als fester Anteil an den Gesamt-HC-Emissionen berechnet wird.

N₂O-Emissionen entstehen hauptsächlich infolge unvollständiger Reduktion von NO zu N₂ im 3-Wege-Katalysator und sind gesetzlich nicht limitiert. Durch die wachsende Zahl von PKW mit Katalysator stiegen die N₂O-Emissionen gegenüber 1990 zunächst an. Neuere Katalysatoren sind jedoch so optimiert, dass nur noch geringe Mengen an Distickstoffoxid entstehen. Infolgedessen nahmen die N₂O-Emissionen im Zeitraum 2000-2006 ab. Seit dem ist wieder ein Anstieg der Emissionen zu verzeichnen. Dieser ist auf den zunehmenden Einsatz der SCR-Technik bei schweren Nutzfahrzeugen zurückzuführen, bei dem unter bestimmten Bedingungen N₂O als unerwünschtes Nebenprodukt auftritt.

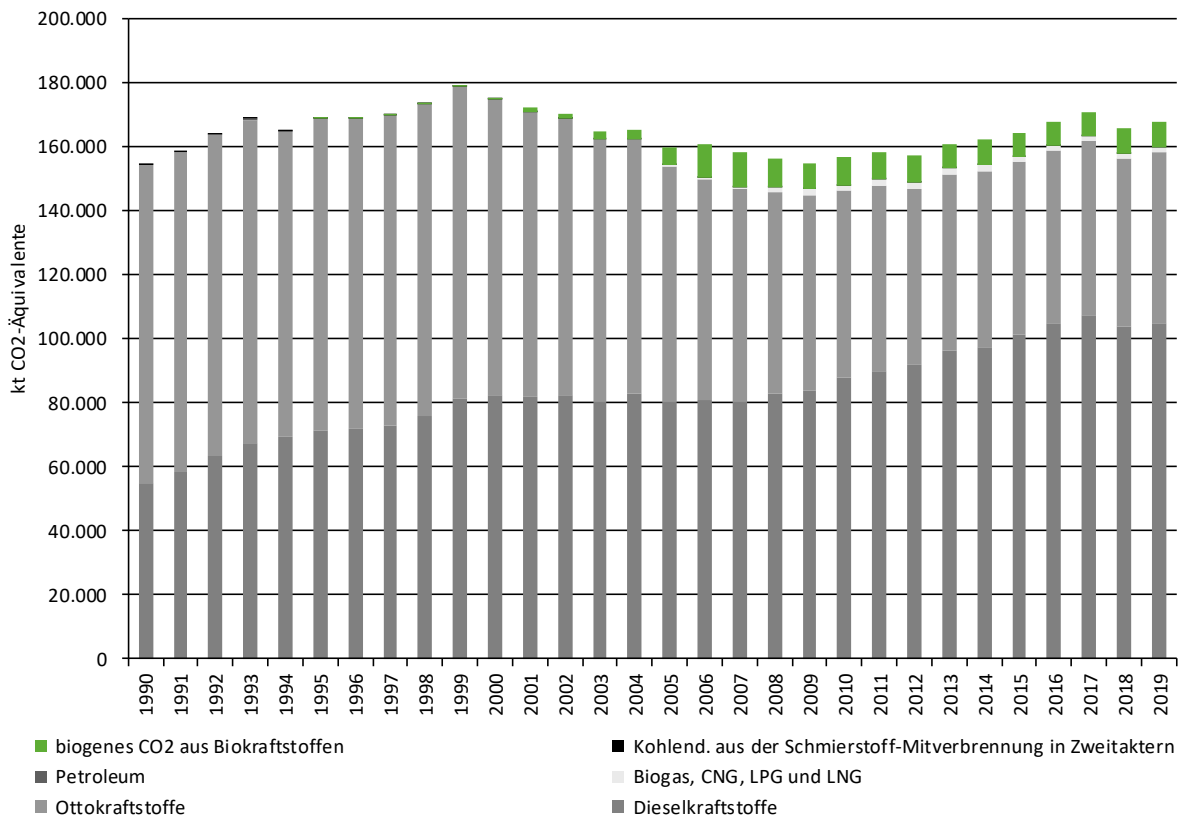
Die CO₂-Emissionen sind direkt vom Kraftstoffverbrauch abhängig. Der Anstieg der Emissionen zwischen 1990 und 1999 ist dadurch begründet, dass die fahrzeugspezifischen Verbrauchsminderungen durch den Zuwachs der Fahrleistungen überkompensiert wurden. Im Zeitraum 2000-2009 sind die Emissionen des Straßenverkehrs aus fossilen Kraftstoffen erstmals gesunken. Diese Entwicklung dürfte im Wesentlichen auf die Verringerung der spezifischen Kraftstoffverbräuche, die deutliche Verschiebung zugunsten von Dieselfahrzeugen bei den Neuzulassungen, den kontinuierlichen Anstieg der Kraftstoffpreise, die Verwendung von Biokraftstoffen, aber auch auf die Verlagerung von Tankvorgängen ins Ausland zurückzuführen sein (s. folgende Absätze).

Die CO₂-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe werden den nationalen Gesamtemissionen zugeordnet (s. Erläuterungen in Kapitel 19.1.5).

Da sich die oben genannten Trends abschwächten und gleichzeitig die Fahrleistungen zunahmen, stiegen in den Jahren 2010 und 2011 die CO₂-Emissionen wieder an, bevor sie im Jahr 2012, dank abnehmender Verkehrs- und Fahrleistungen, um über 1,3 Mio. t zurückgingen. Ein Wiederanstieg der Fahrleistungen, ein Rückgang der eingesetzten Biokraftstoffe sowie eine seit

Jahren stetig zu-nehmende durchschnittliche Motorleistung bei Pkw-Neuzulassungen führten jedoch dazu, dass die CO₂-Emissionen seitdem wieder um 7 % angestiegen sind und im Jahr 2019 157,7 Mio. t betragen. Damit liegen sie 5,8 Mio. t über dem Emissionsniveau von 1990.

Abbildung 30: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Straßenverkehrs seit 1990



Die Berechnung der CO₂-Emissionen aus dem motorisierten Straßenverkehr in Deutschland erfolgt durch einen tier2-„bottom up“-Ansatz gemäß (IPCC (2006): Band 2, Kap. 3.2, Seite 3.12): Die in Deutschland verkauften Kraftstoffe (Benzin, Bio-Ethanol, Diesel, Biodiesel, Flüssig- und Erdgas, Petroleum (bis 2002), Biogas) werden dazu innerhalb des Modells TREMOD („Transport Emission Model“) auf die einzelnen Fahrzeugschichten verteilt (vgl. Kapitel 19.1.3.2) (Knörr et al., 2020c)³⁰. Die in das Modell einfließenden Verbrauchsdaten je Kraftstoffart werden den *Energiebilanzen* entnommen. Die eigentliche Emissionsberechnung erfolgt nach Import der spezifischen Kraftstoffverbräuche und Emissionsfaktoren im ZSE.

Die Berechnung der Nicht-CO₂-Emissionen basiert auf einem in TREMOD implementierten Tier 3-Verfahren, bei dem Fahrleistungen der einzelnen Fahrzeugschichten mit spezifischen Emissions-faktoren multipliziert werden. Für PKW und leichte Nutzfahrzeuge wird zusätzlich ein „Kaltstart-Zuschlag“ addiert. Der je Kraftstoffart ermittelte Gesamtverbrauch wird mit dem Verbrauch gemäß Energiebilanz abgeglichen und die in TREMOD berechneten Emissionen werden mit aus diesem Abgleich abgeleiteten Korrekturfaktoren korrigiert. Für benzingetriebene Fahrzeuge werden in Abhängigkeit von der Minderungstechnik VOC-Verdampfungsemissionen berechnet. Aus Emissionen und Kraftstoffverbräuchen der einzelnen TREMOD-Fahrzeugschichten werden kraftstoffbezogene nur nach Kraftstoff- und Straßenart

³⁰ Um Minderungsmaßnahmen ableiten und bewerten zu können, werden mit TREMOD auch der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen der einzelnen Fahrzeugkategorien berechnet. Die Werte werden anschließend mit dem Gesamtverbrauch und der Gesamtemission an CO₂ abgeglichen.

(Autobahn, Landstraße, Innerortsstraße) differenzierte implizite Emissionsfaktoren (IEF) in [kg/T] abgeleitet und an das ZSE übergeben.

Die eigentliche Emissionsberechnung erfolgt nach Import der spezifischen Kraftstoffverbräuche und impliziten Emissionsfaktoren im ZSE.

Tabelle 60: Emissionen des Straßenverkehrs, in Kilotonnen

	CO ₂		CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC ^c	SO ₂
	fossil ^a	biogen ^b						
1990	151.886	0	62,44	4,51	1.305,62	7.324,32	1.478,80	72,18
1995	166.451	106	30,91	6,30	1.156,34	4.198,59	682,03	69,31
2000	172.541	869	19,27	5,65	999,66	2.487,64	346,45	19,67
2005	153.040	5.591	12,81	3,32	797,70	1.593,85	201,65	0,80
2006	149.277	10.198	11,90	3,21	802,57	1.473,67	182,55	0,80
2007	146.332	11.037	11,26	3,27	757,80	1.390,52	166,79	0,79
2008	145.996	8.947	10,36	3,35	700,35	1.314,30	145,14	0,78
2009	145.665	8.074	10,05	3,49	659,12	1.267,07	134,68	0,78
2010	146.752	8.530	9,36	3,77	649,59	1.195,74	123,62	0,78
2011	148.677	8.227	9,13	4,05	636,32	1.186,88	117,65	0,79
2012	147.355	8.584	8,56	4,33	620,81	1.116,64	107,68	0,79
2013	151.573	7.797	8,47	4,62	619,90	1.105,62	104,09	0,80
2014	152.724	8.132	8,50	4,76	600,79	1.094,40	101,14	0,81
2015	155.314	7.538	8,56	5,02	579,19	1.059,66	97,13	0,81
2016	158.429	7.561	8,82	5,33	556,61	1.035,85	94,87	0,83
2017	161.455	7.706	9,16	5,65	528,12	1.017,51	93,31	0,85
2018	155.928	8.024	8,97	5,65	473,30	958,53	87,78	0,82
2019	157.720	7.991	9,10	5,87	439,93	945,26	89,24	0,83

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf Knörr et al. (2020c)

^a inklusive CO₂ aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe sowie in Zweitakttern mitverbrannten Schmierstoffen

^b CO₂-Emissionen aus den biogenen Anteilen der eingesetzten Bio-Kraftstoffen (hier nur nachrichtlich aufgeführt)

^c inklusive Emissionen aus der Kraftstoffverdunstung

Für die Berechnung mit TREMOD werden zahlreiche **Basisdaten** aus allgemein zugänglichen Statistiken und speziellen Untersuchungen verwendet, aufeinander abgestimmt und ergänzt. Hauptquellen sowie wichtige Annahmen sollen hier nur kurz vorgestellt werden. Eine detaillierte Beschreibung der Datengrundlagen einschließlich Angaben der verwendeten Quellen sowie der in TREMOD verwendeten Berechnungsmethoden liegt in Knörr et al. (2020c) vor.

Für Westdeutschland ab 1990 bis 1993 sowie für Deutschland ab 1994 werden die **Kfz-Bestandsdaten** aus der offiziellen Bestands- und Neuzulassungsstatistiken des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA) abgeleitet. Basis der Bestandsanalyse für Ostdeutschland im Jahr 1990 waren eine detaillierte Analyse der Abgas-Prüfstelle Adlershof im Jahr 1992 sowie die Zeitreihen in den statistischen Jahrbüchern der DDR. Zwischen 1991 und 1993 musste der Bestand mit Hilfe zahlreicher Annahmen geschätzt werden.

Die Bestandsdaten der Bezugsjahre ab 2001 stehen für TREMOD als Ergebnis einer Datenbankabfrage beim KBA zur Verfügung. Diese liefert die Fahrzeugbestände pro Bezugsjahr in der für die Emissionsberechnung notwendigen Gliederung nach den Merkmalen: Antriebsart (Otto, Diesel, sonstige), Größenklasse, Fahrzeugalter und Emissionsstandard. Als repräsentativ für die Flottenzusammensetzung eines Bezugsjahres wird der Bestand zur Jahresmitte angenommen.

Die Fortschreibung der **Fahrleistungen** wird auf Basis der „Fahrleistungserhebung 2014“, der Straßenverkehrszählung 2015 und Daten des Kraftfahrtbundesamtes (Jamet & Knörr, unveröffentlicht) vorgenommen. Für schwere Nutzfahrzeuge erfolgt darüber hinaus ein Abgleich mit den Daten der Maut-Statistik.

Hinsichtlich der verwendeten **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen.

Während für alle anderen Kraftstoffe über alle Jahre einheitliche Werte zum Einsatz kommen, stehen für Ottokraftstoffe und Erdgas anhand der in Deutschland produzierten Qualitäten gewichtete jahresspezifische Werte zur Verfügung. Weiterführende Informationen speziell zu Kohlendioxid aus der Schmierstoffmitverbrennung finden sich zudem in Kapitel 19.1.4.

Alle weiteren Emissionsfaktoren sind im „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ (HBEFA) hinterlegt, das zunächst im Rahmen einer Kooperation von Deutschland, Schweiz und Österreich zur Ableitung von Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr entstand, und entstammen überwiegend den Messprogrammen des TÜV Rheinland und des RWTÜV sowie grundlegenden Untersuchungen für die Bezugsjahre 1989/1990. In diesen Untersuchungen wurde für PKW und schwere Nutzfahrzeuge eine neue Methodik angewandt, bei der von Fahrverhalten und Verkehrssituation abhängige Faktoren abgeleitet wurden. Die Emissionsfaktoren für PKW bis zum Baujahr 1994 wurden mit Hilfe von Daten aus einer Feldüberwachung fortgeschrieben. Mittlerweile beteiligen sich auch die Niederlande, Schweden und Norwegen an der Entwicklung von HBEFA. Die für die aktuellen Emissionsberechnungen verwendete HBEFA-Version 4.1 (Notter et al., 2019) geht auf Untersuchungsergebnisse aus dem EU-Arbeitskreis COST 346, Messprogrammen der beteiligten Länder und dem Forschungsprogramm ARTEMIS zurück.

Bezüglich der *unbeabsichtigten* Schmierstoff-Mitverbrennung wird davon ausgegangen, dass die Nicht-CO₂-Emissionen bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe abgebildet und hier als IE (*included elsewhere*) zu berichten sind. Kohlendioxid aus der *unbeabsichtigten* Schmierstoff-Mitverbrennung wird dagegen als Emissionen aus der Produktanwendung unter 2.D.1 berichtet. Im Gegensatz dazu wird Kohlendioxid aus der *gewollten* Mitverbrennung von Schmierstoffen als Teil des in Straßen-Zweitaktern eingesetzten Kraftstoffgemisches ebenfalls dem Straßenverkehr zugerechnet und in den CRF-Tabellen unter 1.A.3.b v berichtet.

Verlagerung von Tankvorgängen ins Ausland

Aufgrund eines teilweise starken Preisgefälles zu mehreren Nachbarstaaten werden hierzulande seit längerem aber auch Kraftstoffe eingesetzt, die jenseits der Grenzen gekauft und als Grauumporte eingeführt werden.

Zum Umfang dieses in erster Linie für den Güterverkehr und den Pkw-Verkehr für die grenznahen Regionen Deutschlands bedeutenden und als „Tanktourismus“ bezeichneten Phänomens können keine genauen Angaben gemacht werden. Ein belastbares Gesamtbild existiert trotz mehrerer Detailuntersuchungen nicht (Lenk et al., 2004).

Belegt wird die Verlagerung von Tankvorgängen ins Ausland (und der damit verbundene negative Einfluss auf die Emissionsinventare der Nachbarstaaten) unter anderem auch durch eine vom österreichischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft veröffentlichte Studie (Molitor et al., 2004). Die Nachbarstaaten profitieren allerdings nicht unerheblich von Steuermehreinnahmen aus der Energiebesteuerung dieser Treibstoffe, die erheblich über den Zertifikatskosten für die damit verbundenen CO₂-Emissionen liegen dürften.

3.2.10.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.b)

Im Rahmen eines Gutachtens (Knörr et al., 2009) wurden die Unsicherheiten der in TREMOD einfließenden Aktivitätsdaten, der darin erzeugten Emissionsfaktoren und der im Zentralen System Emissionen (ZSE) berechneten Emissionen ermittelt.

3.2.10.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.b)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Zur Qualitätssicherung der Energiebilanzen liegen dem Umweltbundesamt entsprechende Qualitätsberichte der AGEB vor. Außerdem wurde eine Dokumentation zur Überarbeitung der Energiebilanzen ab dem Jahr 2003 im Internet veröffentlicht³¹.

Tabelle 61: Übersicht relevanter Datenvergleiche

	Vergleich mit...	Erläuterung
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO ₂	spezif. Tier1-defaults gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 3, Tabelle 3.2.1	keine Defaults für Biokraftstoffe und Petroleum
CO ₂	Tier1-defaults gemäß IPCC (2006): Band 2, Kap. 3, Tab. 2.4	siehe Tabelle 62
CH ₄ , N ₂ O	spezif. Tier1-defaults gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 3, Tabelle 3.2.2	Ergebnisse kaum aussagekräftig
CH ₄ , N ₂ O	Tier1-defaults gemäß IPCC (2006): Band 2, Tabelle 2.4	Ergebnisse kaum aussagekräftig
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	spezifischen IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 63

Tabelle 62: Vergleich der verwendeten EF(CO₂) mit Default-Werten, in kg/TJ

	Inventarwert ^a	Default ^b	Untergrenze	Obergrenze
fossiler Dieselmotorkraftstoff	74.027	74.100	72.600	74.800
fossile Ottomotorkraftstoffe	75.284	69.300	67.500	73.000
Erdgas	55.749	56.100	54.300	58.300
Flüssiggas	66.333	63.100	61.600	65.600
Petroleum	74.000	-	-	-
mitverbrannte Schmierstoffe	73.300		71.900	75.200
Biodiesel	70.800		59.800	84.300
Bioethanol	71.607	70.800	59.800	84.300
Biogas	90.584	54.600	46.200	66.000

^a verwendet für das Berichtsjahr 2019; ^b gemäß IPCC (2006): Kapitel 2, Tabelle 2.4

Die folgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten sowie den sich für die EU(28) ergebenden Werten.

Tabelle 63: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ

	Ottomotorkraftstoff			Dieselmotorkraftstoff			Flüssiggas			Erdgas		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Deutschland	75.284	8,67	0,49	74.027	1,73	3,73	66.333	3,89	1,12	55.749	16,3	0,26
Dänemark	72.984	5,60	0,75	73.998	0,43	3,38	63.100	4,11	1,01	56.800	27,3	3,06
Frankreich	74.439	11,8	1,16	74.864	0,36	3,10	65.254	16,2	1,16	56.349	43,6	0,03
Niederlande	73.023	12,0	0,74	72.454	0,47	2,81	66.700	2,17	0,84	56.500	92,0	3,00
Großbritannien	70.134	6,57	0,60	73.712	0,24	3,28	63.886	0,89	0,66	IE	IE	IE
EU (28)	72.742	10,7	0,87	73.937	0,95	3,05	65.244	10,7	1,54	56.881	37,4	1,02

Deutschland: aktueller IEF für 2019; sonst: IEF für 2018 gemäß CRF-Submission 2020

Der vergleichsweise hohe Emissionsfaktor für Kohlendioxid aus Ottomotorkraftstoffen resultiert aus einer Anpassung. Der entsprechende Emissionsfaktor in [kg CO₂ / kg Kraftstoff] entspricht dagegen den internationalen Vergleichswerten.

³¹ AG Energiebilanzen: Erläuterungen zur Revision der Energiebilanzen 2003 – 2009 URL:

[http://www.ag-](http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=7&clang=0#revision_der_energiebilanzen_2003_bis_2009_05)

[energiebilanzen.de/index.php?article_id=7&clang=0#revision_der_energiebilanzen_2003_bis_2009_05](http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=7&clang=0#revision_der_energiebilanzen_2003_bis_2009_05)

(Aufruf vom 18.09.2013)

3.2.10.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.b)

Gegenüber der Submission 2020 erfolgten Rückrechnungen sowohl aufgrund revidierter Aktivitätsdaten als auch Emissionsfaktoren.

Dabei wurden die zuletzt vorläufigen Angaben der Energiebilanz 2017 durch finale Werte ersetzt.

Tabelle 64: revidierte Energieeinsätze 2018, in Terajoule

	Diesel	Biodiesel	Benzin	Biobenzin	Erdgas	LPG	LNG	Biogas	Schmierst.
Submission 2021	1.377.10	80.049	692.694	31.146	5.198	16.153	163	1.399	80,02
Submission 2020	1.377.15	79.488	692.694	31.146	6.172	13.570	165	1.443	75,18
Änderung absolut	-54,0	561	0,00	0,00	-974	2.583	-2,66	-44,0	4,84
Änderung relativ	-0,004%	0,71%	0,00%	0,00%	-15,8%	19,0%	-1,6%	-3,05%	6,43%

Quelle: Knörr et al. (2020c) basierend auf AGEB (2020a) und MWV (2020b)

Schmierst.: als Teil von Zweitaktergemisch 1:50, verbrannt in Zweitakt-Ottomotoren

Tabelle 65: revidierte Energieeinsätze für Biodiesel und Zweitacterschmierstoffe, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Biodiesel													
Submission 2021	0	1.504	12.276	72.080	89.552	83.536	86.365	76.126	79.691	73.779	73.875	76.096	80.049
Submission 2020	0	1.504	12.276	71.824	88.886	82.810	85.683	75.504	79.014	73.116	73.337	75.599	79.488
Änderung absolut	0	0	0	256	666	725	681	622	677	663	538	496	561
Änderung relativ		0,00%	0,00%	0,36%	0,75%	0,88%	0,80%	0,82%	0,86%	0,91%	0,73%	0,66%	0,71%
Schmierstoffe (im Zweitaktergemisch)													
Submission 2021	2.495	447	80,5	76,9	81,4	79,8	75,5	77,0	77,1	77,2	77,4	77,3	80,0
Submission 2020	2.660	463	77,2	74,7	80,4	79,1	75,3	77,2	77,8	77,8	78,1	78,0	75,2
Änderung absolut	-164	-16,1	3,34	2,21	1,01	0,62	0,23	-0,15	-0,64	-0,58	-0,60	-0,66	4,84
Änderung relativ	-6,18%	-3,47%	4,32%	2,95%	1,26%	0,78%	0,30%	-0,19%	-0,82%	-0,74%	-0,77%	-0,84%	6,43%

Quelle: Knörr et al. (2020c)

Veränderungen an den spezifischen Tier-3-Emissionsfaktoren für Methan und Lachgas erfolgten analog zu Anpassungen in TREMOD. Eine sinnvolle Darstellung dieser revidierten Datensätze ist hier nicht möglich.

Die nachfolgende Tabelle liefert abschließend einen Vergleich der aktuellen und mit Submission 2020 berichteten Emissionsmengen.

Tabelle 66: revidierte THG-Emissionen, in kt CO₂-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
1.A.3.b i - PKW									
Submission 2021	114.752	117.271	113.960	104.796	95.178	99.523	101.556	103.743	99.465
Submission 2020	114.785	117.183	113.409	104.148	95.199	98.112	100.065	102.205	97.824
Änderung absolut	-33,3	87,9	551	649	-20,9	1.412	1.491	1.538	1.641
Änderung relativ	-0,03%	0,08%	0,49%	0,62%	-0,02%	1,44%	1,49%	1,51%	1,68%
1.A.3.b ii - Leichte Nutzfahrzeuge									
Submission 2021	4.024	6.410	8.313	8.532	8.407	10.089	10.730	11.406	11.448
Submission 2020	5.411	8.099	9.908	9.922	8.716	9.964	10.592	11.256	11.339
Änderung absolut	-1.387	-1.689	-1.595	-1.389	-310	124	137	150	109
Änderung relativ	-25,6%	-20,9%	-16,1%	-14,0%	-3,6%	1,2%	1,3%	1,3%	1,0%
1.A.3.b iii - schwere Nutzfahrzeuge (inkl. Busse)									
Submission 2021	34.137	43.928	50.620	39.274	43.049	45.998	46.516	46.752	45.512
Submission 2020	32.780	42.404	49.597	38.532	42.714	47.526	48.135	48.427	47.117
Änderung absolut	1.357	1.524	1.023	741	335	-1.528	-1.619	-1.674	-1.606
Änderung relativ	4,14%	3,59%	2,06%	1,92%	0,78%	-3,21%	-3,36%	-3,46%	-3,41%
1.A.3.b iv - motorisierte Zweiräder									
Submission 2021	1.695	1.459	1.806	1.742	1.468	1.407	1.431	1.461	1.407
Submission 2020	1.807	1.507	1.839	1.758	1.472	1.412	1.435	1.464	1.421
Änderung absolut	-112	-48,0	-32,8	-15,8	-3,82	-4,89	-4,23	-3,83	-13,8
Änderung relativ	-6,18%	-3,18%	-1,78%	-0,90%	-0,26%	-0,35%	-0,29%	-0,26%	-0,97%
CO₂ aus der Schmierstoff-Mitverbrennung in Zweitakttern									
Submission 2021	183	32,8	5,90	5,64	5,97	5,66	5,68	5,67	5,87
Submission 2020	195	34,0	5,66	5,48	5,89	5,70	5,72	5,71	5,51
Änderung absolut	-12,1	-1,18	0,24	0,16	0,07	-0,04	-0,04	-0,05	0,35
Änderung relativ	-6,2%	-3,5%	4,3%	3,0%	1,26%	-0,74%	-0,77%	-0,8%	6,4%
1.A.3.b - GESAMT									
Submission 2021	154.791	169.100	174.706	154.351	148.108	157.023	160.238	163.368	157.837
Submission 2020	154.979	169.227	174.760	154.365	148.107	157.019	160.233	163.358	157.707
Änderung absolut	-188	-126	-54,1	-14,9	0,84	3,93	4,67	10,4	130
Änderung relativ	-0,12%	-0,07%	-0,03%	-0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,08%

Quelle: eigene Berechnungen

Verglichen mit dem Gesamtsektor Straßenverkehr fallen die Rückrechnungen für die einzelnen Segmente (PKW, LNF, SNF, Zweiräder) teilweise erheblich aus. Ursächlich hierfür sind eine veränderte Fahrleistungs- und Verbrauchsmodellierung innerhalb TREMOD.

3.2.10.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.b)

Abgesehen von der alljährlichen Revision des Modells TREMOD sind keine quellenspezifischen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.10.3 Transport - Schienenverkehr (1.A.3.c)

3.2.10.3.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.c)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990- 2019
L/T	1 A 3 c, Railways	fossil fuels	CO ₂	2.900,5	0,2	739,6	0,1	-74,5 %
-/-	1 A 3 c, Railways		N ₂ O	6,7	0,0	1,8	0,0	-72,5 %
-/-	1 A 3 c, Railways		CH ₄	2,6	0,0	0,2	0,0	-91,0 %

Gas	angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 1 ^a , CS (Tier 2)	NS	D ^a , CS
CH ₄	CS (Tier 2)	NS	D ^{b, c, d}
N ₂ O	CS (Tier 2)	NS	D ^d , CS
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS (Tier 2)	NS	CS

^a Biodiesel: gemäß (IPCC (2006): Tab. 2.4); ^b Diesel: gemäß (EMEP (2016): 1.A.3.c – Railways; Tab. 3-2 bis 3-4); ^c Steinkohle & Steinkohlekoks: gemäß (IPCC (2006): Tab. 3.4.1); ^d Braunkohlen: gemäß (IPCC (2006): Tab. 2.5)

Die Kategorie *Schieneverkehr* ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

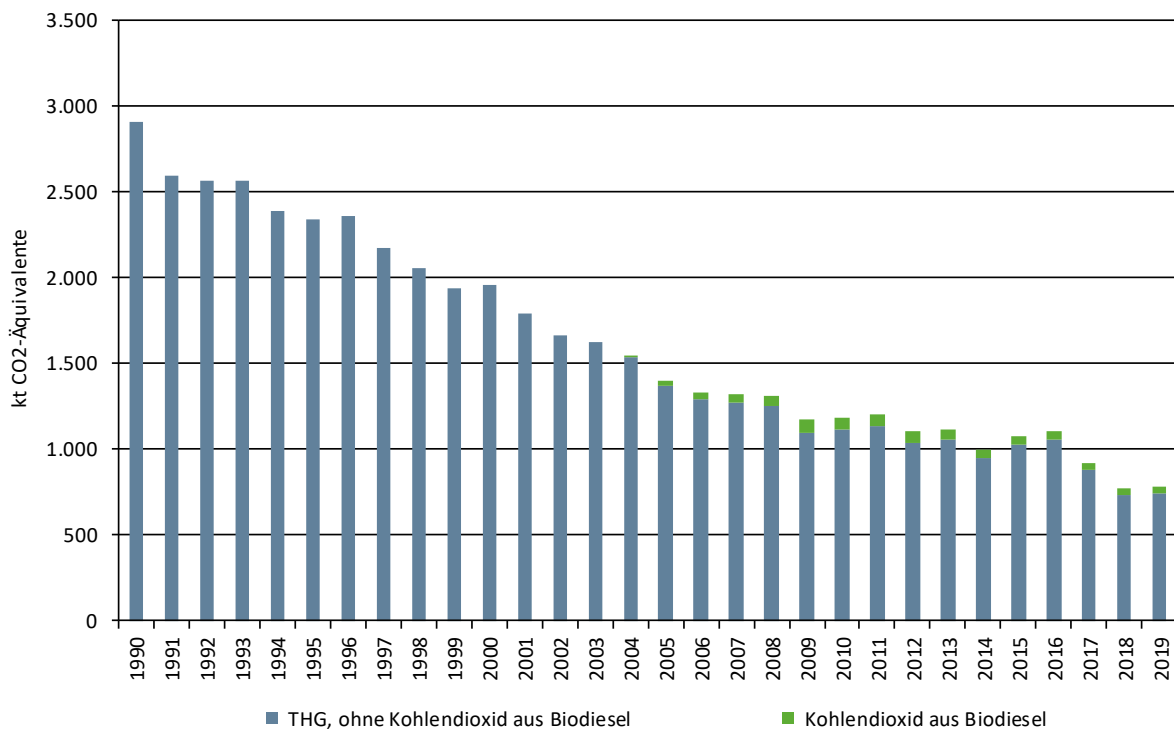
Der Schienenverkehr in Deutschland wird langfristig mit dem Ziel modernisiert, als Energieform v.a. elektrischen Strom zu nutzen. Dessen Anteil an der zur Traktion eingesetzten Energie liegt aktuell bei etwa 75 % (AGEB, 2020a). Die betriebenen Bahnstrom-Kraftwerke sind dem stationären Anteil der Stromerzeugung in öffentlichen Kraftwerken (1.A.1.a) zugeordnet und werden hier nicht weiter betrachtet.

Für die Energieversorgung spielt neben elektrischem Strom nur noch Dieseldieselkraftstoff eine bedeutende Rolle. In Form von Beimengungen kommt seit 2004 zudem Biodiesel zum Einsatz.

In historischen Fahrzeugen werden darüber hinaus sehr geringe Mengen fester Brennstoffe verwendet.

Der Einsatz weiterer Energieträger speziell in privaten Kleinbahnen, z.B. Pflanzenöle oder Gas, wird bisher nicht erfasst und ist als vernachlässigbar anzusehen.

Abbildung 31: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen des Schienenverkehrs, seit 1990



* ohne Treibhausgase aus der Erzeugung von Bahnstrom und CO₂ aus der unbeabsichtigten Mitverbrennung von Schmierstoffen

3.2.10.3.2 Methodische Aspekte (1.A.3.c)

Die Emissionen werden als Produkt aus den verbrauchten Kraft- und Brennstoffen und landesspezifischen Emissionsfaktoren berechnet. Dieses Vorgehen entspricht der allgemeinen

Tier 2-Methode und der prinzipiellen Berechnungsvorschrift nach Gleichung 3.4.2 der IPCC Guidelines 2006 (Band 2, Seite 3.42).

Die CO₂-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe werden mit dieser Berichterstattung erstmals separat ausgewiesen und den nationalen Gesamtemissionen zugeordnet (s. Erläuterungen in Kapitel 19.1.5).

Die **Aktivitätsraten** (Energieeinsätze) werden grundsätzlich den Energiebilanzzeilen 74 (bis 1994) bzw. 64 (ab 1995) (AGEB, 2020a) entnommen. Abweichend davon liegen aus methodischen Gründen den Jahren 2005 bis 2009 Absatzzahlen des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWV) zugrunde, die im Jahresbericht Mineralöl-Zahlen (Tabelle „Sektoraler Verbrauch von Dieselmotorkraftstoff“) veröffentlicht werden (MWV, 2020b).³²

Die Berechnung der jährlich eingesetzten Biodiesel-Mengen erfolgt aufgrund mangelhafter statistischer Daten bis auf weiteres anhand der offiziellen Beimengungsraten.

Auswertbare Verbrauchsdaten für Festbrennstoffe sind in den offiziellen Energiebilanzen für Braunkohle lediglich bis 2002, für Steinkohle bis 2000 verfügbar. Hier wird ergänzend auf Ergebnisse zweier in 2012 und 2016 erfolgter Erhebungen zurückgegriffen (Hedel & Kunze, 2012; Illichmann, 2016).

Tabelle 67: Überblick der verwendeten Statistiken und sonstigen Quellen

Kraft- / Brennstoff	verwendete Quelle(n)
Diesel	bis 2004: AGEB; 2005-2009: MWV; ab 2010: AGEB
Biodiesel	berechnet gemäß offizieller Beimengungsraten
Steinkohle	bis 1994: AGEB; 1995-2004: Interpolation; ab 2005: Erhebung; ab 2016: Fortschreibung
Steinkohlekoks	bis 1997: AGEB; 1998-2004: Interpolation; 2005-2010: Erhebung; ab 2011: Extrapolation
Rohbraunkohle & Braunkohlenbriketts	1990-2002: AGEB; danach nicht mehr eingesetzt

Hinsichtlich der verwendeten **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen.

Für Methan und Lachgas kommen landesspezifische Werte gemäß (Knörr et al. (2020c): Flüssigkraftstoffe) bzw. Default-Werte gemäß (IPCC (2006): Festbrennstoffe) zum Einsatz. Bezüglich der Freisetzung dieser beiden Treibhausgase aus der Schmierstoff-Mitverbrennung wird davon ausgegangen, dass diese bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe berücksichtigt und daher als IE (*included elsewhere*) zu berichten ist.

Tabelle 68: für das Berichtsjahr 2018 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH ₄	N ₂ O	Ursprung
Diesel & Biodiesel	0,86 (4,15)	0,56 (28,60)	CH ₄ : landesspezifischer Wert gemäß Knörr et al. (2020c); N ₂ O: tier2 default nach EMEP (2016)
Rohbraunkohle & Braunkohlebriketts	300 (-)	1,50 (-)	<i>Brennstoffe in 2019 nicht eingesetzt</i>
Steinkohle & Steinkohlekoks	2,00 (2,00)	1,50 (1,50)	Verwendung der Sektor-spezifischen IPCC-Vorgabewerte für „sub-bituminous coal“
Schmierstoffe	IE	IE	bereits in den EF der flüssigen Kraftstoffe abgebildet

in Klammern: Sektor-spezifische Vorgabe-Werte gemäß IPCC (2006), Band 2, Kap. 3.4 - Railways

³² AG Energiebilanzen: Erläuterungen zur Revision der Energiebilanzen 2003 – 2009 URL: http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=7&clang=0#revision_der_energiebilanzen_2003_bis_2009_05 (Aufruf vom 04.11.2014)

3.2.10.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.c)

Im Rahmen eines Gutachtens (Knörr et al., 2009) wurden die Unsicherheiten der in TREMOD einfließenden Aktivitätsdaten, der darin erzeugten Emissionsfaktoren und der im Zentralen System Emissionen (ZSE) berechneten Emissionen ermittelt.

Die Aktivitätsraten-Zeitreihen für Braunkohlenbriketts, Steinkohle und Steinkohlenkoks weisen durch die Umstellung der Statistiken 1994/1995 Inkonsistenzen auf, die nicht beseitigt werden können.

3.2.10.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.c)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Zur Qualitätssicherung der Energiebilanzen liegen dem Umweltbundesamt entsprechende Qualitätsberichte der AGEB vor. Außerdem wurde eine Dokumentation zur Überarbeitung der Energiebilanzen ab dem Jahr 2003 im Internet veröffentlicht.

Tabelle 69: Übersicht relevanter Vergleiche

Vergleich mit...	Erläuterung
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO ₂ spezif. Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 3.4, Tab.	nicht für alle relevanten Brennstoffe
CO ₂ Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4	siehe Tabelle 62
CH ₄ , N ₂ O spezif. Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 3.4, Tab.	siehe für Methan und Lachgas
CH ₄ , N ₂ O Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4	Ergebnisse kaum aussagekräftig
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 71

Tabelle 70: Vergleich der verwendeten EF (CO₂) mit Default-Werten ^a, in kg/TJ

	Inventarwert ^b	Default	Untergrenze	Obergrenze
fossiler Dieselmotortreibstoff	74.027	74.100	72.600	74.800
Braunkohlebriketts	98.991	97.500	87.300	109.000
Rohbraunkohle	106.478	101.000	90.900	115.000
Steinkohle	93.675	94.600	89.500	99.700
Steinkohlenkoks	107.530	107.000	95.700	119.000
Biodiesel	70.800		59.800	84.300

^a für das Berichtsjahr 2019; ^b gemäß IPCC (2006): Band 2, Tab. 2.4

Die folgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten sowie den sich für die EU(28) ergebenden Werten.

Tabelle 71: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ

	fossile Flüssigbrennstoffe			fossile Festbrennstoffe		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Deutschland ^a	74.027	0,86	0,56	93.705	2,00	1,50
Dänemark	74.000	1,18	2,24	NO	NO	NO
Frankreich	74.866	10,6	2,95	IE	IE	IE
Niederlande	72.455	4,26	0,56	NO	NO	NO
Großbritannien	74.938	1,53	2,37	96.100	87,6	0,70
EU (28)	74.071	3,21	11,4	94.870	47,6	1,11

Quellen: ^a IEF für das Berichtsjahr 2019; sonst: IEF für 2018 gemäß CRF-Submission 2020

3.2.10.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.c)

Gegenüber der Submission 2020 erfolgten Rückrechnungen sowohl aufgrund revidierter Aktivitätsdaten als auch Emissionsfaktoren.

Dabei wurden die zuletzt vorläufigen Energieeinsätze für Dieselkraftstoff durch finale Werte für 2018 ersetzt, was eine entsprechende Korrektur für beigemengten Biodiesel zur Folge hat. Gleichzeitig wurden die offiziellen Beimengungsraten für Biodiesel ab 2004 korrigiert.

Tabelle 72: Korrektur der Kraft- und Brennstoffeinsätze 2017, in Terajoule

	2004	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Dieseldieselkraftstoff											
Submission 2021	20.372	18.142	14.626	14.730	13.514	13.771	12.283	13.321	13.775	11.344	9.425
Submission 2020	20.372	18.142	14.626	14.730	13.514	13.771	12.283	13.321	13.775	11.344	10.961
Änderung absolut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.536
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-14,0%
Biodiesel											
Submission 2021	177	401	957	974	890	804	751	727	729	606	548
Submission 2020	175	397	949	966	882	798	745	720	724	602	633
Differenz absolut	1,67	4,32	8,33	8,93	7,52	6,67	6,41	6,55	5,32	3,95	-84,8
Differenz relativ	0,95%	1,09%	0,88%	0,92%	0,85%	0,84%	0,86%	0,91%	0,74%	0,66%	-13,4%

Quellen: AGEB (2020a); Knörr et al. (2020c)

Abgesehen von einer Korrektur für Methan aus Diesel und Biodiesel für die Jahre ab 2013 bleiben die Emissionsfaktoren im Vergleich zur Berichterstattung 2020 unverändert.

Tabelle 73: korrigierte Emissionsfaktoren für Methan aus Dieseldieselkraftstoffen, in kg/TJ

	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Submission 2020	1,593	1,278	1,336	1,101	1,037	1,013	0,948	0,940	0,914
Submission 2019	1,594	1,371	1,455	1,153	1,070	1,061	1,018	1,005	0,965
Änderung abs.	-0,001	-0,09	-0,12	-0,05	-0,03	-0,05	-0,07	-0,07	-0,05
Änderung relativ	-0,1%	-6,8%	-8,2%	-4,5%	-3,1%	-4,5%	-6,9%	-6,5%	-5,3%

Quelle: Knörr et al. (2020c)

Aus den beschriebenen Anpassungen resultieren folgende rekalkulierte Emissionen:

Tabelle 74: revidierte Emissionsmengen, in kt bzw. kt CO₂-Äquivalente

	2004	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Kohlendioxid - CO₂^a											
Submission 2021	1.532	1.369	1.116	1.127	1.037	1.056	944	1.021	1.054	874	732
Submission 2020	1.532	1.369	1.116	1.127	1.037	1.055	944	1.021	1.054	874	846
Änderung absolut	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-114
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-13,5%
Methan - CH₄											
Submission 2021	0,037	0,030	0,021	0,022	0,017	0,016	0,014	0,014	0,014	0,012	0,009
Submission 2020	0,037	0,030	0,021	0,022	0,017	0,016	0,014	0,014	0,014	0,012	0,011
Änderung absolut	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,002
Änderung relativ	0,01%	0,02%	0,05%	0,06%	0,05%	-0,49%	0,05%	0,04%	0,07%	0,05%	-14,6%
Lachgas - N₂O											
Submission 2021	0,012	0,011	0,009	0,009	0,009	0,009	0,008	0,008	0,009	0,007	0,006
Submission 2020	0,012	0,011	0,009	0,009	0,009	0,009	0,008	0,008	0,009	0,007	0,007
Änderung absolut	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001
Änderung relativ	0,01%	0,02%	0,05%	0,05%	0,05%	0,04%	0,05%	0,04%	0,03%	0,03%	-13,0%
Gesamt-THG^a											
Submission 2021	1.537	1.373	1.119	1.130	1.040	1.058	947	1.024	1.057	876	734
Submission 2020	1.537	1.373	1.119	1.130	1.040	1.058	947	1.024	1.057	876	848
Änderung absolut	0,01	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	-114
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	-13,5%

Quelle: eigene Berechnungen; ^a inkl. fossiles CO₂ aus der Verwendung von Biokraftstoffen

3.2.10.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.c)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.10.4 Transport - Schiffsverkehr (1.A.3.d)

3.2.10.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.d)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	1 A 3 d, Domestic Navigation	fossil fuels	CO ₂	3.644,5	0,3	1.624,2	0,2	-55,4 %
-/-	1 A 3 d, Domestic Navigation		N ₂ O	34,2	0,0	16,6	0,0	-51,5 %
-/-	1 A 3 d, Domestic Navigation		CH ₄	1,8	0,0	0,6	0,0	-66,3 %

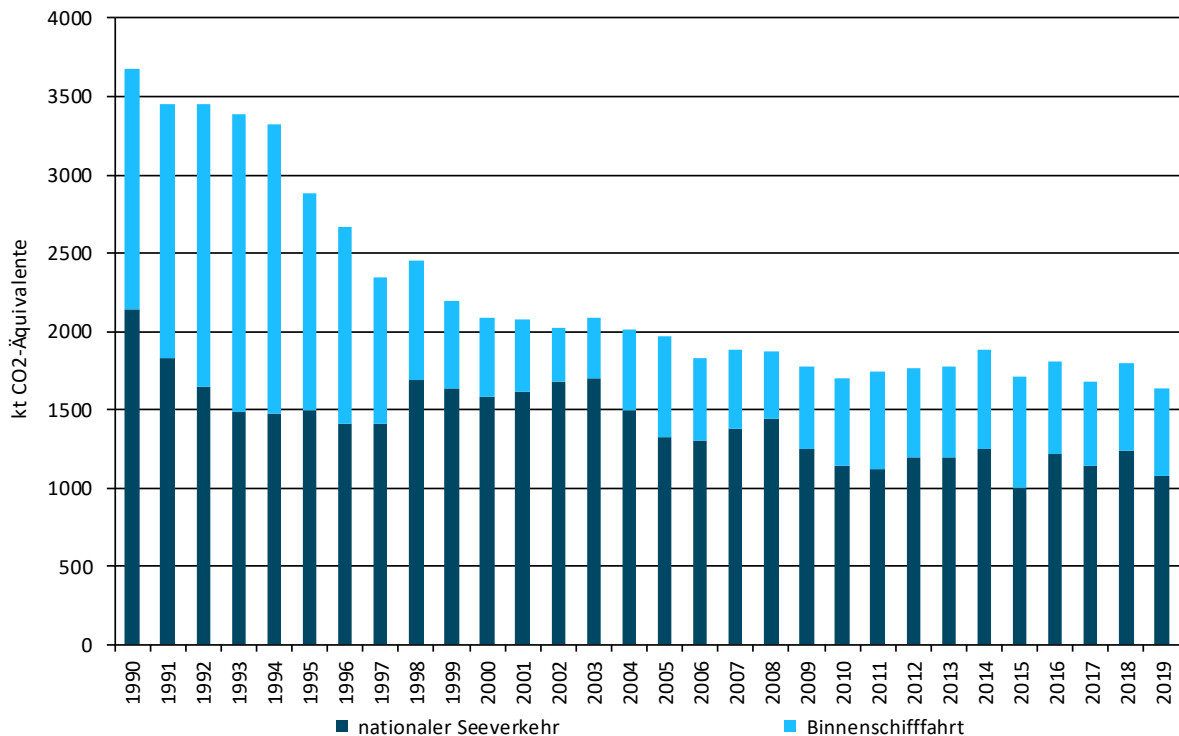
Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS (Tier 2)	NS/IS/M	D a, CS
CH ₄	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)
N ₂ O	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS (Tier 2)	NS/IS/M	CS (M)

Die Kategorie *nationaler Schiffsverkehr* ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Der Schiffsverkehr ist in nationalen Seeverkehr und Binnenschifffahrt sowie internationale Seeschifffahrt zu unterscheiden. Die Emissionen aus dem internationalen Schiffsverkehr werden in den Emissionsinventaren nachrichtlich ausgewiesen, gehen aber nicht in die Gesamtemissionen ein.

Der Kategorie 1.A.3.d – nationaler Schiffsverkehr sind im ZSE die Binnenschifffahrt sowie der nationale Seeverkehr, d.h. Fahrten zwischen dt. Seehäfen, zugeordnet.

Die folgende Grafik zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen des inländischen Schiffsverkehrs unterteilt in Binnenschifffahrt und nationalen Seeverkehr seit 1990.

Abbildung 32: Entwicklung der THG-Emissionen nationalem Schiffsverkehr seit 1990

3.2.10.4.2 Methodische Aspekte (1.A.3.d)

Für den *nationalen Seeverkehr* werden sämtliche primäre Eingangsdaten in einem am Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) betriebenen Modell gemäß dem Tier3-Ansatz nach (EMEP (2016): Sectoral guidance chapters, 1.A.3.d Navigation (shipping)) zusammengeführt (Deichnik, 2020). Die hier zugrunde gelegten AIS-Bewegungsdaten liegen dabei aktuell erst ab dem Jahr 2012 vor. Für die Zeitspanne 1990 bis 2011 wurden die spezifischen Verbrauchsanteile von nationalem und militärischem Seeverkehr sowie Fischerei dagegen anhand der jährlichen Entwicklung geeigneter Indikatoren (u.a. Verkehrsleistung Nord-Ostsee-Kanal, Entwicklung der Flotten in Militär und Fischerei) abgeleitet.

Für die *Binnenschifffahrt* erfolgt die Zusammenführung primärer Daten in Form eines Tier2-Ansatzes in TREMOD (Knörr et al., 2020c). In das Modell gehen sowohl Emissionswerte aus Prüfstandmessungen als auch Daten zu spezifischen Energieverbräuchen ein. Letztere wurden mit einem auf der Binnenschifffahrtsstatistik des Statistischen Bundesamtes beruhenden Verkehrsmengengerüst verknüpft und können nach Schiffstypen und -größen sowie Beladungen und Gewässertypen differenziert werden.

Als Quelle der **Aktivitätsdaten** dient, wie für den gesamten Sektor 1.A, grundsätzlich (AGEB (2020a), beruhend auf BAFA und MWV). Den Jahren 2005 bis 2009 liegen dabei von den Angaben der NEB abweichende Absatzzahlen des MWV zugrunde, die im Jahresbericht Mineralöl-Zahlen (hier: Seite 52, Tabelle „Sektoraler Verbrauch von Dieselkraftstoff“) veröffentlicht werden (MWV, 2019).

In den amtlichen Bilanzen der AGEB und des BAFA erfolgt die Aufteilung in *inländisch* (AGEB: „Küsten- und Binnenschifffahrt“ = BAFA: „an die Binnenschifffahrt“) und *international* (AGEB: „Hochseebunkerungen“ = BAFA: „Bunker int. Schifffahrt“) anhand der unterschiedlichen Besteuerung der Schiffskraftstoffe.

Hinsichtlich des Schiffsverkehrs wird in der NEB – wie beschrieben einzig anhand steuerlicher Gesichtspunkte – in Hochseebunkerungen (EBZ 6) sowie Küsten- und Binnenschifffahrt (EBZ 64)

unterschieden. In EBZ 6 sind die Kraftstoffmengen enthalten, die von Seeschiffen gebunkert wurden, die eine Zulassung der *International Maritime Organization* (Internationale Seeschiffahrts-Organisation, IMO) als Seeschiff (IMO-Nummer) besitzen. Das sind Fracht-, Fischerei- und Militärschiffe, die sowohl national (zwischen zwei dt. Seehäfen) als auch international (von Deutschland ins Ausland) verkehren können. In EBZ 64 sind dagegen die Kraftstoffmengen angeführt, die zum einen von Binnenschiffen getankt, zum anderen aber von *nicht* durch die IMO zertifizierten Seeschiffen gebunkert wurden (kleinere, nur national verkehrende Schiffe). Zur Aufteilung in nationalen und internationalen *Seeverkehr* ist daher eine Aufteilung der in EBZ 6 enthaltenen Kraftstoffmengen auf national und international verkehrende Seeschiffe notwendig. Zusätzlich werden die jeweiligen spezifischen Mengen von Fischerei- und Militärschiffen abgezogen, die unter 1.A.4.c iii bzw. 1.A.5.b gesondert berichtet werden.

Tabelle 75: Quellennachweis für die verwendeten Aktivitätsdaten

Material	Quellstatistik	darin enthalten in Zeilen	
Dieselmotorkraftstoff	NEB	77 (bis 1994) bzw. 64 (seit 1995)	„Küsten- und Binnenschiffahrt“
Biodiesel	NEB	64 (seit 2004)	
Schweröl	NEB	6	„Hochseebunkerungen“

Nationaler Seeverkehr

Die Aktivitätsraten des *nationalen Seeverkehrs* setzen sich aus den Angaben zu den in EBZ 64 enthaltenen *nicht* IMO-zertifizierten Seeschiffen sowie zu den in EBZ 6 enthaltenen national verkehrenden IMO-zertifizierten Seeschiffen (jeweils abzüglich Fischerei und Militär) zusammen. Um diese Anteile zu ermitteln, werden im oben genannten BSH-Modell die spezifischen Verbräuche national verkehrender Seeschiffe anhand ihrer AIS-Signale (aktuell ab 2010, siehe oben) berechnet und zu einer jährlichen Gesamtmenge aggregiert. Da vom Modell in IMO-zertifizierte und nicht zertifizierte Seeschiffe unterschieden wird, liegen gleichzeitig die in EBZ 6 und EBZ 64 enthaltenen Teilmengen vor. Durch Abzug der erstgenannten Teilmengen (Kraftstoffeinsatz in national verkehrenden IMO-zertifizierten Seeschiffen) von den in EBZ 6 enthaltenen Bunkermengen ergibt sich die von international verkehrenden Seeschiffen in D gebunkerte Restmenge, die als Grundlage für die Berechnung der gesondert ausgewiesenen Emissionen des internationalen Seeverkehrs (ab D) gemäß Tier 1 dient (siehe Kapitel 3.2.2.3).

Die jährlich von *Binnenschiffen* in Deutschland getankten Kraftstoffmengen ergeben sich durch Abzug der zweiten Teilmengen (Kraftstoffeinsatz in national verkehrenden nicht-IMO-zertifizierten Seeschiffen) von der in EBZ 64 angeführten Gesamtmenge. Die wechselnde Befahrbarkeit der Wasserstraßen hat stark schwankende jährliche Verbräuche zur Folge, welche seit Mitte der 1990er Jahre tendenziell sinken, da aufgrund von Preisvorteilen viele Schiffe im Ausland betankt werden. Der abrupte Rückgang 1994/1995 ist einer Umstellung der Energiebilanz geschuldet.

Im Rahmen des Überprüfungsprozesses des UNFCCC wurde Deutschland wiederholt (zuletzt während des In-Country Reviews 2016) ermutigt, Emissionen aus zwar hierzulande von Binnenschiffen getankten, aber erst im Ausland verbrauchten Kraftstoffen separat auszuweisen. Da die verfügbaren Statistiken und Modelle dies nicht unmittelbar zulassen, wäre hierzu eine sehr aufwändige regelmäßige Erhebung notwendig, auf deren Grundlage zudem Daten bis zurück nach 1990 entwickelt werden müssten. Unter der Annahme, dass grenzüberschreitend

verkehrende Binnenschiffe nur in seltenen Fällen in Deutschland Kraftstoffe aufnehmen³³, erscheint ein solches Vorgehen jedoch als fragwürdig. Nichtsdestotrotz wird der Bitte der Prüfkommisionen nachgegangen und eine für alle Seiten vertretbare wie wissenschaftlich belastbare Lösung gesucht.

Hinsichtlich der verwendeten **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen. Weiterführende Informationen speziell zu Kohlendioxid aus der Schmierstoff-Mitverbrennung finden sich zudem in Kapitel 19.1.4.

Bezüglich der Freisetzung von Methan und Lachgas aus der Schmierstoff-Mitverbrennung wird davon ausgegangen, dass diese bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe berücksichtigt und daher als IE (*included elsewhere*) zu berichten ist.

Alle weiteren Emissionsfaktoren für den Teilssektor *Nationaler Seeverkehr* wurden Deichnik (2020) entnommen.

Für die *Binnenschifffahrt* kommen CH₄-Emissionsfaktoren aus Knörr et al. (2020c) zum Einsatz. Als Berechnungsgrundlage dienen Prüfstandmessungen sowie Daten zur benötigten Antriebsenergie differenziert nach Schiffstypen und -größen, Beladungen und Wasserstraßentypen. Hinsichtlich N₂O folgen die EF Expertenbetrachtungen im UBA entsprechend der UBA-Studie Luftreinhaltung '88 bzw. dem Analogieschluss zu schweren Nutzfahrzeugen ohne Minderungstechnik.

Tabelle 76: für das Berichtsjahr 2019 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH ₄	N ₂ O	Ursprung
Binnenschifffahrt			
Diesel	1,45 (-)	1,00 (-)	landesspezifischer Wert gemäß Knörr et al. (2020c)
nationaler Seeverkehr			
Diesel	0,96	3,35 (2,00)	gemäß Deichnik (2020)
Schweröl	0,65 (7,00)	3,55 (2,00)	gemäß Deichnik (2020)
übergreifend			
Schmierstoffe			in EF der einzelnen Kraftstoffe berücksichtigt

in Klammern: Default-Werte gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 3.5, S. 3.50, Tabelle 3.5.3

EF für Biodiesel entsprechen den für ihre fossilen Diesel verwendeten Werten

3.2.10.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.d)

Während hinsichtlich der nationalen Binnenschifffahrt Unsicherheiten aus (IFEU & INFRAS, 2009) entnommen werden konnten, muss bzgl. des nationalen Seeverkehrs derzeit noch auf Richtwerte gemäß IPCC zurückgegriffen werden.

Durch die von 1994 zu 1995 erfolgte Umstellung der Energiebilanzen weisen die Zeitreihen der Aktivitätsdaten für Küsten- und Binnenschifffahrt zudem Inkonsistenzen auf, die aktuell nicht beseitigt werden können.

Die Emissionsfaktor-Zeitreihen weisen dagegen keine Inkonsistenzen auf.

3.2.10.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.d)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

³³ Aufgrund der in den Anrainerstaaten von Rhein und Donau dauerhaft preiswerteren Kraftstoffe und angesichts der Tatsache, dass ein großes Binnenschiff mit einer Tankfüllung ohne weiteres mehrere tausend Kilometer zurücklegen kann, wird davon ausgegangen, dass ein Nachtanken in Deutschland für grenzüberschreitende Fahrten nur in Ausnahmefällen stattfindet.

Zur Qualitätssicherung der Energiebilanzen liegen dem Umweltbundesamt entsprechende Qualitätsberichte der AGEB vor. Außerdem wurde eine Dokumentation zur Überarbeitung der Energiebilanzen ab dem Jahr 2003 im Internet veröffentlicht³⁴.

Tabelle 77: Übersicht relevanter Datenvergleiche

Vergleich mit...		Erläuterung
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO ₂	spezif. Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Tabelle 3.5.2	siehe Tabelle 78
CH ₄ , N ₂ O	sektorspezif. Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Tabelle 3.5.3	See: siehe Tabelle 76 Binnen: keine Defaults
CH ₄ , N ₂ O	Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Tabelle 2.4	Binnen: Ergebnisse kaum aussagekräftig
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	spezifischen IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 79

Tabelle 78: Vergleich der für das Berichtsjahr 2019 verwendeten EF(CO₂) mit IPCC-Default-Werten

	Inventarwert ^a	Default	Untergrenze	Obergrenze
fossiler Dieselkraftstoff	74.027	74.100	72.600	74.800
Schweröl	79.400	77.400	75.500	78.800
Biodiesel	70.800		59.800	84.300

^a gemäß IPCC (2006): Band 2, Tabelle 2.4

Die folgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten sowie der EU(28).

Tabelle 79: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ

	Dieselkraftstoff			Schweröl			Biomasse		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Deutschland	74.027	1,11	2,62	79.400	0,65	3,55	NO	NO	NO
Dänemark	73.971	1,92	1,83	77.959	2,18	1,86	NO	NO	NO
Frankreich	74.708	7,06	1,88	78.000	7,50	2,00	67.572	70,5	2,24
Niederlande	72.454	7,00	2,00	NO	NO	NO	70.741	47,2	0,86
Großbritannien	75.177	0,80	3,42	76.485	1,27	3,65	NO	NO	NO
EU (28)	74.232	3,64	4,21	77.543	5,97	2,25	68.726	50,3	2,01

Deutschland: aktuelle IEF für das Berichtsjahr 2019; alle anderen: IEF für 2018 gemäß CRF-Submission 2020

3.2.10.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.d)

Gegenüber der Submission 2020 erfolgten Rückrechnungen aufgrund aktualisierter Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren. Für das Jahr 2018 wurden dabei Angaben aus der zuletzt noch vorläufigen Energiebilanz durch finale Daten ersetzt. Darüber hinaus wurde der bisher ab 2004 berichtete Einsatz von Biodiesel auf Null gesetzt, da im deutschen Schiffsverkehr kein Biodiesel verwendet wird. Die Änderung erfolgt auf Grund neuer Erkenntnisse aus Knörr et al. (2020c).

³⁴ AG Energiebilanzen: Erläuterungen zur Revision der Energiebilanzen 2003 – 2009 URL: http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=7&clang=0#revision_der_energiebilanzen_2003_bis_2009_05 (Aufruf vom 18.09.2013)

Tabelle 80: revidierte Energieeinsätze, in Terajoule

	2004	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Dieselmotorkraftstoff											
Submission 2021	18.152	18.596	16.183	16.954	16.601	16.824	18.532	22.781	24.167	22.400	23.847
Submission 2020	18.152	18.596	16.183	16.954	16.601	16.824	18.532	22.781	24.167	22.400	22.492
Änderung absolut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.355
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,02%
Schweröl											
Submission 2021	8.069	7.172	6.114	5.961	6.410	6.376	6.046	50	7	7	190
Submission 2020	8.069	7.172	6.114	5.961	6.410	6.376	6.046	50	7	7	283
Änderung absolut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-92
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%	0%	0,0%	-32,7%
Biodiesel											
Submission 2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Submission 2020	95	268	691	757	708	647	705	697	461	520	523
Änderung absolut	-95	-268	-691	-757	-708	-647	-705	-697	-461	-520	-523
Änderung relativ	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%
Gesamt-Kraftstoffeinsatz											
Submission 2021	26.221	25.768	22.297	22.916	23.011	23.200	24.578	22.831	24.174	22.407	24.037
Submission 2020	26.316	26.036	22.988	23.673	23.719	23.846	25.282	23.528	24.635	22.927	23.298
Änderung absolut	-95	-268	-691	-757	-708	-647	-705	-697	-461	-520	739
Änderung relativ	-0,36%	-1,03%	-3,01%	-3,20%	-2,99%	-2,71%	-2,79%	-3,0%	-1,87%	-2,3%	3,17%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Dechnik (2020) und Knörr et al. (2020c)

Gleichzeitig erfolgte eine Korrektur der Methan-Emissionsfaktoren der Binnenschiffe.

Tabelle 81: revidierte Methan-Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Submission 2021	1,80	1,70	1,68	1,64	1,62	1,59	1,56	1,53	1,50	1,47
Submission 2020	1,64	1,43	1,40	1,37	1,35	1,32	1,29	1,27	1,24	1,22
Änderung absolut	0,16	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,26	0,26	0,25	0,25
Änderung relativ	9,91%	19,5%	19,9%	20,2%	20,3%	20,4%	20,5%	20,4%	20,4%	20,4%

Quelle: TREMOD, Knörr et al. (2020c)

Aus den beschriebenen Korrekturen resultieren folgende rekalkulierte Emissionen:

Tabelle 82: revidierte Treibhausgas-Emissionen, in kt bzw. kt CO₂-Äquivalenten

	2004	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Kohlendioxid ^a											
Submission 2021	1.987	1.947	1.685	1.731	1.742	1.756	1.864	1.690	1.790	1.659	1.781
Submission 2020	1.988	1.948	1.688	1.734	1.745	1.758	1.866	1.693	1.791	1.661	1.690
Änderung absolut	-0,37	-1,04	-2,69	-2,95	-2,76	-2,52	-2,74	-2,71	-1,80	-2,02	90,86
Änderung relativ	-0,02%	-0,05%	-0,16%	-0,17%	-0,16%	-0,14%	-0,15%	-0,16%	-0,10%	-0,12%	5,38%
Methan											
Submission 2021	0,029	0,031	0,026	0,027	0,026	0,026	0,028	0,027	0,027	0,024	0,026
Submission 2020	0,029	0,030	0,025	0,025	0,025	0,025	0,026	0,025	0,025	0,023	0,023
Änderung absolut	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,003
Änderung relativ	2,88%	3,45%	4,86%	5,42%	4,86%	5,36%	5,51%	6,63%	6,02%	5,27%	11,8%
Lachgas											
Submission 2021	0,072	0,067	0,058	0,057	0,060	0,060	0,063	0,055	0,063	0,058	0,063
Submission 2020	0,073	0,067	0,059	0,059	0,061	0,061	0,064	0,056	0,063	0,059	0,062
Änderung absolut	0,000	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,001
Änderung relativ	-0,24%	-0,67%	-1,98%	-2,09%	-1,97%	-1,79%	-1,85%	-1,96%	-1,27%	-1,41%	2,13%
Gesamt-THG ^a											
Submission 2021	2.010	1.968	1.703	1.749	1.761	1.774	1.883	1.707	1.809	1.677	1.800
Submission 2020	2.010	1.969	1.706	1.752	1.764	1.777	1.886	1.710	1.811	1.679	1.709
Änderung absolut	-0,40	-1,15	-3,01	-3,28	-3,09	-2,81	-3,06	-3,00	-2,00	-2,24	91,32
Änderung relativ	-0,02%	-0,06%	-0,18%	-0,19%	-0,18%	-0,16%	-0,16%	-0,18%	-0,11%	-0,13%	5,34%

Quelle: eigene Berechnungen; ^a inkl. fossiles CO₂ aus der Verwendung von Biokraftstoffen

3.2.10.4.6 Geplante Verbesserungen, categoriespezifisch (1.A.3.d)

Hinsichtlich des *nationalen Seeverkehrs* erfolgen im Rahmen der alljährlichen Modellaktualisierung im Bedarfsfall auch modellpflegerische Arbeiten, die derzeit noch nicht genauer benannt werden können.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.10.5 Transport - Übriger Verkehr (1.A.3.e)**3.2.10.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.3.e)**

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	1 A 3 e, Other Transportation	fossil fuels	CO ₂	1.083,3	0,1	1.194,0	0,2	10,2 %
-/-	1 A 3 e, Other Transportation		N ₂ O	14,5	0,0	10,5	0,0	-27,2 %
-/-	1 A 3 e, Other Transportation		CH ₄	5,3	0,0	5,8	0,0	10,1 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS	ETS	CS
CH ₄	Tier 2	ETS	CS
N ₂ O	Tier 2	ETS	CS

Die Kategorie 1.A.3.e - Transport - Übriger Verkehr ist keine Hauptkategorie.

In der Kategorie 1.A.3.e – Übriger Verkehr werden nur die Emissionen von *Gasturbinen in Erdgasverdichterstationen des Transportnetzes* berichtet. Die Emissionen aus Gasturbinen der Förderstationen werden in der Kategorie 1.A.1.c berichtet. Die diffusen Emissionen aus den Verdichtern werden unter 1.B.2.b.iii & iv berichtet. Es gibt noch weitere Gasverdichter in der chemischen Industrie, die gemäß der statistischen Struktur in der Kategorie 1.A.2.g Sonstige berichtet werden.

3.2.10.5.2 Methodische Aspekte (1.A.3.e)**Aktivitätsraten:**

Die Berechnung des Brennstoffeinsatzes der Erdgasverdichter wurde für den NIR 2012 vollständig überarbeitet. Als neue Datenquelle werden ab dem Jahr 2005 die für den Emissionshandel gemeldeten und von der Emissionshandelsstelle aggregierten Brennstoffeinsätze direkt verwendet. Aus dem Datensatz werden nur diejenigen Erdgasverdichter verwendet, die dem Transportnetz zuzuordnen sind. Die Erdgasverdichter der Förderstationen werden über die Energiestatistik abgefragt und sind damit bereits in der Kategorie 1.A.1.c enthalten. Durch diese Zuordnung wird eine Doppelzählung im Inventar vermieden.

Aufgrund der neuen Datenlage ergab sich der Hinweis, dass die Brennstoffeinsätze der gesamten Zeitreihe zu gering sein mussten. Einzig der in der Energiebilanz 2002 ausgewiesene Wert scheint in einer plausiblen Größenordnung. Obwohl die Brennstoffeinsätze der Erdgasverdichter von 1995-2002 in einer Statistik gemeldet wurden, kann davon ausgegangen werden, dass es eine Untererfassung gab. Deshalb wurde zur Herstellung der Zeitreihenkonsistenz eine Rückrechnung bis 1990 vorgenommen. Da die Brennstoffeinsätze abhängig vom Primärenergieverbrauch jährlich schwanken, wäre eine einfache Interpolation nicht zielführend gewesen. Deshalb wurde aus dem jeweiligen Verhältnis (Brennstoffeinsatz/Primärenergieverbrauch) ein Mittelwert über die Jahre 2005-2009

berechnet und damit bis 1990 zurückgerechnet. Dadurch ergibt sich eine plausible und konsistente Zeitreihe.

Emissionsfaktoren:

Die für den Erdgaseinsatz in **Erdgasverdichterstationen** verwendeten Emissionsfaktoren stützen sich schadstoffspezifisch auf Ergebnisse verschiedener Forschungsprojekte und Expertenbetrachtungen des UBA, im Einzelnen:

- Für CO₂ wird auf die Dokumentation im Anhang 2, Kapitel CO₂-Emissionsfaktoren, verwiesen.
- Die CH₄- und die N₂O-EF sind dem Bericht Fichtner et al. (2011) entnommen. Die Vorgehensweise der Studien ist in Kapitel 3.2.6.2 beschrieben.

3.2.10.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.3.e)

Erstmals wurden im Berichtsjahr 2004 für die Aktivitätsraten Unsicherheiten bestimmt (Jührich & Wachsmann, 2007). Die Methode zur Bestimmung der Unsicherheiten ist im Anhang 2, Kapitel „Unsicherheiten der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen“ des NIR 2007 beschrieben.

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Unsicherheiten der EF für Erdgasverdichterstationen ist im Kapitel 3.2.6.2 beschrieben. Ergebnisse für N₂O sind dem Kapitel 3.2.6.3.2 zu entnehmen, für CH₄ dem Kapitel 3.2.6.3.3.

3.2.10.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.3.e)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Ergebnisse des Kapitels 3.2.6.2 gelten entsprechend.

3.2.10.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.3.e)

Einheit [kt] Jahr	NIR 2020 gesamt	NIR 2021 gesamt	gas	Abweichung absolut	Abweichung relativ
2015	1.223	1.231	8,33	-8,33	-0,68%
2016	1.228	1.046	-181,77	181,77	14,80%
2017	1.249	1.252	2,27	-2,27	-0,18%
2018	1.323	1.329	5,98	-5,98	-0,45%

Aufgrund von Korrekturen der Emissionshandelsdaten ergeben sich Rückrechnungen für die Jahre 2015-2018..

3.2.10.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.3.e)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.11 Sonstige: Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirtschaft und Fischerei (1.A.4 stationär)

3.2.11.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.4 stationär)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	1 A 4 a, Commercial/Institutional	fossil fuels	CO ₂	64.111,3	5,0	32.634,7	4,1	-49,1 %
-/T	1 A 4 a, Commercial/Institutional		CH ₄	1.461,7	0,1	48,0	0,0	-96,7 %
-/-	1 A 4 a, Commercial/Institutional		N ₂ O	147,4	0,0	94,4	0,0	-36,0 %
L/T	1 A 4 b, Residential	fossil fuels	CO ₂	128.635,8	10,1	88.718,8	11,2	-31,0 %
-/T	1 A 4 b, Residential		CH ₄	2.484,4	0,2	753,7	0,1	-69,7 %
-/-	1 A 4 b, Residential		N ₂ O	768,9	0,1	289,0	0,0	-62,4 %
L/T	1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	fossil fuels	CO ₂	10.207,2	0,8	5.785,0	0,7	-43,3 %
-/-	1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		CH ₄	241,4	0,0	244,5	0,0	1,3 %
-/-	1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		N ₂ O	61,4	0,0	67,8	0,0	10,5 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 1*, CS	NS/M	CS, D*
CH ₄	CS (Tier 2)	NS/M	CS (M)
N ₂ O	CS (Tier 2)	NS/M	CS (M)
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS (Tier 2)	NS/M	CS (M)

* Biodiesel und mitverbrannte Schmierstoffe

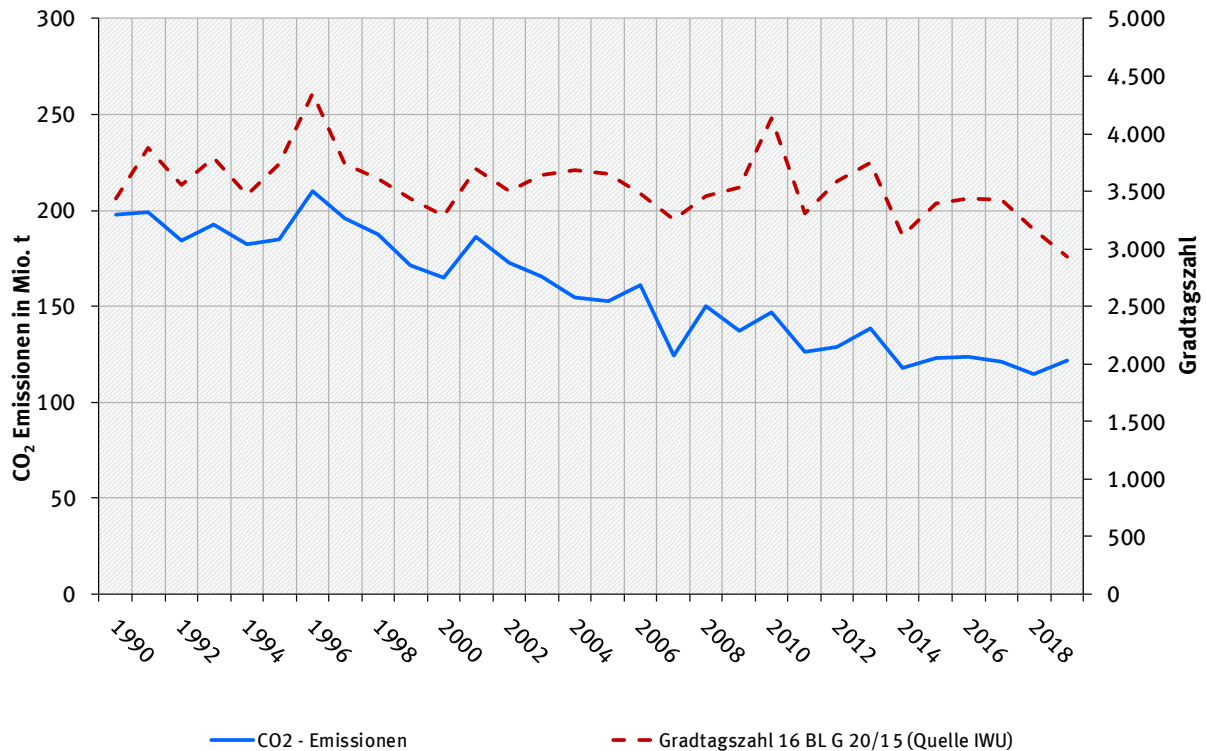
Die Einordnung in die Hauptkategorien erfolgt für die Kategorien 1.A.4 für stationäre und mobile Quellen gemeinsam (Übersicht siehe Kapitel 3.2.11.1). Demnach ist die Kategorie 1.A.4 *Sonstige* in allen ihren Subkategorien für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend. Für CH₄-Emissionen sind die Kategorien 1.A.4.a und b Hauptkategorie nach dem Trend.

Die Kategorie 1.A.4 stationär umfasst Feuerungsanlagen in den Bereichen der Haushalte, des Gewerbes, des Handels und der Dienstleistungen (Kleinverbraucher) und der Landwirtschaft (*Commercial and Institutional, Residential* und *Agriculture*).

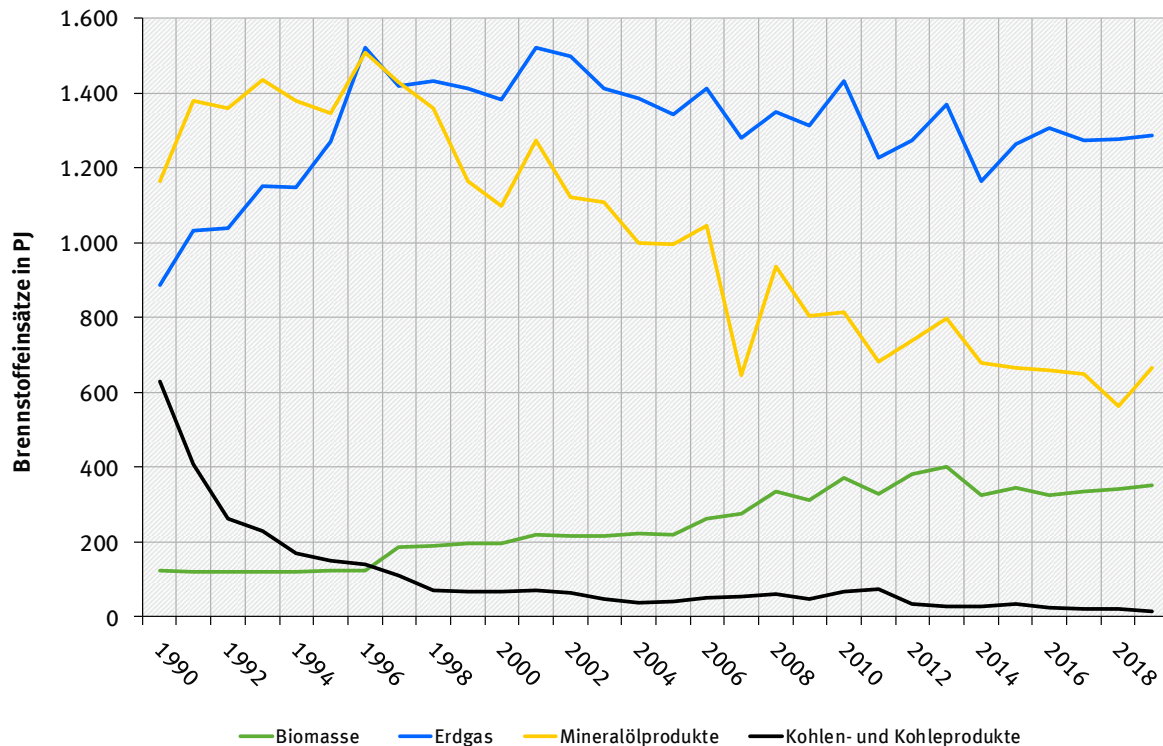
In der Subkategorie 1.A.4.ai Gewerbe, Handel und Dienstleistungen werden Anlagen zur Wärmeerzeugung in Kleinf Feuerungsanlagen der Kleinverbraucher berichtet.

Unter der Subkategorie 1.A.4.bi werden die Emissionen aus den Feuerungsanlagen der Haushalte verbucht. Die Subkategorie 1.A.4.ci umfasst die Bereiche Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei. Berichtet werden hier die Emissionen aus der Wärmeerzeugung in kleinen und mittleren Feuerungsanlagen.

Abbildung 33: Änderung der Gesamtemission von 1.A.4 in Abhängigkeit von der Temperatur



Der Haupttreiber für die CO₂-Emissionen in 1.A.4 ist der Energieverbrauch für Raumwärme. Daher sind Schwankungen beim Verbrauch meist durch die unterschiedlichen winterlichen Kälteperioden erklärbar. Der Trend zu weniger CO₂-Emissionen kommt durch die höheren Standards bei Neubauten bzw. die erfolgreiche Durchführung von energetischen Gebäudesanierungen bei Bestandsbauten, sowie durch den Wechsel zu CO₂-ärmeren Brennstoffen. CO₂-Emissionen von den heutzutage in Neubauten immer öfter eingesetzten elektrischen Wärmepumpen werden hier nicht berichtet sondern unter 1.A.1.a.

Abbildung 34: Verlauf des Energieverbrauchs von 1.A.4 (stationär) nach 4 Brennstoffkategorien

Der Wechsel von flüssigen Brennstoffen (fast nur Heizöl) und festen Brennstoffen (hauptsächlich Kohle) zu gasförmigen Brennstoffen (Erdgas) und Biomasse sorgte über den Berichtszeitraum seit 1990 für eine erhebliche CO₂-Emissionsminderung. Daneben wirkten sich auch Verbesserungen bei der Energieeffizienz verbrauchssenkend aus. Dieser langfristige Trend wurde überlagert durch kurzfristige Schwankungen des Energieverbrauchs, beispielweise durch Preisänderungen von Energieträgern, die wie leichtes Heizöl absatz- und nicht verbrauchsorientiert ermittelt werden. Eine wesentliche Rolle für die Entwicklung des Energieeinsatzes eines Jahres spielt auch der Wärmemarkt, der stark von den Witterungsverhältnissen in der winterlichen Heizperiode beeinflusst ist. Besonders beim leichten Heizöl und Erdgas führte dies über die Jahre hinweg zu starken Schwankungen im Energieverbrauch.

Im Jahr 2019 trug vor allem der gestiegene Absatz an Heizöl durch preisbedingte Nachholeffekte und durch die Witterung zu einem Anstieg der CO₂-Emissionen bei. Gemessen an den Gradtagzahlen (gemittelt über 16 Messstationen) war die Witterung im Jahr 2019 insgesamt zwar um rund 7 % wärmer als im Vorjahr, die Frühlingsmonate April und Mai hingegen waren 2019 deutlich kälter als im Vorjahr.

Im Ergebnis verzeichnete leichtes Heizöl im Sektor private Haushalte und Kleinverbrauch eine Zunahme um 18,6 % gegenüber dem Vorjahr, Mineralöl insgesamt um 15,0 %. Der Einsatz von Braun- und Steinkohlen nahm dagegen deutlich ab, deren Anteil am Endenergieverbrauch der Privaten Haushalte und Kleingewerbe liegt aber nur noch bei 1,8 %. Der Verbrauch erneuerbarer Energieträger, insbesondere fester Biomasse, nahm um 6,3 % gegenüber dem Vorjahr zu.

Der Bestand an Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (Kleinverbraucher) stellt hinsichtlich Bauart und Größe der Anlagen eine sehr inhomogene Gruppe dar. Die Bandbreite der installierten Feuerungen reicht, um nur einige Beispiele zu nennen, von Einzelraumfeuerstätten für feste Brennstoffe mit ca. 4 kW Nennwärmeleistung (z.B. Kaminöfen, Herde), über Öl- und Gasfeuerungen zur Raumwärme- und

Warmwassererzeugung (z.B. Zentralheizungskessel) sowie hand- und automatisch beschickte Holzfeuerungen im gewerblichen Bereich bis hin zu genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen bei Kleinverbrauchern mit einer Nennwärmeleistung von mehreren Megawatt. Insgesamt waren im Jahr 2010 mehr als 36,3 Mio. Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (Kleinverbraucher) in Deutschland installiert (Tebert et al., 2016). Daran hatten Gasfeuerungsanlagen mit ca. 16,2 Mio. Anlagen den größten Anteil, gefolgt von den Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe (14,2 Mio. Anlagen) und Ölfeuerungsanlagen (ca. 5,9 Mio.).

Der Holzeinsatz in den Sektoren „Private Haushalte“ und „Gewerbe, Handel und Dienstleistungen“ (GHD) stützt sich – wie auch der Verbrauch der anderen Bioenergieträger in den verschiedenen Verbrauchssektoren – auf die Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), die für die Daten zu erneuerbaren Energien zu verschiedenen nationalen, EU-weiten und internationalen Berichtspflichten der Bundesregierung verantwortlich zeichnet³⁵.

Die Ergebnisse für die privaten Haushalte basieren dabei auf die im Rahmen des „Rohstoffmonitoring Holz“³⁶ durchgeführten Verbrauchserhebungen. Dabei werden neben dem über den offiziellen Handel käuflich erworbenen Brennholz auch die im Wald gesammelten Mengen mit erfasst. Für die Zwischenjahre findet ein Regressionsmodell Anwendung, in das die Gradtagszahlen und die Preisindizes der konventionellen Energieträger in Verbindung mit der Beheizungsstruktur der Wohngebäude einfließen. Die Umrechnung der Volumeneinheiten in Energieeinheiten erfolgt über die abgestimmte Umrechnungskonvention der AGEE-Stat.

Der Holzeinsatz der ausschließlichen Wärmeerzeugungsanlagen des GHD-Sektors wird mittels Restrechnung abgeleitet. Dabei wird der im Zuge der Erhebungen des „Rohstoffmonitoring Holz“ und mittels Regressionsmodellen ermittelte Gesamtholzverbrauch (außerhalb der privaten Haushalte) mit den in der amtlichen Energiestatistik sowie ergänzend dazu modelltechnisch erfassten Holzmengen verschnitten. Der auch über dieses Modell abgeleitete Holzeinsatz, der mit der Wärmebereitstellung der KWK-Anlagen in Verbindung steht, ist ebenfalls Bestandteil des Gesamtholzverbrauchs des GHD-Sektors.

3.2.11.2 Methodische Aspekte (1.A.4 stationär)

Aktivitätsraten

Die Aktivitätsraten der Kategorie 1.A.4 bauen auf den durch die AG Energiebilanzen (AGEB) erstellten Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland auf. Für die Jahre vor 1995 werden dabei für alte und neue Bundesländer getrennte Energiebilanzen verwendet. Für die Jahre ab 1995 sind die Zeilen 66 (Haushalte) und 67 (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher) maßgebend.

Da die Angaben der Energiebilanzzeile 67 – Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher – auch die Verbräuche des Militärs beinhalten, müssen diese von den jeweiligen Positionen der Zeile 67 abgezogen werden (siehe Kapitel 3.2.13.2 zu den stationären wie mobilen Quellen des militärischen Bereichs).

Zu den Energieeinsätzen in *Feuerungsanlagen der Landwirtschaft (1.A.4.ci)*, die ebenfalls in Zeile 67 der Energiebilanz enthalten sind, kann für die fossilen Brennstoffe auf Angaben einer vorliegenden Studie (Kolmetz et al., 1995) für das Jahr 1995 zurückgegriffen werden. Hier wurde

³⁵ vgl. auch https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Arbeitsgruppe/arbeitsgruppe_ee.html

³⁶ <https://www.kiwuh.de/projekte-und-foerderung/projekte/holzbereitstellung/rohstoffmonitoring-holz/>

eine Schätzung des Anteils der Feuerungsanlagen der Landwirtschaft am gesamten Energieeinsatz in Zeile 67 vorgenommen. Dieser Anteil wurde seither als konstant angenommen.

Emissionsfaktoren

Eine Beschreibung sowie eine Liste der verwendeten CO₂ Emissionsfaktoren ist im Anhang, Kapitel 18.8 verfügbar.

Datengrundlage für die stationären Feuerungsanlagen verwendeten Emissionsfaktoren für N₂O und CH₄ ist der Forschungsbericht „Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher“ (Tebert et al., 2016). Im Rahmen dieses Vorhabens wurden gerätebezogene und kategoriespezifische Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher für alle wichtigen Abgaskomponenten mit hohem Detaillierungsgrad für die Bezugsjahre 2010 und 2015 berechnet.

Die Ermittlung der Emissionsfaktoren beruht auf einem kategoriespezifischen „bottom-up“-Ansatz, bei dem zusätzlich zu den (Sub-)Kategorien und Brennstoffen detailliert nach Anlagentechnologien unterschieden wird. Hierbei werden durch Aggregation von mehreren anlagenspezifischen Emissionsfaktoren mittlere Emissionsfaktoren für den gesamten Anlagenbestand innerhalb der betrachteten Kategorien generiert. Durch die anlagen-/gruppenspezifischen Emissionsfaktoren werden alle wesentlichen feuerungstechnischen Besonderheiten der für die einzelnen Gruppen typischen Anlagen erfasst. Das Verfahren entspricht der Tier 2/3-Methode der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006).

Die Strukturierung der Emissionsfaktoren richtete sich nach den in Deutschland am Endenergieverbrauch relevant beteiligten Brennstoffen:

- Heizöl EL,
- Erdgas,
- Braunkohlen (Briketts aus dem Rheinischen und Lausitzer Revier, Importbriketts),
- Steinkohlen (Koks, Briketts, Anthrazit) und
- Holz (naturbelassenes Holz, Holzpellets, Resthölzer).

Außerdem wurden die Emissionsfaktoren nach der Gerätebauart, der Altersstufe, dem Leistungsbereich und der typischen Betriebsweise der Feuerungsanlagen differenziert erhoben. Das Emissionsverhalten der Feuerungsanlagen wurde auf der Basis einer umfangreichen Literaturlauswertung dokumentiert. Durch die Anwendung von Übertragungsfaktoren wurde berücksichtigt, dass die Emissionen auf dem Prüfstand in der Regel unter denen von installierten Anlagen liegen.

Die Beschreibung der Anlagenstruktur der installierten Feuerungsanlagen erfolgte unter Fortschreibung der Daten von Struschka et al. (2008) mit Hilfe von Absatzstatistiken der einschlägigen Industrieverbände. Mit Hilfe dieser Daten wurde der Energieeinsatz in einzelnen Anlagentypen geschätzt, so dass nach Energieeinsätzen gewichtete sektorale Emissionsfaktoren ermittelt werden konnten. Tabelle 83 zeigt die sektoralen Emissionsfaktoren.

Tabelle 83: Sektorale Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher für das Bezugsjahr 2010

1.A.4.bi - Haushalte	CH ₄	N ₂ O
	[kg/TJ]	
Steinkohlen	134	11,5
Briketts	368	9,7
Steinkohlenkoks	13	0,9
Braunkohlenbriketts	237	5,2
Naturbelassenes Holz	97	1,6
Heizöl EL	0,03	0,55
Erdgas	3	0,25
1.A.4.ai & ci- Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (Kleinverbraucher)		
Steinkohlen	100	8,5
Briketts	-	-
Steinkohlenkoks	20	0,8
Braunkohlenbriketts	-	-
Holzbrennstoffe	43	0,53
Heizöl EL	0,03	0,56
Erdgas	0,16	0,33

Die Emissionsfaktoren des Jahres 2010 wurden für folgende Jahre konstant fortgeschrieben.

3.2.11.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.4 stationär)

Anhang 2, Kapitel 13.6 im NIR 2007 beschreibt die Methode, mit der die Unsicherheiten für die **Aktivitätsraten** ermittelt wurden.

Die Berechnung von abgesicherten Emissionsfaktoren im Anlagenbereich kann nur durch ein aufwendiges Verfahren erfolgen. Neben Emissionswerten müssen zusätzliche Informationen z.B. zur Berücksichtigung der Betriebsweise (Lastfälle), der Anlagenstruktur und des gerätebezogenen Endenergieverbrauchs ermittelt werden. Bei der Datenermittlung im Rahmen des oben genannten FE-Vorhabens wurde dieser Ansatz weitgehend verfolgt, gleichwohl musste allein aufgrund des großen Anlagenbestandes sowie der Vielzahl verschiedener Feuerungsbauarten und der zum Einsatz kommenden Brennstoffe von einer relativ großen „Grundunsicherheit“ der Daten ausgegangen werden.

Bei einigen Anlagenarten lagen bei Einsatz bestimmter Brennstoffe zudem nur unzureichende oder überhaupt keine Daten zum Emissionsverhalten vor. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei den Feuerungsanlagen der Haushalte und in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (Kleinverbraucher) keine gesetzliche Messpflicht für Treibhausgasemissionen besteht. Für die Ermittlung der Emissionsfaktoren konnte daher im Regelfall (ausgenommen CO₂, da weitgehend unabhängig von der Feuerungsbauart) nur auf wenige Ergebnisse von Einzelmessungen an ausgewählten Anlagen zurückgegriffen werden. Die Datenlücken wurden durch Übertragung von Emissionsfaktoren vergleichbarer Feuerungsanlagen geschlossen.

Die Ermittlung der für die Emissionsfaktoren für CH₄ und N₂O aus der stationären Feuerung angegebenen Unsicherheiten erfolgte durch eine Expertenschätzung gemäß IPCC-GPG (Penman et al. (2000): Kapitel 6). Sie basiert auf den für das o.g. Forschungsvorhaben erhobenen Emissionsdaten und wurde im Rahmen des o.g. Forschungsprojekts von Experten des Instituts für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen der Universität Stuttgart durchgeführt. Die Schätzung der Unsicherheiten erfolgte separat für alle Feuerungstechniken und Brennstoffe. In die Schätzung gingen für N₂O und CH₄ folgende Fehlerquellen ein:

- der Messfehler bei der Bestimmung der Schadstoff-Konzentration;

- die Unsicherheit bei der Schätzung von Übertragungsfaktoren (systematische Unterschiede zwischen Prüfstands- und Feldmessungen);
- die Unsicherheit aufgrund einer zu geringen Anzahl an Emissionsdaten;
- die Unsicherheit aufgrund von unterschiedlichen eingesetzten Messverfahren;
- die Unsicherheiten bei den angesetzten Anlagendaten (Bestands-, Alters- und Leistungsstruktur und eingesetzte Brennstoffmengen)

Bei Gasfeuerungsanlagen tritt ein weiterer Fehler bei der Ermittlung der Start-/ Stopp-Emissionen auf. Hier wird CH₄ aus dem Erdgas während der An- und Abfahrvorgänge teilweise unverbrannt emittiert. Diese dem eigentlichen Verbrennungsprozess vor- und nachgelagerten Emissionen, vgl. hierzu Kapitel 3.3.2.2 (Erdgas), tragen erheblich dazu bei, dass die CH₄-Emissionsfaktoren bei Gasfeuerungsanlagen mit hohen Unsicherheiten behaftet sind.

Für die Verteilung der Unsicherheiten wird bei den N₂O-Emissionsfaktoren eine Log-Normalverteilung angenommen. Es ist davon auszugehen, dass die Abweichungen hin zu größeren Werten deutlich ausgeprägter sind als hin zu kleineren Werten. Die Emissionsfaktoren für CH₄ und N₂O wurden im Rahmen des o.g. Forschungsvorhabens für das Jahr 2005 erhoben und seither als konstant angenommen.

3.2.11.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.4 stationär)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Informationen zur Qualitätssicherung für die **Aktivitätsraten** sind in Kapitel 3.2.6.4 beschrieben. Weitere Informationen zur Qualitätssicherung siehe Kapitel 18.4.1.

Zur Qualitätssicherung der Angaben zu *stationären Feuerungen* wurden im Rahmen des oben genannten FE-Vorhabens alle verwendeten Eingangsdaten aus der Literatur und aus eigenen Erhebungen des Forschungsnehmers auf ihre Validität hin überprüft. Zur Beschreibung des Emissionsverhaltens der Feuerungsanlagen wurden Emissionswerte grundsätzlich nur dann in die weitere Berechnung übernommen, wenn in der Literaturstelle vollständige und zweifelsfreie Angaben zum eingesetzten Brennstoff, zur Bauart der Feuerung und deren Betriebsweise während der Messungen vorhanden waren. Alle für die Inventarerstellung wesentlichen Materialien hat der Auftragnehmer dokumentiert.

Im Rahmen einer von Fachleuten des Umweltbundesamtes durchgeführten Qualitätsprüfung wurden zudem die nach Tier 2 ermittelten länderspezifischen Emissionsfaktoren für CH₄ und N₂O mit den IPCC Tier 2 Default-Faktoren der IPCC Guidelines for emissions inventories (IPCC, 2006) verglichen. Dabei ergab sich bei den meisten Brennstoffen eine gute Übereinstimmung der Werte (Abweichungen innerhalb einer Größenordnung), wobei tendenziell die Default-Werte für CH₄ höher liegen als die länderspezifischen Werte.

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurden für die Sektoren Haushalte sowie Gewerbe, Handel, Dienstleistungen für das Jahr 2015 neben der Ermittlung der Emissionen nach Tier 2/3 eine Berechnung mit den Tier-1-Default-Werten durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 84 dokumentiert.

Tabelle 84: Emissionsberechnung mit landesspezifischen Tier 2/3 Emissionsfaktoren und mit den Tier 1 Default-Emissionsfaktoren nach IPCC (2006)

Emissionsfaktoren	CH ₄ [t]				N ₂ O [t]			
	Haushalte		Kleinverbraucher		Haushalte		Kleinverbraucher	
	Tier 1 Default	landes-spezifische EF	Tier 1 Default	Landes-spezifische EF	Tier 1 Default	Landes-spezifische EF	Tier 1 Default	Landes-spezifische EF
Heizöl EL	4.694	76	1.723	6	277	256	101	97
Brenngase	4.223	2.534	1.763	55	84	212	35	115
Kohlebrennstoffe	7.388	5.776	44	85	37	177	2	7
Holz	66.780	21.074	9.011	1.465	890	352	120	25
Summe	83.085	29.459	12.541	1.611	1.289	997	258	244

In den Emissionen des Kleinverbrauchs sind die Emissionen der Bereiche Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei enthalten.

Die Ergebnisse der Emissionsberechnung stimmen für N₂O bei beiden Methoden recht gut überein. Größere Abweichungen treten bei der Ermittlung der CH₄-Emissionen auf. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Methanemissionen von Feuerungsanlagen sehr stark von der Verbrennungstechnik abhängen. Unterschiede in der Anlagenstruktur in einzelnen Ländern machen sich deshalb sehr viel stärker in den ermittelten Gesamtemissionen bemerkbar als bei Lachgas. Vor allem der Default-Emissionsfaktor für Heizöl liegt sehr hoch. Der in IPCC 2006 angegebene Technikspezifische Emissionsfaktor für Heizkessel stimmt mit dem länderspezifischen Faktor für Deutschland deutlich besser überein.

Datenquellen, die einen Vergleich mit den hier für die mobilen Quellen der Haushalte, den landwirtschaftlichen Verkehr und den Fischfang berichteten Daten erlauben würden, sind nicht bekannt. Darüber hinaus wurde ein Vergleich der landesspezifischen IEF mit denen anderer Staaten durchgeführt, der aufgrund der heterogenen Zusammensetzung der Unterkategorien gerade für Methan und Lachgas allerdings nur begrenzt aussagefähig ist.

3.2.11.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.4 stationär)

Tabelle 85: Rückrechnungen in CRF 1.A.4 stationär

Einheit [kt]	NIR 2020	NIR 2021	Abweichung absolut			gesamt	Abweichung relativ gesamt
			gas	liquid	solid		
Jahr	gesamt	gesamt					
2001	185.982	185.986	0	4	0	4	0,00%
2002	172.790	172.798	0	9	0	9	0,00%
2003	165.212	165.226	0	13	0	13	0,01%
2004	154.860	154.878	0	18	0	18	0,01%
2005	152.431	152.454	0	24	0	24	0,02%
2006	160.990	161.019	0	29	0	29	0,02%
2007	124.357	124.393	0	35	0	35	0,03%
2008	150.287	150.327	0	40	0	40	0,03%
2009	137.260	137.306	0	46	0	46	0,03%
2010	146.658	146.711	0	52	0	52	0,04%
2011	126.333	126.391	0	58	0	58	0,05%
2012	128.877	128.940	0	63	0	63	0,05%
2013	138.276	138.345	0	69	0	69	0,05%
2014	117.592	117.666	0	74	0	74	0,06%
2015	122.877	122.958	0	80	0	80	0,07%
2016	123.502	123.577	0	75	0	75	0,06%
2017	121.842	120.953	-966	78	0	-888	-0,73%
2018	115.098	114.812	2.997	-3.344	60	-287	-0,25%

Im Jahr 2018 kommt es zu größeren Rückrechnungen, da die in der Submission 2020 eingetragenen vorläufigen Werte durch die endgültige Energiebilanz ersetzt wurden. Außerdem kommt es über die gesamte Zeitreihe ab 2001 zu Rückrechnungen bei den flüssigen

Brennstoffen, da der Flüssiggaseinsatz in den mobilen Quellen des GHD-Sektors korrigiert wurde. Das wirkt sich bilanziell auch auf die Flüssiggasmengen der stationären Feuerungen aus.

3.2.11.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.4 stationär)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

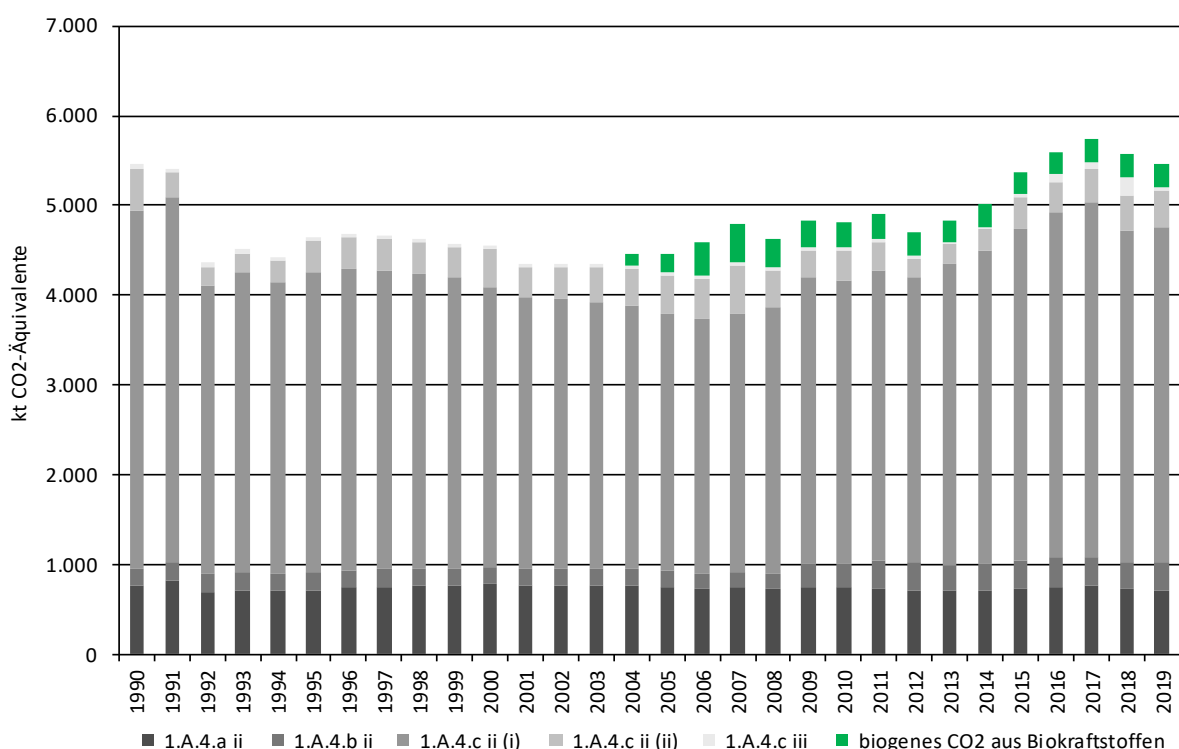
3.2.12 Sonstige: Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Land-, Forstwirtschaft und Fischerei (1.A.4 mobil)

3.2.12.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.4 mobil)

Die Einordnung in die Hauptkategorien erfolgt für die Kategorien 1.A.4 für stationäre & mobile Quellen gemeinsam (Übersicht siehe Kapitel 3.2.11.1). Demnach ist die Kategorie 1.A.4 *Sonstige* in allen ihren Subkategorien für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend. Für CH₄-Emissionen sind die Kategorien 1.A.4.a & b Hauptkategorie nach dem Trend.

Die Kategorie 1.A.4 – mobile umfasst verschiedene mobile Quellen in den Unterkategorien 1.A.4.a ii - Gewerbe, Handel und Dienstleistungen, 1.A.4.b ii - Haushalte, 1.A.4.c ii - Land- und Forstwirtschaft und sowie 1.A.4.c iii - Fischerei.

Abbildung 35: Entwicklung der THG-Emissionen der betrachteten Teilsektoren seit 1990



3.2.12.2 Methodische Aspekte (1.A.4 mobil)

Die **Aktivitätsraten** der Quellgruppe 1.A.4 werden, wie für die stationäre Feuerung beschrieben, (AGEB, 2017a) entnommen.

Die dort in *EBZ 66 – Haushalte* erfassten Ottokraftstoffe werden dabei vollständig den *mobilen Quellen (1.A.4.b ii)* zugeordnet.

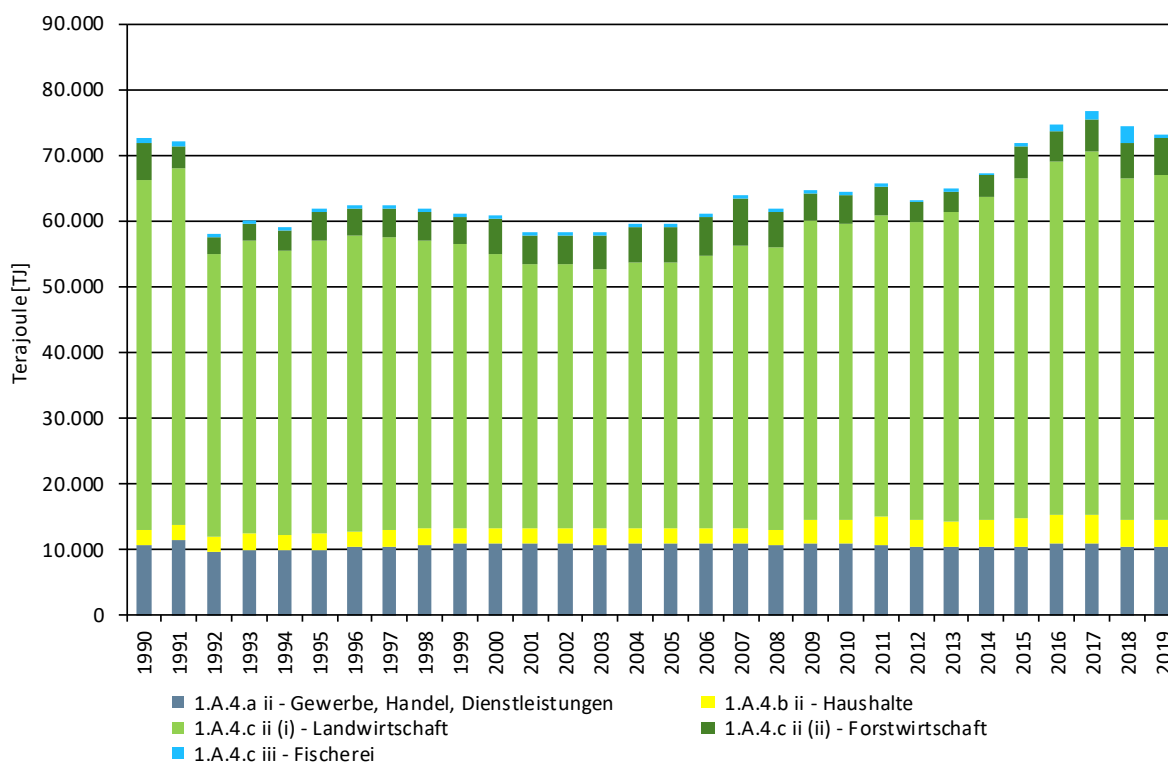
EBZ 67 – Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher beinhaltet auch die Kraftstoffverbräuche des Militärs, die in BAFA (2020) auch separat statistisch erfasst werden und somit hier abgezogen werden können (siehe Kapitel 3.2.14 zu mobilen Quellen des militärischen Bereichs). Die weitere Aufteilung auf *land- (1.A.4.c ii (i))*, *forst- (1.A.4.c ii (ii))* und *bauwirtschaftlichen Verkehr (1.A.2.g vii)* sowie mobile Quellen in *1.A.4.a ii* (vornehmlich Gabelstapler) erfolgt anhand eines in Knörr et al. (2020b) erzeugten jährlichen Verteilschlüssels.

Die Aktivitätsdaten der unter *1.A.4.c (iii) – Fischerei* erfassten Küsten- und Hochseefischerei werden im unter 1.A.3.d vorgestellten BSH-Modell u.a. anhand von AIS-Daten (Automatisches Identifikationssystem der IMO).

Die Menge *unbeabsichtigt* mitverbrannter Schmierstoffe wird grundsätzlich gemäß Wallfarth (2014) aus den jährlichen Kraftstoffmengen abgeleitet. Für die in Zweitakt-Ottomotoren (Haushalte, Fortwirtschaft) als Teil des Kraftstoffgemisches mitverbrannten Schmierstoffe ergibt sich diese Menge dagegen als Aufschlag von zwei Prozent zum hier getankten Benzin (siehe auch Kapitel 19.1.4).

Die CO₂-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe werden den nationalen Gesamtemissionen zugeordnet (s. Erläuterungen in Kapitel 19.1.5).

Abbildung 36: Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs innerhalb der betrachteten Teilsektoren seit 1990



Hinsichtlich der verwendeten **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen. Weiterführende Informationen speziell zu Kohlendioxid aus der Schmierstoff-Mitverbrennung finden sich zudem in Kapitel 19.1.4.

Für Methan und Lachgas kommen landesspezifische Werte gemäß Knörr et al. (2020b) und Dechnik (2020) zum Einsatz. Bezüglich der Freisetzung dieser beiden Treibhausgase aus der

Schmierstoff-Mitverbrennung wird davon ausgegangen, dass diese bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe berücksichtigt und daher als IE (*included elsewhere*) zu berichten ist.

Tabelle 86: für das Berichtsjahr 2019 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH ₄	N ₂ O	Ursprung
1.A.4.a ii – mobile Quellen in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen			
Diesel & Biodiesel	1,08 (4,15)	2,89 (28,60)	gemäß Knörr et al. (2020b)
Flüssiggas	7,65 (-)	3,45 (-)	gemäß Knörr et al. (2020b)
1.A.4.b ii – mobile Quellen der Haushalte			
Ottokraftstoff (Zweitakt)	211 (180)	0,45 (0,40)	gemäß Knörr et al. (2020b)
Ottokraftstoff (Viertakt)	26,6 (120)	1,32 (2)	gemäß Knörr et al. (2020b)
1.A.4.c ii (i) – mobile Quellen der Landwirtschaft			
Diesel & Biodiesel	1,83 (4,15)	2,88 (28,6)	gemäß Knörr et al. (2020b)
1.A.4.c ii (ii) – mobile Quellen der Forstwirtschaft			
Diesel & Biodiesel	0,47 (4,15)	3,11 (28,6)	gemäß Knörr et al. (2020b)
Ottokraftstoff (Zweitakt)	218 (170)	0,46 (0,40)	gemäß Knörr et al. (2020b)
1.A.4.c iii – Fischerei (hier: Hochseefischfang)			
Diesel & Biodiesel	1,02 (-)	3,33 (-)	gemäß Deichnik (2020)
Schweröl	NA	NA	Schwerölnutzung endet 2014
übergreifend			
Schmierstoffe	IE	IE	in EF der Kraftstoffe berücksichtigt

in Klammern: Default-Werte gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 3.3 - *Off-road transportation*, Seite 3.36, Tabelle 3.3.1

EF für Biodiesel und Bioethanol entsprechen den für ihre fossilen Pendanten angegebenen Werten

3.2.12.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.4 mobil)

Die von der mathematischen Unsicherheit des in TREMOD MM entwickelten Verteilschlüssels (siehe oben: Methodische Aspekte) dominierten Unsicherheitenangaben der spezifischen Energieeinsätze basieren auf Expertenschätzungen. Gleiches gilt für die verwendeten Kohlendioxid-Emissionsfaktoren. Während bzgl. der Emissionsfaktoren für Methan dagegen Ergebnisse aus Knörr et al. (2009) zugrunde gelegt werden, muss bzgl. Lachgas bis auf weiteres auf Richtwerte gemäß IPCC zurückgegriffen werden.

3.2.12.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.4 mobil)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Tabelle 87: Übersicht relevanter Datenvergleiche

	Vergleich mit...	Erläuterung
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO ₂	spezifischen Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 3, Tabellen 3.3.1 und 3.5.2 (1.A.4.c iii)	siehe Tabelle 88
CH ₄ , N ₂ O	spezifischen Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 3, Tabellen 3.3.1 und 3.5.3 (1.A.4.c iii)	siehe Tabelle 86
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	spezifischen IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 89

Tabelle 88: Vergleich der im Inventar verwendeten EF(CO₂) mit default-Werten*

	Inventarwerte ^a	Default ^b	Untergrenze	Obergrenze
Dieselmotorkraftstoff	74.027	74.100	72.600	74.800
Ottomotorkraftstoff		69.300	67.500	73.000
Zweitakt ^b	74.966			
Viertakt	75.000			
Flüssiggas	66.334	63.100	61.600	65.600
Schweröl	79.892	77.400	75.500	78.800
Schmierstoffe	73.300		71.900	75.200
Biodiesel	70.800		59.800	84.300
Bioethanol		70.800	59.800	84.300
Zweitakt ^c	71.641			
Viertakt	71.607			

^a Inventarwerte für 2019; ^b gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4

^c inkl. 2 % Schmierstoffe (EF = 73.300 kg/TJ) im Zweitaktergemisch 1:50

Die folgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten sowie den sich für die EU(28) ergebenden Werten, der sich aufgrund des äußerst heterogenen Quellgruppenzuschnitts jedoch schwierig gestaltet.

Tabelle 89: länderübergreifender Vergleich der berichteten IEF, in kg/TJ

	1.A.4.a ii			1.A.4.b ii			1.A.4.c ii		
	liquid fuels			liquid fuels			diesel		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Deutschland	74.574	1,08	2,89	72.089	67,9	1,13	74.027	1,74	2,90
Dänemark	73.235	28,1	1,86	73.000	52,9	1,16	73.999	0,84	3,55
Frankreich							74.865	4,17	28,7
Niederlande	72.499	3,15	0,60	73.023	44,8	0,60	72.454	1,18	0,60
Großbritannien				70.441	9,48	0,89	74.938	3,45	3,10
EU (28)							73.952	3,08	16,4
	1.A.4.c ii			1.A.4.c iii					
	gasoline			heavy fuel oil			diesel		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Deutschland	74.966	218	0,46				74.027	1,02	3,33
Dänemark	72.995	153	1,42	77.951	2,22	1,84	73.842	2,31	1,68
Frankreich	74.439	164	0,55	78.000	7,50	2,00	74.520	7,04	1,88
Niederlande	73.023	271	0,60	77.400	7,00	2,00	72.454	7,00	2,00
Großbritannien	70.134	48,7	0,34	76.485	1,53	3,82	75.313	1,03	3,41
EU (28)	73.231	155	1,79	77.329	6,52	2,16	74.034	5,34	2,12

Deutschland: IEF für das Berichtsjahr 2019; sonst: IEF für 2018 gemäß CRF-Submission 2020

3.2.12.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.4 mobil)

Wie oben beschrieben, sind die Aktivitätsraten der hier betrachteten Emissionsquellen Teil der in EBZ 67 angegebenen Primärdaten. Für das Jahr 2018 wurden hier die in Submission 2020 noch vorläufigen Daten durch finale Angaben ersetzt. Die anhand der offiziellen Beimengungsraten ermittelten Mengen eingesetzter Biokraftstoffe wurden entsprechend neu berechnet.

Tabelle 90: revidierte Primäraktivitätsdaten 2018, in Terajoule

	Diesel	Benzin	Biodiesel	Bioethanol	Flüssiggas
Submission	101.519	7.204	5.901	324	19.426
Submission	101.246	7.204	5.525	324	18.789
Änderung	273	0,00	376	0,00	637
Änderung	0,27%	0,00%	6,81%	0,00%	3,39%

Quelle: revidierte NEB 2018 (AGEB, 2020a) und eigene Berechnungen

Gleichzeitig kam es für alle Jahre ab 1990 zu einer Revision sowohl der zur Aufteilung der Primäraktivitätsrate für Dieselkraftstoff verwendeten Verteilschlüssel als auch der offiziellen Beimengungsraten für Biodiesel.

Tabelle 91: revidierte prozentuale Anteile am EBZ 67: Dieselkraftstoff, in %

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
1.A.4.a ii									
Submission 2021	0,070	0,067	0,070	0,072	0,065	0,057	0,058	0,058	0,057
Submission 2020	0,069	0,066	0,066	0,071	0,070	0,068	0,068	0,068	0,068
Änderung absolut	0,001	0,001	0,003	0,000	-0,005	-0,011	-0,010	-0,010	-0,011
Änderung relativ	0,94%	1,48%	5,23%	0,54%	-7,09%	-15,6%	-14,1%	-14,8%	-15,9%
1.A.4.c ii (i)									
Submission 2021	0,476	0,456	0,439	0,462	0,475	0,483	0,485	0,485	0,484
Submission 2020	0,484	0,467	0,468	0,501	0,509	0,507	0,510	0,511	0,512
Änderung absolut	-0,008	-0,011	-0,030	-0,038	-0,034	-0,025	-0,025	-0,025	-0,028
Änderung relativ	-1,62%	-2,30%	-6,33%	-7,66%	-6,75%	-4,87%	-5,00%	-4,97%	-5,52%
1.A.4.c ii (ii)									
Submission 2021	0,0241	0,0136	0,0216	0,0288	0,0292	0,0289	0,0272	0,0279	0,0335
Submission 2020	0,0238	0,0134	0,0205	0,0265	0,0267	0,0266	0,0251	0,0257	0,0259
Änderung absolut	0,0003	0,0002	0,0011	0,0023	0,0024	0,0023	0,0021	0,0022	0,0076
Änderung relativ	1,08%	1,62%	5,38%	8,71%	9,16%	8,56%	8,54%	8,63%	29,4%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf (IFEU, 2020b)

Aus diesen Anpassungen resultieren die nachfolgend dargestellten veränderten Energieeinsätze der betrachteten Teilsektoren.

Tabelle 92: revidierte Energieeinsätze der Teilsektoren, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
1.A.4.a ii									
Submission 2021	10.634	9.958	10.907	10.803	10.844	10.383	10.807	10.892	10.347
Submission 2020	10.561	9.863	10.577	10.873	12.047	12.724	13.000	13.206	12.665
Änderung absolut	73,2	94,7	330,4	-69,6	-1.203	-2.341	-2.193	-2.314	-2.319
Änderung relativ	0,69%	0,96%	3,12%	-0,64%	-9,98%	-18,4%	-16,9%	-17,5%	-18,3%
1.A.4.b ii									
Submission 2021	2.177	2.395	2.395	2.411	3.510	4.411	4.412	4.406	4.253
Submission 2020	2.177	2.395	2.395	2.411	3.510	4.411	4.412	4.406	4.253
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,00	0,00
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.4.c ii (i)									
Submission 2021	53.263	44.622	41.696	40.366	45.246	51.580	53.732	55.367	51.858
Submission 2020	54.142	45.674	44.513	41.905	47.980	54.190	56.531	58.245	54.553
Änderung absolut	-878	-1.053	-2.817	-1.538	-2.734	-2.610	-2.799	-2.878	-2.695
Änderung relativ	-1,62%	-2,30%	-6,33%	-3,67%	-5,70%	-4,82%	-4,95%	-4,94%	-4,94%
1.A.4.c ii (ii)									
Submission 2021	5.788	4.336	5.375	5.562	4.383	4.824	4.660	4.840	5.409
Submission 2020	5.759	4.315	5.271	5.278	4.143	4.618	4.463	4.631	4.422
Änderung absolut	28,9	21,2	105	284	241	206	197	209	987
Änderung relativ	0,50%	0,49%	1,99%	5,38%	5,81%	4,46%	4,41%	4,51%	22,3%
1.A.4.c iii									
Submission 2021	735	567	549	504	489	555	1.117	1.208	2.529
Submission 2020	735	567	549	508	500	565	1.126	1.216	2.463
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	-4,10	-11,8	-9,70	-8,49	-7,82	66,5
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	-0,81%	-2,36%	-1,72%	-0,75%	-0,64%	2,70%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf AGEB (2020a), Knörr et al. (2020b) und Dechnik (2020)

Aus diesen Korrekturen sowie innerhalb der Modellen revidierter Emissionsfaktoren resultieren folgende rekalkulierte Emissionsangaben:

Tabelle 93: revidierte Emissionsmengen, in Kilotonnen CO₂-Äquivalenten

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
1.A.4.a ii									
Submission 2021	775	718	778	745	743	724	755	761	720
Submission 2020	767	707	749	760	824	882	902	917	878
Änderung absolut	7,99	10,2	28,5	-15,3	-81,4	-158	-148	-156	-157
Änderung relativ	1,04%	1,44%	3,81%	-2,01%	-9,87%	-17,9%	-16,4%	-17,0%	-17,9%
1.A.4.b ii									
Submission 2021	178	190	186	185	261	329	329	329	315
Submission 2020	177	189	185	185	260	329	329	328	315
Änderung absolut	0,48	0,50	0,52	0,33	0,43	0,43	0,40	0,37	0,32
Änderung relativ	0,27%	0,27%	0,28%	0,18%	0,17%	0,13%	0,12%	0,11%	0,10%
1.A.4.c ii (i)									
Submission 2021	3.994	3.346	3.126	2.856	3.165	3.678	3.837	3.952	3.686
Submission 2020	4.060	3.425	3.338	3.079	3.392	3.866	4.039	4.159	3.890
Änderung absolut	-65,8	-78,8	-211	-223	-226	-189	-202	-207	-204
Änderung relativ	-1,62%	-2,30%	-6,33%	-7,23%	-6,67%	-4,88%	-5,00%	-4,98%	-5,25%
1.A.4.c ii (ii)									
Submission 2021	462	349	429	430	324	356	344	357	396
Submission 2020	458	346	420	415	308	341	329	341	325
Änderung absolut	3,77	2,96	9,36	15,6	15,8	14,9	14,3	15,1	71,1
Änderung relativ	0,82%	0,86%	2,23%	3,76%	5,13%	4,38%	4,33%	4,43%	21,9%
1.A.4.c iii									
Submission 2021	55,3	42,7	41,3	37,9	36,8	41,6	83,8	90,7	190
Submission 2020	55,3	42,7	41,3	37,9	36,8	41,7	83,9	90,7	184
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	-0,02	-0,06	-0,05	-0,04	-0,04	5,54
Änderung relativ	0,00%	0,0%	0,0%	-0,05%	-0,16%	-0,11%	-0,05%	-0,04%	3,01%
1.A.4 - mobile									
Submission 2021	5.464	4.645	4.561	4.255	4.530	5.129	5.348	5.489	5.307
Submission 2020	5.517	4.710	4.734	4.477	4.821	5.460	5.683	5.836	5.592
Änderung absolut	-53,6	-65,2	-173	-222	-291	-331	-335	-348	-284
Änderung relativ	-0,97%	-1,38%	-3,65%	-4,96%	-6,04%	-6,07%	-5,89%	-5,96%	-5,09%

Quelle: eigene Berechnungen; inkl. fossiles CO₂ aus der Verwendung von Biokraftstoffen

3.2.12.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.4 mobil)

Derzeit sind keine über die routinemäßige Prüfung und Revision der verwendeten Modelle hinausgehenden Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.13 Andere Bereiche (1.A.5.a stationär)

Die Kategorie 1.A.5 umfasst die verbrennungsbedingten Emissionen des militärischen Bereichs. Sie ist in die Kategorien 1.A.5.a „Stationary“ und 1.A.5.b „Mobile“ untergliedert.

3.2.13.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.5.a stationär)

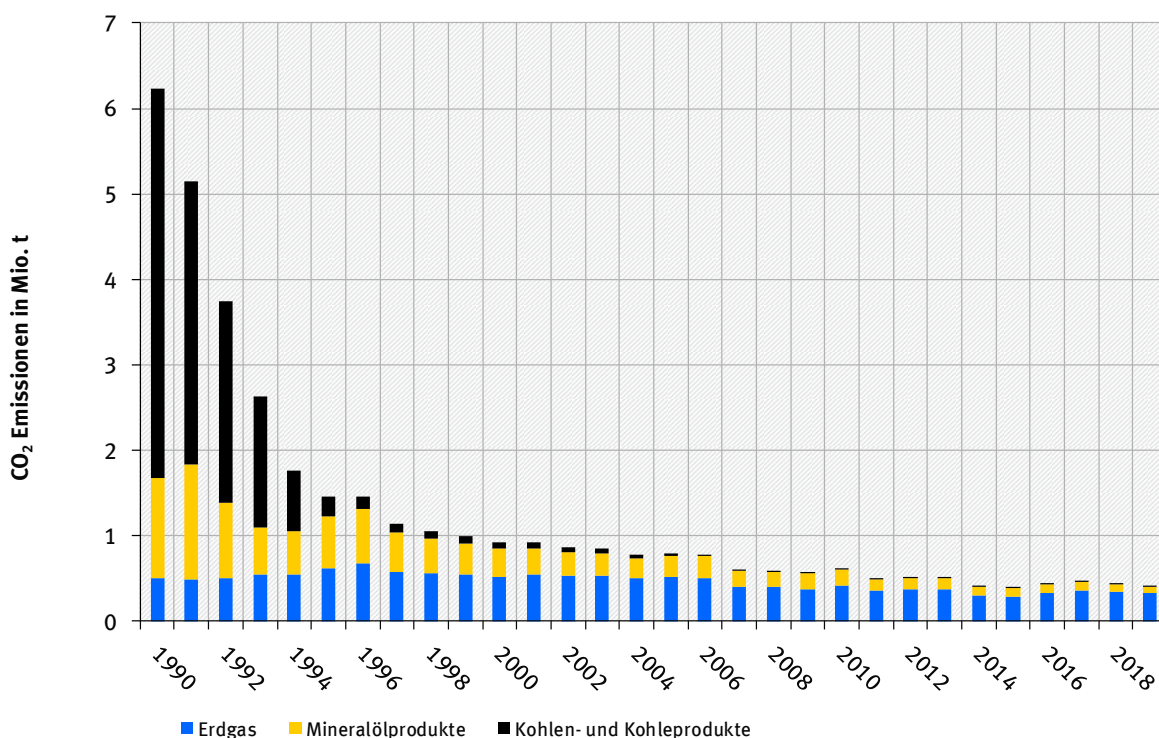
KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	1 A 5, Other: Military	fossil fuels	CO ₂	11.797,5	0,9	917,1	0,1	-92,2 %
-/-	1 A 5, Other: Military		CH ₄	279,4	0,0	1,1	0,0	-99,6 %
-/-	1 A 5, Other: Military		N ₂ O	61,3	0,0	4,2	0,0	-93,2 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS, Tier 1	NS	CS/D
CH ₄	CS, Tier 1, Tier 3	NS/M	CS/D/M
N ₂ O	CS, Tier 1, Tier 3	NS/M	CS/D/M

Die Einordnung in die Hauptkategorien erfolgt für die Kategorien 1.A.5 für stationäre & mobile Quellen gemeinsam. Demnach ist die Kategorie *Andere Bereiche* eine Hauptkategorie für CO₂ nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die folgende Abbildung zeigt den Emissionsverlauf seit 1990.

Abbildung 37: Entwicklung der CO₂-Emissionen der Kategorie 1.A.5.a



Die besonders starke Emissionsreduktion resultiert zum einen aus der Schließung vieler Militärischer Dienststellen, zum anderen aus einem deutlichen Trend weg von festen hin zu gasförmigen und flüssigen Brennstoffen.

3.2.13.2 Methodische Aspekte (1.A.5.a stationär)

Aktivitätsraten

Grundlage für die verwendeten Aktivitätsraten ist die Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland (AGEB). Da diese den Endenergieverbrauch der militärischen Dienststellen ab 1995 nicht mehr getrennt ausweist, sondern nur noch in Zeile 67 unter „Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“ mit erfasst, werden Angaben des Bundesamtes für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr (BAIUDbW, 2019) genutzt, das dem UBA den „Energieeinsatz zur Wärmeerzeugung in der Bundeswehr“ nach Brennstoffen

2000-2019 meldet. Diese Zahlen werden von den Angaben der Energiebilanzzeile 67 (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) subtrahiert und nicht in 1.A.4, sondern in 1.A.5 berichtet. Seit dem Berichtsjahr 2008 wird für die Kategorie 1.A.5.a auch der Einsatz von Holz berichtet. Seit dem Berichtsjahr 2020 stammt die Datengrundlage für die Zeitreihe ab 2003 von der AGEE-Stat.

Emissionsfaktoren

Eine Beschreibung sowie eine Liste der verwendeten CO₂ Emissionsfaktoren ist im Anhang, Kapitel 18.8 verfügbar.

Datengrundlage für die verwendeten Emissionsfaktoren alle anderen Schadstoffe sind die Ergebnisse eines Forschungsvorhabens der Universität Stuttgart im Auftrag des Umweltbundesamtes (Struschka et al., 2008). Im Rahmen dieses Vorhabens wurden gerätebezogene und kategoriespezifische Emissionsfaktoren von Feuerungsanlagen in den militärischen Dienststellen für alle wichtigen Abgaskomponenten mit hohem Detaillierungsgrad für das Bezugsjahr 2005 berechnet. Die Methode bei der Ermittlung der Faktoren entspricht der für die Kategorie 1.A.4 beschriebenen. Tabelle 94 zeigt die verwendeten sektoralen Emissionsfaktoren.

Tabelle 94: Sektoriale Emissionsfaktoren für das Militär

	CH ₄	N ₂ O
	[kg/TJ]	
stationäre Feuerung in Dienststellen		
Steinkohlen	2,0	4,8
Braunkohlenbriketts	242	0,37
Heizöl EL	0,017	0,56
Erdgas	0,042	0,29

3.2.13.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.5.a stationär)

Angaben zu den Unsicherheiten der Emissionsfaktoren können der Beschreibung der Kategorie 1.A.4 entnommen werden. Im Anhang 2 Kapitel 13.6 im NIR 2007 ist beschrieben, wie die Unsicherheiten für die Aktivitätsraten ermittelt wurden.

3.2.13.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.5.a stationär)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Da andere Datenquellen für Deutschland nicht bekannt sind, ist eine vergleichende Verifikation der hier berichteten Emissionen derzeit nicht möglich.

3.2.13.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.5.a stationär)

Für das Jahr 2018 ergeben sich leichte Rückrechnungen für die festen Brennstoffe, aufgrund der Aktualisierung der Heizwerte.

3.2.13.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.5.a stationär)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.14 Andere Bereiche (1.A.5.b mobil)

3.2.14.1 Beschreibung der Kategorie (1.A.5.b mobil)

Gas	angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 1 ^a , CS	NS/M ^b	D ^a , CS
CH ₄	CS, Tier 1, Tier 3	NS/M ^b	CS (M)
N ₂ O	CS, Tier 1, Tier 3	NS/M ^b	CS (M)
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	CS, Tier 1, Tier 3	NS/M ^b	CS (M)

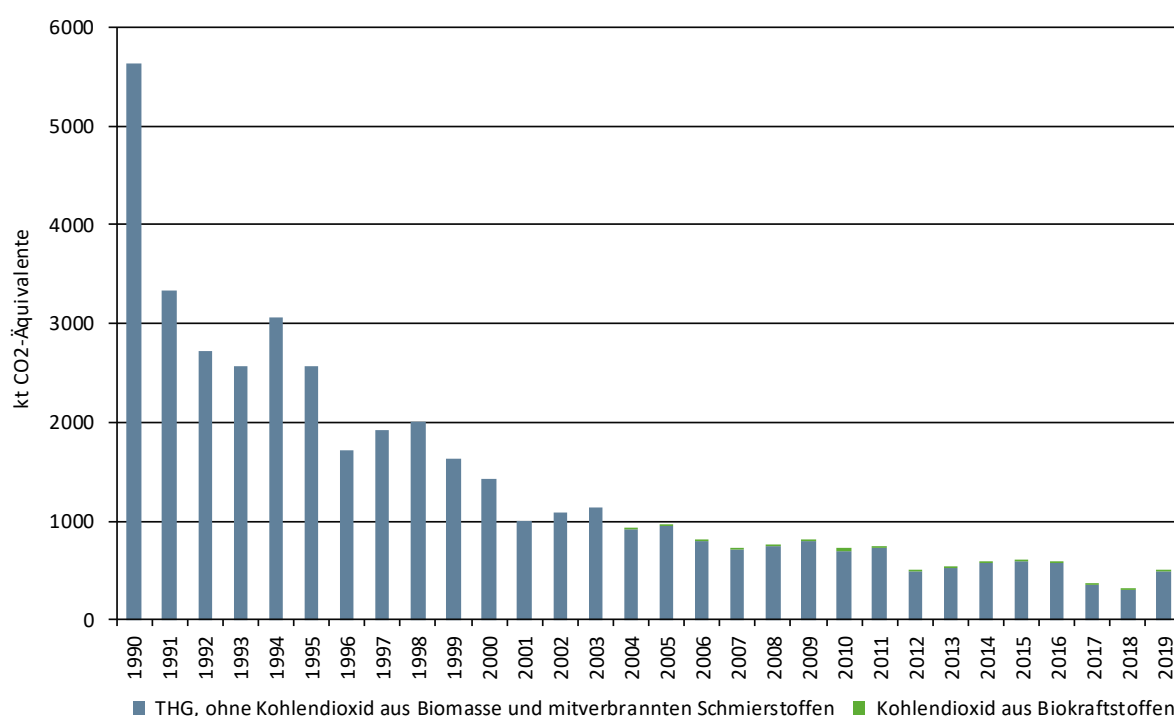
^a Biodiesel und Flugbenzin: Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4

^b militär. Schiffsverkehr: berechnet in Dechnik (2020)

Die Hauptkategorie-Analyse erfolgt für 1.A.5 - *Andere Bereiche* übergreifend für stationäre und mobile Quellen (Übersicht siehe Kapitel 3.2.13.1). Demnach ist die Quellgruppe 1.A.5 eine Hauptkategorie für CO₂ nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen seit 1990.

Abbildung 38: Entwicklung der THG-Emissionen aus mobilen Quellen des Militärs seit 1990



3.2.14.2 Methodische Aspekte (1.A.5.b mobil)

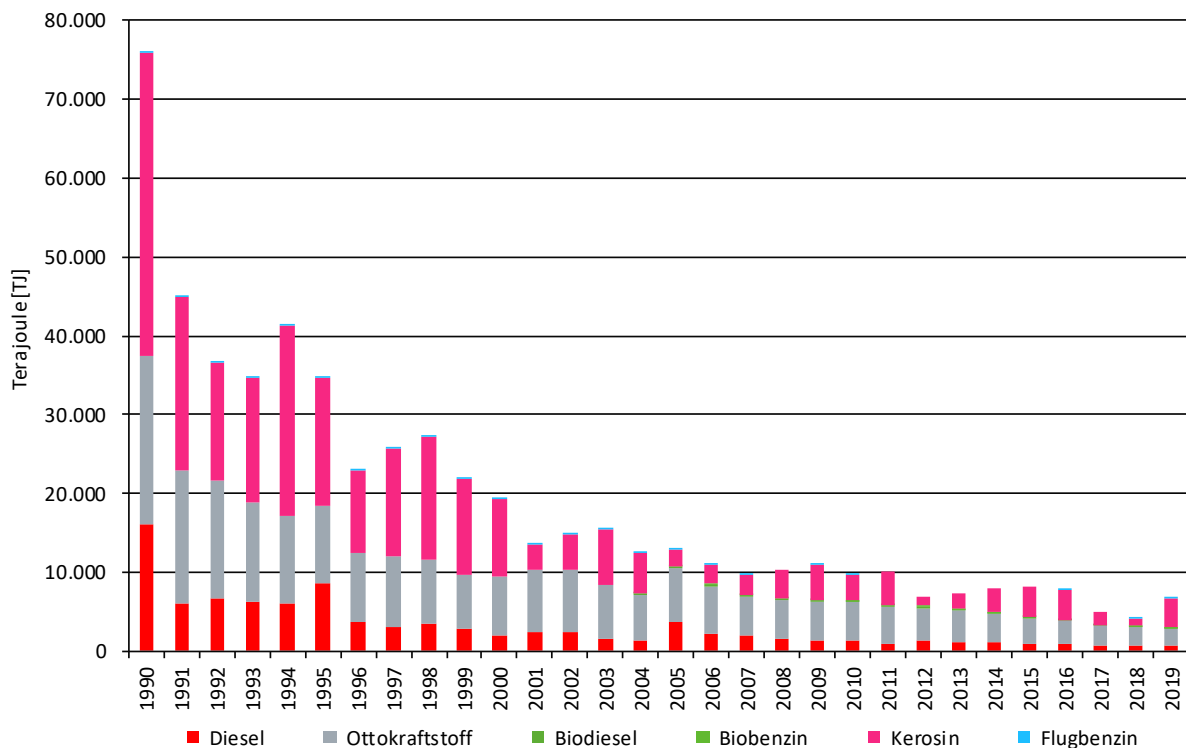
Aktivitätsraten

Grundlage für die verwendeten **Aktivitätsraten** ist die Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland (AGEB), der die Kraftstoffeinsätze des Militärischen Boden- und Luftverkehrs (Diesel- und Ottokraftstoffe inkl. biogene Beimischungen, Kerosin, Flugbenzin) lediglich bis 1993 direkt entnommen werden können. Ab 1994 wird auf BAFA (2020) zurückgegriffen. Die dort in 1000 t angegebenen Verbräuche werden auf Basis der ausgewiesenen Heizwerte in Terajoule umgerechnet (AGEB, 2020b). Die Kraftstoffeinsätze der Marine sind dagegen nur als Teilmenge der in *EBZ 6 – Hochseebunkerungen* geführten Mengen verfügbar und werden daher, wie in Kapitel 19.1.4 näher beschrieben, gesondert berechnet.

Darüber hinaus werden die Mengen mitverbrannter Schmierstoffe über Mitverbrennungsraten gemäß Wallfarth (2014) aus den Gesamtmengen der in den Unterkategorien 1.A.5.b i bis iii eingesetzten Kraftstoffe abgeleitet (siehe auch Kapitel 19.1.4).

Die CO₂-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe werden den nationalen Gesamtemissionen zugeordnet (s. Erläuterungen in Kapitel 19.1.5).

Abbildung 39: Entwicklung des Kraftstoffeinsatzes seit 1990



Emissionsfaktoren

Hinsichtlich der **Emissionsfaktoren** für Kohlendioxid wird hier grundsätzlich auf Kapitel 18.8 verwiesen. Es kommen sowohl landesspezifische als auch Default-Werte (Biodiesel, Flugbenzin) zum Einsatz. Weiterführende Informationen speziell zur Schmierstoffmitverbrennung finden sich in Kapitel 19.1.4.

Für Methan und Lachgas kommen für den bodengebundenen Verkehr sowie für den Einsatz von Flugbenzin landesspezifische Werte zum Einsatz. Für Kerosin werden aufgrund der vom zivilen Flugverkehr stark abweichenden Flugzeugtypen IPCC-Defaults verwendet. Die für die Marine verwendeten Emissionsfaktoren werden Deichnik (2020) entnommen. Bezüglich der Freisetzung dieser beiden Treibhausgase aus der Schmierstoff-Mitverbrennung wird davon ausgegangen, dass diese bereits in den entsprechenden Emissionsfaktoren der verwendeten Kraftstoffe berücksichtigt und daher als IE (*included elsewhere*) zu berichten ist.

Tabelle 95: für das Berichtsjahr 2019 verwendete Emissionsfaktoren, in kg/TJ

	CH ₄	N ₂ O	Ursprung
1.A.5.b i – militärische Bodenfahrzeuge und Maschinen			
Diesel & Biodiesel	2,97 (-)	0,81 (-)	IEF abgeleitet aus 1.A.3.b: schweres Nutzfahrzeug
Ottokraftstoff & Bioethanol	7,04 (-)	0,72 (-)	IEF abgeleitet aus 1.A.3.b
1.A.5.b ii – militärischer Flugverkehr ^a			
Kerosin	0,50 (0,50)	2,00 (2,00)	Tier1-default gemäß IPCC (2006)
Flugbenzin	20,4 (-)	2,30 (-)	siehe 1.A.3.a

	CH ₄	N ₂ O	Ursprung
1.A.5.b iii – militärischer Seeverkehr / Marine^b			
Diesel	0,76 (7,00)	3,40 (2,00)	gemäß Dechnik (2020)
übergreifend			
Schmierstoffe	IE	IE	in EF der Kraftstoffe abgebildet

in Klammern: Default-Werte gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 3: ^a Tab. 3.6.5; ^b Tab. 3.5.3

EF für Biodiesel und Bioethanol entsprechen den für ihre fossilen Pendanten verwendeten Werten

3.2.14.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.A.5.b mobil)

Innerhalb der Untersektoren 1.A.5.b i und ii wird auf Default-Unsicherheiten gemäß IPCC zurückgegriffen. Davon abweichend wurden in (BSH, 2015) spezifische Unsicherheiten für Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren des militärischen Seeverkehrs abgeleitet.

3.2.14.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.A.5.b mobil)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Tabelle 96: Übersicht relevanter Datenvergleiche

	Vergleich mit...	Erläuterung
CO ₂	alternativen Emissionsinventaren für Deutschland	keine vergleichbaren Datensätze
CO ₂	spezif. Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4	für 1.A.5.b ii & iii: siehe Tabelle 97
CO ₂	Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4	für 1.A.5.b i: siehe Tabelle 97
CH ₄ , N ₂ O	spezifischen Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006)	für 1.A.5.b ii & iii: siehe Tabelle 94
CH ₄ , N ₂ O	Tier1-Default-EF gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4	1.A.5.b i: siehe Tabelle 94
CO ₂	spezifischen IEF anderer Staaten	siehe Tabelle 89

Tabelle 97: Vergleich der verwendeten EF(CO₂) mit Default- Werten, in kg/TJ

	Inventarwerte ^a	Default ^b	Untergrenze	Obergrenze
Dieselmotorkraftstoff	74.027	74.100	72.600	74.800
Ottomotorkraftstoffe	75.285	69.300	67.500	73.000
Kerosin	73.256	71.500	69.800	74.400
Flugbenzin	70.000		67.500	73.000
Biodiesel	70.800		59.800	84.300
Bioethanol	71.607	70.800	59.800	84.300

^a für das Berichtsjahr 2019; ^b gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 2, Tabelle 2.4

Die folgende Tabelle erlaubt einen Vergleich mit spezifischen impliziten Emissionsfaktoren anderer Staaten.

Tabelle 98: länderübergreifender Vergleich der IEF für fossile Flüssigbrennstoffe, in kg/TJ

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Deutschland	74.693	4,51	1,31
Dänemark	73.439	3,05	2,76
Frankreich	IE	IE	IE
Niederlande	74.090	6,27	3,81
Großbritannien	72.799	1,88	2,61
EU (28)	81.925	3,76	3,68

Deutschland: aktuelle IEF für 1.A.5.b für das Berichtsjahr 2019; alle anderen: IEF für 2018 gemäß CRF-Submission 2020

3.2.14.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.A.5.b mobil)

Gegenüber der Submission 2020 erfolgten Rückrechnungen aufgrund aktualisierter Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren. Für das Jahr 2018 wurden dabei Angaben aus der zuletzt noch vorläufigen Energiebilanz durch finale Daten ersetzt.

Für alle Jahre ab 2004 erfolgte zudem eine Revision der Beimengungsraten für Biodiesel. Gleichzeitig wurde der bisher ab 2004 berichtete Einsatz von Biodiesel im militärischen Schiffsverkehr auf Null gesetzt, da Schiffskraftstoffe keine Biodiesel-Beimengungen enthalten (Knörr et al., 2020c).

Tabelle 99: revidierte Aktivitätsdaten, in Terajoule

	2004	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1.A.5.b i - militärischer Landverkehr											
Submission 2021	6.764	10.324	6.102	5.551	5.394	4.988	4.580	4.099	3.748	3.046	2.741
Submission 2020	6.767	10.343	6.103	5.551	5.395	4.988	4.580	4.099	3.748	3.046	2.741
Änderung absolut	-3,30	-18,93	-1,46	-0,33	-0,64	-0,12	-0,07	-0,05	-0,03	-0,02	-0,01
Änderung relativ	-0,05%	-0,18%	-0,02%	-0,01%	-0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.5.b ii - militärischer Luftverkehr											
Submission 2021	5.281	2.200	3.286	4.114	1.171	2.049	3.060	3.726	3.845	1.507	1.025
Submission 2020	5.281	2.200	3.286	4.114	1.171	2.049	3.060	3.726	3.845	1.507	1.025
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.5.b iii - militärischer Seeverkehr											
Submission 2021	431	410	347	330	313	302	332	273	359	489	436
Submission 2020	434	419	369	351	334	319	351	286	370	500	434
Änderung absolut	-3,68	-8,90	-22,4	-21,5	-20,3	-17,5	-19,1	-13,5	-11,0	-10,9	1,87
Änderung relativ	-0,85%	-2,13%	-6,06%	-6,11%	-6,09%	-5,49%	-5,43%	-4,72%	-2,96%	-2,18%	0,43%
1.A.5.b - militärischer Verkehr (und sonstige mobile Quellen des Militärs) insgesamt											
Submission 2021	12.475	12.934	9.735	9.995	6.879	7.339	7.972	8.098	7.952	5.041	4.202
Submission 2020	12.482	12.961	9.758	10.017	6.900	7.356	7.991	8.111	7.963	5.052	4.200
Änderung absolut	-6,98	-27,83	-23,8	-21,8	-21,0	-17,6	-19,2	-13,6	-11,0	-10,9	1,86
Änderung relativ	-0,06%	-0,21%	-0,24%	-0,22%	-0,30%	-0,24%	-0,24%	-0,17%	-0,14%	-0,22%	0,04%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf BAFA (2020) und Deichnik (2020)

Die beschriebenen Anpassungen ziehen Änderungen der für die Jahre 2004 bis 2017 berichteten Treibhausgas-Emissionen nach sich.

Tabelle 100: revidierte Emissionsdaten, in kt CO₂-Äquivalenten

	2004	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1.A.5.b i - militärischer Landverkehr											
Submission 2021	498	746	432	392	380	352	323	297	271	221	198
Submission 2020	500	757	433	392	380	352	323	297	271	221	198
Änderung absolut	-1,97	-11,27	-0,86	-0,20	-0,38	-0,07	-0,04	-0,03	-0,02	0,07	-0,01
Änderung relativ	-0,39%	-1,49%	-0,20%	-0,05%	-0,10%	-0,02%	-0,01%	-0,01%	-0,01%	0,03%	0,00%
1.A.5.b ii - militärischer Luftverkehr											
Submission 2021	390	162	243	304	86	151	226	275	284	111	75,7
Submission 2020	390	162	243	304	86	151	226	275	284	111	75,7
Änderung absolut	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Änderung relativ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.A.5.b iii - militärischer Seeverkehr											
Submission 2021	32,3	30,8	26,0	24,8	23,5	22,6	24,9	20,5	27,0	36,7	32,7
Submission 2020	32,3	30,8	26,1	24,9	23,6	22,7	25,0	20,5	27,0	36,8	31,8
Änderung absolut	-0,02	-0,04	-0,11	-0,11	-0,10	-0,09	-0,09	-0,07	-0,05	-0,05	0,91
Änderung relativ	-0,06%	-0,14%	-0,42%	-0,42%	-0,42%	-0,38%	-0,38%	-0,32%	-0,2%	-0,1%	2,9%
1.A.5.b - militärischer Verkehr (und sonstige mobile Quellen des Militärs) insgesamt											
Submission 2021	920	939	700	721	490	526	574	593	582	369	307
Submission 2020	922	951	701	721	490	526	574	593	582	369	306
Änderung absolut	-1,99	-11,31	-0,97	-0,30	-0,48	-0,16	-0,14	-0,09	-0,08	0,01	0,90
Änderung relativ	-0,22%	-1,19%	-0,14%	-0,04%	-0,10%	-0,03%	-0,02%	-0,02%	-0,01%	0,00%	0,29%

Quelle: eigene Berechnungen; inkl. fossiles CO₂ aus der Verwendung von Biokraftstoffen

3.2.14.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.A.5.b mobil)

Derzeit sind keine spezifischen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.2.15 Militär

Emissionen aus internationalen Einsätzen der Bundeswehr unter NATO- oder UN-Mandat werden in den deutschen Emissionsinventaren nicht erfasst, sondern als Memo-Items als „not estimated“ (NE) vermerkt. Grund hierfür sind fehlende Informationen zu im Rahmen dieser Mandate bezogenen bzw. eingesetzten Kraftstoffmengen (Aktivitätsdaten).

Emissionen aus der stationären Feuerung militärischer Dienststellen und dem *inländischen* Einsatz militärischer Fahrzeuge und Maschinen werden in den deutschen Emissionsinventaren dagegen unter der Kategorie 1.A.5 – *Other* erfasst und beschrieben.

3.3 Diffuse Emissionen aus Brennstoffen (1.B)

Während aller Stadien, von der Extraktion fossiler Brennstoffe bis hin zu ihrem abschließenden Gebrauch, können Bestandteile als diffuse Emissionen entweichen oder freigesetzt werden. Während Methan die bedeutendsten Emissionen innerhalb der Quellkategorie Feste Brennstoffe und Erdgas darstellt, ist bei den diffusen Emissionen von Öl und Erdgas zusätzlich NMVOC von Bedeutung. Kohlendioxid spielt in der Kategorie 1.B eine Rolle bei der Veredelung fester Brennstoffe, der Sauer gasaufbereitung, Prozessen in der Raffinerie sowie als Bestandteil von Erdgas bei Leckagen. Die Quellkategorie 1.B. ist keine Quelle für fluorierte Gase.

3.3.1 Feste Brennstoffe - Kohlenbergbau und -umwandlung (1.B.1)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	1 B 1, Solid Fuels		CH ₄	25.553,4	2,0	153,4	0,0	-99,4 %
-/-	1 B 1, Solid Fuels	fossil fuels	CO ₂	1.832,8	0,1	614,6	0,1	-66,5 %

Die Kategorie Kohlenbergbau und -umwandlung ist für CH₄-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Im Bergbau wird zwischen Tagebau, Gewinnung des Rohstoffs in offenen Gruben, und Tiefbau, Abbau der Lagerstätte in untertägigen Abbauräumen, unterschieden. In Deutschland wird Braunkohle seit 2003 ausschließlich im Tagebau gewonnen. Die Steinkohlenförderung wurde 2018 eingestellt.

Die Kategorie ist nach folgendem Schema untergliedert:

Quellgruppe		Enthaltene Emissionen
1.B.1.a. Kohlenbergbau		
i.	Tiefbau	
	Bergbauliche Tätigkeiten	Gesamtemissionen aus Wetterströmen und Grubengasabsaugung des aktiven Steinkohlentiefbaus reduziert um die Menge verwerteten Grubengases (seit 2019 wird hier NO berichtet)
	anschließende bergbauliche Tätigkeiten	Emissionen aus Aufbereitung, Lagerung und Transport von Steinkohle (seit 2019 wird hier NO berichtet)
	Stillgelegte Kohlenbergwerke	Emissionen aus stillgelegten Steinkohlebergwerken sowie Emissionen aus dem Einsatz von Fackeln
ii.	Tagebau	
	Bergbauliche Tätigkeiten	Emissionen aus aktivem Braunkohlentagebau. Hierbei wird das gesamte Methanpotential der deutschen Braunkohle zugrunde gelegt und als Emission während der Förderung angenommen. Eine spätere Emission von Methan bei der Weiterverarbeitung ist somit bereits abgedeckt. Es erfolgt keine Grubengaserfassung oder -nutzung beim Tagebau.
	anschließende bergbauliche Tätigkeiten	Keine getrennte Ausweisung – die Emissionen sind bereits in „Bergbauliche Tätigkeiten“ enthalten
1.B.1.b. Umwandlung von festen Brennstoffen – Veredelung von Kohle und Holzkohlenproduktion		Emissionen aus der Kohlenveredelung und Holzkohlenproduktion. Bei der Steinkohleveredelung werden spezifische Emissionen hier dokumentiert. Methanemissionen bei der Herstellung von Veredelungsprodukten aus Braunkohle sind bereits in 1.B.1.a.ii „Bergbauliche Tätigkeiten“ enthalten. Die zugrunde gelegte Aktivitätsrate umfasst die Gesamtmenge der Veredelungsprodukte aus Stein- und Braunkohle.
1.B.1.c. Sonstiges		In dieser Kategorie werden derzeit keine Emissionen berichtet.

Emissionen und Trend (1.B.1)

3.3.1.1 Tiefbau – Steinkohlen

In Deutschland findet kein Steinkohlenbergbau mehr statt.

3.3.1.2 Tagebau - Braunkohlen

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	Tier 2	AS	CS

3.3.1.2.1 Beschreibung der Kategorie (Tagebau - Braunkohlen)

Aktivitätsraten

Tabelle 101: Förderung von Braunkohle, in Mio. t.

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019
356,5	192,7	167,7	177,9	169,4	178,1	171,3	166,3	131,3

(Kohlenwirtschaft, 2020)

Emissionsfaktoren

Nach Angaben des Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e.V. (DEBRIV, 2004) wird für die deutsche Braunkohle ein durchschnittlicher Emissionsfaktor von 0,015 m³ CH₄/t (entspricht 0,011 kg CH₄/t) angenommen. Dieser EF basiert auf einer Untersuchung der RWE Rheinbraun AG von 1989 (DEBRIV, 2004) und wird durch Veröffentlichungen der DGMK (DGMK, 1992) belegt.

Eine Lagerung von Braunkohle erfolgt nicht; die Verwendung erfolgt „mine-mouth“ direkt von der Förderung in die Verarbeitung bzw. in Kraftwerke.

Tabelle 102: Emissionsfaktoren der Kategorie 1.B.1.a.ii - Tagebau

Emissionsfaktoren	m ³ CH ₄ /t	kg/t
CH ₄ aus Förderung	0,015	0,011

Emissionen und Trend

Tabelle 103: Emissionen der Kategorie 1.B.1.a.ii - Tagebau

Gas	Gesamtemissionen			Trend gegenüber Vorjahr	Erläuterung	
	1990	2018	2019			
Methan	3,9 kt	1,8 kt	1,4 kt	-64 %	-21 %	Die Emissionen sinken aufgrund der zurückgegangenen Förderung von Braunkohle.

3.3.1.2.2 Methodik (Tagebau - Braunkohlen)

Die Emissionen aus dem Braunkohlentagebau werden nach dem Tier 2-Ansatz berechnet.

3.3.1.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (Tagebau - Braunkohlen)

Der Emissionsfaktor zur Berechnung der Methanemissionen aus der Braunkohlenförderung basiert auf dem maximalen Methaninhalt und stellt somit eine Obergrenze der möglichen Methanemissionen dar. Mögliche Emissionen aus Transport und Lagerung sind somit bereits enthalten. Zahlreiche Untersuchungen zeigten, dass eine negative Unsicherheit von - 33 % angenommen werden muss (DEBRIV / DGMK Forschungsbericht 448-2, DGMK (1992)).

Für den Emissionsfaktor und die Aktivitätsraten wird eine konsistente Quelle über die gesamte Zeitreihe verwendet.

3.3.1.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (Tagebau - Braunkohlen)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle durchgeführt.

Im Rahmen einer Verifizierung zur aktuellen Berichterstattung wurden verschiedene Datenquellen für Aktivitätsraten im Kohlenbergbau und auch die verwendeten EF mit denen anderer Länder verglichen (siehe Tabelle 104). Der Ländervergleich spezifischer Emissionsfaktoren für den Tagebau zeigt eine große Bandbreite, wobei Deutschland sich im unteren Bereich - vergleichbar mit Polen - bewegt. Tschechien benutzt laut NIR 2011 (S.103) den mittleren IPCC Default Faktor, da in Tschechien häufiger Glanzbraunkohle (oder auch Sub-Bituminous Coal) mit einem höheren Inkohlungsgrad und somit einen höheren Methangehalt abgebaut wird, als vergleichsweise in Polen und Deutschland, wo die Weichbraunkohle (oder auch Lignite) mit einem niedrigeren Inkohlungsgrad vorkommt (Quellen: NaSE-Workshop (2004), persönliche Mitteilung DEBRIV (2004)) Zu diesem Ergebnis kommt ebenfalls ein Gutachten von VERICO (Betzenbichler et al., 2016a).

Tabelle 104: IEF Vergleich mit Nachbarländern für die übertägige Produktion von Braunkohle (nach NIR 2014)

	produzierte Braunkohle	berichtete Emission	IEF
Deutschland	185,4 Mio. t	2,0 kt	0,011 kg/t
Polen	64,3 Mio. t	0,8 kt	0,012 kg/t
Tschechien	43,5 Mio. t	33,5 kt	0,770 kg/t
IPCC GL 2006			0,2 – 1,3 kg/t

Die Emissionsfaktoren des IPCC wurden von der amerikanischen Hartbraunkohle abgeleitet und können laut nationalen Experten nicht auf die deutsche Weichbraunkohle übertragen werden, da diese während des Inkohlungsprozesses eine Temperatur von 50°C nicht überschritten hat. Eine nennenswerte Methanabspaltung findet jedoch erst bei Temperaturen von über 80°C statt (DGMK, 1992).

3.3.1.3 stillgelegter Steinkohlenbergbau

Nach der Stilllegung eines Steinkohlebergwerkes kann aus dem Nebengestein und der noch anstehenden Kohle Methan in die Grubenbaue entweichen. Da keine Bewetterung mehr durchgeführt wird, sammelt sich das Methan und kann durch Gaswegigkeiten im Deckgebirge oder durch Schachtanlagen zu Tage dringen.

Neben der lange Zeit vorherrschenden Betrachtung von Grubengas als negativer Umweltfaktor treten nun verstärkt die positiven Eigenschaften als Energieträger in den Vordergrund (Energetische Verwertung). In der Vergangenheit rechnete sich eine Nutzung des anfallenden Grubengases nur in seltenen Fällen. Diese Situation hat sich im Jahr 2000 mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) grundlegend geändert. Obwohl Grubengas ein fossiler Brennstoff mit erschöpflichem Vorkommen ist, wurde es aufgrund des durch seine Verwendung erzielten Klimaschutzeffekts in das EEG aufgenommen. Damit wurde den Netzbetreibern eine Abnahmeverpflichtung und eine Einspeisungsvergütung für den aus Grubengas erzeugten Strom gesetzlich vorgeschrieben.

Die Ermittlung der Emissionen erfolgt nach dem Modell der DMT ((Meiners, 2018)).

3.3.1.4 Umwandlung von festen Brennstoffen

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	Tier 2	AS	CS
CO ₂	Tier 2	AS	CS
NMVOG	Tier 2	AS	CS
CO	Tier 2	AS	CS
SO ₂	Tier 2	AS	CS

Die IPCC Guidelines 2006 sehen diese Kategorie nicht vor, demzufolge liegt auch kein Entscheidungsbaum vor.

3.3.1.4.1 Beschreibung der Kategorie (Umwandlung von festen Brennstoffen)

Aktivitätsraten

Tabelle 105: Aktivitätsraten der Veredelungsprodukte [Angaben in Tonnen]

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
Braunkohlebrikett	40.045.000	5.010.829	1.819.263	1.489.922	2.024.103	1.709.000	1.582.000	1.471.790
Braunkohlenkoks	3.355.937	191.883	179.453	173.443	175.932	170.000	157.000	155.672
Braunkohlenstaub	3.791.431	2.700.110	2.678.926	2.923.620	3.632.333	4.398.000	4.394.000	4.321.543
Steinkohlenkoks	17.580.000	11.102.000	9.115.000	8.397.000	8.171.000	8.800.000	9.361.000	7.786.000

(AGEB, 2020a)

Emissionsfaktoren

Der verwendete Emissionsfaktor für Methan zur Berechnung der CH₄-Emissionen aus der Produktion von Steinkohlenkoks (Kokereien) beträgt 0,049 kg Methan pro Tonne Steinkohlenkoks (Meiners, 2005) und wird für die komplette Zeitreihe angewendet. Der CO₂-Emissionsfaktor ermittelt sich aus der konservativen Annahme, dass auf dem Weg zwischen Öffnen der Hochofentür und dem Löschvorgang ca. 1% des Kokeses als diffuse Emission verloren gehen. Als Aktivitätsrate wurde die Gesamtmenge an Steinkohlen- und Braunkohlenkoks verwendet.

Die Emissionsfaktoren für die Nicht-Treibhausgase stammen aus dem Forschungsvorhaben "Emissionsfaktoren zur Eisen- und Stahlindustrie für die Emissionsberichterstattung" (Hensmann et al., 2011).

Tabelle 106: Emissionsfaktoren aus der Produktion von Steinkohlenkoks

Gas	Emissionsfaktor	Einheit
CH ₄	0,049	kg/t
CO ₂	2.777 ³⁷	kg/t
CO	0,015	kg/t
NH ₃	243,3	mg/t
NMVOG	0,310	kg/t
SO ₂	0,076	kg/t

Aus Produkten der Braunkohlenveredelung sind keine Methanemissionen zu erwarten, da der in 1.B.1.a.ii angenommene EF dem Gasinhalt der in Deutschland vorkommenden Braunkohle entspricht. Die weiteren ermittelten Emissionen stammen aus Messungen des derzeit einzigen deutschen Produzenten für Braunkohlenkoks der Herdofenanlage Fortuna-Nord.

In Deutschland werden geringe Mengen an Holzkohle produziert – es gibt einen großen Betreiber und mehrere Schaukühlereien. Diese Mengen werden vom Statistischen Bundesamt erhoben und unterliegen der Geheimhaltung. Die Emissionsfaktoren stammen von der US_EPA (Neulicht, 1995). Die Verwendung von Holzkohle wird unter 2.G.4 berichtet.

Emissionen und Trend

Tabelle 107: Emissionen der Kategorie 1.B.1.b – Umwandlung von festen Brennstoffen

Gas	Gesamtemissionen			Trend seit 1990	Trend gegenüber Vorjahr	Erläuterung
	1990	2018	2019			
Methan	2,4 kt	2,1 kt	2,1 kt	-13 %	-1 %	Die Methanemissionen werden vor allem durch die Holzkohlenproduktion beeinflusst. Die Emissionen aus Kokereien sind seit 1990 aufgrund der gesunkenen Produktion gefallen;
Kohlendioxid	1.819 kt	665 kt	611 kt	-66 %	-8 %	Die Emissionen sind seit 1990 aufgrund der niedrigeren Koksproduktion gefallen;

CO₂-Emissionen aus der Holzkohle-Produktion werden als biogen betrachtet und unter den Memo-Items berichtet

3.3.1.4.2 Methodische Aspekte (Umwandlung von festen Brennstoffen)

Die Emissionen aus der Steinkohlenkoksproduktion sind nach dem Tier 2 Ansatz, analog der Gleichung des IPCC-Reference Manual für CH₄-Emissionen aus dem Kohlenbergbau, berechnet worden:

$$\text{Emissionen [kt CH}_4\text{]} = \text{EF [m}^3 \text{ CH}_4\text{ /t]} * \text{AR}_{\text{Veredelungsprodukt}} * \text{Umrechnungsfaktor [kt/10}^6\text{m}^3\text{]}$$

³⁷ Der Emissionsfaktor beinhaltet Stein- und Braunkohlenkoksherstellung

3.3.1.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (Umwandlung von festen Brennstoffen)

Die Unsicherheiten für die Emissionsfaktoren für die Veredelung von Kohlen wurden von Experten auf 10% bis 25% geschätzt.

Für die Aktivitätsraten wird eine konsistente Quelle über die gesamte Zeitreihe verwendet.

3.3.1.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (Umwandlung von festen Brennstoffen)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle durchgeführt.

Bei der Betrachtung von Emissionsfaktoren ist der IPCC Konversionsfaktor von $0,67 \text{ Gg}/10^6 \text{ m}^3$ bei 20°C und 1 Atmosphäre gegenüber den in Deutschland als Einheit Normkubikmeter bei $1,01325 \text{ bar}$ und 0°C (DIN 2004, DIN Nr. 1343) verwendeten Angaben zu beachten. Bei Betrachtungen der EF sind Angaben des IPCC zu Default EF bzw. Angaben aus anderen Veröffentlichungen mit der Praxis in Deutschland mit der Angabe von Normkubikmeter zu berücksichtigen. Bei der Verwendung von in Deutschland publizierten Daten zu EF wird davon ausgegangen, dass es sich um Angaben in Normkubikmeter handelt (abgesichert durch Expertenbefragung beim NaSE-Workshop (2004)).

Die Angaben der Guidelines beziehen sich auf 20°C und 1.013 mbar . Anhand der isobaren Proportionalität des Methans kann mit dem Faktor $1,07$ von Nm^3 in m^3 umgerechnet werden.

Umrechnungsfaktor Normkubikmeter \Leftrightarrow Kilogramm:

$$0,717 \text{ Nm}^3/\text{kg} (1,01325 \text{ bar}, 0^\circ\text{C}) = 0,67 \text{ Gg}/10^6 \text{ m}^3 (20^\circ\text{C}, 1 \text{ Atmosphäre}) * 1,07 \text{ Nm}^3/\text{m}^3$$

Ein Vergleich mit anderen Ländern ist in dieser Kategorie nicht möglich, da die genauen Mengen und die Zusammensetzung der umgewandelten Kohleprodukte sich nicht aus den CRF Tabellen entnehmen lassen. Ferner bieten für einen Vergleich die IPCC Guidelines weder Methoden noch Default-Emissionsfaktoren für die Quellgruppe.

3.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.B.1 alle)

Durch die Implementierung der Ergebnisse des Gutachtens von DMT (Meiners, 2018) sind in den Jahren nach 2014 kleine Rückrechnungen in den CO_2 und CH_4 Emissionen für die stillgelegten Steinkohlenbergwerke erforderlich geworden.

Tabelle 108: Rückrechnungen in der Kategorie 1.B. – Feste Brennstoffe (Angaben in Kilotonnen CO_2 -Äquivalenten)

	2015	2016	2017	2018
Submission 2020	3.817	3.205	3.195	3.076
Submission 2021	3.867	3.260	3.243	2.347
Differenz	50	56	48	-730

3.3.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch(1.B.1 alle)

Es sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

3.3.2 Öl und Erdgas und diffuse Emissionen aus der Energieerzeugung (1.B.2)

Die Kategorie ist nach folgendem Schema untergliedert:

Quellgruppe		Enthaltene Emissionen
1.B.2.		
Öl, Gas und diffuse Emissionen aus der Energieerzeugung		
a	Öl	
	i) Exploration	Gesamtemissionen aus Erdöl- und Erdgasexplorationsbohrungen
	ii) Förderung	Diffuse Emissionen bei der Förderung von Erdöl sowie der Aufbereitung von Erdöl (Abtrennung von Wasser und Begleitgasen)
	iii) Transport	Emissionen aus Transport von Rohöl mittels Pipelines und Binnentankschiffen
	iv) Raffinierung/ Lagerung	Emissionen aus Entschwefelung und Raffinierung von Öl, der Lagerung von Rohöl und Mineralölprodukten sowie der Reinigung von Lagertanks
	v) Verteilung von Ölprodukten	Emissionen aus Verteilung von Mineralölprodukten, Betankungsprozessen und Tropfverlusten sowie aus Reinigung von Tanks der Transportfahrzeuge
	vi) Sonstiges	Keine Emissionen in dieser Kategorie
b	Gas	
	i) Exploration	Die Emissionen sind der Kategorie 1.B.2.a.i zugeordnet, da keine Differenzierung möglich
	ii) Förderung	Diffuse Emissionen bei der Förderung von Erdgas
	iii) Verarbeitung	Emissionen aus der Entschwefelung und Aufbereitung von Sauer gas sowie der Aufbereitung von Stadtgas
	iv) Transport	Emissionen aus Hochdruckfernleitungen sowie unterirdischer Gasspeicherung (Kavernen- und Porenspeicher)
	v) Verteilung	Emissionen aus Erdgasverteilungsleitungen, Obertagespeicher, sowie diffuse Entweichungen aus Tanks von Erdgasfahrzeugen
	vi) Sonstiges	Diffuse Emissionen aus Hausinstallationen in Haushalten, Kleinverbrauchern und der Industrie
c	Ausblasen und Abfackeln	
	i) Ausblasen	
	Öl	Die Emissionen sind in den Kategorien 1.B.2.a.iii und 1.B.2.a.v enthalten
	Gas	Die Emissionen sind in den Kategorien 1.B.2.b.iv und 1.B.2.b.v enthalten
	Kombiniert	Keine Emissionen in dieser Kategorie
	ii) Abfackeln	
	Öl	Fackelemissionen bei der Erdölförderung sowie der Raffinierung
Gas	Fackelemissionen bei der Erdgasförderung, sowie der Sauer gasaufbereitung	
Kombiniert	Keine Emissionen in dieser Kategorie	
d	Sonstiges	
	i) Geothermie	Im laufenden Betrieb entstehen keine diffusen CO ₂ -, CH ₄ oder N ₂ O Emissionen. Diffuse F-Gas-Emissionen sind der Kategorie 2.F.9 zugeordnet

3.3.2.1 Öl (1.B.2.a)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	1 B 2 a, Oil		CO ₂	477,6	0,0	411,3	0,1	-13,9 %
-/-	1 B 2 a, Oil		CH ₄	301,4	0,0	76,1	0,0	-74,8 %
-/-	1 B 2 a, Oil		N ₂ O	0,3	0,0	0,3	0,0	-18,7 %

Die Kategorie 1.B.2.a. „Öl“ ist keine Hauptkategorie.

3.3.2.1.1 „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO ₂ , CH ₄	Tier 1	AS	D
NMVOC	Tier 2	AS	CS

3.3.2.1.1.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)

Die Emissionen der Kategorie setzen sich aus den Tätigkeiten der Bohrfirmen und der Beteiligten in der Branche der Exploration zusammen. In Deutschland wird nach Erdöl und Erdgas gesucht. Es wird in der Statistik nicht nach reinen Erdöl- und Erdgasbohrungen unterschieden.

Aktivitätsraten**Tabelle 109: Anzahl der Explorationsbohrungen (Öl und Erdgas insgesamt)**

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
12	17	15	23	16	18	19	26

(BVEG, 2020a)

Tabelle 110: Bohrleistung der Explorationsbohrungen in m (Öl und Erdgas insgesamt)

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
50.140	109.187	41.378	63.994	51.411	32.773	25.961	43.416

(BVEG, 2020a)

Emissionsfaktoren**Tabelle 111: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.i**

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CO ₂	0,48 kg/No	Tier 1	IPCC GPG 2000
CH ₄	64 kg/No	Tier 1	IPCC GPG 2000
NMVOC	576 kg/No	Tier 2	Expertenschätzung

Die Emissionsfaktoren stammen aus den IPCC Good Practice Guidenace 2000 (Penman et al., 2000), da in den IPCC GL 2006 ((IPCC, 2006): Tabelle 4.2.4) beziehen sich auf eine Produktionsmenge und nicht auf Explorationsbohrungen. Daher können diese nicht angewendet werden.

Emissionen und Trend**Tabelle 112: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.i**

Gas	Gesamtemissionen			Trend seit 1990	Trend gegenüber Vorjahr	Erläuterung
	1990	2018	2019			
Methan	768 kg	1.216 kg	1.664 kg	217 %	37 %	Die Emissionen steigen gegenüber 1990 aufgrund der gestiegenen Bohraktivität.
Kohlendioxid	5,76 kg	9,12 kg	12,48 kg	217 %	37 %	
NMVOC	6.912 kg	10.944 kg	14.976 kg	217 %	37 %	

3.3.2.1.1.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)

Nach Aussagen des BVEG treten so gut wie keine diffusen Emissionen bei Bohrvorgängen auf, da an Bohrlöchern regelmäßig Messungen durchgeführt (Methansensoren in der Schutzhütte um das Bohrloch, Ultraschallmessungen, Ringraummanometer) und alte nicht mehr genutzte Bohrungen verfüllt und in der Regel mit einem Betondeckel versehen werden.

Da keine Messergebnisse der einzelnen Bohrungen vorliegen, werden, um konservativ zu schätzen, die Emissionen für Bohrungen auf Grundlage des Default-Faktors nach den IPCC GPG

2000 (Penman et al., 2000) für Kohlendioxid und Methan nach dem Tier 1 Ansatz berechnet. Es wurde für die konservative Schätzung die Summe der Emissionsfaktoren für „Drilling“, „Testing“ und „Servicing“ verwendet

3.3.2.1.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)

Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten für Erdöl- und Erdgasexploration werden mit +/- 5 % quantifiziert. Den Emissionsfaktoren werden die Default-Unsicherheiten der Good-Practice-Guidance 2000 von +/- 25 % zugeordnet.

Für die Aktivitätsraten und die Emissionsfaktoren wird eine konsistente Quelle über die gesamte Zeitreihe verwendet.

3.3.2.1.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Exploration“ (1.B.2.a.i)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Aufgrund fehlender landesspezifischer Daten wurde ein externes Gutachten (Bender, 2009b) in Auftrag gegeben. Es kam in seiner Quellgruppenanalyse zu dem Ergebnis, dass die Default-Faktoren für Deutschland anwendbar sind. Ein Vergleich mit anderen Ländern konnte aufgrund der geringen Vergleichsmöglichkeiten und aufgrund nicht ineinander umrechenbarer Einheiten nicht durchgeführt werden.

3.3.2.1.2 „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO ₂ , CH ₄	Tier 2	AS	CS
NMVOG	Tier 2	AS	CS

3.3.2.1.2.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)

Die Emissionen der Kategorie setzen sich aus den Tätigkeiten der Branche der Förderung (Rohöl) und der Vorbehandlung von Rohstoffen (Erdöl) der Erdölindustrie zusammen. Die Förderung von Erdöl in Deutschland ist wegen ihrer alten Lagerstätten sehr energieintensiv (Thermalförderung, Pumpenbetrieb zur Wassereinpresseung in die Lagerstätte).

Die Vorbehandlung des geförderten Erdöls (Rohöls) in Aufbereitungsanlagen dient der Entgasung, Entwässerung und Entsalzung von Rohöl. Die unmittelbar aus den Bohrlöchern gewonnenen Rohöle entsprechen in ihrer Zusammensetzung nicht den Erfordernissen zum sicheren und problemlosen Transport in Rohrleitungen, da sie Verunreinigungen, einen Gasanteil und vor allem Wasser enthalten. Es erfolgt keine Stoffumwandlung. Störende Beimengungen, insbesondere mit dem Erdöl gefördertes Begleitgas (Erdölgas), Salze und Wasser werden entfernt, um Rohöl geeigneter Qualität für die Beförderung in Rohrleitungen (Pipelines) zu erzeugen.

Aktivitätsraten

Tabelle 113: Fördermenge Erdöl in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
3.606	2.959	3.113	3.573	2.516	2.414	2.070	1.927

(BVEG, 2020a)

Emissionsfaktoren

Tabelle 114: Verwendete Emissionsfaktoren für die Förderung und Aufbereitung

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CO ₂	113,6 g/m ³	Tier 2	Expertenschätzung
CH ₄	14,3 g/m ³	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOG	15,7 g/m ³	Tier 2	Expertenschätzung

Emissionen und Trend

Tabelle 115: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.ii

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Erläuterung
	1990	2018	2019	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	1.081 t	37 t	32 t	-97 %	-14 %	Die Emissionen sinken gegenüber 1990 aufgrund fallender Produktionsmenge und verbesserter emissionsmindernder Techniken im Bereich Förderung und Aufbereitung.
Kohlendioxid	460 t	254 t	254 t	-45 %	0 %	
NMVOG	108 t	65 t	35 t	-68 %	-46 %	

3.3.2.1.2.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)

Die Emissionen aus der Förderung und Aufbereitung werden von den Betreibern gemessen bzw. errechnet und im jährlichen BVEG Bericht (BVEG, 2020a) veröffentlicht. Die Emissionsfaktoren werden aus den berichteten Emissionen und der Aktivitätsrate in Tabelle 113 ermittelt.

Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach dem Tier 2 Ansatz.

3.3.2.1.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei der Aktivitätsrate mit 5 bis 10 % angegeben und beruhen auf Schätzungen von Experten des BVEG und der nationalen Experten.

Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren in der Kategorie entsprechen 25 %.

3.3.2.1.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Förderung und Vorbehandlung“ (1.B.2.a.ii)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die verwendeten Emissionsfaktoren entsprechen der Größenordnung der IPCC Guidelines 2006 (IPCC, 2006) angegebenen Emissionsfaktoren.

Tabelle 116: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Gas	Verwendeter CS Emissionsfaktor	IPCC GL 2006 (Tabelle 4.2.4)	
	Einheit in [g/m ³]	Einheit in [Gg/1000m ³]	Einheit in [g/m ³]
CO ₂	105,7 g/m ³	1,1*10 ⁻⁰⁷ bis 2,6*10 ⁻⁰⁴	0,11 – 260,00
CH ₄	15,4 g/m ³	1,5*10 ⁻⁰⁶ bis 6,0*10 ⁻⁰²	1,50 – 60.000
NMVOG	27,0 g/m ³	1,8*10 ⁻⁰⁶ bis 4,5*10 ⁻⁰³	1,80 – 4500,0

3.3.2.1.3 „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	Tier 2	AS	CS
NMVOG	Tier 2	AS	CS

3.3.2.1.3.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)

Die Emissionen der Kategorie setzen sich aus den Tätigkeiten der Branche der Logistikunternehmen und Betreiber von Rohrleitungen und Rohrleitungsnetzen zusammen. Nach der Vorbehandlung wird Rohöl zu den Anlagen der Verarbeitung befördert.

Der Transport von Rohöl erfolgt fast ausschließlich mittels Rohrfernleitungen. Die Rohrfernleitungen sind ortsfest und im Regelfall unterirdisch verlegt. Anders als beim übrigen Verkehr wird der Transport nicht durch Umschlagvorgänge unterbrochen.

Aktivitätsraten**Tabelle 117: Transport von im Inland produziertem Rohöl in kt**

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
3.606	2.959	3.113	3.573	2.516	2.414	2.070	1.927

(BVEG, 2020a)

Tabelle 118: Transport von importiertem Rohöl in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
84.043	86.063	89.280	97.474	93.270	91.275	85.209	85.991

(BAFA, 2020)

Tabelle 119: Transport von Rohöl mittels Binnentankschiffen in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
88,9	66,6	111,8	176,4	5,6	43,1	38,0	47,2

(DESTATIS, 2020)

Emissionsfaktoren**Tabelle 120: Verwendete Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.iii „Transport von Rohöl“**

Quellgruppe	Aktivität (AR)	Einheit	Gas	Emissionsfaktor (EF)	Einheit
Transport von importiertem Rohöl	85,2	Mio. t/a	NMVOC	0,0064	kg/t
			CH ₄	0,0064	
Transport von im Inland produziertem Rohöl	2,1		NMVOC	0,13	
			CH ₄	0,013	
Transport von Rohöl mittels Binnentankschiffen	47,2	kt/a	NMVOC	0,34	
			CH ₄	0,034	
			CH ₄	0,013	

Emissionen und Trend**Tabelle 121: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.iii**

Gas	Gesamtemissionen			Trend seit 1990	Trend gegenüber Vorjahr	Erläuterung
	1990	2018	2019			
NMVOC	5.885 t	5.735 t	5.770 t	-2 %	1 %	Der steigende Trend wird im Wesentlichen durch die höhere Menge an transportiertem Öl bestimmt.
CH ₄	588 t	574 t	577 t	-2 %	1 %	

3.3.2.1.3.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)

Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach dem Tier-2 Ansatz.

Der Emissionsfaktor für Methan wurde für die Pipelines aus den IPCC Guidelines 2006 (IPCC, 2006) übernommen, für die Binnentankschiffe von Experten geschätzt. Im Forschungsvorhaben „Ermittlung von Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten im Bereich 1.B.2.a.i bis vi“ (Theloke et al.,

2013) wurden diese Emissionsfaktoren bestätigt. Da Rohrfernleitungen ständig überwacht werden und es nur sehr selten zu Störfällen kommt (CONCAWE – „Performance of European cross country oil pipelines“ (Cech et al., 2017)) treten Emissionen nur in geringen Maßen an Umschlagspunkten auf. Der Emissionsfaktor ist daher sehr konservativ.

Der Emissionsfaktor beinhaltet den Umschlag/das Einpumpen in der Förderstation und sämtliche Infrastruktur (Verbindungen, Regler, Messgeräte) entlang der Pipelines sowie den Umschlag an der Raffinerie und wurde unter konservativen Annahmen ermittelt. Für die importierte Menge wird nur ein Übergabepunkt (nur Ausspeisestation) angenommen, da die Einspeisestation ins Pipelinenetz nicht auf nationalem Gebiet liegt.

3.3.2.1.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)

Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren werden mit +/- 20 % quantifiziert, die Aktivitätsraten mit +/- 10 %. Die Emissionsfaktoren und die Aktivitätsraten sind über die gesamte Zeitreihe konsistent.

3.3.2.1.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Transport“ (1.B.2.a.iii)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die verwendeten Emissionsfaktoren entsprechen der Größenordnung der in den IPCC Guidelines 2006 angegebenen Emissionsfaktoren.

Im ESD Review 2016 wurde angemerkt, dass Deutschland keine CO₂-Emissionen in dieser Kategorie berichtet, obwohl die IPCC Guidelines 2006 einen Tier-1-Default-Wert ausweisen. Nach einem Telefongespräch zwischen Experten des Umweltbundesamtes und des MWV (Bittkau, 2017) wurde bestätigt, dass kein CO₂ aus Transportleitungen emittiert.

Tabelle 122: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Gas	Verwendeter CS Emissionsfaktor	IPCC GL 2006 (Tabelle 4.2.4)	
	Einheit in [g/m ³]	Einheit in [Gg/1000m ³]	Einheit in [g/m ³]
CH ₄	6 g/m ³	5,4*10-06	5,4
NMVO	55 g/m ³	5,4*10-05	54,0

3.3.2.1.4 „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 2	AS	CS
CH ₄	Tier 2	AS	CS
SO ₂	Tier 2	AS	CS
CO	Tier 2	AS	CS
NO _x	Tier 2	AS	CS
NMVO	Tier 2	AS	CS

3.3.2.1.4.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)

Die Emissionen der Kategorie setzen sich aus den Tätigkeiten der Branche der Raffinerien und der Verarbeitungsbetriebe der Mineralölindustrie zusammen. In Deutschland werden Rohöl und Mineralölzwischenprodukte verarbeitet. Die Betriebe erhalten überwiegend Rohöl zur Verarbeitung. Die Verarbeitung erfolgt in technisch modernen Anlagen.

Raffinerietanklager enthalten sowohl Rohöle als auch Zwischen- und Fertigprodukte und unterscheiden sich daher von raffineriefernen Tanklagern sowohl hinsichtlich der gelagerten Produkte als auch der umgeschlagenen Mengen. Raffinerieferne Tanklager dienen insbesondere der Zwischenlagerung von Heizöl, Ottokraftstoffen sowie Diesel. Die Lagerkapazitäten von

Kavernen zur Lagerung von Mineralölprodukten werden gesondert angegeben. Aufgrund der Struktur der Kavernen kann davon ausgegangen werden, dass es zu keinen Emissionen flüchtiger Verbindungen kommt, dies wird in der Berechnung der Emissionen berücksichtigt.

Für Tankprüfungen und zu Reparaturzwecken werden Tanks geleert und gereinigt. Bei der Tankreinigung wird zwischen Rohöltanks und Produktentanks unterschieden. Die Rohöltankreinigung ist aufgrund der Sedimentabsetzungen wesentlich aufwendiger als bei Produktentanks. Diese enthalten keine sedimentierbaren Stoffe und werden deshalb nur bei Produktwechsel gereinigt. Entsprechend einer Abschätzung von Bender (2009a) kann davon ausgegangen werden, dass die Emissionsfaktoren für die Lagerung von Rohölen und Mineralölprodukten Reinigungsvorgänge mit berücksichtigen.

Aktivitätsraten

Tabelle 123: Verarbeitete Menge an Rohöl in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
107.058	96.475	107.632	114.589	95.378	93.391	87.676	87.000

(MWV, 2020a)

Tabelle 124: Auslastungsgrad der Raffinerien in Prozent

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
106,2	92,1	95,3	99,5	81,1	91	85,4	84,8

(MWV, 2020a)

Tabelle 125: Rohöldestillationskapazität in Raffinerien, in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
100.765	104.750	112.940	115.630	117.630	103.080	102.655	102.700

(MWV, 2020a)

Tabelle 126: Lagerkapazität von Tanklagern in Raffinerien und Pipelineterminals, in Mio m³

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
27,2	28,4	24,9	24,0	22,5	22,1	20,8	20,7

(Koj, 2020), (BAFA, 2020)

Tabelle 127: Lagerkapazität von raffineriefernen Tanklagern inklusive Kavernen, in Mio m³

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
15,4	15,9	18,1	17,0	15,95	15,3	15,5	15,4

(Koj, 2020), (BAFA, 2020)

Tabelle 128: Lagerkapazität von Kavernen, in Mio m³

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
26,6	25,3	27,9	27,2	27,3	25,5	25,4	26,7

(Koj, 2020), (BAFA, 2020)

Emissionsfaktoren

Tabelle 129: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.vi „Diffuse Emissionen in Raffinerien“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CH ₄	0,225 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
CO	0,494 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
CO ₂	537,01 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
SO ₂	0,854 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOG	7,24 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NO _x	6,02 g/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 130: Verwendeter Emissionsfaktor für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Anodenherstellung in Raffinerien“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CO ₂	184 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 131: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Lagerung und Reinigung von Rohöl in Tanklagern von Raffinerien“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CH ₄	0,172 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOG	0,0227 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 132: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Lagerung von flüssigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CH ₄	5 g/m ³	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOG	100 g/m ³	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 133: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a. vi „Lagerung von gasförmigen Mineralölprodukten in raffineriefernen Tanklagern“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CH ₄	150 g/m ³	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOG	500 g/m ³	Tier 2	Expertenschätzung

Emissionen und Trend

Tabelle 134: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.iv

Gas	Gesamtemissionen			Trend seit 1990	Trend gegenüber Vorjahr	Erläuterung
	1990	2018	2019			
Kohlendioxid	477.166 t	398.807 t	411.078 t	-17 %	3 %	Der Trend beim CO ₂ wird durch die Kalzinierung, die Clausanlage und Anodenherstellung beeinflusst. Der fallende Trend wird bei Methan und NMVOG durch verbesserte Emissionsminderungstechniken in Raffinerien und bei der Lagerung von Raffinerieprodukten beeinflusst.
Methan	10.383 t	2.441 t	2.432 t	-76 %	-1 %	
NMVOG	81.244 t	12.271 t	12.232 t	-85 %	-1 %	

3.3.2.1.4.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)

Die Berechnung der Emissionen erfolgt für alle Teilbereiche nach dem Tier-2 Ansatz.

Verarbeitung

Die verwendeten Emissionsfaktoren für NMVOC, CH₄, CO₂, CO, NO_x und SO₂ wurden durch ein Forschungsvorhaben (Bender & von Müller, 2019) unter Auswertung der Emissionserklärungen von 2004 bis 2016 ermittelt.

Anodenherstellung

Die Aktivitätsrate errechnet sich aus der Menge an Petrolkoks abzüglich des Eigenverbrauchs (Katalysatorabbrand – siehe 1.A.1.b). Die Daten stammen aus der amtlichen Mineralölstatistik. Dieser sogenannte Grünkoks wird zur Veredelung durch eine Kalzinierung verarbeitet. Der Emissionsfaktor errechnet sich aus dieser Aktivitätsrate und den Emissionsdaten des ETS.

Tanklager in Raffinerien

Nach Ergebnissen des Forschungsprojekts „Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV - Bereich Lageranlagen“ (Bender, 2009a) wird für die Abschätzung der Emissionen aus der Lagerung in Raffinerien als Aktivitätsrate die Rohöldestillationskapazität herangezogen. Als Emissionsfaktor kann für die diffusen VOC-Emissionen der in der VDI-Richtlinie 2440 (VDI, 2000) genannte Wert von 0,16 kg/t angesetzt werden. Davon abgeleitet wurde der EF für Methan (5-10 % von 0,16 kg) und entsprechend abgezogen.

Raffinerieferne Tanklager

Aus der Auswertung der Emissionserklärungen für Lageranlagen lassen sich laut Müller-BBM (Bender, 2009a) wegen des offensichtlich sehr unterschiedlichen Emissionsverhaltens der einzelnen Anlagen keine für Einzelanlagen repräsentative Emissionsfaktoren ableiten. Es konnten jedoch aggregierte Emissionsfaktoren gebildet werden, indem für die jeweiligen Datenkollektive die Summen aller Emissionen auf die Summen aller Kapazitäten bezogen wurden. In raffineriefernen Tanklagern kann zwischen der Lagerung von flüssigen und gasförmigen Mineralölprodukten unterschieden werden, da die Daten in der entsprechenden Differenzierung vorliegen.

Clausanlagen

Die verwendeten Emissionsfaktoren für NMVOC, CO, NO_x und SO₂ wurden durch ein Forschungsvorhaben (Bender & von Müller, 2019) unter Auswertung der Emissionserklärungen der Raffineriestandorte von 2004 bis 2016 ermittelt. Da keine Daten für frühere Jahre vorliegen, wurden die ermittelten Daten für alle Jahre ab 1990 angewendet.

3.3.2.1.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)

Für die Emissionsfaktoren für die Verarbeitung von Rohöl wurden Unsicherheiten von +/- 20 % angenommen. Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten werden mit +/- 10 % angenommen. Für den Bereich Lagerung und Reinigung werden die Gesamtunsicherheiten der Emissionen mit +/- 40 % eingeschätzt. Diese Angaben beruhen auf Schätzungen von nationalen Experten sowie aus dem Forschungsbericht von Müller-BBM (Bender, 2009a) und (Theloke et al., 2013).

Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten sind über die komplette Zeitreihe konsistent.

3.3.2.1.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Verarbeitung und Lagerung“ (1.B.2.a.iv)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Ein Abgleich mit anderen Ländern ist aufgrund der Komplexität der Kategorie nicht möglich. Dies wurde auch auf dem EU Workshop 2014 (Harthan et al., 2017) deutlich.

3.3.2.1.5 „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
NMVOG	Tier 2	AS	CS

3.3.2.1.5.1 Beschreibung der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)

Die Kategorie umfasst den Transport und Umschlag von Ölprodukten mittels Binnentankschiffen, Rohrleitungen, Eisenbahnkesselwagen und Straßentankfahrzeugen sowie die Reinigung der Transportfahrzeuge.

Aktivitätsraten

Tabelle 135: Tankstellenbestand in Deutschland, Anzahl

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
19.317	17.957	16.324	15.187	14.744	14.531	14.459	14.449

(MWV, 2020a)

Tabelle 136: Verteilte Mengen an Mineralölprodukten, in kt

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
Dieselmotorkraftstoff	21.817	26.208	28.922	28.531	32.128	36.756	37.475	37.848
Flugturbinenkraftstoff	4.584	5.455	6.939	8.049	8.465	8.550	10.239	10.239
Leichtes Heizöl	31.803	34.785	27.875	25.380	21.005	16.127	13.256	15.061
Ottomotorkraftstoff	31.257	30.333	28.833	23.431	19.634	18.226	17.837	17.966

(BAFA, 2020)

Emissionsfaktoren

Die nachfolgend aufgeführten Emissionsfaktoren wurden in der Studie (Theloke et al., 2013) verifiziert. Das Modell bei der Emissionsberechnung von Ottomotorkraftstoffen wird im Kapitel 3.3.2.1.5.2 erläutert.

Mineralölprodukte werden mittels Binnentankschiffen, Rohrleitungen für Produkte, Eisenbahnkesselwagen und Straßentankfahrzeugen transportiert und zwischen den jeweiligen Tanks umgeschlagen. Die Betankungsemissionen von Flugzeugen werden von Experten als nicht vorhanden eingeordnet, da bei der Betankung Trockenkupplungen zum Einsatz kommen. Die Emissionen bei der Befüllung von privaten Heizölkesseltanks sind durch hohe Sicherheitsstandards ebenfalls sehr gering.

In dieser Kategorie werden Mineralölprodukte umgeschlagen und verteilt, die in der Raffinerie einer fraktionierten Destillation unterzogen wurden, bei der gasförmige Produkte bereits abgetrennt wurden – daher werden keine signifikanten Methanemissionen erwartet. Lediglich bei der Lagerung einiger Mineralölprodukte können geringe Mengen Methan entweichen.

Tabelle 137: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Ottokraftstoffen“

Emissionsverursachender Vorgang	Emissionsfaktor [kg/t]	Methode	Quelle
Tropfverluste bei der Betankung an der Tankstelle	0,117 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Verteilung von Tankwagen zu Tankstelle (20. BImSchV – Gaspendingung)	1,4 ³⁸ kg/t	M (Tier 2)	Expertenschätzung
Ventilierung beim Transport mit Binnentankschiffen	0,025 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Verteilung von Tank Tankstelle zu Tank Fahrzeug (21. BImSchV – Gasrückführung)	1,4 kg/t	M (Tier 2)	Expertenschätzung

Tabelle 138: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Dieseldkraftstoffen“

Emissionsverursachender Vorgang	Emissionsfaktor [kg/t]	Methode	Quelle
Tropfverluste bei der Betankung an Tankstelle	0,1 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Transport von Raffinerie zu Transportfahrzeug	0,008 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Verteilung von Tank Tankstelle zu Tank Fahrzeug	0,003 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 139: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von leichtem Heizöl“

Emissionsverursachender Vorgang	Emissionsfaktor [kg/t]	Methode	Quelle
Tropfverluste bei der Betankung an Umschlagsstation	0,0011 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Transport von Raffinerie zu Transportfahrzeug	0,0053 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Verteilung von Tank Tankstelle zu Tank Fahrzeug	0,0063 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 140: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Verteilung von Flugturbinenkraftstoffen“

Emissionsverursachender Vorgang	Emissionsfaktor [kg/t]	Methode	Quelle
Tropfverluste bei der Betankung an Umschlagsstation	0 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Transport von Raffinerie zu Transportfahrzeug	0,055 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
Verteilung von Tank Tankstelle zu Tank Fahrzeug	0,02 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 141: Verwendete NMVOC Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.a.v „Reinigung“

Emissionsverursachender Vorgang	Emissionsfaktor [kg/t] ³⁹	Methode	Quelle
Reinigung von Strassentankwagen	0,8 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
Reinigung von Eisenbahnkesselwagen	0,4 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
Reinigung von Binnentankschiffen	0,004 g/t	Tier 2	Expertenschätzung

Emissionen und Trend

Tabelle 142: Emissionen der Kategorie 1.B.2.a.v

Gas	Gesamtemissionen			Trend seit 1990	gegenüber Vorjahr	Erläuterung
	1990	2018	2019			
NMVOC	87,8 kt	16,6 kt	16,8 kt	- 81 %	1 %	Die sinkenden Emissionen sind im Wesentlichen auf die Einführung der 20. und 21. BImSchV zurückzuführen und die damit verbundene stufenweise Einführung von Gasrückführungs- und Gaspendingungsanlagen

3.3.2.1.5.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)

Transport

Nach dem Transport von Ottokraftstoffen mittels *Binnentankschiffen* befinden sich in den entladenen Tanks noch erhebliche Mengen an Ottokraftstoffdämpfen. Die Tanks müssen z.B. bei Ladungswechsel oder Werftaufenthalt entgast (ventilert) werden (Bauer et al., 2010).

³⁸ Faktor ist ohne Minderungsmaßnahmen – siehe hierzu Tabelle 143

³⁹ Bezugsgröße ist die gesamte Menge an Ottokraftstoffen, die in Deutschland mit dem Verkehrsmittel transportiert wurde

Aus Ottokraftstoffen, die in Deutschland mittels **Eisenbahnkesselwagen** transportiert und umgeschlagen werden, entstehen ca. jährlich 1400 t VOC Emissionen (Joas et al., 2004). Die Logistikkette umfasst das Befüllen, den Transport, das Entleeren und die Reinigung. Es ist davon auszugehen, dass die Emissionen beim Transport und Entleeren vernachlässigbar sind.

Von der Raffinerie wird die Hälfte der Tankstellen direkt **mit Straßentankfahrzeugen** beliefert, die andere Hälfte wird über Zwischenlager versorgt, allerdings wird hier jedes dritte Zwischenlager über Pipelines versorgt (Winkler, 2004).

Pipelines verursachen als Transportmittel keine nennenswerten Emissionen. (Winkler, 2004) Diffuse Verluste an Pipelinepumpen oder -flanschen sind nach Aussagen des DGMK vernachlässigbar (Theloke, 2013).

Tankstellen

Beim Umfüllen aus Tankfahrzeugen in Lagertanks und bei der Betankung von Kraftfahrzeugen gelangt eine bedeutsame Menge an diffusen Emissionen von VOC in die Umwelt. Zur Ermittlung der Emissionen wird ein einheitlicher Emissionsfaktor von 1,4 kg/t herangezogen. Dies entspricht der Sättigungskonzentration von Kohlenwasserstoffdämpfen und damit der maximal möglichen Emissionsmenge ohne Minderungsmaßnahmen.

Mit den 1992 und 1993 immissionsschutzrechtlichen Vorschriften (20. BImSchV, 2017; 21. BImSchV, 2017) für Tankstellen zur Begrenzung dieser Emissionen wurden Minderungsmaßnahmen gefordert. Diese betreffen sowohl den Bereich des Umfüllens und der Lagerung von Ottokraftstoffen (20. BImSchV, 2017) als auch den Bereich der Betankung von Fahrzeugen mit Ottokraftstoffen an Tankstellen (21. BImSchV).

Der Einsatz vorgeschriebener Minderungstechniken wie die Installation von Gaspendelungs- (20. BImSchV) und Gasrückführungssystemen (21. BImSchV) und der Einsatz von automatischen Überwachungseinheiten (mit der Novellierung der 21. BImSchV am 6.5.2002) führten zu einem stetigen Rückgang der VOC-Emissionen, was durch den Anwendungsgrad abgebildet wird (Tabelle 143).

Für die Berechnung der Emissionen werden die Anwendungs- und Wirkungsgrade der beiden Verordnungen auf den Tankstellenbestand mit berücksichtigt. Mit den derzeit vorhandenen technischen Möglichkeiten wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

Tabelle 143: Anwendungs- und Wirkungsgrad der 20. und 21. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) an Tankstellen

Verordnung		Faktor	
20. BImSchV	Gaspendelung	Anwendungsgrad	98 %
		Wirkungsgrad	98 %
21. BImSchV	Gasrückführung	Anwendungsgrad	98 %
		Wirkungsgrad	85 %

Für die Berechnung der Emissionen wird dann folgende Formel herangezogen:

$$\text{Emission} = \text{Aktivitätsrate} * \text{ungeminderter Emissionsfaktor (aus Tabelle 137)} * (\text{Anwendungsgrad} * (1 - \text{Wirkungsgrad}) + (1 - \text{Anwendungsgrad}))$$

Ferner tritt an den Tankschläuchen eine Permeation von Kohlenwasserstoffen auf. Die DIN EN 1360 setzt einen Höchstwert von 12 ml/Schlauchmeter am Tag fest. Experten des UBA haben aus Auswertungen von Messungen einen konservativen Faktor von 10ml/m am Tag angenommen. Dieser wird zur Ermittlung der NMVOC-Emissionen herangezogen. Die Berechnung erfolgt nach der Formel des Institut für Maschinenelemente der Universität Stuttgart (Haas, 2015):

Anzahl Tankstellen * Zapfsäulen pro Tankstelle * Schläuche pro Zapfsäule * Schlauchlänge * Emissionsfaktor.

Reinigung von Transportfahrzeugen

Die Tankinnenreinigung wird vor Reparaturarbeiten, vor Sicherheitsprüfungen, bei einem Produktwechsel oder bei einem Mietwechsel durchgeführt.

Derzeit wird im Inventar die Reinigung von Eisenbahnkesselwagen berücksichtigt. Die bei der Entleerung der Eisenbahnkesselwagen verbleibenden Restmengen, zwischen 0 und 30 Litern (in Ausnahmefällen bis zu mehreren 100 Litern), emittieren in der Regel nicht vollständig. Sie sind eine Quelle für Emissionen bei der Tankinnenreinigung.

Jährlich erfolgen etwa 2.500 Reinigungsvorgänge bei Ottokraftstoffkesselwagen. Die bei der Tankinnenreinigung von Kesselwagen entstehenden Emissionen über die Abluft betragen ca. 40.000 kg/a VOC (Joas et al., 2004), S.34.

Weitere Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung können nur noch gering die Emissionen in dieser Kategorie beeinflussen. Durch eine Kombination verschiedener technischer und organisatorischer Maßnahmen lassen sich die aktuellen Emissionen jedoch noch etwas weiter reduzieren. Eine wesentliche Ursache für Emissionen während der Handhabung z.B. beim Umschlag in Eisenbahnkesselwagen sind vor allem die Restmengen, die beim Entleeren zurückbleiben und beim nächsten Befüllvorgang über das Mannloch emittieren können. In diesem Zusammenhang wird untersucht, inwieweit die „best practice“ an allen Umschlagstationen konsequent umgesetzt werden und dies bei der Bestimmung der Emissionen berücksichtigt werden muss. Außerdem führt eine Verbesserung des Tankeinfüllstutzens zu einem höheren Wirkungsgrad bezüglich der Vermeidung der VOC-Emissionen während des Betankungsvorgangs.

Es wird davon ausgegangen, dass die im Bericht vorgenommene Aufteilung von 1/3 zu 2/3 auch auf die entstehenden Emissionen bei der Reinigung bezogen werden kann.

3.3.2.1.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei den Emissionsfaktoren mit +/- 20% (95%-Konfidenzintervall, Normalverteilung) angegeben, die Aktivitätsraten zu +/- 5% quantifiziert (Theloke et al., 2013).

3.3.2.1.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Öl, Verteilung von Ölprodukten“ (1.B.2.a.v)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Ein Vergleich mit anderen Ländern lässt sich nicht durchführen, da in den CRF-Tabellen nicht ersichtlich ist, welche Faktoren für die berichteten Emissionen einen Einfluss hatten. Ferner haben in der Submission 2013 lediglich Spanien und Schweden NMVOC Emissionen in diese Kategorie berichtet. Bei den Methanemissionen lassen sich nur für Island und Kroatien IEF ableiten. Ein Abgleich mit den IPCC Guidelines 2006 lässt sich nicht durchführen, da dort keine Default-Faktoren angegeben sind.

3.3.2.2 Gas (1.B.2.b)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/-	1 B 2 b, Natural Gas		CH ₄	7.997,4	0,6	4.910,5	0,6	-38,6 %
-/-	1 B 2 b, Natural Gas		CO ₂	986,5	0,1	624,9	0,1	-36,7 %

Die Kategorie 1.B.2.b „Erdgas“ ist für CH₄-Emissionen aus Erdgas eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe.

3.3.2.2.1 „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	IE	IE	IE
NMVOOC	IE	IE	IE

3.3.2.2.1.1 Beschreibung der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)

Die Kategorie 1.B.2.b.i wird zusammen mit der Kategorie 1.B.2.a.i (Exploration, Erdöl) behandelt. Dementsprechend sind die zusammengefassten nicht unterteilten Daten von 1.B.2.b.i in der Kategorie 1.B.2.a.i enthalten.

3.3.2.2.1.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)

Eine Differenzierung der Explorationsen nach Öl und Gas wurde untersucht (Herold et al., 2014), jedoch aufgrund fehlender Statistiken und der sehr geringen Emissionsmengen nicht weiter verfolgt. Die Emissionen sind somit komplett für Öl- und Gasexploration unter 1.B.2.a.i ausgewiesen.

3.3.2.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)

Zur Erläuterung der Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz 1.B.2.a.i.

3.3.2.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Gas, Exploration“ (1.B.2.b.i)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt. Zur Erläuterung der Verifizierung siehe 1.B.2.a.i.

3.3.2.2.2 „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO ₂ , CH ₄	Tier 2	AS	CS
NMVOOC	Tier 2	AS	CS

3.3.2.2.2.1 Beschreibung der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)

Die Emissionen der Kategorie setzen sich aus den Tätigkeiten bei der Förderung zusammen.

Aktivitätsraten**Tabelle 144: Fördermenge Erdgas in Mrd m³**

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
15,3	19,1	20,1	18,8	12,7	8,6	6,3	6,1

(BVEG, 2020a)

Emissionsfaktoren

Tabelle 145: Verwendete Emissionsfaktoren für die Förderung

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
CO ₂	0,11 g/m ³	Tier 2	Expertenschätzung
CH ₄	0,05 g/m ³	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOG	0,01 g/m ³	Tier 2	Expertenschätzung

Emissionen und Trend

Tabelle 146: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.ii

Gas	Gesamtemissionen			Trend seit 1990	Trend gegenüber Vorjahr	Erläuterung
	1990	2018	2019			
Methan	5.799 t	-95%	14%	-95%	14%	Der Erfassung von Luftemissionen der E&P-Industrie erfolgt nach einem industrieweit abgestimmten Verfahren ⁴⁰ . Daher schwanken die jährlichen Emissionswerte zum Teil und ergeben keine Gerade. Die Emissionen sinken gegenüber 1990 aufgrund fallender Produktionsmenge und verbesserter emissionsmindernder Techniken
Kohlendioxid	1.450 t	-54%	1%	-54%	1%	
NMVOG	580 t	-95%	-61%	-95%	-61%	

3.3.2.2.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)

Die Emissionen aus der Förderung werden seit 1998 durch den BVEG ermittelt und im Statistischen Bericht (BVEG, 2020a) publiziert. Vor 1998 wurden die Emissionen mittels Default-Faktoren aus den IPCC Guidelines 2006 ermittelt. Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach dem Tier-2 Ansatz.

3.3.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei der Aktivitätsrate mit 5 % angegeben und beruhen auf Schätzungen von Experten des BVEG und der nationalen Experten.

Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren in der Kategorie entsprechen 25 %.

3.3.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Gas, Förderung“ (1.B.2.b.ii)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die verwendeten Emissionsfaktoren entsprechen der Größenordnung der in den IPCC Guidelines 2006 angegebenen Emissionsfaktoren.

⁴⁰ WEG: „Leitfaden zu Erfassung der Umweltdaten der WEG Mitgliedsfirmen“, Eigenverlag, letzte Überarbeitung Dez. 2016

Tabelle 147: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Gas	Verwendeter CS Emissionsfaktor	IPCC GL 2006 (Tabelle 4.2.5)	
	Einheit in [g/m ³]	Einheit in [Gg/10 ⁶ m ³]	Einheit in [g/m ³]
CO ₂	0,11 g/m ³	1,4*10 ⁻⁰⁵ bis 1,8*10 ⁻⁰⁴	0,014 – 0,18
CH ₄	0,04 g/m ³	3,8*10 ⁻⁰⁴ bis 2,4*10 ⁻⁰²	0,380 – 24,0
NMVOC	0,01 g/m ³	9,1*10 ⁻⁰⁵ bis 1,2*10 ⁻⁰³	0,091 – 1,20

3.3.2.2.3 Gas, Verarbeitung (1.B.2.b.iii)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO ₂ , CH ₄	Tier 2	AS	CS
CO	Tier 2	AS	CS
SO ₂ , NMVOC	Tier 2	AS	CS

3.3.2.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.iii)

Die Emissionen der Kategorie setzen sich aus den Tätigkeiten der Vorbehandlung und Verarbeitung zusammen.

Aus der Tiefe kommendes Erdgas wird über Tage zunächst in Trocknungs- und Aufbereitungsanlagen behandelt. Diese Vorbehandlung des Erdgases findet in der Regel in Anlagen auf der Förderstation statt. Dabei werden mitgefördertes Lagerstättenwasser, flüssige Kohlenwasserstoffe und Feststoffe abgeschieden. Der noch verbliebene Wasserdampf wird dem Gas unter Verwendung von Glykol entzogen (WEG (2008))⁴¹: S. 25). Gastrocknungsanlagen sind in sich geschlossene Systeme, bei denen alle Überdruckabsicherungen aus Sicherheitsgründen in ein Fackelsystem eingebunden sind. Für den Fall der Auslösung dieser Druckabsicherung wird das überschüssige Gas zu einer Fackelspitze geleitet und kann dort sicher verbrannt werden. Das nach der Trocknung verkaufsgerechte Erdgas kann dem Kunden direkt über Pipelines geliefert werden (EXXON, 2014). Die Menge an abgefackeltem Gas wird unter 1.B.2.c berichtet.

Das aus der geologischen Formation des Zechsteins in Deutschland geförderte schwefelwasserstoffhaltige Erdgas - so genanntes Sauer gas - erfordert eine spezielle Aufbereitung. Dieses Gas wird durch gesonderte und wegen der Gefährlichkeit des Schwefelwasserstoffs zusätzlich gesicherte Rohrleitungen in die deutschen Aufbereitungsanlagen transportiert, wo ihm in chemisch-physikalischen Waschprozessen der Schwefelwasserstoff entzogen wird. In Deutschland werden bei der Erdgasförderung ca. 40 % Sauer gas mitgefördert (WEG, 2008).

Das Erdgas verlässt die Aufbereitungsanlage in verbrauchsfähiger Qualität. Der Schwefelwasserstoff wird in elementarem Schwefel umgewandelt und dient hauptsächlich der chemischen Industrie als Grundstoff.

Biogas/Biomethan

Die Erzeugung von Biogas wird unter CRF 3.B berichtet. Dieses Biogas wird zum einen direkt vor Ort verstromt (Emissionen werden unter CRF 1.A berichtet), zum anderen als Biomethan in das Gasnetz eingeleitet. Vor der Einleitung muss es auf Erdgasqualität aufbereitet werden (Emissionen werden unter CRF 3.B berichtet). Gemäß der IPCC Guidelines 2006 wird Methan nicht nach fossil und biogen unterschieden. Daher gibt es keine Differenzierung unter CRF 1.B.2 nach fossil und biogen.

⁴¹ WEG 2008a: Erdgas-Erdöl, Entstehung-Suche-Förderung, Hannover, 34 Seiten

Aktivitätsraten

Tabelle 148: Schwefelproduktion aus der Erdgasgewinnung in Deutschland in kt

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
915	1.053	1.100	1.050	832	628	420	460

(BVEG, 2020a)

Die Förderung von Erdgas wird im Kapitel 3.3.2.2.2.1 in Tabelle 144 aufgelistet.

Emissionsfaktoren

Tabelle 149: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iii „Aufbereitung“

Gas	Emissionsfaktor	Methode	Quelle
NMVOC	0,004 kg/ Tsd. m ³		
CH ₄	0,05 kg/ Tsd. m ³	Tier 2	Verbandsdaten
CO ₂	367 kg/ Tsd. m ³		

Emissionen und Trend

Tabelle 150: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iii

Gas	Gesamtemissionen			Trend seit 1990	Trend gegenüber Vorjahr	Erläuterung
	1990	2018	2019			
Methan	5.340 t	101 t	121 t	-98%	20%	Der Erfassung von Luftemissionen der E&P-Industrie erfolgt nach einem industrieweit abgestimmten Verfahren ⁴² . Daher schwanken die jährlichen Emissionswerte zum Teil und ergeben keine Gerade.
Kohlendioxid	983 kt	600 kt	623 kt	-37%	4%	
NMVOC	12 t	10 t	10 t	-17%	0%	

3.3.2.2.3.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.iii)

Die Berechnung der Emissionen erfolgte nach dem Tier-2 Ansatz.

Für die Sauer gasaufbereitung werden Daten des BVEG (ehemalig WEG) seit 2000 verwendet. Diese stammen aus Messungen und Berechnungen der Mitglieder. Vor 2000 wird der mittlere CO₂-Emissionsfaktor von 0,23 t/Tsd.m³ aus Österreich angewandt, da nach Aussagen des BVEG die deutsche Entschwefelungsanlage mit der österreichischen Anlage vergleichbar ist.

Zur Berechnung der Emissionen aus der Sauer gasaufbereitung wird ein Splitfaktor bezogen auf die Aktivitätsrate von 0,4 verwendet. Diese Angabe zum Splitfaktor basiert auf dem WEG-Bericht zur Sauer gasbehandlung (WEG, 2008).

3.3.2.2.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.iii)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei den Emissionsdaten mit 10 bis 30 % angegeben. Diese Angaben beruhen auf Schätzungen der nationalen Experten und liegen in der angegebenen Spanne relevanter Default-Emissionsfaktoren (IPCC (2003); Kap. 2.7.1.6).

3.3.2.2.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.iii)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

⁴² WEG: „Leitfaden zu Erfassung der Umweltdaten der WEG Mitgliedsfirmen“, Eigenverlag, letzte Überarbeitung Dez. 2016

Tabelle 151: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Quelle	Verwendeter CS Emissionsfaktor		IPCC GL 2006 (Tabelle 4.2.4) ⁴³	
	Einheit in [g/m ³]		Einheit in [Gg/10 ⁶ m ³]	
CO ₂	257		7,9*10 ⁻⁰⁶ + 3,6*10 ⁻³ + 6,3*10 ⁻²	
CH ₄	0,05		9,7*10 ⁻⁰⁵ + 2,4*10 ⁻⁶	
NMVOG	0,004		6,8*10 ⁻⁰⁵ + 1,9*10 ⁻⁶	

Ein Vergleich mit den IPCC Default Faktoren [Tabelle 4.2.4 in den IPCC GL 2006] zeigt den nationalen Emissionsfaktoren für Methan in der Bandbreite der Defaultfaktoren. Der für Kohlendioxid übersteigt den Wert aber massiv, jedoch liegt Deutschland im Vergleich mit Österreich (s. folgende Tabelle) in derselben Größenordnung. Die Abweichungen zu den IPCC Defaultwerten lassen sich damit erklären, dass in den deutschen Emissionsfaktor die Schwefelproduktion mit enthalten ist. Nach Angaben des BVEG kann ein Sechstel der Emissionen der Schwefelproduktion zugeschrieben werden.

Ein Abgleich mit anderen Ländern konnte nicht durchgeführt werden, da in den CRF Tabellen nicht ersichtlich ist, welcher Anteil aufbereiteten Erdgases dem Sauerogas zuzuordnen ist.

Tabelle 152: Kohlendioxid- Emissionsfaktorvergleich (2017)

Quelle	Verwendeter CS Emissionsfaktor Einheit in [g/m ³]
Österreich	230
Deutschland	238

3.3.2.2.4 Gas, Weiterleitung (1.B.2.b.iv)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH ₄ (Weiterleitung)	Tier 3	AS	CS
CH ₄ (Speicherung)	Tier 2	AS	CS

3.3.2.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.iv)

Die Emissionen der Quellgruppe setzen sich aus den Tätigkeiten der Branche der Gasversorger zusammen. In Deutschland wird Gas von Betrieben/Anlagen der Förderung und der Verarbeitung zu Unternehmen der Gasversorgung und Gasverarbeitung weitergeleitet. Ferner erfolgen Import und Weiterleitung von Erdgas mittels Fernleitungen.

Zur Weiterleitung von Gas werden fast ausschließlich Stahlleitungen verwendet (Zöllner, 2014).

Aktivitätsraten**Tabelle 153: Länge der Hochdruckfernleitungen, in km**

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
22.696	29.866	32.214	34.086	35.503	34.270	34.996	35.476

(Kiesel, 2019), (Grosse, 2020)

Ein Teil des Erdgases wird zur zeitlichen Unterbrechung (zur Wahrung der Versorgungssicherheit) der Weiterleitung in unterirdischen Speichern zwischengelagert.

Tabelle 154: Unterirdische Gasspeichervolumina in Mrd. m³

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
Kavernenspeicher	2,8	4,8	6,1	6,8	9,2	14,3	12,4	15,3
Porenspeicher	5,2	8,5	12,5	12,4	12,1	9,8	9,1	8,6

(BVEG, 2020a)

⁴³ Addition von diffusen und Fackelemissionen sowie Rohgasventilierung (Raw-CO₂-venting)

Ein wesentlicher Emissionspfad sind Verdichter, die zur Druckaufrechterhaltung an den Leitungen. ca. aller 100 km (GASUNIE, 2014) eingesetzt werden. Derzeit haben diese Verdichter eine Gesamtleistung von ca. 2.667 MW (FNB, 2020). Hinzu kommen Absperrreinrichtungen (Schieber), die sich aus Sicherheitsgründen im Abstand von ca. 30 km entlang der Hochdruckleitungen befinden sowie Gas-Druckregel(mess)anlagen (GDR(M)A).

Zur Inspektion und Reinigung der Leitungen kommen sogenannte Molche zum Einsatz. Der Molch bewegt sich im Leitungssystem mithilfe des Gasstroms von einer Sende- zu einer Empfangsstation (Molchschleusen), die entweder fest installiert oder mobil sein kann. Sowohl beim Ein- als auch beim Ausschleusen werden geringe Menge Methan emittiert. Außerdem können die Molchschleusen Leckagen aufweisen, welche allerdings regelmäßig kontrolliert und ggf. repariert werden. Nicht alle Leitungen sind molchbar, da Durchmesserreduzierungen, Absperrarmaturen, Bögen, o.ä. existieren können, die die Durchfahrt verhindern. Eine Abschätzung dieser Emissionen wurde durch ein Gutachten des DBI durchgeführt (Grosse, 2019).

Emissionsfaktoren

In Deutschland wird gefördertes Erdgas von den Förderfeldern und den dortigen Förderstationen (auf Land und vor der Küste), sowie importiertes Erdgas hauptsächlich über Rohrleitungen weitergeleitet.

Tabelle 155: Verwendete Methan-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iv „Weiterleitung“

Einrichtung	Wert	Methode	Quelle
Hochdruckfernleitung	159 kg/km	T3	Expertenschätzung
Verdichter	30.229 m ³ /MW	T2	Expertenschätzung
Schieberknoten	46.845 m ³ /No.	T2	Expertenschätzung
Gas-Druckregel(mess)anlagen	764 m ³ /No	T2	Expertenschätzung
Kavernenspeicher	0,05 kg/Tsd.m ³ (Vn) ⁴⁴	T2	Expertenschätzung
Porenspeicher	0,05 kg/Tsd.m ³ (Vn) ⁴⁴	T2	Expertenschätzung

Tabelle 156: Verwendete Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.iv „Weiterleitung“

Einrichtung	Wert	Methode	Quelle
Hochdruckfernleitung	1,3 kg/km	T3	Expertenschätzung
Verdichter	183 m ³ /MW	T2	Expertenschätzung
Schieberknoten	271 m ³ /No.	T2	Expertenschätzung
Gas-Druckregel(mess)anlagen	4,5 m ³ /No	T2	Expertenschätzung
Kavernenspeicher	0,6 g/Tsd.m ³ (Vn) ⁴⁴	T2	Expertenschätzung
Porenspeicher	0,6 g/Tsd.m ³ (Vn) ⁴⁴	T2	Expertenschätzung

⁴⁴ Verfügbares Arbeitsgasvolumen normiert auf 273 K und 1013 hPa.

Emissionen und Trend

Tabelle 157: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.iv

Gas	Gesamtemissionen			Trend seit 1990	Trend gegenüber Vorjahr	Erläuterung
	1990	2018	2019			
Methan	45 kt	77 kt	78 kt	73%	1%	Die Emissionen steigen aufgrund des Zubaus neuer
Kohlendioxid	216 t	325 t	327 t	51%	1%	Fernhochdruckleitungen und damit verbundenen Verdichtern sowie
NMVOC	1134 t	1926 t	1944 t	71%	1%	Mess- und Sicherheitseinrichtungen.

3.3.2.2.4.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.iv)

Die Berechnung der Emissionen aus Erdgastransport erfolgte nach dem Tier-3 Ansatz.

Die Berechnung der Emissionen aus Erdgasspeicherung, aus Verdichterstationen, Gas-Druckregel(mess)anlagen und Schieberknoten erfolgte nach dem Tier-2 Ansatz.

Der Emissionsfaktor der unterirdischen Erdgasspeicherung wurde mittels Betreiberbefragung und Auswertung von Störungsstatistiken ermittelt Langer (2012) und ist gültig für Poren- und Kavernenspeicher. Er wird als sehr konservativ angesehen. Der Emissionsfaktor für die Verdichteranlagen sowie die Schieberknoten stammt aus dem Forschungsvorhaben Zöllner (2014).

Oberirdische Gasspeicher werden unter 1.B.2.b.v berichtet.

3.3.2.2.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.iv)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei den Emissionsdaten mit 10 bis 30 % angegeben. Diese Angaben beruhen auf Schätzungen der nationalen Experten und liegen in der angegebenen Spanne relevanter Default-Emissionsfaktoren (IPCC (2003); Kapitel 2.7.1.6). Für die Untergrundspeicher wird eine Unsicherheit von -50% angenommen, da die verwendeten Faktoren mit einem sehr konservativen Ansatz ermittelt wurden.

3.3.2.2.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.iv)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung wurde durch die Nationale Koordinierungsstelle gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt. Die zusätzliche Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wurde durch einen externen Auftragnehmer (Grosse, 2019) durchgeführt.

Ein Vergleich der Kategorie mit den IPCC Default Faktoren (Tabelle 4.2.8) zeigt, dass die Emissionsfaktoren für Methan innerhalb der angegebenen Bandbreite liegen. Für Kohlendioxid liegen keine Vergleichswerte vor.

Tabelle 158: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Einrichtung	CS-Emissionsfaktor	IPCC GL 2006 – Tabelle 4.2.8
Verdichter	30.229 m ³ /MW	6.000 – 100.000 m ³ /MW
Absperreinrichtungen (Schieberknoten) ⁴⁵	46.845 m ³ /No.	1.000 – 50.000 m ³ /No

⁴⁵ Der Emissionsfaktor errechnet sich aus den Komponenten Ausbläser und der Armatur (Zöllner, 2014) es wird angenommen, dass sich der angegebene IPCC Default-Faktor aufgrund der sehr hohen Werte auf die Schieber und nicht auf die Messstationen bezieht

Die Emissionsfaktoren der Verdichter und Absperrreinrichtungen sind im Bereich der IPCC Faktoren. Der Emissionsfaktor für Verdichter wurde in den Vorhaben Zöllner (2014) und Müller-Syring and Schütz (2014) ermittelt, bezieht aber mangels Datenlage keine Emissionsminderungsmaßnahmen (bspw. die Verwertung von Sperrgas im Heizsystem) ein und ist daher als konservativ einzuschätzen. Der Faktor für die Schieberknoten entstammt einer Studie für das russische Transportnetz (Lechtenböhrer et al., 2005) und wurde mangels nationaler Emissionsfaktoren verwendet. Dies ist als sehr konservativer Ansatz zu betrachten.

3.3.2.2.5 Gas, Verteilung (1.B.2.b.v)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	Tier 3	AS	CS

3.3.2.2.5.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.v)

Die durch die Gasverteilung verursachten Emissionen sind trotz deutlich gestiegener Gasdurchleitungen und eines gegenüber 1990 deutlich erweiterten Verteilungsnetzes leicht zurückgegangen. Ursache hierfür ist zum einen die Erneuerung des Gasverteilungsnetzes insbesondere im Osten Deutschlands. So wurde insbesondere der Anteil der Graugussrohre im Niederdrucknetz reduziert und durch emissionsärmere Kunststoffrohrleitungen ersetzt. Eine weitere Ursache dieser Reduzierung ist die Minderung der diffusen Verteilungsverluste in der Folge technischer Verbesserungen (technisch dichte Armaturen wie Flansche, Ventile, Pumpen, Kompressoren) als Resultat der Implementierung von Anforderungen zur Emissionskontrolle aus Regularien (TA Luft (1986) und TA Luft (2002)).

Aktivitätsraten

Tabelle 159: Gasverteilungsnetz, Angaben in km

Parameter	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
Gesamtlänge Leitungsnetz ⁴⁶	282.612	366.987	362.388	402.391	471.886	474.570	488.292	493.175

(Kiesel, 2019); eigene Erhebung

Tabelle 160: Anzahl Erdgasfahrzeuge in Deutschland

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
Anzahl	0	0	7.500	28.500	90.000	97.804	96.531	98.460

Eigene Erhebung nach Daten des Kraftfahrzeugbundesamtes

Tabelle 161: Verwendete Methan-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.v

Einrichtung	Wert	Methode	Quelle
Niederdruck aus Stahl und dukt. Guss	372 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Niederdruck aus Kunststoff	51 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Niederdruck aus Grauguss	445 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Mitteldruck aus Stahl und dukt. Guss	207 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Mitteldruck aus Kunststoff	28 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Hochdruck aus Stahl und dukt. Guss	62 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Hochdruck aus Kunststoff	0,3 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Obertagespeicher	5 kg/Tsd.m ³ (Vn) ⁴⁷	Tier 2	Expertenschätzung
Gasdruckregel(mess)anlagen	256 kg/No	Tier 2	Expertenschätzung
Erdgasfahrzeuge	0,33 kg/Fahrzeug	Tier 2	Expertenschätzung

⁴⁶ Die angegebenen Daten beinhalten auch die Hausanschlussleitungen

⁴⁷ Verfügbares Arbeitsgasvolumen normiert auf 273 K und 1013 hPa.

Tabelle 162: Verwendete Kohlendioxid- Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.v

Einrichtung	Wert	Methode	Quelle
Niederdruck aus Stahl und duk. Guss	3,1 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Niederdruck aus Kunststoff	0,4 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Niederdruck aus Grauguss	3,7 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Mitteldruck aus Stahl und duk. Guss	1,7 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Mitteldruck aus Kunststoff	0,2 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Hochdruck aus Stahl und duk. Guss	0,5 kg/km	Tier 3	Expertenschätzung
Hochdruck aus Kunststoff	2,5 g/km	Tier 3	Expertenschätzung
Obertagespeicher	34 g/Tsd.m ³ (Vn) ⁴⁷	Tier 2	Expertenschätzung
Gasdruckregel(mess)anlagen	1,7 kg/No	Tier 2	Expertenschätzung
Erdgasfahrzeuge	2,3 g/Fahrzeug	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 163: Emissionen und Trend der Kategorie 1.B.2.b.v

Gas	Gesamtemissionen			Trend		Gas
	1990	2018	2019	seit 1990	gegenüber Vorjahr	
Methan	234 kt	86 kt	87 kt	-63%	1%	Die Emissionen sinken aufgrund der emissionsärmeren Materialien im Leitungsnetz – insbesondere durch den Austausch der Graugussrohre
NMVOG	1,8 kt	2,2 kt	2,2 kt	22%	0%	
Kohlendioxid	5,5 kt	0,6 kt	0,6 kt	-89%	0%	

3.3.2.2.5.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.v)*Rohrleitungsnetz*

Die Berechnung erfolgt mittels Tier-3-Ansatzes auf der Grundlage der verfügbaren BDEW-Netzstatistiken (138. Gasstatistik 2016 des BDEW) und eigenen Erhebungen. In den frühen 1990er Jahren wurden auch die Emissionen der Verteilung von Stadtgas in die Berechnungen einbezogen. Das Stadtgasverteilungsnetz hatte 1990 einen Anteil von 16 % am gesamten Gasnetz, davon 15 % im Graugussnetz- und 85 % im Stahl- und Duktillgussbereich.

Die Emissionsfaktoren des Verteilungsnetzes wurden 2012 (Gottwald et al., 2012) und 2014 (Müller-Syring & Schütz, 2014) verifiziert.

Der verwendete Emissionsfaktor für Methan von 256 kg/Station für die Gas-Druckregel(mess)anlagen im Verteilungsnetz wurden von Experten des UBA auf Basis der Daten der Studie Müller-Syring and Schütz (2014) ermittelt.

Speicher

Zur Einlagerung von mittleren Erdgasmengen zum Ausgleich kurzzeitiger Verbrauchsschwankungen eignen sich künstliche oberirdische Speicher. In Deutschland stehen hierzu Kugel- und Röhrenspeicher sowie weitere Niederdruckbehälter zur Verfügung. Aufgrund der Ergebnisse eines Forschungsvorhabens Langer (2012) konnten landesspezifische Emissionsfaktoren ermittelt werden. Die Berechnung der Emissionen erfolgt mittels Tier-2-Ansatz.

Erdgasfahrzeuge und Tankstellen

Weiterhin gibt es in Deutschland einen steigenden Trend zur Nutzung von erdgasbetriebenen Fahrzeugen. Diese werden an CNG-Tankstellen, welche an das öffentliche Netz angeschlossen sind, mittels Kompressoren aus Hochdruckzwischen Speichern betankt. Es gibt derzeit ca. 900 CNG-Tankstellen landesweit (Langer, 2012). Aufgrund der hohen Sicherheitsanforderungen bei der Betankung und auch bei den Tanks selbst, sind daher die Emissionen mit ca. 30 t pro Jahr sehr gering und werden im Wesentlichen bei der Druckprüfung und bei Entleerung von Tanks verursacht. Die Berechnung der Emissionen erfolgt mittels Tier-2-Ansatz.

Kälteverflüssigtes Erdgas (LNG)

Erdgas lässt sich bei -161°C verflüssigen und ist somit transportgeeignet. Dieser Prozess ist allerdings sehr energieintensiv und wird nur zur Überbrückung großer Distanzen angewendet. In Deutschland existiert derzeit kein LNG-Umschlagsterminal (Langer, 2012). Importe aus anderen Ländern erfolgen im Wesentlichen in gasförmiger Form über die Fernleitungen und werden unter 1.B.2.b.iv berücksichtigt.

In Deutschland existieren derzeit eine Erdgasverflüssigungsanlage und zwei Satellitenspeicheranlagen. Dortige Speicherungen und Umschlagvorgänge unterliegen höchsten sicherheitstechnischen Anforderungen, so dass Emissionen ausgeschlossen sind. Lediglich bei Wartungen können Kleinstmengen an Gas entweichen. Die Mengen bewegen sich im unteren dreistelligen Kilogramm Bereich (Langer, 2012).

3.3.2.2.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.v)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei den Emissionsdaten mit 20-30 % angegeben. Diese Angaben beruhen auf Schätzungen von Experten und liegen in der angegebenen Spanne relevanter Default-Emissionsfaktoren (IPCC (2006), Tabelle 4.2.4).

3.3.2.2.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.v)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung wurde durch die Nationale Koordinierungsstelle gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt. Die zusätzliche Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wurde durch einen externen Auftragnehmer (Grosse, 2019) durchgeführt.

Ein Vergleich der Kategorie mit anderen Ländern konnte aufgrund von nicht-ineinander umrechenbarer Einheiten nicht durchgeführt werden.

Tabelle 164: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Methode	EF	AR	EM
CS (nur Verteilnetz)	97 kg/km ⁴⁸	493.175km	48 kt
IPCC 2006	1,1 * 10 ⁻³ Gg/Mio.m ³	89 Mrd. m ³⁴⁹	98 kt
IPCC Refinement 2019	0,62 t/Mio. m ³	89 Mrd. m ³⁵⁰	55 kt

Die Emissionen liegen bei allen drei Methoden in ähnlicher Größenordnung.

3.3.2.2.6 Gas, Sonstige Leckagen (1.B.2.b.vi)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	Tier 2	AS	CS

3.3.2.2.6.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.b.vi)

Die Kategorie beschreibt die Emissionen aus der Leckage im industriellen Bereich sowie bei Haushalten und Kleinverbrauchern. Die Aktivitätsraten basieren auf den Ergebnissen der BDEW Gasstatistik und eigenen Erhebungen. Da die BDEW Gasstatistik zum Teil drei Jahre zeitverzögert veröffentlicht wird, werden zwischenzeitlich die Werte von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB, 2020a) genommen.

⁴⁸ Gewichteter EF

⁴⁹ Wert aus (BVEG, 2018)

⁵⁰ Wert aus (BVEG, 2018)

Aktivitätsraten

Tabelle 165: Verwendete Aktivitätsraten für die Kategorie 1.B.2.b.vi „diffuse Emissionen bei Erdgas-Anwendern“

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
Anzahl der Gaszähler in Haushalten und Kleinverbrauchern [Mio.]	10,3	12,7	12,8	13,3	12,9	13,0	13,1	13,1
Energieverbrauch der Industrie [TWh]	323	361	370	399	335	377	391	427

(Kiesel, 2019), (AGEB, 2020a)

Emissionsfaktoren

Tabelle 166: Verwendete Methan-Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.b.vi „diffuse Emissionen bei Erdgas-Anwendern“

Betriebsstätte	Gas	Wert	Methode	Quelle
Gaszähler und Armaturen in Haushalten und Kleinverbrauchern	CH ₄	2 m ³ /No ⁵¹	Tier 2	Expertenschätzung
Armaturen in Industrieanlagen	CH ₄	0,4 m ³ /Tsd.m ³	Tier 2	Expertenschätzung

Emissionen und Trend

Tabelle 167: Emissionen der Kategorie 1.B.2.b.vi

Gas	Gesamtemissionen			Trend seit 1990	Trend gegenüber Vorjahr	Erläuterung
	1990	2018	2019			
Methan	29,1 kt	28,8 kt	29,9 kt	3%	4%	Die Entwicklung der Emissionen wird im Wesentlichen durch den Anstieg des Verbrauchs in der Industrie bestimmt.
NMVOG	0,7 kt	0,7 kt	0,7 kt	0%	0%	
Kohlen- dioxid	0,2 kt	0,2 kt	0,2 kt	0%	0%	

3.3.2.2.6.2 Methodische Aspekte (1.B.2.b.v)

Die Emissionsfaktoren sind landesspezifisch und wurden mittels des Forschungsvorhabens "Methanemissionen durch den Einsatz von Gas in Deutschland von 1990 bis 1997 mit einem Ausblick auf 2010"; Fraunhofer ISI, 2000 ermittelt. Laut DVGW Arbeitsblatt G 600 (Technische Regel für Gasinstallationen, DVGW (2018)) liegt uneingeschränkte Gebrauchsfähigkeit bei einem Leckagevolumen von 0-1 l/h vor. Wird bei der Dichtheitsprüfung ein höherer Leckagewert festgestellt, muss die Installation zeitnah instand gesetzt werden. Nationale Experten halten demnach den Wert von 2 m³/Jahr für anwendbar.

Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach dem Tier-2 Ansatz.

3.3.2.2.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.b.v)

Die Unsicherheiten in der Kategorie werden bei den Emissionsdaten mit 20 % angegeben. Diese Angaben beruhen auf Schätzungen von Experten und liegen in der angegebenen Spanne relevanter Default-Emissionsfaktoren (Penman et al. (2000), Kapitel 2.7.1.6).

3.3.2.2.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (1.B.2.b.v)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung wurde durch die Nationale Koordinierungsstelle gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt. Die zusätzliche Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wurde durch einen externen Auftragnehmer (Grosse, 2019) durchgeführt.

⁵¹ Durchschnittlicher Faktor bezogen auf Erdgasverlust pro Anzahl an Gaszähler in Haushalten

Ein Vergleich der Kategorie mit anderen Ländern wurde durch Betzenbichler et al. (2016a) durchgeführt. Hierbei zeigten sich erhebliche Differenzen zu den Nachbarländern. Zwar weisen mehrere Länder Emissionen in dieser Kategorie auf, jedoch liegen diese im Schnitt zwei Größenordnungen unter den deutschen Werten. Die IPCC Guidelines 2006 geben zwar keine Methodenbeschreibung für diese Kategorie vor, jedoch in Tabelle 4.2.8 eine Bandbreite der zu erwartenden Emissionen vor:

Tabelle 168: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Einrichtung	CS-Emissionsfaktor	IPCC GL 2006 – Tabelle 4.2.8
Anwenderverluste	2 m ³ /No. ⁵²	2 bis 20 m ³ /No.

3.3.2.3 Abfackelung und Entlüftung (1.B.2.c)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	1 B 2 c, Venting and Flaring		CO ₂	543,5	0,0	344,9	0,0	-36,5 %
-/-	1 B 2 c, Venting and Flaring		N ₂ O	1,9	0,0	0,7	0,0	-61,9 %
-/-	1 B 2 c, Venting and Flaring		CH ₄	1,6	0,0	0,6	0,0	-64,5 %

Die Kategorien in der übergeordneten Gruppe der diffusen Emissionen aus 1.B.2.c "Abfackelung und Entlüftung" umfasst die direkt ausgeblasenen und über eine Verbrennung in die Atmosphäre emittierten Treibhausgase und Luftschadstoffe. Die Emissionen aus Entlüftungsvorgängen werden in den Kategorien 1.B.2.a.iv für Öl sowie 1.B.2.b.iii und 1.B.2.b.iv für Gas berücksichtigt.

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	benutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 2	AS	CS
CH ₄	Tier 2	AS	CS
N ₂ O	Tier 2	AS	CS
NMVOG	Tier 2	AS	CS

Die Kategorie 1.B.2.c „Abfackelung und Entlüftung“ ist keine Hauptkategorie.

3.3.2.3.1.1 Beschreibung der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c)

Nach den allgemeinen Vorgaben aus der TA Luft (2002) sind Gase und Dämpfe sowie Wasserstoff und Schwefelwasserstoff, die aus Druckentlastungsarmaturen und Entleerungseinrichtungen austreten, in ein Gassammelsystem einzuleiten. Die erfassten Gase werden soweit wie möglich in Prozessfeuerungen verbrannt. Sofern dies nicht möglich ist, werden die Gase einer Fackel zugeführt. Die Fackeln müssen mindestens die Anforderungen an Fackeln zur Verbrennung von Gasen aus Betriebsstörungen und Sicherheitsventilen erfüllen. Die Fackel ist für eine Raffinerie und für andere Anlagen in den Kategorien 1.B.2 eine unbedingt notwendige Sicherheitseinrichtung. Bei der Verarbeitung von Rohöl können aus unterschiedlichen Gründen gelegentlich zu hohe Drücke in den Prozessanlagen entstehen. Damit in solchen Fällen der Druck nicht so hoch wird, dass Behälter und Rohrleitungen platzen, muss der Überdruck durch Sicherheitsventile abgebaut werden können. Sicherheitsventile lassen das Produkt in Leitungen ab, die zur Fackel führen. Dort können die Gase, die bei Überdruck ausströmen, kontrolliert verbrannt werden. Durch Einrichtungen zur Fackelgasrückgewinnung wird der größte Teil der anfallenden Gase verflüssigt und wieder in den Verarbeitungsprozess rückgeführt oder in der Raffinerie für Feuerungszwecke genutzt. Kohlenwasserstoffe werden dabei zu mehr als 99 % zu CO₂ und H₂O umgesetzt. Am Fackelkopf ist daher selten mehr als eine kleine Zündflamme zu sehen.

⁵² Der Emissionsfaktor für die Emissionen in der Industrie konnte nicht mit in den Vergleich gezogen werden, da die Einheiten sich nicht umrechnen lassen.

Aktivitätsraten

Tabelle 169: Verarbeitete Rohölmenge, in Mio. t

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
107	96	108	115	95	93	87,7	87,0

(MWV, 2020a)

Tabelle 170: abgefackeltes Erdgas, in Mio. m³

1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019
36	33	36	19	12	10	11	15

(BVEG, 2020a)

Emissionsfaktoren

Abfackelungsaktivitäten finden auf Förderanlagen und in Raffinerien statt. In Raffinerien werden diese differenziert nach Regelbetrieb und nach Störungs- bzw. An-/Abfahrbetrieb.

Tabelle 171: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen bei der Erdgasförderung“

Gas	Wert	Methode	Quelle
CO ₂	1,777 kg/m ³	Tier 2	Expertenschätzung
NO	2*10 ⁻⁸ kg/m ³	Tier 1	IPCC Defaultwert

Tabelle 172: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Erdölförderanlagen“

Gas	Wert	Methode	Quelle
CO ₂	9,1 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
N ₂ O	0,55 g/t	Tier 1	IPCC Defaultwert

Emissionen von Methan und NMVOC sind bereits bei der Förderung enthalten. Laut BVEG sind die Emissionen von Lachgas verschwindend gering. Zu diesem Ergebnis kommt auch ein Gutachten (Theloke, 2013). Um konservativ zu bleiben, wurde zur Berechnung der IPCC Defaultwert angenommen.

Tabelle 173: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Raffinerien: Abfackelung-Normalbetrieb“

Gas	Wert	Methode	Quelle
CH ₄	0,225 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
CO ₂	2,60 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
N ₂ O	0,03 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
CO	0,76 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOC	4,14 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
SO ₂	3,28 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NO _x (als NO ₂)	0,49 g/t	Tier 2	Expertenschätzung

Tabelle 174: Verwendete Emissionsfaktoren für die Kategorie 1.B.2.c „Fackelemissionen an Raffinerien: Abfackelung-Störung“

Gas	Wert	Methode	Quelle
CH ₄	0,095 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
CO ₂	1,47 kg/t	Tier 2	Expertenschätzung
N ₂ O	0,3 mg/t	Tier 2	Expertenschätzung
CO	0,71 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NMVOG	0,73 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
SO ₂	7,48 g/t	Tier 2	Expertenschätzung
NO _x (als NO ₂)	4,18 g/t	Tier 2	Expertenschätzung

Die Emissionsfaktoren wurden aus den Emissionserklärungen 2004 und 2008 abgeleitet (Theloke et al., 2013) und 2019 für CH₄, N₂O, CO, NMVOC, NO_x und SO₂ auf Basis von Bender and von Müller (2019) aktualisiert.

Emissionen und Trend

Tabelle 175: Emissionen der Kategorie 1.B.2.c „Abfackelung und Entlüftung“

Gas	Gesamtemissionen			Trend seit 1990	Trend gegenüber Vorjahr	Erläuterung
	1990	2018	2019			
Methan	66 t	24 t	23 t	- 64 %	- 1 %	Die Emissionen durch die Fackelanlagen sind aufgrund verbesserter Gasrückführtechniken kontinuierlich zurückgegangen. Der Erfassung von Luftemissionen der E&P-Industrie erfolgt nach einem industrieweit abgestimmten Verfahren ⁵³ . Daher schwanken die jährlichen Emissionswerte zum Teil und ergeben keine Gerade.
Kohlendioxid	544 kt	342 kt	345 kt	-37 %	0 %	
NMVOG	522 t	365 t	359 t	-30 %	- 2 %	
Lachgas	6,5 t	2,5 t	2,5 t	- 61 %	- 2 %	

3.3.2.3.1.2 Methodische Aspekte der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c)

Emissionen bei der Entlüftung werden in der Kategorie 1.B.2.b.iii berücksichtigt. Die SO₂-Emissionen werden ermittelt aus der Aktivitätsrate des abgefackelten Erdgases (Tabelle 170) und einem Emissionsfaktor von 0,140 kg/ 1000 m³, welcher einen durchschnittlichen H₂S-Gehalt von 5 Vol. % berücksichtigt.

Die Emissionsfaktoren wurden aus den Emissionsberichten, der Rohödestillationskapazität und der Gesamtauslastung der deutschen Raffinerien gebildet. Als Basis dient das Auswertungsgutachten von Theloke et al. (2013).

Die Berechnung der Emissionen erfolgt nach dem Tier-2 Ansatz.

3.3.2.3.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c)

Für die Emissionsfaktoren der Abfackelungsprozesse im Normalbetrieb werden quantitative Unsicherheiten von +/-10 % (95 % Konfidenzintervall, Normalverteilung) angenommen. Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten werden mit +/-5 % (95 % Konfidenzintervall, Normalverteilung) angenommen.

Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren störungsbedingter Abfackelungsprozesse (Störungs-, An- und Abfahrbetrieb) sind weitaus größer, da die Emissionsmenge jedes Jahr sehr unterschiedlich sein kann. Sie werden mit -90 %/ +300 % (95% Konfidenzintervall, Lognormal-Verteilung) abgeschätzt. Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten werden mit +/-10 % (95 % Konfidenzintervall, Normalverteilung) angenommen (Theloke et al., 2013).

⁵³ WEG: „Leitfaden zu Erfassung der Umweltdaten der WEG Mitgliedsfirmen“, Eigenverlag, letzte Überarbeitung Dez. 2016

3.3.2.3.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung der Kategorie „Abfackelung und Entlüftung“ (1.B.2.c)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Ein Vergleich der Kategorie mit den IPCC Guidelines zeigt einen erheblichen Unterschied der einzelnen Faktoren. Auf dem EU-Workshop in Dessau (siehe Harthan et al. (2017)) waren sich die Experten einig, dass die Defaultwerte deutlich über den aktuell in Europa vorhandenen Emissionsfaktoren liegen.

Tabelle 176: IEF Vergleich mit IPCC Default Werten

Gas und Einrichtung	Verwendeter CS Emissionsfaktor ⁵⁴	IPCC GL 2006 (Tabelle 4.2.4)	
	Einheit in [g/m ³]	Einheit in [Gg/1000m ³]	Einheit in [g/m ³]
CO ₂ in Raffiniefackeln	3.503	3,4*10 ⁻⁰²	34.000
CH ₄ in Raffiniefackeln	0,27	2,1*10 ⁻⁰⁵	21
NMVOC in Raffiniefackeln	4,86	1,7*10 ⁻⁰⁵	17
CO ₂ in Erdölförderanlagen	7759	4,1*10 ⁻⁰²	41.000
CO ₂ in Erdgasförderanlagen	1532	1,2*10 ⁻⁰³	1.200

3.3.2.4 Geothermie (1.B.2.d)

3.3.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (1.B.2.d)

Die Kategorie 1.B.2.d „Geothermie“ ist keine Hauptkategorie.

Geothermie ist eine regenerative Energieform. Geothermiesysteme, die die Erdwärme bis zu einer Tiefe von 400 Metern nutzen, zählen zur oberflächennahen Geothermie. Systeme der oberflächennahen Geothermie stellen über Wärmepumpen Wärme und Kälte bereit und dienen zur Brauchwassererwärmung. Geothermiesysteme, die die Erdwärme in Tiefen von größer als 400 Metern nutzen, zählen zur tiefen Geothermie. Geothermische Heizwerke versorgen Energieverbraucher über Fernwärme-/kältenetze mit Wärme und Kälte, indem der Wärmeinhalt des Thermalwasserstroms direkt genutzt wird. Geothermische Kraftwerke wandeln die Wärme des Thermalwasserstroms technisch in Strom und erzeugen i.d.R. in einem gekoppelten Prozess Strom und Wärme.

Bis Ende 2019 waren 37 Tiefengeothermieranlagen in Betrieb. Diese haben zusammen 48 MW elektrische und 346 MW thermische Leistung. Drei Anlagen befinden sich im Bau.

Beim Betrieb der Geothermiekraftwerke und Geothermieheizwerke in Deutschland treten keine Emissionen von klimawirksamen Gasen auf. Der Thermalwasserkreislauf ist geschlossen und wird untertägig und obertägig unter Luftabschluss betrieben, so dass während des Betriebs keine Emissionen auftreten. Selbst eine Freisetzung der im Wärmeträgerfluid gelösten Gase - vor allem H₂, CH₄, CO₂ und H₂S - würde keine berichtenswerte Konzentration erreichen (vgl. Kaltschmitt (2007): Kapitel A.2.3.5). Daher werden die Emissionen mit „NE“ berichtet. Der Eigenstrombedarf aller Geothermieranlagen, größtenteils Antriebsenergie für Pumpen, wurde im Berichtsjahr mit Strom aus dem Netz gedeckt und wird im Bericht unter den entsprechenden Quellgruppen inventarisiert.

⁵⁴ Für Raffinerien ermittelt aus Mittelwert zwischen Normal- und Störungsbetrieb

3.3.2.4.2 Methodische Aspekte (1.B.2.d)

Das IPCC Reference Manual beschreibt keine Methodik für die Kategorie 1.B.2.d „Andere“ (IPCC et al. (1997): Band 3, S. 1.132f)

Emissionsfaktoren für Treibhausgase und Luftschadstoffe, die bei Bohrungen zur Erschließung der oberflächennahen und der tiefen Geothermie entweichen könnten, wurden in Deutschland nicht ermittelt. Bei Bohrungen muss, auch wenn nicht gezielt Kohlenwasserstoffe exploriert werden, stets mit einer Freisetzung von im Untergrund gebundenen Gasen gerechnet werden – darunter klimawirksame Gase (vgl. Kaltschmitt (2007): Kapitel A.2.1.5). Bei Bohrungen für die oberflächennahe Geothermie sind, aufgrund üblicherweise niedriger Gaskonzentrationen, wie bei Trinkwasserbrunnen nur sehr geringe Emissionen zu erwarten. Bei geothermischen Tiefbohrungen gelten zur Vermeidung von Gasaustritten dieselben Sicherheitsbestimmungen wie bei der Kohlenwasserstoffexploration, einschließlich der Pflicht zum Einsatz sogenannter Eruptionskreuze und „Blow-out-Preventer“ zur Vermeidung von Störfällen. Eine Schätzung von Theloke et al. (2013) geht davon aus, dass sich die diffusen Emissionen bei der tiefen Geothermiebohrung im Kilogramm Bereich bewegen. Die Emissionen aus dieser Kategorie werden als NE berichtet, da ihr Beitrag zu den Gesamtemissionen unter 0,05 % des Gesamtinventars oder 500 kt CO₂-Äquivalente liegen (gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1) und eine jährliche Bestandaufnahme nicht gewährleistet werden kann (gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1, para 37). In Kapitel 5 wird einmalig der Emissionsbeitrag zum Gesamtinventar dargestellt. Die Zusammenstellung aller Quellen, für die der Eintrag „not estimated“ beibehalten wird, werden im Annex 5 (Kapitel 21) dargestellt.

3.3.2.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (1.B.2.d)

Erläuterungen zu Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz entfallen.

3.3.2.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und –Verifizierung (1.B.2.d)

Erläuterungen zu quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung entfallen.

3.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (1.B.2 alle)

Aufgrund der Vorläufigkeit einiger Statistiken sind Rückrechnung der letzten zwei Jahre entstanden. Darüber hinaus gab es nachfolgende Inventarverbesserungen, die marginale Rückrechnungen mitsich führten:

Tabelle 177: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 – NMVOC-Emissionen in kt

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018
Submission 2020	183,50	124,68	84,95	54,21	44,48	40,68	40,06
Submission 2021	183,47	124,65	84,91	54,18	44,35	40,59	39,93
Differenz	0,03	0,03	0,03	0,04	0,13	0,10	0,13

Tabelle 178: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 - Methanemissionen in kt

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018
Submission 2020	332	345	251	219	196	194	196
Submission 2021	332	345	251	219	196	194	195
Differenz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70

Tabelle 179: Rückrechnung in der Kategorie 1.B.2 - Kohlendioxidemissionen in kt

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018
Submission 2020	2.008	2.127	2.213	2.212	1.898	1.672	1.342
Submission 2021	2.008	2.127	2.213	2.212	1.898	1.672	1.343
Differenz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,96

3.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (1.B.2 alle)

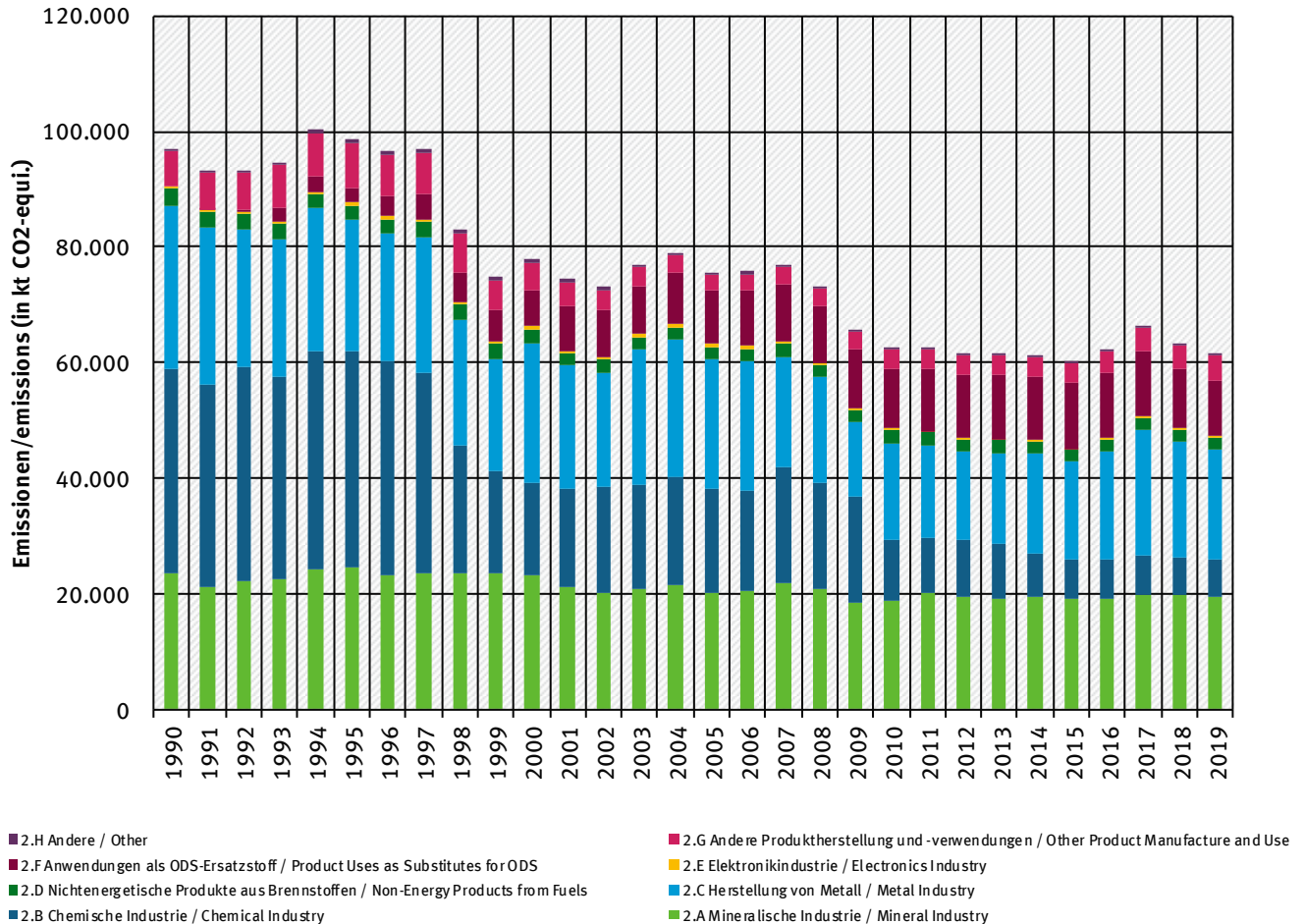
Derzeit laufen in Deutschland mehrere Messkampagnen zur Ermittlung von Emissionsfaktoren bei Erdgastransport- (FNB Methanmessprogramm 2020) und -verteilungen ((DVGW, 2020); (Maazallahi, 2020)). Es ist angedacht die Erkenntnisse aus den Messprogrammen nach Fertigstellung in das Inventar aufzunehmen.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4 Industrieprozesse (CRF Sektor 2)

4.1 Übersicht (CRF Sektor 2)

Abbildung 40: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 2



4.2 Mineralische Industrie (2.A)

Die CRF-Kategorie 2.A Mineralische Industrie ist unterteilt in die Unterpunkte 2.A.1 bis 2.A.4. Dazu gehören:

- die Zementklinkerproduktion (2.A.1, Kapitel 4.2.1),
- das Kalkbrennen (2.A.2, Kapitel 4.2.2),
- die Glasherstellung (2.A.3, Kapitel 4.2.3)
- die Keramikproduktion (2.A.4.a, Kapitel 4.2.4.1)
- die sonstige Sodaverwendung (2.A.4.b, Kapitel 4.2.4.2),
- die Herstellung von nicht-metallurgischen Magnesiumprodukten (2.A.4.c, Kapitel 4.2.4.3)
- die weitere Verwendung von Kalkstein und Dolomit (2.A.4.d, Kapitel 4.2.4.4).

4.2.1 Mineralische Industrie: Zement (2.A.1)

4.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.1)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	2 A 1, Cement Production		CO ₂	15.297,3	1,2	13.286,6	1,7	-13,1 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier2	AS	CS
NO _x , SO ₂	Tier 1	AS	CS

Die Kategorie *Zement* ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend. Die weiteren Ausführungen beziehen sich nur auf die Zementklinkerproduktion, weil die Klinkermahlung als Staubquelle hier nicht relevant ist. Die Zementproduktion ist in Tabelle 180 nur als Bezugsgröße ohne Emissionsrelevanz aufgeführt.

Beim Klinkerbrennprozess werden klimarelevante Gase emittiert. Zum weit überwiegenden Teil ist dies CO₂. Die CO₂-Emissionen aus den Rohmaterialien sind direkt an die Produktionsmengen des Zementklinkers gekoppelt. Laut Deutscher Emissionshandelsstelle (DEhSt, 2020) betrug die Klinkerproduktion im Jahr 2018 24.578 kt. Die rohstoffbedingten CO₂-Emissionen werden mit einem vom *Verein Deutscher Zementwerke* (VDZ) aus anlagenspezifischen Daten ermittelten, länderspezifischen Emissionsfaktor von 0,53 t CO₂/t Zementklinker unter Berücksichtigung des Anteils an ausgeschleustem Bypassstaub berechnet. Aus der Klinkerproduktion resultiert daher eine rohstoffbedingte CO₂-Emission von 13.287 kt CO₂ im Jahr 2019.

Tabelle 180: Produktion und rohstoffbedingte CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie

Jahr	Klinkerproduktion + ausgeschleuster Bypassstaub ⁵⁵ [kt/a]	Emissionsfaktor [t CO ₂ /t]	Rohstoffbedingte CO ₂ -Emissionen [kt/a]	Zementproduktion [kt/a]
1990	28.863	0,53	15.297	37.772
1991	25.927	0,53	13.741	34.341
1992	27.253	0,53	14.444	37.331
1993	27.417	0,53	14.531	36.649
1994	28.945	0,53	15.341	40.512
1995	29.363	0,53	15.562	35.862
1996	27.945	0,53	14.811	34.318
1997	28.821	0,53	15.275	34.148
1998	29.329	0,53	15.545	35.601
1999	29.757	0,53	15.771	37.438
2000	28.779	0,53	15.253	35.414
2001	25.479	0,53	13.504	32.118
2002	24.194	0,53	12.823	31.009
2003	25.485	0,53	13.507	32.749
2004	26.544	0,53	14.068	31.854
2005	24.622	0,53	13.050	31.009
2006	25.170	0,53	13.340	33.630
2007	27.262	0,53	14.449	33.382
2008	25.620	0,53	13.579	33.581
2009	23.696	0,53	12.559	30.441

⁵⁵ Die Berechnung der Bypassstaubmenge erfolgt als Expertenschätzung bezogen auf die tatsächliche Klinkerproduktion unter folgenden Annahmen: 1 % für die Jahre 1990-2008, 2 % ab 2009.

Jahr	Klinkerproduktion + ausgeschleuster Bypassstaub ⁵⁵ [kt/a]	Emissionsfaktor [t CO ₂ /t]	Rohstoffbedingte CO ₂ -Emissionen [kt/a]	Zementproduktion [kt/a]
2010	23.456	0,53	12.431	29.915
2011	25.270	0,53	13.393	33.540
2012	25.073	0,53	13.289	32.432
2013	23.591	0,53	12.503	31.308
2014	24.348	0,53	12.905	32.099
2015	23.822	0,53	12.626	31.160
2016	23.892	0,53	12.663	32.674
2017	25.298	0,53	13.408	33.991
2018	24.958	0,53	13.228	33.655
2019	25.069	0,53	13.287	34.186

Quelle: eigene Berechnungen, hergeleitet aus BDZ (2005) bis 1994, VDZ (2016) ab 1995 und ab 2015 aus DEHSt (2016), DEHSt (2017), DEHSt (2018), DEHSt (2019), DEHSt (2020)

4.2.1.2 Methodische Aspekte (2.A.1)

Aktivitätsdaten

Die Erhebung der Aktivitätsdaten beruht auf der Summierung einzelbetrieblicher Angaben, bis zum Jahr 1994 auf Basis von Daten des BDZ. Nach einer Optimierung der Datenerhebung innerhalb des Verbandes wurden die Aktivitätsdaten ab 1995 vom VDZ bzw. dessen Forschungsinstitut der Zementindustrie in Düsseldorf durch Umfragen bei den deutschen Zementwerken und aus Angaben des BDZ zusammengestellt. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um die im Rahmen des CO₂-Monitorings veröffentlichten Daten, ergänzt um die Werke, die nicht Mitglieder im BDZ sind (teilweise Schätzung des VDZ). Dies entspricht dem Tier 2-Ansatz der IPCC Guidelines (IPCC (2006): Band 3, Kap. 2.2.1.1).

Die Daten für die Jahre ab 2015 konnten aus verbandsinternen Gründen nicht vom VDZ zur Verfügung gestellt werden. Stattdessen beruht die Zementklinkerangabe auf aggregierten anlagenspezifischen Daten der DEHSt. Ein Vergleich für die Vorjahre 2005-2014 ergab eine konstante Abweichung zwischen Angaben der DEHSt zum Emissionshandel und der Zementklinkerproduktionsdaten des VDZ von ca. 1 %, so dass von einer hohen Übereinstimmung dieser Datensätze ausgegangen werden kann. Die Vollständigkeit ist somit bei der Verwendung einer der beiden Datensätze grundsätzlich gesichert.

Nach Angaben des VDZ lag der Anteil des Bypassstaubes bezogen auf die Klinkerproduktion in den Jahren 2009 bis 2016 zwischen 1 und 2 %. Die Angabe kann nicht jährlich in hinreichend qualitätsgesicherter Form vom VDZ zur Verfügung gestellt werden, auch zukünftig scheint das nicht erreichbar. Deshalb wird konservativ mit einem Anteil des Bypassstaubs von 2 % seit dem Jahr 2009 gerechnet, was in Übereinstimmung mit den Guidelines ist (IPCC, 2006). Für die Jahre vor 2009 liegen keine detaillierten Informationen zum Anteil des Bypassstaubs vor. Hier wird konservativ davon ausgegangen, dass der Anteil in den Jahren 1990 bis 2008 bei konstant 1 % lag.

In Tabelle 180 sind die Aktivitätsdaten für Zementklinker inklusive ausgeschleustem Bypassstaub und Zement dargestellt.

Emissionsfaktoren

Der für die Emissionsberechnung verwendete Emissionsfaktor von 0,53 t CO₂ / t Zementklinker beruht auf massengewichteten einzelbetrieblichen Angaben, d.h. der Emissionsfaktor wurde vom VDZ durch Aggregation anlagenspezifischer Daten zu den Anteilen von CaO und anderen (in den Rohmaterialien enthaltenen karbonathaltigen) Metalloxiden (MgO) im Klinker bestimmt.

Der Emissionsfaktor wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes und in den Folgejahren vom VDZ bestätigt. Das Verfahren entspricht der Tier 2-Methode der IPCC Guidelines (IPCC (2006): Band 3, Kap. 2.2.1.2).

Da in der deutschen Zementindustrie der aus dem Ofenabgas abgeschiedene Staub wieder in den Brennprozess zurückgeführt wird, kann die Karbonatfreisetzung aus den Klinkerrohstoffen direkt aus dem Metalloxidgehalt des Klinkers bestimmt werden, ohne relevante Verluste über den Abgaspfad berücksichtigen zu müssen. Zusätzlich wird für die Ermittlung der rohstoffbedingten CO₂-Emissionen der über den Bypasspfad ausgeschleuste Staub für die gesamte Zeitreihe berücksichtigt.

Der Emissionsfaktor von 0,53 t CO₂ / t Zementklinker wurde für die gesamte Zeitreihe in Ansatz gebracht. Unter der konservativen Annahme, dass der Bypassstaub vollständig entsäuert vorliegt, wird für diesen Stoffstrom der gleiche Emissionsfaktor verwendet.

Die rohstoffbedingten CO₂-Emissionen in der Zementindustrie werden entsprechend der *IPCC Guidelines* ((IPCC, 2006): Band 3, Gleichung 2.2 in Verbindung mit Gleichung 2.5) nach der folgenden Gleichung ermittelt:

$$\text{CO}_2\text{-Emissionen} = \text{Emissionsfaktor (EF}_{\text{Klinker}}) \times \text{Klinkerproduktion} + \text{Emissionsfaktor (EF}_{\text{Klinker}}) \times \text{Bypassstaub (\%)} \times \text{Klinkerproduktion}$$

Tabelle 180 enthält die unter Berücksichtigung der Bypassstaubausschleusung aus der Klinkerproduktion ermittelten rohstoffbedingten CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie für die berichteten Jahre.

4.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.1)

Die Zeitreihenkonsistenz wird für die Aktivitätsdaten durch die langjährige Verbandsdatenerhebung und für die Jahre ab 2015 über die nachgewiesene Ersetzbarkeit durch Informationen aus dem Emissionshandel durch die hohe Übereinstimmung in den Vorjahren sowie für den Emissionsfaktor durch den einheitlichen Ansatz für alle Jahre gewährleistet.

Die Ermittlung der angegebenen Unsicherheiten erfolgte durch eine Expertenschätzung.

Die Angaben zur Klinkerproduktion müssen von den meisten Unternehmen auch im Rahmen des CO₂-Emissionshandels berichtet werden. In den EU-Monitoring-Leitlinien für den Emissionshandel ist eine maximale Genauigkeit von 2,5 % angegeben. Die Unsicherheiten für die verwendeten Aktivitätsdaten wurden daher mit -2,5 % bzw. +2,5 % abgeschätzt.

Die Unsicherheit des verwendeten Emissionsfaktors wurde auf +/- 2 % geschätzt. Dies wurde durch die Erhebungen im Rahmen eines Forschungsprojektes bestätigt (Ruppert et al., 2009).

4.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.1)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Zur Qualitätssicherung wurden alle verwendeten Daten des BDZ, des VDZ, des Emissionshandels sowie Vergleichsangaben aus der Literatur auf Plausibilität geprüft. Im Zuge der Inventarüberprüfung (ICR 2016) konnten anhand von Materialien des VDZ QSE-konforme Prozeduren veranschaulicht werden, die vom Review-Team als Beleg anerkannt wurden. Der ermittelte Emissionsfaktor für die rohstoffbedingten CO₂-Emissionen wurde mit denen anderer Länder verglichen. Die geringe Abweichung (ca 1 %) vom IPCC-Tier-1-Default-Faktor in Höhe

von 0,52 t CO₂ / t Klinker ((IPCC, 2006): Band 3, Gleichung 2.4) ergibt sich aus dem zum Teil höheren Kalkgehalt des deutschen Klinkers.

Der verwendete Emissionsfaktor weicht nur geringfügig von den durchschnittlich im Vollzug des ETS in Deutschland verwendeten Emissionsfaktoren ab, die dort einer behördlichen Kontrolle und betrieblichen Nachweispflichten unterliegen. Es liegen bisher keine Berechnungen für den Emissionsfaktor vor dem Jahre 2000 vor, der einheitliche Ansatz für alle Jahre stellt eine Expertenschätzung dar.

4.2.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.1)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.2.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.1)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.2.2 Mineralische Industrie: Kalk (2.A.2)

4.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.2)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	2 A 2, Lime Production		CO ₂	5.986,6	0,5	4.549,4	0,6	-24,0 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 2	AS	D
NO _x , SO ₂	Tier 1	AS	CS

Die Kategorie Kalk ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die Aussagen zur Kategorie 2.A.2 beziehen sich ausschließlich auf die in deutschen Kalkwerken produzierten Branntkalk- und Dolomitkalkmengen. Über die in diesem Kapitel berücksichtigten Anlagen zum Brennen von Kalk hinaus, wurden zusätzlich Kalköfen im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie und der Zuckerindustrie identifiziert. Diese sind nicht in diesem Kapitel, sondern in den jeweiligen Kategorien 2.C.1 (Kapitel 4.4.1) und 2.H.2 (Kapitel 4.9.2) berücksichtigt. Informationen zu anderen kalksteinverwendenden Branchen sind Gegenstand des Kapitels 4.2.4.4 (CRF 2.A.4d).

Die Produktion von Brannt- und Dolomitkalk lag im Jahr 2019 etwa 6 % (Branntkalk) bzw. 4 % (Dolomitkalk) unter dem Niveau des Vorjahres.

Tabelle 181: Produktion und CO₂-Emissionen der deutschen Kalkindustrie

Jahr	Kalk		Dolomitkalk	
	Produktion [Mio. t]	CO ₂ -Emissionen [Mio. t]	Produktion [Mio. t]	CO ₂ -Emissionen [Mio. t]
1990	7,324	5,463	0,603	0,523
1991	6,475	4,830	0,605	0,525
1992	6,563	4,896	0,587	0,509
1993	6,853	5,112	0,527	0,457
1994	7,512	5,604	0,516	0,447

Jahr	Kalk		Dolomitkalk	
	Produktion [Mio. t]	CO ₂ -Emissionen [Mio. t]	Produktion [Mio. t]	CO ₂ -Emissionen [Mio. t]
1995	7,611	5,678	0,556	0,482
1996	7,019	5,236	0,556	0,482
1997	7,115	5,308	0,542	0,470
1998	6,799	5,072	0,570	0,494
1999	6,815	5,084	0,491	0,425
2000	6,994	5,217	0,536	0,465
2001	6,665	4,972	0,523	0,453
2002	6,591	4,917	0,527	0,457
2003	6,732	5,022	0,446	0,386
2004	6,693	4,993	0,469	0,407
2005	6,535	4,875	0,474	0,411
2006	6,646	4,958	0,472	0,409
2007	6,874	5,128	0,469	0,406
2008	6,868	5,124	0,464	0,402
2009	5,501	4,104	0,342	0,296
2010	6,124	4,569	0,342	0,296
2011	6,331	4,723	0,350	0,304
2012	6,036	4,503	0,242	0,210
2013	6,190	4,618	0,218	0,189
2014	6,397	4,772	0,228	0,197
2015	6,247	4,660	0,248	0,215
2016	6,212	4,634	0,232	0,201
2017	6,120	4,566	0,241	0,209
2018	6,200	4,625	0,238	0,206
2019	5,833	4,352	0,228	0,198

Quelle: Produktion: Basisdaten aus BVKalk (2020); ergänzt durch UBA

Da die CO₂-Emissionen und die Kalk- bzw. die Dolomitkalkproduktion bei konstantem Emissionsfaktor linear voneinander abhängen, gelten die vorhergehenden Aussagen zu den Aktivitätsraten für die CO₂-Emissionen entsprechend.

4.2.2.2 Methodische Aspekte (2.A.2)

Beim Brennen von Kalkstein oder Dolomit wird CO₂ freigesetzt, das mit dem Abgas an die Atmosphäre abgegeben wird. Die Höhe der Emissionen ergibt sich aus dem Produkt der Produktmenge (Kalk oder Dolomitkalk) und dem entsprechenden Emissionsfaktor. Die Verwendung von unten erläuterten Emissionsfaktoren und länderspezifisch bestimmten Kalkprodukten entspricht einem Tier 2-Ansatz der *2006 IPCC Guidelines* (IPCC (2006): Band 3, Kapitel 2.3.1.1).

Emissionsfaktoren

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen werden folgende Faktoren verwendet:

EF _{Kalk}	0,746 t CO ₂ /t Kalk (stöchiometrisch 0,785 * Oxidanteil 0,95)
EF _{Dolomitkalk}	0,867 t CO ₂ /t Dolomitkalk (stöchiometrisch 0,913 * Oxidanteil 0,95)

Die verwendeten Emissionsfaktoren basieren auf den stöchiometrischen Faktoren und gehen zusätzlich davon aus, dass der Branntkalk zu 95 % aus CaO bzw. der Dolomitkalk zu 95 % aus CaO • MgO besteht und somit 5 % der Gesamtmasse auf nicht CO₂-relevante Verunreinigungen entfallen. Diese Herangehensweise ist in Übereinstimmung mit den *2006 IPCC Guidelines* (IPCC (2006): Band 3, Kapitel 2.3.1.2).

Aktivitätsdaten

Die Produktionszahlen werden über die gesamte Zeitreihe vom BV Kalk e.V., dem deutschen Industrieverband der Kalkindustrie, anlagenbezogen erhoben und für die Berichterstattung zur Verfügung gestellt. Die Produktionsmenge von Werken, die nicht über die Verbandsstatistik des BV Kalk erfasst werden, wird auf der Basis vorliegender Informationen (z.B. Betreiberangaben, veröffentlichte Daten aus dem Emissionshandel) abgeschätzt und zur Angabe des BV Kalk addiert. Somit wird sichergestellt, dass die deutsche Kalkproduktion vollständig erfasst wird. Seit dem Methodenwechsel entsprechend 2006 IPCC Guidelines wird zusätzlich davon ausgegangen, dass in allen Jahren des Berichtszeitraums ab dem Jahr 1990 2 % des gebrannten Kalks als Staub über entsprechende Abgasreinigungseinrichtungen abgeschieden und dem Brennprozess nicht wieder zugeführt werden. Dies wird über eine fiktive Erhöhung der Aktivitätsraten um 2 % berücksichtigt. Seit dem Jahr 2015 sind die Filterstaubmengen in den vom BV Kalk übermittelten Aktivitätsraten enthalten und die Erhöhung um 2 % entfällt.

Die vom BV Kalk übermittelten Aktivitätsraten werden vom UBA aktuell jährlich um die Daten eines kleineren, nicht vom Verband erfassten Werkes ergänzt. Die Abschätzung dieses Werkes basierte i. d. R. auf den Angaben der im Anlagenkonto der DEHSt angegebenen Zuteilungsmenge. Seit 2013 sind für das Anlagenkonto dieses Werkes die tatsächlichen CO₂-Emissionen veröffentlicht und liegen unterhalb der zuteilten Menge. Inzwischen kann bereits zum Zeitpunkt der Datenerhebung auf die tatsächlichen CO₂-Emissionen aus dem Anlagenkonto zugegriffen werden.

Die Bestimmung der Aktivitätsdaten entspricht dem Tier 2 - Ansatz der *2006 IPCC Guidelines* (IPCC (2006): Band 3, Kapitel 2.3.1.3)

4.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.2)

In den EU-Monitoring-Leitlinien für den Emissionshandel wird eine Genauigkeit der Aktivitätsraten von 2,5 % gefordert. Da die Angaben des BV Kalk zur Kalkproduktion auf den Angaben der Betreiber im Rahmen des CO₂-Emissionshandels beruhen und durch die Abfrage auf zwei parallelen Wegen qualitätsgesichert werden und gleichzeitig der Anteil der nicht in den Verbandszahlen erfassten Werke (und nachträglich geschätzten Werke) gering ist, wurden die **Unsicherheiten** für die verwendeten **Aktivitätsraten** mit -2,5 % bzw. +2,5 % abgeschätzt. Dies gilt für Branntkalk und Dolomitmalk gleichermaßen.

Die Unsicherheiten für die verwendeten Emissionsfaktoren für Branntkalk wurden mit -11 % bzw. +5 % abgeschätzt. Die Unsicherheiten für die verwendeten Emissionsfaktoren für Dolomitmalk wurden mit -30 % bzw. +2 % abgeschätzt.

4.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.2)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Erfassung der Produktionsmengen durch den BV Kalk erfolgt über zwei verbandsinterne Abfragen im technischen und kaufmännischen Bereich der einzelnen Werke, die miteinander abgeglichen werden. Werksbezogene Abweichungen zwischen den beiden Abfragen werden vor der Weitergabe der Aktivitätsraten an das UBA aufgeklärt. Die an das UBA übersandten Aktivitätsraten sind daher hinreichend qualitätsgesichert (Tier 2).

Der Vergleich mit verfügbaren Informationen aus dem ETS ergab Abweichungen, die sich aus methodischen Unterschieden erklären lassen: zum einen zwischen den Vorgaben im ETS und bei IPCC, zum anderen auf Grund der Änderungen zwischen den Handelsperioden des ETS. Im Zuge

der Inventarüberprüfung (ICR 2016) konnte anhand von grafischen Gegenüberstellungen veranschaulicht werden, dass die methodisch bedingten Abweichungen keine Zweifel an der Datenqualität der Inventare begründen.

Die verwendeten IPCC-Default-Faktoren sind für die landesspezifische Methode geeignet.

Der Vergleich mit den prozessbedingten Emissionen im Emissionshandel ergab eine gute Übereinstimmung.

4.2.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.2)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.2.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.2)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.2.3 Mineralische Industrie: Glas (2.A.3)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	2 A 3, Glass Production		CO ₂	780,5	0,1	866,2	0,1	11,0 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 2	AS	CS
NO _x , NMVOC, SO ₂	Tier 2	AS	CS

Die Kategorie *Mineralische Produkte: Glas* ist keine Hauptkategorie.

4.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.3 Glas)

Die Glasindustrie in Deutschland stellt eine große Vielfalt an Gläsern her, die durch voneinander abweichende chemische Zusammensetzungen charakterisiert sind. In Deutschland finden sich folgende Sektoren innerhalb der Glasbranche: Behälterglas, Flachglas, Kristall- und Wirtschaftsglas, Spezialglas sowie Mineralfasern (Glas- und Steinwolle). Die anteilig höchste Produktion wird in den Sektoren Behälterglas (ca. Hälfte der Gesamtglasproduktion) und Flachglas (ca. ein Viertel der Gesamtglasproduktion) erreicht (BV Glas, 2020a, 2020b). In der Inventarberechnung ist keine Wasserglasproduktion enthalten. Sämtliche relevanten Sodaemissionsmengen der Wasserglasproduktion sind unter 2.A.4.b (Kapitel 4.3.7) berücksichtigt.

Das aus Primär- und Sekundärrohstoffen homogen gemischte Glasgemenge wird bei Temperaturen zwischen 1450 °C und 1650 °C geschmolzen. Die hier betrachteten prozessbedingten CO₂ Emissionen entweichen während des Schmelzvorganges im Ofen aus den Karbonaten der Rohstoffe. Bei der Neutralisation von HF, HCL und SO₂ in den Abgasen mit Hilfe von Kalkstein oder anderen Karbonaten fallen ebenfalls CO₂-Emissionen an, jedoch in geringem Umfang. Diese werden hier aus diesem Grund nicht betrachtet.

Die folgende Tabelle zeigt die Trendverläufe der Aktivitätsraten, prozessbedingten CO₂-Emissionen und die sich über alle Glasarten ergebenden impliziten Emissionsfaktoren seit 1990.

Tabelle 182: Aktivitätsraten und prozessbedingte CO₂-Emissionen seit 1990, IEF über alle Glasarten

Jahr	Aktivitätsrate [t]	prozessbedingte CO ₂ -Emissionen [t]	IEF über alle Glasarten [t CO ₂ / t Glas]
1990	6.561.849	780.480	0,119
1991	7.202.807	821.376	0,114
1992	7.228.752	810.610	0,112
1993	7.074.837	778.104	0,110
1994	7.760.000	747.225	0,096
1995	7.621.300	881.306	0,116
1996	7.519.600	853.395	0,113
1997	7.392.000	833.771	0,113
1998	7.314.000	803.411	0,110
1999	7.442.239	822.236	0,110
2000	7.505.000	846.300	0,113
2001	7.293.000	846.289	0,116
2002	7.084.000	800.501	0,113
2003	7.205.720	788.726	0,109
2004	7.088.900	791.150	0,112
2005	6.948.400	802.746	0,116
2006	7.285.600	842.228	0,116
2007	7.535.300	829.060	0,110
2008	7.513.900	824.868	0,110
2009	6.784.100	745.664	0,110
2010	7.163.600	828.828	0,116
2011	7.341.600	835.138	0,114
2012	7.079.700	823.341	0,116
2013	7.255.900	860.111	0,119
2014	7.458.900	891.901	0,120
2015	7.397.900	916.423	0,124
2016	7.476.817	923.498	0,124
2017	7.552.202	882.713	0,117
2018	7.607.725	898.409	0,118
2019	7.377.607	866.171	0,117

Es ist zu erkennen, dass der Emissionsverlauf dem Trend der Aktivitätsraten weitgehend folgt. In den impliziten Emissionsfaktoren lässt sich ablesen, dass es aber keine starre Korrelation ist, sondern Abweichungen dazu auftreten. Ursache dafür sind die jährlichen Schwankungen bei der Produktionsmenge einzelner Glassorten und bei den Scherbeneinsätzen, was nachvollziehbar und rechnerisch einwandfrei ist. Der insgesamt steigende IEF über alle Glasarten kommt von der absoluten und relativen Zunahme emissionsstärkerer Produkte wie vor allem Mineralfasern.

Die für die Herstellung von Glas auch auftretenden Emissionen der sogenannten Vorläufersubstanzen werden hier nicht thematisiert, können aber wegen Einschränkungen der UNFCCC-Software auch nicht in dieser Kategorie berichtet werden, sondern in Kapitel 4.2.4.4.

4.2.3.2 Methodische Aspekte (2.A.3 Glas)

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen (wesentlicher Schadstoff) kommt eine Tier-2-Methode zur Anwendung, weil die detaillierten Aktivitätsraten mit spezifischen Emissionsfaktoren gekoppelt werden (entsprechend Karbonatgehalten). Es werden die folgenden Karbonate als hauptsächliche Quelle für die CO₂-Bildung während des Schmelzvorgangs betrachtet: Kalziumkarbonat (CaCO₃), Soda/Natriumkarbonat (Na₂CO₃), Magnesiumkarbonat (MgCO₃) und Bariumkarbonat (BaCO₃). Hier werden die CO₂-Emissionen aus sämtlichen Karbonaten in Summe berichtet, Hinweise zu den Rohstoffeinsatzmengen von Soda sind unter 2.A.4.b (siehe 0)

zu finden. Dabei ist zu beachten, dass die berechneten Sodaesatzmengen nicht veröffentlicht werden können, weil die Produktionsdaten von Soda (siehe 0) einer statistischen Geheimhaltung unterliegen und auch nicht über Bilanzrechnungen ermittelbar sein dürfen.

Die Produktionszahlen (**Aktivitätsraten**) werden den regelmäßig erscheinenden Jahresberichten des Bundesverbandes Glasindustrie entnommen. Die Produktion bezieht sich auf die Masse an produziertem Glas, die der Masse an geschmolzenem Glas gleich gesetzt wird. Dabei ist zu beachten, dass ein Teil der Schmelze, der der Menge an internen Scherben entspricht, nicht in der Produktionsstatistik berücksichtigt ist (siehe auch unten Hinweise zum Scherbeneinsatz). Somit entspricht die statistische Angabe nicht der tatsächlichen Menge an geschmolzenem Glas, sondern der Schmelze aus Primärrohstoffen und Fremdscherben. Die Weiterverarbeitung und Veredlung des Glases bzw. der Glasgegenstände werden nicht betrachtet.

Für das Jahr 2018 wurden folgende Aktivitätsraten ermittelt:

Tabelle 183: Glas: Aktivitätsraten der einzelnen Branchensektoren (Glassorten)

Branchensektor	Aktivitätsrate 2019 [t]
Behälterglas	4.041.282
Flachglas	2.199.511
Glasfasern und -wolle	378.269
Spezialglas	276.815
Steinwolle	670.147
Wirtschaftsglas	41.701

Quelle: BV Glas (2020a, 2020b)

Es werden folgende branchenspezifische Scherbenanteile angenommen:

Tabelle 184: Scherbenanteil der einzelnen Glassorten

Branchensektor	Scherbenanteil [%] des Rohstoffeinsatzes
Behälterglas	58 – 65(jährlich variabel)
Flachglas	10 (gesamte Zeitreihe)
Wirtschaftsglas	5 (gesamte Zeitreihe)
Spezialglas	5 (gesamte Zeitreihe)
Glasfasern und -wolle	40 (gesamte Zeitreihe)
Steinwolle	40 (gesamte Zeitreihe)

Quelle: Gitzhofer et al. (2008) sowie Erhebungen des BV Glas (BV Glas, 2020c)

Bei Behälterglas ist der Scherbenanteil nur für die alten Bundesländer ab 1990 und für Deutschland ab 1995 bekannt. Für die neuen Bundesländer liegen für die Zeit zwischen 1990 und 1994 keine Daten vor, daher wurde anhand der durchschnittlichen Anteile der verschiedenen Glassektoren an der Gesamtproduktion ein durchschnittlicher Scherbeneinsatz angenommen. Im Jahr 2007 wurde die Gesellschaft für Glasrecycling und Abfallvermeidung mbH (GGA) kartellrechtlich verboten, so dass ab dem Jahr 2007 keine gesicherten Daten zum Scherbeneinsatz mehr aus dieser Quelle vorliegen. Seit 2012 stellt der BV Glas Daten zu Scherbeneinsätzen in der Behälterglasindustrie ab 2007 zur Verfügung, die aus Verbandserhebungen stammen (BV Glas, 2020c). Zudem verifiziert der BV Glas die anderen für die Berichterstattung genutzten Scherbenanteile mit den ihm vorliegenden Mitgliederangaben. In den Scherbenanteilen der Sektoren sind ausschließlich externe Scherben enthalten, da interne Scherben nicht in der Produktionsstatistik erfasst werden, auf die sich wiederum die Aktivitätsraten stützen. Der Gesamtanteil an Scherben in den Wannen ist teilweise deutlich

höher, je nachdem wieviel interne Scherben bei der Produktion anfallen (z.B. bei einem Farbwechsel).

Da die während des Schmelzvorgangs entstehenden Abgase sowie die verbrennungsbedingten Abgase als gesammelter Abgasvolumenstrom abgeführt werden, können für die in der deutschen Glasindustrie emittierten Mengen an CO₂ keine Messergebnisse verwendet werden. Es wird daher ein Berechnungsverfahren angewandt, das auf Basis der Gewichtsanteile der oben erwähnten Karbonate sowie dem Einsatz von Scherben in der Behälter- und Flachglasindustrie beruht. Die Angaben zur chemischen Zusammensetzung der verschiedenen in Deutschland produzierten Glassorten stammen aus der VDI-Richtlinie 2578 (VDI, 2017) sowie dem ATV-DVWK-Merkblatt 374 (ATV, 2004).

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der **Emissionsfaktoren** für die einzelnen Glasoxide und der Emissionen ist detailliert im NIR 2007 (Kapitel 4.1.7.2, S. 251ff) beschrieben.

Für die Branchensektoren wurden folgende Emissionsfaktoren errechnet, die bei wechselndem Scherbeneinsatz jährlich schwanken (Spannenangabe bei Behälterglas).

Tabelle 185: CO₂-Emissionsfaktoren für verschiedene Glassorten (berechnet im Vergleich mit Angaben der IPCC Guidelines 2006)

Glassorte	berechneter Emissionsfaktor [kg CO ₂ / t geschmolzenes Glas]			Default-Emissionsfaktoren [kg CO ₂ / t geschmolzenes Glas]		
	- stöchiometrisch/ inkl. Scherbeneinsatz-			- laut 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tab. 2.6)-		
Behälterglas	193	/	49 – 86*	210		
Flachglas	208	/	187	210		
Wirtschaftsglas	120	/	114	100		
Spezialglas	113	/	107	30	-	200
Glasfasern	198	/	119	190	-	250
Steinwolle	299	/	179	-		
unspezifiziert	174	/	139	-		

* zuletzt bei 81 kg CO₂ pro t geschmolzenen Glases

Die stöchiometrischen berechneten Emissionsfaktoren liegen sehr nah an den Default-Faktoren. Die Emissionsfaktoren inklusive Scherbeneinsatz liegen deutlich unterhalb der Default-Werte, da in Deutschland der Scherbeneinsatz traditionell sehr hoch ist. Lediglich für Wirtschaftsglas gilt dies nicht, was an den hohen Qualitätsanforderungen und den damit verbundenen niedrigen Scherbeneinsätzen liegen kann.

4.2.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.3 Glas)

Die Produktionsdaten stammen aus der verbandsinternen Statistik des BV Glas. Dieser vertritt nahezu alle Behälter- und Flachglashersteller Deutschlands, damit sind die Daten dieser Branchensektoren sehr genau und es wurde eine Unsicherheit von 5 % angesetzt. Alle anderen Glassektoren vertritt der Verband nicht vollständig und kann daher keine Vollständigkeit garantieren. Daher wird von einer Unsicherheit von 10 % ausgegangen. Bis ca. 2002 hat der BV Glas ebenfalls die Daten mit den Daten des *Statistischen Bundesamtes* abgeglichen.

Die Unsicherheit bei den Scherbenangaben für Behälterglas liegt in der üblichen Spannbreite statistischer Erfassung. Für die neuen Bundesländer wurde eine Unsicherheit von 20 % angenommen, weil keine statistische Erhebung sondern nur eine Schätzung vorliegt. Die Nutzung von Daten aus verbandsinternen Erhebungen zum Scherbeneinsatz ab 2007 erhöht die Unsicherheiten. Dazu zählt der Fakt, dass nur betriebsinterne Scherben und externe Behälterglasscherben erfasst werden, aber nicht die Mengen an Flachglas, die eventuell in der Behälterglasproduktion eingesetzt werden.

Die Angaben zum Scherbeneinsatz bei allen anderen Glasarten hingegen sind deutlich ungenauer, da dort nur Schätzungen vorliegen. Es wurde daher eine Unsicherheit von 20 % angesetzt.

Für die CO₂-Emissionsfaktoren wurde eine Unsicherheit von 14 % für Behälterglas und 22 % für alle anderen Glasarten angegeben.

4.2.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.3 Glas)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle durchgeführt.

Die errechneten Emissionsfaktoren wurden mit mehreren Quellen verglichen, u.a. mit den IPCC Guidelines ((IPCC, 2006)) sowie dem Emissionsfaktoren-Handbuch „Emissionserklärung 2004 Baden-Württemberg“ (UMEG, 2004). Die errechneten Emissionsfaktoren können danach als zutreffend eingeschätzt werden. Darüber hinaus wurde der IEF mit dem folgender Länder verglichen, die ebenfalls die Sodanutzung nicht separat sondern in die Glasherstellung integriert berichten: Spanien (0,10), Italien (0,10) und Portugal (0,09). Diese Werte sind mit dem deutschen IEF für die Glasindustrie (um 0,1 schwankend) vergleichbar.

Die berechneten Emissionen wurden ebenfalls mit den ETS-Daten in Deutschland abgeglichen. Dabei lagen die berechneten Emissionen ungefähr 1,2% unter denen gemäß ETS, was mit einer unterschiedlichen Zuordnung der Materialien zu prozess- und energiebedingten Emissionen begründet werden kann.

Die Angaben zur chemischen Zusammensetzung der einzelnen Glassorten werden weiterhin als richtig angesehen. Erheblichen Einfluss hat aber die Rate des Scherbeneinsatzes, für die die Datenlage immer noch verbesserungswürdig ist (siehe Kapitel 4.2.3.3).

4.2.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.3 Glas)

Es wurden quellenspezifische Rückrechnungen bei den Aktivitätsraten für das Jahr 2018 durchgeführt, die zu einer Verringerung der CO₂-Emissionen um ca. 5.000 t führten.

4.2.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.3 Glas)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.2.4 Mineralische Industrie: Weiterer Einsatz von Karbonaten (2.A.4)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	2 A 4, Other Process Uses of Carbonates		CO ₂	1.458,0	0,1	710,4	0,1	-51,3 %

Die übergeordnete Kategorie 2.A.4 - *Mineralische Produkte: Weiterer Einsatz von Karbonaten* ist keine Hauptkategorie. Diese Kategorie wird wesentlich von der Keramikindustrie bestimmt, was sowohl die Höhe der Emissionen wie auch die Detailliertheit der Methode betrifft.

4.2.4.1 Mineralische Industrie: Keramik (2.A.4.a)**4.2.4.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.a Keramik)**

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 2	NS	CS
NO _x , NMVOC, SO ₂	Tier 1	NS	CS

Wie die Glasindustrie ist auch die Keramikindustrie in Deutschland sehr heterogen geprägt. Sie umfasst eine Vielzahl an Produkten, die durch unterschiedliche Einsatzbereiche und entsprechende chemische Zusammensetzungen charakterisiert sind. Neben Ton (als Hauptrohstoff), Sand und anderen natürlichen Rohstoffgemengen werden auch synthetisch hergestellte Stoffe wie z.B. Aluminiumoxid und Siliziumdioxid eingesetzt. Nachfolgende Einsatzgebiete können in Deutschland innerhalb der Keramikbranche unterschieden werden: Baukeramik (Ziegel, Fliesen, Drainrohre), Sanitärkeramik (WC-Becken, Waschtische), Geschirrkemik (Tafelservice, Haushaltssporzellan), Technische Keramik (Isolatoren, Konstruktionsbauteile), Feuerfestkeramik (Ofenmauerwerk, Feuerbeton), Keramisch gebundene Schleifkörper und Blähton (VDI-Richtlinie 2585) (VDI, 2006). Die anteilig höchste Produktionsmenge wird in den Sektoren Ziegel (ca. 80 % der Gesamtkeramikproduktion) erreicht, gefolgt von Feuerfesterzeugnissen (ca. 10 %) und Fliesen (ca. 6 %).

Das aus Primärrohstoffen – und nur in geringen Mengen Sekundärrohstoffen - homogen gemischte Gemenge wird vorwiegend in Tunnelöfen und Herdöfen bei Ofentemperaturen zwischen 800 - 1.300 °C gebrannt. Die Verweilzeiten sind sehr stark von den Produkten abhängig und betragen in der Regel mehrere Stunden (BREF CER 2007)(European Commission, 2007a). Bei Feuerfesterzeugnissen und technischen Keramiken werden auch weitaus höhere Brenntemperaturen genutzt. Die hier betrachteten prozessbedingten CO₂-Emissionen entweichen während des Brennvorganges im Ofen. Diese kommen sowohl aus den karbonatischen als auch aus den fossilen Bestandteilen des Rohstoffes. Teilweise stammen die prozessbedingten CO₂-Emissionen auch aus sogenannten Porosierungsmitteln (u.a. Sägemehl, Papierfangstoffe, Polystyrol), die insbesondere bei der Ziegelherstellung (Hintermauerziegel) eingesetzt werden. Bei der Bestimmung der CO₂-Emissionsfaktoren werden nur die nicht-biogenen Anteile berücksichtigt.

Die Zeitreihen „keramische Erzeugnisse“ (siehe Tabelle 186) umfassen die Aktivitätsraten sowie die prozessbedingten CO₂-Emissionen der gesamten Keramikindustrie in Deutschland seit 1990⁵⁶. Über diese Aktivitätsraten werden auch die Nicht-CO₂-Emissionen (NO_x, NMVOC, SO₂, etc.) der gesamten keramischen Industrie berechnet.

Tabelle 186: Aktivitätsraten und prozessbedingte CO₂-Emissionen der keramischen Industrie (CRF 2.A.4.a), seit 1990

	Aktivitätsrate [kt]		prozessbedingte CO ₂ -Emissionen [kt] ⁵⁷
	Gesamte Keramikproduktion	CO ₂ -relevante Keramikproduktion ⁵⁷	
1990	17.691	15.628	1.122
1991	18.401	16.415	1.188
1992	19.551	17.629	1.308
1993	21.731	19.829	1.495
1994	25.128	23.334	1.815

⁵⁶ Blähton ist hier nicht berücksichtigt da keine Daten (Produktionsmengen/ Aktivitätsraten) verfügbar

⁵⁷ Hintermauerziegel, Vormauerziegel, Ziegel für Boden- und Straßenbeläge, Dachziegel und Zubehör, Fliesen, Steinzeug, keramische Rohre und andere Bau-Formen, Haushalts- und Hygienekeramik: Porzellan, Haushalts- und Hygienekeramik: Steinzeug, Steingut

Aktivitätsrate [kt]		prozessbedingte CO ₂ -Emissionen [kt] ⁵⁷	
Gesamte Keramikproduktion		CO ₂ -relevante Keramikproduktion ⁵⁷	
1995	25.167	23.254	1.742
1996	22.671	20.943	1.557
1997	22.691	20.949	1.554
1998	22.461	20.714	1.499
1999	21.841	20.222	1.445
2000	20.649	18.914	1.314
2001	17.416	15.775	1.072
2002	16.094	14.418	969
2003	15.960	14.262	955
2004	16.135	14.398	940
2005	14.199	12.547	772
2006	15.123	13.352	849
2007	15.164	13.269	836
2008	13.242	11.376	697
2009	10.814	9.498	574
2010	11.921	10.254	607
2011	12.877	11.113	653
2012	12.329	10.732	627
2013	12.032	10.480	611
2014	11.909	10.313	582
2015	11.645	10.084	552
2016	11.702	10.170	565
2017	12.039	10.421	571
2018	11.971	10.401	556
2019	12.034	10.586	569

Quelle: eigene Berechnungen UBA

4.2.4.1.2 Methodische Aspekte (2.A.4.a Keramik)

Die 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories enthalten Hinweise zur Berechnung der prozessbedingten CO₂-Emissionen für die Keramikindustrie (IPCC (2006): Band 3, Kapitel 2.5.1 ‚Ceramics‘). Dabei wird diesem Industriesektor grundsätzlich die Herstellung folgender Produktgruppen zugeordnet: Dach- und Mauerziegel, Steinzeugrohre, feuerfeste Erzeugnisse, Blähton, Wand- und Bodenfliesen, Haushaltskeramik, Sanitärkeramik, technische Keramik, anorganisch gebundene Schleifmittel. Bezogen auf die produzierte Menge, sind die Produktgruppen Dach- und Mauerziegel, feuerfeste Erzeugnisse sowie Wand- und Bodenfliesen als relevant anzusehen. Entsprechend der Datenlage werden fast alle Produkte für die Emissionsberechnungen berücksichtigt.

Für die Einschätzung der Methode liefern die IPCC-Guidelines 2006 nur Hinweise bezüglich des Karbonateinsatzes. Weil mit der vorliegenden Methode weitere CO₂-Quellen berücksichtigt werden, wird diese als eine länderspezifische Tier-2-Methode eingeschätzt.

Aktivitätsdaten

Für die Produktionszahlen (Aktivitätsraten) werden die Daten vom Statistischen Bundesamt herangezogen (W. Statistisches Bundesamt, 2020a). Zur Vervollständigung der Datenlage zu allen Produktkategorien der keramischen Industrie, auch im Hinblick auf die Ermittlung der prozessbedingten CO₂-Emissionen, wurde im Rahmen eines Sachverständigengutachtens, in Zusammenarbeit mit dem Statistischen Bundesamt, für jede Produktkategorie die jeweilige Jahresproduktion ermittelt (Gottwald et al., 2017). Der betrachtete Projektzeitraum lag zwischen 1990 – 2015 und wurde seitdem weiter entwickelt. Die Anzahl der damit zu berücksichtigenden

Produktkategorien aus der amtlichen Statistik schwanken zwischen 52 und 67, mit der letzten Anpassung zum Jahr 2019 sind es 57 Produktmeldenummern. Die Datenlieferung des Statistischen Bundesamts liegt je nach Produkt in unterschiedlichen Einheiten vor (Tonne, Quadratmeter, Stück, Wert). Um eine konsistente Bearbeitung der Daten zu ermöglichen, ist eine Vereinheitlichung der Maßangaben in Tonne [t] notwendig. Eine Ermittlung der produzierten Massen, die nicht in der Einheit Tonne [t] vorliegen, ist nur über Umrechnungsfaktoren möglich. Die Umrechnungsfaktoren sind im Projektbericht einsehbar.

Ab Datenjahr 2019 erfolgt die Umrechnung der Fliesen – die in Quadratmetern gemeldet werden – nach einer angepassten Methode. Die vormals zehn statistischen Meldenummern für verschiedene Fliesenprodukte werden ab Datenjahr 2019 in drei neue Meldegruppen mit neuer Systematik – geordnet nach der Wasseraufnahmekapazität – veröffentlicht. Dabei wurden Anteile der alten Gruppen auf die neuen Gruppen verteilt und die davor verwendeten Umrechnungsfaktoren somit ungeeignet. Die für die Umrechnung in die Einheit Tonne notwendigen durchschnittlichen Flächengewichte wurden mit dem Bundesverband Keramische Fliesen e.V. im August 2020 diskutiert und zugewiesen (Fliesen, 2020).

Die Umrechnungsfaktoren für Vormauer-, Hintermauer- und Dachziegel wurden abweichend zum Sachverständigen Gutachten nach Hinweisen des Bundesverbands der Deutschen Ziegelindustrie e. V. in Fachgesprächen mit Vertretern von Umwelt- und Industrieverbänden erarbeitet. Hierfür werden Durchschnittswerte für die Rohdichten der Hintermauerziegel verwendet. Diese wurden für das Jahr 1994 und für das Jahr 2016 ermittelt. Die Rohdichten sinken im Zeitverlauf stetig, da der Anteil an porosierten Produkten und der Grad der Porosierung zunehmen. Die Werte für die Jahre zwischen 1994 und 2016 sind linear interpoliert.

Emissionsfaktoren

Die prozessbedingten CO₂-Emissionen stammen aus dem Rohstoff für die Herstellung keramischer Erzeugnisse. I.d.R. sind dies lokal vorhandene Lehme und Tone, die unterschiedliche Anteile an nicht biogenen Kohlenstoffen (wie Karbonate) und organischen Kohlenstoffen enthalten. Darüber hinaus werden in geringem Maße prozessbedingte CO₂-Emissionen auch über sogenannte Porosierungsmittel verursacht, die bei der Herstellung von Hintermauerziegeln dem Rohmaterial zugemischt werden. Als Porosierungsmittel kommen vorwiegend erneuerbare Ressourcen (z.B. Schlämme aus der Papierindustrie, auch mit fossilen Anteilen, sowie Papierfasern), in geringen Mengen aber auch nicht erneuerbare Stoffe (vor allem Polystyrol) zum Einsatz. Auch sogenannte (organische) Bindemittel, die ebenfalls in geringen Mengen für die Herstellung von Feuerfest- und Schleifmittelerzeugnisse eingesetzt werden, tragen zu prozessbedingten CO₂-Emissionen bei, allerdings in nicht relevanten Mengen.

Die für Deutschland geeigneten Emissionsfaktoren wurden in zwei Stufen erarbeitet: Zuerst durch eine Kennzeichnung der statistischen Angaben für CO₂-relevante Produktgruppen (Gottwald et al., 2017); zusätzlich wurden von der deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) konkrete Emissionsfaktoren berechnet (Rothe, 2017). Hierbei wurden u.a. verifizierte Daten von Anlagen (Emissionsberichte, Produktzuordnung, Produktionsmengen, Glührückstand von Rohmaterialproben) der Jahre 2012 bis 2015 herangezogen, die der DEHSt vorlagen⁵⁸. Produktgruppen, bei denen die Emissionsfaktoren durch die DEHSt nicht direkt ermittelt werden konnten, aber als CO₂-relevant gelten, sind durch Annahmen und Analogien mit anderen Produktgruppen (Rohstoffzusammensetzung) ergänzt worden (Expertenschätzung)⁵⁹. Als Ergebnis dieses schrittweisen Bewertens wurden Feuerfestprodukte, Ziergegenstände,

technische Keramiken und Schleifmittel von den CO₂-Berechnungen ausgeschlossen. Tabelle 187 enthält die für die unterschiedlichen Produktgruppen ermittelten CO₂- Emissionsfaktoren.

Tabelle 187: CO₂-Emissionsfaktoren für verschiedene keramische Produktgruppen

Produktgruppe	CO ₂ - Emissionsfaktor [tCO ₂ / tProdukt]	Bemerkungen
Fliesen, Steinzeug	0,018	DEHSt
Hintermauerziegel	0,1047	DEHSt
Vormauerziegel	0,0189	DEHSt
Ziegel für Boden- und Straßenbeläge	0,016	DEHSt/ UBA*
Dachziegel, Zubehör	0,0112	DEHSt
keramische Rohre und andere Bau-Formen	0,0112	DEHSt/ UBA*
Haushalts- und Hygienekeramik: Porzellan	0,009	DEHSt/ UBA*
Haushalts- und Hygienekeramik: Steinzeug, Steingut	0,018	DEHSt/ UBA*

* als Expertenschätzung ermittelte Emissionsfaktoren (siehe obige Beschreibung)

Der Implied emission factor (IEF) für die deutsche Keramikindustrie ergibt sich aus den prozessbedingten CO₂-Emissionen und der Aktivitätsrate der CO₂-relevanten Keramikproduktion für das jeweilige Jahr (siehe Tabelle 186). Für 2018 kann damit ein IEF von 0,053 tCO₂/tProdukt errechnet werden⁶⁰. Der im Vergleich zum NIR 2019 deutlich niedrigere Wert ergibt sich aus den neuen Umrechnungsfaktoren für die Rohdichte von Ziegeln, weil damit die mengenmäßig stärkste und emissionsrelevanteste Produktart im Produktionsmassenanteil abnimmt.

4.2.4.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.a Keramik)

Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten werden u.a. wegen der erforderlichen Umrechnungen von Stückzahlen, Volumen- und Flächenangaben auf produzierte Massen (Tonnen [t]) sowie der Unsicherheiten bei der Erfassung der Produktionsstatistik auf + 6 % / - 7 % geschätzt.

Die Unsicherheiten der verwendeten **CO₂-Emissionsfaktoren** für die in Tabelle 187 genannten Produktgruppen sind teilweise sehr verschieden. Beispielsweise liegen die Unsicherheiten bei den Produktgruppen Hintermauerziegeln bei -18 % / +18 % und Fliesen bei -53 % / +53 %. Die ermittelten Unsicherheiten sind überwiegend auf die empirisch erfassten Daten der DEHSt zurückzuführen. Für die nicht direkt ermittelten Emissionsfaktoren (wie keramische Rohre, etc.) kamen anteilig noch Unsicherheiten für angewendete Analogien hinzu (z.B. Haushalts- und Hygienekeramik: -57 % / +57 %).

Zeitreihenkonsistenz bezüglich der Aktivitätsraten ist für den Großteil der in Tabelle 187 genannten Produktgruppen und für die damit verknüpften CO₂-Emissionsfaktoren gegeben. Zeitreihenbrüche vereinzelter Produktgruppen (Änderungen hinsichtlich der Verfügbarkeit statistischer Daten, Produktgruppenänderungen in der Vergangenheit) sind in Gottwald et al. (2017) erfasst und beschrieben worden. Diese Brüche sind für die CO₂-Emissionen irrelevant oder zu vernachlässigen.

4.2.4.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.a Keramik)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

⁶⁰ Dieser Wert entspricht nicht dem CO₂-IEF, der in den CRF-Tabellen erscheint, weil dort die gesamte Aktivitätsrate aller keramischen Produkte angegeben wird. Dabei sind Produkte subsummiert, die auf Grund ihrer Rohstoffzusammensetzung und Qualitätsansprüche keine Karbonate oder CO₂-relevante Zuschläge enthalten.

Die berechneten CO₂-Emissionen sind nachvollziehbar und liegen in der Größenordnung der im ETS erfassten Emissionen.

Ein Vergleich mit IPCC-Default-Emissionsfaktoren ist nicht möglich, weil in den Guidelines Emissionsfaktoren nur auf die Rohstoffe bezogen sind. Die landesspezifischen Emissionsfaktoren beziehen sich jedoch auf die Produkte.

Der CO₂-IEF der deutschen Keramikindustrie liegt, wie der der meisten anderen Länder, im unteren bis mittleren Bereich. In einigen Ländern liegen die IEF-Werte jedoch um den Faktor 5 bis 10 höher, was nicht vergleichbar erscheint.

4.2.4.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.a Keramik)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.2.4.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.a Keramik)

Derzeit sind über die unter Kapitel 4.2.4.1.4 benannte Prüfung hinaus keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.2.4.2 Mineralische Industrie: weitere Sodanutzung (2.A.4.b)

4.2.4.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.b)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 1	NS	D

Die übergeordnete Kategorie 2.A.4 - *Mineralische Produkte: Weiterer Einsatz von Karbonaten* ist keine Hauptkategorie.

Das Produkt Soda wird in der Industrie für die verschiedensten Anwendungen eingesetzt. Die wichtigsten Einsatzfelder sind die Glasindustrie, die Herstellung von Wasch- und Reinigungsmitteln und die chemische Industrie. Es wird davon ausgegangen, dass der im Soda enthaltene Kohlenstoff unabhängig von der Nutzungsart früher oder später als CO₂ in die Luft freigesetzt wird.

Emissionen, die sich aus der Nutzung von Soda ergeben, stehen in einem festen Verhältnis zu den berechneten Verwendungsmengen, hier außerhalb der Glasindustrie (siehe methodische Aspekte im folgenden Kapitel):

Tabelle 188: Aktivitätsraten und nutzungsbedingte CO₂-Emissionen außerhalb der Glasindustrie seit 1990

Jahr	Aktivitätsrate [t]	CO ₂ -Emissionen [kt]
1990	809.885	336,1
1995	340.793	141,4
2000	411.281	170,7
2005	517.159	214,6
2006	484.871	201,2
2007	550.966	228,7
2008	538.477	223,5
2009	457.076	189,7

Jahr	Aktivitätsrate [t]	CO ₂ -Emissionen [kt]
2010	528.885	219,5
2011	587.144	243,7
2012	516.444	214,3
2013	591.149	245,3
2014	516.915	214,5
2015	470.288	195,2
2016	495.780	205,7
2017	494.922	205,4
2018	459.160	190,6
2019	340.998	141,5

Quelle: Berechnungen des UBA, Herleitung siehe folgendes Kapitel

4.2.4.2.2 Methodische Aspekte (2.A.4.b)

Aktivitätsdaten

Seit der Inventarüberprüfung 2010 werden die verwendeten Sodamengen ermittelt, die nicht in anderen Kategorien für Emissionsberechnungen berücksichtigt werden. Dabei handelt es sich um eine Berechnung, die auf die höchst mögliche Emission aus der Nutzung von Soda abzielt. Die Gesamtsumme des in Deutschland genutzten Sodas wird über eine Bilanzierung (Produktionsmenge plus Import abzüglich Export) ermittelt (a). Die Im- und Exportmengen werden der Außenhandelsstatistik vom Statistischen Bundesamt entnommen (Statistisches Bundesamt, o.J.). Die Emissionen aus der Verwendung von Soda in der Glasindustrie werden bereits unter der Kategorie 2.A.3 quellspezifisch berücksichtigt (b). Die dort eingesetzten Mengen an Soda werden bei der hier relevanten Sodanutzung abgezogen. Die Aktivitätsdaten aus obiger Tabelle (c) ergeben sich nach folgender Formel:

$$c = a \text{ minus } b$$

Bei der Ermittlung der Bilanzzeit dem Jahr 2017 wurde auf eine Fortschreibung des Außenhandelssaldo zurück gegriffen, weil das Statistische Bundesamt eine sehr hohe Exportangabe geliefert hat. Weil mit diesen Angaben kein plausibler Bilanzrahmen vorliegt, erfolgt die Fortschreibung eines Mittelwertes aus den fünf vorhergehenden Jahren. Inzwischen sind Rücksprachen mit Herstellern und Statistikämtern erfolgt, die das Ziel verfolgen, die veröffentlichten Angaben zu korrigieren. Die Klärung dieser Angaben dauerte zur Zeit der Inventarerstellung noch an.

Emissionsfaktor

Für die Anwendung von Soda beträgt der Emissionsfaktor stöchiometrisch 415 kg CO₂ pro Tonne Soda unter der Annahme, dass eine vollständige Freisetzung erfolgt (konservativer Ansatz).

4.2.4.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.b)

Aktivitätsdaten

Die Berechnungen der relevanten Mengen an genutztem Soda weisen hohe Unsicherheiten auf (maximal -18%/+18%), weil zu den statistischen Schwankungsbreiten der Sodaproduktion und des Außenhandels mit Soda Berechnungsannahmen o.g. Herleitung hinzukommen.

Mit den niedrigen Werten für die Jahre 2017 und 2018 ergibt sich ein sinkender Trend, der noch nicht fachlich erklärt werden kann, sondern sich technisch aus der verwendeten Bilanzmethode ergibt.

Emissionsfaktor

Der Emissionsfaktor für die Verwendung von Soda weist kleine, begründete Unsicherheiten im Bereich von Produktreinheit und Vollständigkeit des chemischen Umsatzes auf (-5%/+0%).

4.2.4.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.b)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durch die Nationale Koordinierungsstelle durchgeführt.

Momentan lassen sich die verwendeten Sodamengen, die nicht der Glasindustrie zuzuordnen sind, nicht quantitativ verifizieren. Sie stellen aber als konservative Schätzung keine Unterschätzung des Inventars dar. Qualitativ stehen die Berechnungsergebnisse den stichprobenartig bekannten Absatzzahlen der Sodahersteller nicht entgegen.

Der stöchiometrische Emissionsfaktor entspricht den Default-Angaben der IPCC-Guidelines (IPCC (2006): Band 3, Ch. 2, table 2.1)

4.2.4.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.b)

Es waren Rekalkulationen für 2017 und 2018 notwendig, die zu höheren Emissionen führen.

4.2.4.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.b)

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet. Darüber hinaus sind keine Verbesserungen geplant.

4.2.4.3 Herstellung nichtmetallurgischer Magnesiumprodukte (2.A.4.c)

4.2.4.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.c)

Die Treibhausgas-Emissionen aus dieser Kategorie betragen weniger als 0,05 % des Gesamtinventars (ohne LULUCF) und unterschreiten 500 kt CO₂-Äquivalente, zudem kann eine jährliche Erfassung nicht gewährleistet werden (UNFCCC, 2013a). Somit wird auf eine entsprechende Berichterstattung verzichtet. In diesem Kapitel findet einmalig eine quantitative Abschätzung der somit nicht im Inventar berücksichtigten Emission statt. Eine Zusammenstellung aller als ‚not estimated‘ erfasster Quellen erfolgt darüber hinaus in Anhang 5 in Kapitel 21 dieses Berichtes.

4.2.4.3.2 Methodische Aspekte (2.A.4.c)

Geeignete Aktivitätsdaten für diesen Quellkategoriezuschnitt konnten nicht in den amtlichen Statistiken identifiziert werden. Einige Produktarten wie Feuerfeststeine sind bereits in den Aktivitätsdaten der keramischen Industrie enthalten (CRF 2.A.4.a, Kapitel 4.2.4). Die darüber hinaus identifizierte „Herstellung von anderen Karbonaten“ ist eine Sammelposition, bei der Magnesiumkarbonate eine nicht ausweisbare Teilmenge ausmachen. Die sich ergebende Zeitreihe belegt nur Produktionsmengen unterhalb 300.000 t. Erst ab ca. einer Million Tonnen eines Produkts mit hohem Anteil an CaO und MgO würde die Schwelle zur Berücksichtigung erreicht werden. Keine in Frage kommende Produktart, auch nicht die bereits in anderen Kategorien erfassten, erreicht dieses Maß.

Eine genaue Berechnung der potentiellen CO₂-Emissionen ist auf Grund der statistischen Sammelpositionen kaum möglich, sie wird auf deutlich weniger als 100.000 t Kohlendioxid geschätzt.

4.2.4.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.c)

Aussagen über Unsicherheiten und Angaben zur Zeitreihenkonsistenz sind nicht möglich.

4.2.4.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.c)

Aufgrund begrenzter Ressourcen und minimaler Relevanz wurde für diese Berichterstattung keine QK/QS durchgeführt.

Eine erste Schätzung erfolgte im Rahmen eines Forschungsprojektes und wurde vom fachlichen Ansprechpartner im UBA geprüft und in der oben beschriebenen Weise bestätigt.

4.2.4.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.c)

Die Betrachtung von Rekalkulationen entfällt auf Grund der nicht ausgewiesenen Emissionen.

4.2.4.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.c)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.2.4.4 Mineralische Industrie: weitere Verwendung von Kalkstein und Dolomit (2.A.4.d)**4.2.4.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.A.4.d)**

Emissionen von Kohlendioxid dieser Quellgruppe werden nicht gesondert berichtet, sondern werden in den Quellgruppen berichtet, in denen Kalkstein und Dolomit verwendet wird (Included Elsewhere - IE). In den jeweiligen Quellgruppen erfolgt auch die Berücksichtigung in der Hauptquellgruppenanalyse.

Emissionen der Vorläufersubstanzen SO₂, NO_x sowie NMVOC werden in dieser Kategorie berichtet, wenn die 'CRF Reporter Inventory Software' von UNFCCC keinen Eintrag in Subkategorien gestattet, im Einzelnen sind das Folgende:

- NO_x und NMVOC aus 2.A.1, 2.A.2 und 2.A.3,
- SO₂ aus 2.A.2 und 2.A.3 inklusive einer statistischen Angabe für das Gebiet der 'Neuen Bundesländer' in 1990,
- diese Allokation bedingt, dass keine Angabe von Aktivitäten in den CRF-Tabellen möglich ist.

Alle anderen Vorläufersubstanzen werden in den Kategorien berichtet, denen die Emissionen zuzuordnen sind (keine Restriktionen der CRF-Reporter-Software).

In dieser Quellgruppe wurden bis zur Submission 2014 in Ergänzung zu den IPCC-Guidelines 1996 die gesamte Produktion und Verwendung von Kalkstein und Dolomit bilanziell betrachtet und Abgleiche mit den Quellgruppen des Inventars vorgenommen. Die „Kalksteinbilanz“ (Röhling & Kludt, 2010) kann im NIR 2014 letztmalig nachvollzogen werden.

Für den Einsatz von Kalkstein in anderen emissionsrelevanten Bereichen als den unten benannten Quellgruppen liegen keine Erkenntnisse vor.

4.2.4.4.2 Methodische Aspekte (2.A.4.d)

Im Folgenden soll eine Übersicht des nationalen Kalksteineinsatzes gegeben werden (Quellgruppenverweise). Die Emissionsberechnungen erfolgen in den Quellgruppen, in denen CO₂-Emissionen aus der Kalksteinverwendung resultieren:

- 1.A.1.a Rauchgasentschwefelung von Kraftwerken (Kalksteineinsatz)
- 2.A.1 Zementklinkerherstellung (Kalksteinanteil in den Rohstoffen)
- 2.A.2 Kalkherstellung (Kalksteineinsatz)
- 2.A.3 Glasherstellung (Kalksteinanteil in den Rohstoffen)
- 2.A.4.a Keramische Produktion (Karbonatanteil in den Rohstoffen)
- 2.B.7 Sodaherstellung (Kalksteineinsatz)
- 2.C.1 Eisen- und Stahlherstellung (Kalksteineinsatz und Kalköfen)
- 2.H.2 Zuckerherstellung (Kalköfen)
- 3.G Land- und forstwirtschaftliche Bodenkalkung (Kalkstein und Dolomit)

Die Daten werden in den jeweils relevanten Quellgruppen aktualisiert (Aufstellung siehe oben), wobei auch die methodischen Aspekte in den jeweiligen Quellgruppenkapiteln erläutert werden

4.2.4.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.A.4.d)

Angaben zu den Unsicherheiten der Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren der relevanten Kalksteinverwendungen werden in den jeweiligen Quellgruppenkapiteln gemacht.

4.2.4.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.A.4.d)

Die Aktivitätsdaten und die Emissionsfaktoren der relevanten Kalksteinverwendungen werden in den jeweiligen Kategorien verifiziert und aktualisiert.

4.2.4.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.A.4.d)

Rekalkulationen erfolgen in den jeweiligen Quellgruppen.

4.2.4.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.A.4.d)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.3 Chemische Industrie (2.B)

Die Kategorie 2.B ist unterteilt in die Unterpunkte 2.B.1 bis 2.B.10. Hierzu gehören die Ammoniakproduktion (2.B.1), die Salpetersäureproduktion (2.B.2), die Adipinsäureproduktion (2.B.3), die Caprolactam-, Glyoxal- und Glyoxylsäureproduktion, (2.B.4), die Carbidproduktion (2.B.5), die Titandioxidproduktion (2.B.6), die Sodaherstellung (2.B.7), die Petrochemikalien- und Industrierußproduktion (2.B.8) und die Produktion von fluorierten Chemikalien (2.B.9).

In der Kategorie *Andere* (2.B.10) werden nur Vorläufersubstanzen aus der Produktion von Düngemitteln und Schwefelsäure berichtet. Die Produktion von 1,12-Dodecandisäure wird in 2.B.10 beschrieben, die prozessbedingten N₂O-Emissionen werden aber aus Vertraulichkeitsgründen mit unter 2.G.3 berichtet.

4.3.1 Chemische Industrie: Ammoniakproduktion (2.B.1)

4.3.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.1)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/-	2 B 1, Ammonia Production		CO ₂	6.025,0	0,5	4.077,0	0,5	-32,3 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 3	PS	PS
NO _x			D

Die Kategorie *Chemische Industrie: Ammoniakproduktion* ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe.

Die Herstellung von Ammoniak erfolgt auf Basis von Wasserstoff und Stickstoff unter Bildung von CO₂ nach dem Haber-Bosch-Verfahren. Wasserstoff wird in einem hochintegrierten Verfahren in einem *Steam-Reforming*-Prozess aus Synthesegas meist auf der Basis von Erdgas gewonnen, Stickstoff wird durch Luftzerlegung bereitgestellt.

Die verschiedenen Anlagenarten zur Herstellung von Ammoniak können aufgrund des hochintegrierten Charakters des Verfahrens nicht in einzelne Aggregate unterteilt und als Verfahrensteile getrennt voneinander verglichen werden. Beim *Steam Reforming* werden folgende Verfahren unterschieden:

- ACP - *Advanced Conventional Process* (weiterentwickeltes konventionelles Verfahren) mit einem befeuerten Primär-Reformer und sekundärer Reformierung mit Luftüberschuss (stöchiometrisches H/N-Verhältnis)
- RPR - *Reduced Primary Reformer Process* (Reduzierte primäre Reformierung) unter milden Bedingungen in einem befeuerten Primär-Reformer und sekundärer Spaltung mit Luftüberschuss (unterstöchiometrisches H/N-Verhältnis)
- HPR - *Heat Exchange Primary Reformer Process* (Primäre Reformierung mit Wärmeaustausch) autothermische Spaltung mit Wärmeaustausch unter Einsatz eines mit Prozessgas beheizten Dampfreformers (Wärmeaustausch-Reformer) und eines separaten Sekundärreformers oder eines kombinierten autothermischen Reformers und Verwendung von Überschussluft oder angereicherter Luft (unterstöchiometrisches oder stöchiometrisches H/N-Verhältnis).

Weiterhin ist folgendes Verfahren im Einsatz:

- Partielle Oxidation - Vergasung von Erdgas, Fraktionen schweren Mineralöls oder Vakuumreststoffen bei der Herstellung von Synthesegas.

Seit Mitte 2014 wird in Deutschland nur noch an vier Standorten Ammoniak produziert. Dabei werden sowohl der Steam-Reforming-Prozess als auch die partielle Oxidation verwendet.

Der Produktionsrückgang um mehr als 15 % (entspricht einer Menge von knapp 300 kt) im ersten Jahr nach der Wiedervereinigung beruhte auf einer Marktberreinigung, die zu über 2/3 zu Lasten der neuen Bundesländer ging. In den Folgejahren bis 1994 blieb das Produktionsniveau nahezu konstant. Der Grund für den Wiederzuwachs ab 1995 auf das Niveau von 1990 konnte nicht geklärt werden, er könnte aber darauf zurückzuführen sein, dass in den neuen Bundesländern nach umfangreichen Modernisierungsarbeiten die Produktionsprozesse wieder aufgenommen wurden. Nach 1995 unterliegt das Produktionsniveau nur kleineren Schwankungen. Der Produktionsrückgang 2009 um fast 8 Prozent war bedingt durch die globale Wirtschaftskrise. Bis 2013 war der IEF im Vergleich zu anderen Ländern höher, da in Deutschland neben Erdgas auch Schweröl zur partiellen Oxidation eingesetzt wurde. Schweröl

erzeugt aber deutlich höhere CO₂-Emissionen als Erdgas. Seit Mitte 2013 wird für die partielle Oxidation überwiegend Erdgas eingesetzt, außerdem wird eine größere Menge an CO₂ aufgefangen und weiter verarbeitet zu Harnstoff für den Einsatz als AdBlue und für den Einsatz als Düngemittel, so dass sich der IEF nicht mehr wesentlich von dem anderer Länder unterscheidet.

4.3.1.2 Methodische Aspekte (2.B.1)

Entsprechend der Einstufung als Hauptkategorie für die CO₂-Emissionen werden die Emissionsdaten aus dieser Kategorie seit der Berichterstattung 2010 nach Tier 3 erhoben und berichtet, mit Ausnahme einer Anlage die bis 2012 nach der Tier 2 Methode erhoben worden ist, da der Default Kohlenstoffgehalt verwendet wurde. Seit 2013 sind alle Anlagen nach dem Tier 3 Verfahren erhoben. Die Grundlage dazu bildet eine Kooperationsvereinbarung mit den Betreibern zur Lieferung anlagenspezifischer Daten.

Die Betreiber übersenden ihre anlagenspezifischen Daten an den Industrieverband Agrar (IVA). Dort werden diese aus Vertraulichkeitsgründen anonymisiert und dann anlagenspezifisch an das Umweltbundesamt übermittelt. Das Umweltbundesamt nimmt eine Qualitätssicherung vor und aggregiert anschließend die Daten

Die Anlagenbetreiber melden:

- die produzierte Menge Ammoniak (**Aktivitätsdaten**),
- die Menge des jeweils eingesetzten Rohstoffes (Erdgas, schweres Mineralöl) abzüglich des in der Energiebilanz gemeldeten energetisch genutzten Brennstoffes (TFR_i),
- dessen C-Faktor (CCF_i) und Kohlenstoffoxidationsfaktor (COF_i),
- die Menge und die Verwendungsart des weiterverarbeiteten CO₂ (R_{CO2}),

CO₂-Emissionen:

Die CO₂-Emissionen werden entsprechend der Gleichung 3.3 in den 2006 IPCC-Guidelines (IPCC, 2006) berechnet:

$$E_{CO_2} = \sum (TFR_i * CCF_i * COF_i * 44/12 - R_{CO_2})$$

Die rückgewonnene Menge an CO₂, die bei anderen Produktionsprozessen wie z.B. zur Harnstoff-Produktion eingesetzt wird und dort auch berichtet wird, ist in den berichteten Emissionen nicht enthalten.

Seit 2013 unterliegen alle Ammoniakanlagen dem Emissionshandel, damit erfüllen auch alle Anlagen für die Ermittlung des Kohlenstoffgehalts die Anforderungen an den Emissionshandel.

Ein Produzent verwendet einen Standardfaktor, der sich aufgrund der laufenden Betriebsanalytik heraus gebildet hat (C-Gehalt = 86,1 % - Gewichtsbasis). Der zweite Produzent verwendete für Erdgas bis 2013 den IPCC-Default Value, für die Restgase wurde der C-Gehalt analytisch ermittelt, der C-Gehalt des eingesetzten Gasgemischs wurde mengengewichtet aus den C-Gehalten der einzelnen Einsatzstoffe errechnet. In zwei Fällen werden die Daten, die der Erdgaslieferant zur Verfügung stellt verwendet.

Emissionsfaktor für NO_x:

Für den Emissionsfaktor von NO_x wurde der Default-Emissionsfaktor des *CORINAIR Guidebooks* von 1 kg/t HNO₃ verwendet (EMEP (2009): EMEP EEA Emission Inventory Guidebook, TFEIP-endorsed draft, May 2009).

4.3.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.1)

Die von den Betreibern übermittelten Unsicherheiten werden vom UBA entsprechend der Gleichung 3.2 (IPCC (2006): Vol. 1, Ch. 3) aggregiert und eingetragen.

Die Unsicherheit für die Aktivitätsrate beträgt $\pm 0,6$ %. Die Unsicherheit für die Emissionen beträgt ± 1 %.

4.3.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.1)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

4.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.1)

Rückrechnungen sind nicht durchgeführt worden.

4.3.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.1)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.3.2 Chemische Industrie: Salpetersäureproduktion (2.B.2)**4.3.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.2)**

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	2 B 2, Nitric Acid Production		N ₂ O	3.258,5	0,3	365,8	0,0	-88,8 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
N ₂ O	Tier 3	PS	PS

Die Kategorie *Chemische Industrie: Salpetersäureproduktion* ist für N₂O-Emissionen eine Hauptkategorie nach Emissionshöhe und Trend.

Bei der Produktion von Salpetersäure entsteht in einer Nebenreaktion Distickstoffoxid. In Deutschland gibt es derzeit insgesamt neun Anlagen zur Herstellung von Salpetersäure.

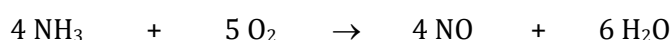
Die Herstellung von HNO₃ erfolgt in zwei Verfahrensschritten:

- **Oxidation** von NH₃ zu NO und
- **Umwandlung** von NO in NO₂ und **Absorption** in H₂O.

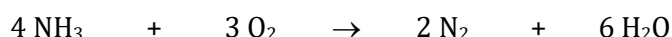
Einzelheiten des Verfahrens werden nachstehend beschrieben:

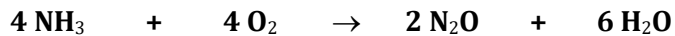
Katalytische Oxidation von Ammoniak

Ein Ammoniak-Luft-Gemisch im Verhältnis von 1:9 wird in Gegenwart eines mit Rhodium und/oder Palladium legierten Platin-Katalysators bei einer Temperatur zwischen 800 und 950 °C oxidiert. Die entsprechende Reaktion nach dem Ostwald-Verfahren ist wie folgt:



Gleichzeit werden durch folgende unerwünschte Nebenreaktionen Stickstoff, Distickstoffoxid und Wasser gebildet:





Alle drei Oxidationsreaktionen sind exotherm. Die Wärme kann zurückgewonnen werden und zur Erzeugung von Dampf für den Prozess bzw. zur Abgabe an andere Betriebe und/oder zur Vorwärmung der Restgase genutzt werden. Das Reaktionswasser wird während der Abkühlung der Reaktionsgase in einem Kühlkondensator kondensiert und in die Absorptionssäule überführt.

4.3.2.2 Methodische Aspekte (2.B.2)

Die Salpetersäureproduktion wird entsprechend den 2006 IPCC-Guidelines (IPCC, 2006) anlagenspezifisch nach Tier 3 berichtet. Die Grundlage dazu bildet eine Kooperationsvereinbarung mit den Betreibern zur Lieferung anlagenspezifischer Daten. Bis einschließlich der Berichtsrunde 2014 übersandten sechs Betreiber die Daten an den Industrieverband Agrar (IVA). Nach einer Qualitätssicherung aggregierte der IVA aus Vertraulichkeitsgründen die Daten und übermittelte die aggregierten Daten (AR und EF) an das UBA. Zwei Firmen übermittelte ihre Daten (AR, EF, N₂O-Emissionen und evtl. eingesetzte Minderungstechnik) direkt an das Umweltbundesamt, dort wurden diese nach einer Qualitätsprüfung mit den Daten vom IVA aggregiert und in der Emissionsdatenbank ZSE dokumentiert.

Die Kooperationsvereinbarung wurde für die neue Verpflichtungsperiode und die neuen 2006 IPCC Guidelines angepasst. Das UBA erhält jetzt in anonymisierter Form für sechs Betriebe mit sieben Anlagen die anlagenspezifischen Daten über den IVA. Zwei weitere Betreiber schicken ihre Daten direkt an das Umweltbundesamt.

Die Anlagenbetreiber melden an:

- die produzierte Menge Salpetersäure (**Aktivitätsdaten**),
- den EF,
- die gemessenen N₂O-Emissionen am Rohgas,
- bei Einsatz von Minderungstechniken auch die gemessenen N₂O-Emissionen am geminderten Abgas.
- Die Unsicherheiten für die Aktivitätsrate, den Emissionsfaktor und die geminderten Emissionen.

Als Minderungstechnik kommt die selektive katalytische Reduktion (SCR) und Envinox Technologie zum Einsatz. Die Technologie führt zu einer Reduktion der N₂O Emissionen von über 99%. Durch die katalytische Zersetzung werden N₂O und NH₃ Emissionen reduziert. Einige Anlagen haben zusätzlich eine zweite sekundäre Abgasbehandlung (SCR) nachgerüstet.

Bis 2006 korreliert die Produktionsmenge mit den N₂O-Emissionen. Danach ist eine deutliche Entkopplung von Produktionsmenge und N₂O-Emissionen erkennbar, dies ist auf den zunehmenden Einsatz von Minderungstechniken zurückzuführen. Im Jahr 2017 wurde der Katalysator einer Anlage ausgetauscht. Die Auswirkung ist im Jahr 2018 mit einem reduzierten EF zu erkennen.

NO_x-Emissionsfaktor:

Für den Emissionsfaktor von NO_x wurde der Default-Emissionsfaktor des *CORINAIR Guidebooks* von 10 kg/t NH₃ verwendet (EMEP (2009): EMEP EEA Emission Inventory Guidebook, TFEIP-endorsed draft, May 2009).

4.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.2)

Aktivitätsrate:

Die von den Betreibern übermittelte Unsicherheit für die Aktivitätsrate wurde vom UBA entsprechend der Gleichung 3.2 (IPCC (2006), Vol. 1, Ch. 3) festgelegt. Die Unsicherheit beträgt $\pm 1\%$.

Emissionsfaktor:

Für den N_2O -Emissionsfaktor wird von den Betreibern eine Unsicherheit von $\pm 5\%$ angegeben.

4.3.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.2)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

4.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.2)

Rückrechnungen sind nicht durchgeführt worden.

4.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.2)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.3.3 Chemische Industrie: Adipinsäureproduktion (2.B.3)

4.3.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.3)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	2 B 3, Adipic Acid Production		N ₂ O	18.076,7	1,4	200,2	0,0	-98,9 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
N ₂ O	Tier 3	PS	PS
NO _x , CO	Tier 3	PS	PS

Die Kategorie *Chemische Industrie: Adipinsäureproduktion* ist für N_2O -Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Im technischen Maßstab wird Adipinsäure durch Oxidation eines Gemisches von Cyclohexanol und Cyclohexanon mit Salpetersäure hergestellt. Bei dieser Reaktion werden erhebliche Mengen an Lachgas (N_2O) gebildet.

Dies wurde bis Ende 1993 von den beiden alleinigen deutschen Herstellern vollständig in die Atmosphäre emittiert. Ein Hersteller hat seitdem eine Anlage zur thermischen Zersetzung von Lachgas in Stickstoff und Sauerstoff in Betrieb. Die Zersetzung erfolgt nahezu vollständig. 2009 kam eine zweite, zusätzliche (redundante) thermische N_2O -Zersetzungsanlage hinzu. Es werden N_2O -Zersetzungsraten von über 99% erreicht.

Ende 1997 nahm der andere Hersteller eine katalytische N_2O -Zersetzung in Betrieb, die bei Dauerbetrieb eine N_2O -Zersetzungsrate von 97-98 % erreicht. Ende 2009 kam ein zweiter, redundanter Zersetzungsreaktor hinzu.

Durch die Installation der zwei redundanten Abgasbehandlungsanlagen bei den beiden Herstellern haben sich die N_2O -Emissionen seit 2010 noch einmal deutlich reduziert.

Im März 2002 nahm ein dritter Hersteller mit einer Anlage die Produktion auf. Die Anlage wird ebenfalls mit einer thermischen N_2O -Zersetzung betrieben. Dieser Hersteller hat seit 2013 die

Möglichkeit bei Ausfall der Minderungsanlage eine redundante Minderungsanlage zu nutzen. Es können N₂O-Zersetzungsraten von über 99% erreicht werden.

Die insgesamt schwankenden Abbauraten und somit auch die Restemissionen resultieren aus Funktionsbeeinträchtigungen und geplanten Unterbrechungen der Minderungsanlagen und unterschiedlichen Produktionsvolumina.

Die Produktion hat sich nachfragebedingt im Zeitraum von 1990 bis heute nahezu verdoppelt.

4.3.3.2 Methodische Aspekte (2.B.3)

Die Berechnung der N₂O-Emissionen aus der Adipinsäureproduktion basiert seit 1990 auf anlagenbezogenen Daten.

In den Jahren in denen keine Lachgasminderungstechnik installiert war wurden von den beiden Herstellern nur die Produktionsmengen zur Verfügung gestellt. Für die Berechnung der Lachgasemissionen wurde für diesen Zeitraum der IPCC Default-Emissionsfaktor verwendet und zwar bis 1994 für die eine Anlage und bis 1997 für die andere Anlage. Die Berechnung der N₂O-Emissionen entspricht in diesen Jahren dem Tier 2 Ansatz. Für den anschließenden Zeitraum wurden von den beiden Herstellern die Lachgasemissionen kontinuierlich gemessen und neben den Produktionsangaben und den N₂O-Emissionen auch für die Abschätzung der Genauigkeit der berichteten Daten notwendige Hintergrundinformationen vertraulich mitgeteilt. Der dritte Hersteller misst seit 2013 kontinuierlich. In dem Zeitraum davor berechnete er die in zwei möglichen Anlagenzuständen (ungeminderter und geminderter Betrieb) emittierten Lachgasemissionen mittels hergestellter Adipinsäuremenge und einem Emissionsfaktor. Dabei wurde die Nutzungsdauer des jeweiligen Anlagenzustandes und die Anlagenlast berücksichtigt. Für die beiden Betriebszustände wurde jeweils ein Emissionsfaktor aus produzierter Adipinsäuremenge und Lachgaskonzentrationsmessung bestimmt.

Die Bestimmung der N₂O-Emissionen mit kontinuierlicher Lachgasmessung entspricht der Tier 3-Methode der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC (2006): Vol. 3, Ch. 3.4.2.1).

4.3.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.3)

Für Anlagen mit thermischer Zersetzung werden nach 2006 IPCC GL (IPCC (2006): Vol. 3, Tab. 3.4) Unsicherheiten für die N₂O-Zersetzungsraten von +/- 0,5% und für die katalytische Zersetzung von +/- 2,5% angegeben.

Nach Angaben der Hersteller liegen die Unsicherheiten der Emissionen unabhängig von dem Minderungsverfahren in einem Bereich von etwa +/-1 bis 6%. Die Unsicherheiten für die Produktionsmengen werden mit <0,1% bis etwa 1% beziffert. Der EF wird daher mit einer Unsicherheit von 6 % und die Produktionsmengen von 2% angesetzt.

Neuberechnungen der Emissionen des dritten Herstellers rückwirkend bis zum Jahr 2002 erfolgten nach Änderungen der Erhebungsmethodik nicht, weil durch die zeitgleiche Inbetriebnahme der redundanten Minderungsanlage Emissionswerte nicht vergleichbar sind.

4.3.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.3)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Angaben der Hersteller unterliegen einem hohen Vertrauensschutz. Aus diesem Grund können in den CRF-Tabellen lediglich die Emissionsangaben ausgewiesen werden. Die

berichteten Emissionen und Aktivitätsraten werden durch den Experten im UBA überprüft und mit anderen Datenquellen verglichen.

Ein Vergleich des IEF mit dem anderer Länder ist nur beschränkt möglich, weil nur Italien und die USA durchgängig einen Emissionsfaktor für N₂O berichten. Der niedrigere der beiden IEFs ist mit dem nationalen Emissionsfaktor vergleichbar. Ein Vergleich mit Daten aus dem PRTR ist für die Kategorie nicht möglich.

Zwei der drei Hersteller haben jeweils ein JI-Projekt durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Projekte sind unter den Projekt-IDs DE-1000017 und DE-1000018 in der JI- und CDM-Projektdatebank⁶¹ der Deutschen Emissionshandelsstelle abrufbar. Die Inventardaten wurden mit den Angaben der Projekte für den Zeitraum 2008 bis 2012 verglichen und konnten durch diese bestätigt werden.

Die Emissionsdaten von 2013 bis 2019 wurden mit den ETS-Daten abgeglichen. Es gibt eine gute Übereinstimmung.

4.3.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.3)

Rückrechnungen sind nicht durchgeführt worden.

4.3.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.3)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.3.4 Chemische Industrie: Caprolactam, Glyoxal & Glyoxylsäure (2.B.4)

4.3.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.4)

Die Kategorie *Chemische Industrie: Caprolactam, Glyoxal & Glyoxylsäure* ist keine Hauptkategorie.

ε-Caprolactam ist das technisch bedeutendste Lactam und wird hauptsächlich zur Herstellung von PA 6 eingesetzt. In Deutschland gibt es zwei Hersteller.

Glyoxal wird zur Herstellung einer Vielzahl von Produkten zur Verbesserung der Eigenschaften eingesetzt. Es gibt einen Produzenten. Das von ihm für die Herstellung von Glyoxal angewendete Verfahren (Oxidation von Ethylenglykol in der Gasphase) ist keine Quelle für prozessbedingte Lachgasemissionen.

Nach Aussage des Glyoxalherstellers wird kein an Kunden in Deutschland geliefertes Glyoxal zu Glyoxylsäure verarbeitet. Eine Produktion von Glyoxylsäure aus anderen Ausgangsstoffen in Deutschland ist nicht bekannt.

4.3.4.2 Methodische Aspekte (2.B.4)

Caprolactam

Beide Hersteller nutzen den Syntheseweg über das Hydroxylammoniumsulfat (HAS), für dessen Herstellung Ammoniak oxidiert wird. Die Ammoniakoxidation ist im Herstellungsprozess hauptsächlich für die N₂O-Emissionen.

Auch setzen beide Hersteller eine thermische Abgasbehandlung zur Lachgaszerstörung ein, die jeweils redundant ausgelegt ist. Die Temperaturen liegen weit oberhalb der

⁶¹ siehe: <https://www.jicdm.dehst.de/promechg/pages/project1.aspx>

Zersetzungstemperatur von Lachgas, so dass Emissionen standardmäßig nur in sehr geringen Mengen auftreten.

Für einen der beiden Hersteller werden aus Konsistenzgründen mit dem Emissionshandel die N₂O-Emissionen der Salpetersäureproduktion (2.B.2) zugeordnet. Die Berichterstattung erfolgt nach einer Tier 3-Methode. Für diese Anlage wird darum in der CRF-Tabelle unter 2.B.4a die Notation IE gewählt.

Für die Anlage des anderen Herstellers liegen der Nationalen Koordinierungsstelle detaillierte Informationen vor, nach denen eine vollständige Eliminierung der Lachgasmengen durch die thermische Nachverbrennungseinrichtung angenommen werden kann. Da aber für den Anlagenbetreiber keine Messverpflichtungen bestehen und um eine Untererfassung der Lachgasemissionen durch andere Emissionsquellen vorzubeugen, werden die N₂O-Emissionen einmalig quantitativ nach einer Tier 2-Methode abgeschätzt. Für die Abschätzung werden eine Produktionskapazität aus Presseberichten⁶² abgeleitet und aus den 2006 IPCC-RL der N₂O-Standardemissionsfaktor für die Herstellung von Caprolactam (9 kg N₂O/t Caprolactam, gemäß IPCC (2006): Vol. 3, Kapitel 3.5, Tabelle 3.5) und Standardfaktoren für die thermische Abgasbehandlung bei der Adipinsäureproduktion (98,5 % Minderungsrate und 99,91 % Auslastung, gemäß IPCC (2006): Vol. 3, Kapitel 3.4, Tabelle 3.4) genutzt. Der Auslastungsfaktor für das redundant ausgelegte Abgasbehandlungssystem ergibt sich aus dem Standardauslastungsfaktor von 97% für die Hauptanlage und 97% Auslastung der zweiten Anlage, die in den 3% zum Tragen kommt, in denen die Hauptanlage nicht eingesetzt werden kann. Deutschland folgt mit der Verwendung von Standardfaktoren aus den IPCC-RL der Empfehlung des Expert Review Teams des In-Country-Review 2016. Für das Jahr 2015 ergibt die Abschätzung eine Menge von 10,7 kt CO₂-Äquivalente für diese Anlage. Aufgrund der Höhe der Emissionen wurde die Zulässigkeit einer reduzierten Emissionsberichterstattung gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1, para 37(b) geprüft. Dazu wurden auch die N₂O-Emissionen der anderen Anlagen mittels Standardemissionsfaktoren und Produktionskapazität berechnet. Für beide Anlagen zusammen ergeben sich 17,9 kt CO₂-Äquivalente. Da somit die berechneten N₂O-Emissionen aus der Kategorie weniger als 0,05 % des Gesamtinventars (ohne LULUCF) darstellen und 500 kt CO₂-Äquivalente nicht überschreiten und eine jährliche Erfassung nicht durchgeführt werden kann (gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1, para 37), wird auf eine entsprechende Berichterstattung verzichtet (IPCC (2006): Vol. 3, Ch. 3.5). Eine Zusammenstellung aller als ‚not estimated‘ erfasster Quellen erfolgt darüber hinaus in Anhang 5 in Kapitel 21 dieses Berichtes. Die beiden Anlagen werden unter 2.B.4.a in der CRF-Tabelle durch die Notation IE, NE abgebildet. Die Notation steht im Einklang mit den Hinweisen und Empfehlungen des In-Country-Reviews.

4.3.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.4)

Für die Aktivitätsrate wird eine Unsicherheit von ± 30% angenommen und für die Standardfaktoren gelten die entsprechenden Unsicherheiten der 2006 IPCC-GL (IPCC, 2006).

4.3.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.4)

Aufgrund begrenzter Ressourcen und minimaler Relevanz wurde für diese Berichterstattung keine QK/QS durchgeführt.

Es können für die Verifikation der Herstellerangaben in den Presseberichten nur wenige Quellen genutzt werden. Für die Jahre 1995 bis 2008 stehen Produktionsmengen an ε-Caprolactam zur

⁶² u.a. BASF Presse-Information P293/16 - BASF richtet Caprolactam-Produktion in Europa neu aus https://www.basf.com/documents/corp/de/news-and-media/news-releases/2016/09/P293_Neuausrichtung_Caprolactam_Produktion_Europa.pdf (Aufruf 25.10.2017)

Verfügung Statistisches Bundesamt (FS 4, R 3.1), Produzierendes Gewerbe, Produktion im Produzierenden Gewerbe). Aufgrund von Anpassungen an internationale Klassifizierungen werden aber seit 2009 keine Produktionsmengen an ϵ -Caprolactam mehr einzeln ausgewiesen, so dass eine statistische Erhebung der Produktionsmengen an ϵ -Caprolactam seitdem nicht mehr möglich ist.. In der Außenhandelsstatistik wird ϵ -Caprolactam weiterhin einzeln ausgewiesen. Es stehen Importmengen seit 1996 und Exportmengen seit 2009 zur Verfügung. Die Import- und Exportmengen sind relativ stabil.

4.3.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.4)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.3.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.4)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.3.5 Chemische Industrie: Carbidproduktion (2.B.5)

4.3.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.5)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	2 B 5, Carbide Production		CO ₂	443,2	0,0	8,0	0,0	-98,2 %
Gas	Angewandte Methode		Quelle der Aktivitätsdaten		genutzte Emissionsfaktoren			
CO ₂	Tier 3		PS		PS (CaC ₂) NO (SiC)			

Die Kategorie *Chemische Industrie: Carbidproduktion* ist keine Hauptkategorie.

Die Calciumcarbidproduktion fand zu Zeiten der Wiedervereinigung überwiegend in den neuen Bundesländern statt. Nachdem dort die Produktion kurze Zeit später eingestellt worden ist, verblieb nur in den alten Bundesländern ein Hersteller von Calciumcarbid. Nach Auskunft des zuständigen Fachverbands im VCI wird in Deutschland seit 1993 kein Siliziumcarbid mehr hergestellt. Emissionen aus diesem Bereich treten daher nicht mehr auf.

4.3.5.2 Methodische Aspekte (2.B.5)

Aktivitätsrate:

Da es nur einen Hersteller in Deutschland gibt müssen diese Daten vertraulich behandelt werden. Die Daten werden jährlich vom Hersteller dem Umweltbundesamt direkt mitgeteilt. Sie stammen ab 1997 aus der Ökobilanz bzw. aus den jährlichen Umwelterklärungen nach EMAS (der Betrieb ist zertifiziert seit 1997). Lediglich die Produktionsmengen in der ehemaligen DDR wurden vom damaligen Statistischen Zentralamt bis 1989 veröffentlicht. Diese Angabe wurde zusammen mit vorhandenen Schätzungen für 1991 und 1992 für die Interpolation der Produktion in den neuen Bundesländern im Jahr 1990 verwendet.

Emissionsfaktor:

Der stöchiometrische Emissionsfaktor für CO₂ ist 688 kg pro t Calciumcarbid (44 g mol⁻¹ / 64 g mol⁻¹). Dieser Emissionsfaktor wurde bis 1992 für die Produktion in den neuen Bundesländern verwendet.

Beim Hersteller wird das im Prozess entstehende Kohlenmonoxid in gedeckelten Öfen vollständig gefasst und anschließend einer energetischen Nutzung zugeführt. Das dadurch entstehende Kohlendioxid dient als Hilfsstoff bei der Produktion von Kalkstickstoff und Folgeprodukten. Das Kohlendioxid fällt bei diesen Prozessen nach der Reaktion mineralisch in Form von Schwarzkalk an. In dieser Form wird es einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt. 2012 wurde die Fahrweise der Carbidöfen vergleichmäßig, so dass deutlich weniger Überschuss-Ofengas abgefackelt werden musste. Zusätzlich ist nach dieser Fahrweise der Ofenbetrieb 'ruhiger', das heißt, dass es weniger Druckstöße gibt, die über die Rohgasfackeln auszugleichen sind. Der Emissionsfaktor enthält auch die CO₂-Emissionen aus dem Fackeleinsatz.

Auf diese Weise wird für die Produktion ein wesentlich geringerer Emissionsfaktor für Kohlendioxid aus der Calciumcarbidherstellung erreicht als in den Vorjahren.

Die Gesamtemissionen sowie die Produktionsmenge werden vom Hersteller auf Anfrage dem Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt. Der Emissionsfaktor ergibt sich als Quotient von Emissionsmenge zu Aktivitätsrate.

4.3.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.5)

Die Unsicherheiten bezüglich der vom Betreiber zur Verfügung gestellten Daten werden als insgesamt gering eingeschätzt.

4.3.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.5)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Angaben von Herstellern unterliegen einem hohen Vertrauensschutz. Aus diesem Grund können in den CRF-Tabellen lediglich die Emissionsangaben ausgewiesen werden. Verifizierende Berechnungen konnten nicht durchgeführt werden. Es kann aber darauf hingewiesen werden, dass die Angaben teilweise auch den Genehmigungsbehörden zur Verfügung gestellt worden sind und somit für vertrauenswürdig erachtet werden.

4.3.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.5)

Es wurden keine Rekalkulationen durchgeführt.

4.3.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.5)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.3.6 Chemische Industrie: Titandioxid-Produktion (2.B.6)

In Deutschland gibt es mehrere Produzenten von Titandioxid. Eine Anlage davon produziert Titandioxid nach dem Chlorid-Verfahren. Die Anderen produzieren nach dem Sulfat-Verfahren und emittieren kein prozessbedingtes CO₂. Die Abschätzung der CO₂-Emissionen erfolgte als Expertenschätzung. Grundlage war die Produktionskapazität und ein Emissionsfaktor basierend auf einer Expertenschätzung. Die Abschätzung erfolgte aufgrund von vertraulichen Daten, die hier deshalb nicht dargestellt werden können.

Da die Treibhausgas-Emissionen aus der Kategorie Titandioxidproduktion weniger als 0,05 % des Gesamtinventars (ohne LULUCF) darstellen und 500 kt CO₂-Äquivalente nicht überschreiten würden (Erfassungsuntergrenzen gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1) und eine jährliche Erfassung nicht gewährleistet werden kann (gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1, para 37), wird auf eine entsprechende Berichterstattung verzichtet (IPCC (2006): Vol. 3, Ch. 3.7). Eine Zusammenstellung aller als „not estimated“ erfasster Quellen erfolgt darüber hinaus in Anhang 5 in Kapitel 21 dieses Berichtes.

4.3.7 Chemische Industrie: Soda-Herstellung (2.B.7)

4.3.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.7)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	2 B 7, Soda Ash Production		CO ₂	667,2	0,1	401,9	0,1	-39,8 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 1	NS	CS

Die Kategorie *Soda-Herstellung* ist keine Hauptkategorie.

Soda wird in Deutschland nur auf chemischem Weg hergestellt. Es gibt 3 Produktionsanlagen, die den Solvay-Prozess⁶³ einsetzen⁶⁴. Das im eingesetzten Kalziumkarbonat enthaltene CO₂ wird prinzipiell im Produkt Soda (Na₂CO₃) eingebunden und erst in der Anwendung gegebenenfalls freigesetzt (siehe Kategorie 2.A.4.b in Kapitel 4.2.4.2). Da die Produktion nach dem Solvay-Verfahren jedoch mit CO₂-Überschuss abläuft, ergeben sich prozessbedingte CO₂-Emissionen.

Im Kalzinierungsschritt wird zusätzlich Koks/ Anthrazit eingesetzt, so dass weitere (energiebedingte) Kohlendioxidemissionen entstehen.

4.3.7.2 Methodische Aspekte (2.B.7)

Aktivitätsdaten

Die Gesamtsumme an in Deutschland produziertem Soda wird vom *Statistischen Bundesamt* erhoben. Von 1995 bis 2008 wurden die Kategorien *leichtes Soda* (Produktionsnummer 2413 33 103 Dinatriumcarbonat in Pulverform mit einer Schüttdichte von weniger als 700 g/l) und *schweres Soda* (Produktionsnummer 2413 33 109 Anderes Dinatriumcarbonat) getrennt ausgewiesen. Seit 2009 werden leichtes und schweres Soda in einer Position (Meldenummer 2013 43 100) zusammengefasst dargestellt. Es wird nur der „zum Absatz bestimmte“ Teil berücksichtigt. Auf diese Weise wird eine Doppelzählung vermieden, da schweres Soda aus leichtem Soda hergestellt wird. Da es nur zwei Hersteller in Deutschland gibt, muss die Produktionsmenge aus der amtlichen Statistik vertraulich behandelt werden.

Emissionsfaktor

Der Emissionsfaktor wird berechnet aus den Kohlendioxidemissionen entsprechend der ETS-CO₂-Bilanz und aus der Produktionsmenge. Da die Produktionsmenge aus der amtlichen Statistik vertraulich behandelt werden muss, kann auch der EF hier nicht benannt werden.

Die beim Brennen des Kalks eingesetzte Menge an Koks ist bereits in der Energiebilanz als nicht energetischer Einsatz berücksichtigt (also ohne CO₂-Emissionen).

⁶³ Ammoniak-Soda-Verfahren nach Ernst Solvay

⁶⁴ Weitere, von der Produktionsmenge weniger bedeutendere Verfahren sind nicht betrachtet, weil Kohlendioxid aus anderen Quellen als Kalkstein zum Einsatz kommt.

4.3.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.7)**Aktivitätsdaten**

Unsicherheiten bestehen bezüglich der vom Statistischen Bundesamt angegebenen Produktionsmengen, da z. B. die Relation von leichtem und schwerem Soda insbesondere in den ersten Jahren der getrennten Angaben stark schwankt.

Emissionsfaktor

Die Unsicherheit des Emissionsfaktors hinsichtlich der Produktion von Soda wird berechnet aus den Unsicherheiten der Emissionsbilanz des ETS und den Unsicherheiten der Produktionsdaten.

4.3.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.7)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die CO₂-Bilanz zur Ermittlung der Emissionen wird mit Daten aus dem Emissionshandel ermittelt. Diese Daten wurden im Rahmen des ETS vollumfänglich geprüft und verifiziert.

4.3.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.7)

Rückrechnungen sind nicht notwendig.

4.3.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.7)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.3.8 Chemische Industrie: Petrochemie und Industrieruß-Produktion (2.B.8)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CO ₂	974,0	0,1	830,1	0,1	-14,8 %
-/-	2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production		CH ₄	333,7	0,0	465,6	0,1	39,5 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 2 (Industrieruß) CS (Petrochemie)	NS	D (Industrieruß) CS (Petrochemie)
CH ₄	Tier 1	NS	D
CO, SO ₂	Tier 1 (Industrieruß)	NS	D (Industrieruß)
NMVOG	Tier 1 (Petrochemie)	NS	C & CS (Petrochemie)

Die Kategorie *Chemische Industrie: Petrochemie und Industrieruß-Produktion* ist keine Hauptkategorie. Die Industrieruß-Produktion dominiert mit ca. 75 % Anteil die Emissionen dieser Kategorie.

4.3.8.1 Chemische Industrie: Petrochemie (2.B.8 Petrochemie)**4.3.8.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.8 Petrochemie)**

In der Petrochemie werden aus Erdgas und Fraktionen des Erdöls organische Grundchemikalien hergestellt, die zu einer Vielzahl an Zwischen- und Endprodukten (hauptsächlich Polymere) weiterverarbeitet werden. In den 2006 IPCC Richtlinien (IPCC, 2006) werden unter 2.B.8 die Produktion der Grundchemikalien (a) Methanol, (b) Ethylen, (c) Ethylendichlorid und

Vinylchlorid, (d) Ethylenoxid und (e) Acrylnitril aufgrund ihrer potentiellen Kohlendioxid- und Methan-Emissionen hervorgehoben.

Die Herstellung von Petrochemikalien und Derivaten ist neben Pharmazeutika, Fein- und Spezialchemikalien sowie Polymeren eine der wichtigsten Sparten der chemisch-pharmazeutischen Industrie gemessen am Produktionswert⁶⁵.

4.3.8.1.2 Methodische Aspekte (2.B.8 Petrochemie)

Aktivitätsraten

Für die Herstellung o.g. Produkte stehen keine anlagenbezogenen Produktionsmengen zur Verfügung, sondern nur national zusammengefasste Produktionsmengen. Sie werden vom Statistischen Bundesamt ab dem Jahr 1990 auf Grundlage der „Fachserie 4, Reihe 3.1, Produzierendes Gewerbe, Produktion im Produzierenden Gewerbe“ (Statistisches Bundesamt, FS 4, R 3.1) dem Umweltbundesamt auch mit vertraulichen Daten zur Verfügung gestellt.

In der amtlichen Produktionsstatistik werden Petrochemikalien und Derivate als sonstige organische Grundstoffe und Chemikalien unter der WZ-Nummer 20.14 ausgewiesen.

Das Produktionsvolumen von Acrylnitril unterliegt der Vertraulichkeit, von Methanol und Ethylendichlorid in bestimmten Jahren. Aus diesem Grund werden alle Produktionsmengen für die Produkte a) bis e) aggregiert und zusammen mit den zugehörigen CO₂- und CH₄- Emissionen unter 2.B.8.g berichtet.

Für die Bestimmung der NMVOC-Emissionen wird neben der Herstellung der zuvor genannten Produkte a) bis e) auch die Herstellung weiterer Produkte mit erfasst, die unter der Genfer Luftreinhaltekonvention berichtet werden müssen. Eine detaillierte Berichterstattung darüber erfolgt im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention im Informative Inventory Report (IIR).

CO₂ - Emissionsfaktoren

Seit dem Jahr 2013 unterliegen alle deutschen Anlagen zur Herstellung oben genannter organischer Grundchemikalien nach Anhang 1 Teil 2 Tätigkeit Nr. 27 TEHG dem Emissionshandel (ETS), weil ihre Produktionsleistung höher als 100 t/d (36.500 t/a) ist.

Ein Vergleich der für den Treibhausgas-Emissionshandel gemeldeten CO₂-Gesamtemissionen der ETS-Anlagen nach a) bis e) mit den unter Verwendung der neuen IPCC-Standardemissionsfaktoren berechneten CO₂-Emissionen für das Jahr 2013 zeigt, dass die Standardemissionsfaktoren zu höheren Emissionen führen. Und das, obwohl die anlagenbezogenen Gesamtemissionen aus dem Emissionshandel sowohl Emissionen aus Verbrennungsprozessen als auch sonstige prozessbedingte Emissionen enthalten. Im deutschen Treibhausgasinventar werden verbrennungsbedingte Emissionen größtenteils schon über die Energiestatistik im Energiesektor berücksichtigt. Daher können die Standardemissionsfaktoren nicht genutzt werden; andernfalls würde es zu einer Doppelzählung kommen.

Als Emissionsquellen für CO₂ kommen neben den Verbrennungsprozessen in Kesseln und Spaltöfen noch Verbrennungsprozesse in Fackeln, durch Entkokung und sonstige prozessbedingten Emissionen in Betracht.

Eine Quantifizierung der sonstigen prozessbedingten Emissionen ist nicht gerechtfertigt: denn bei Steamcrackern als der mit Abstand größten hier betrachteten Emittentengruppe stammen die anlagenbezogenen CO₂-Emissionen fast ausschließlich aus der Verbrennung in Spaltöfen,

⁶⁵ Chemiewirtschaft in Zahlen 2016, Verband der Chemischen Industrie e.V. (2017):

<https://www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/chemiewirtschaft-in-zahlen.jsp>

Hilfskesseln oder Fackeln. Diese verbrennungsbedingten Emissionen werden bis auf Fackeln in der Petrochemie schon im Energiesektor unter 1.A.2.c erfasst.

Um dem Ziel der möglichst vollständigen Erfassung der Emissionen im Inventar nachzukommen, werden aber die CO₂-Emissionen aus Fackelverlusten quantifiziert. Dabei sollen zukünftig auch Entkokungsprozesse miterfasst werden. Es wird nur der Anteil an Fackelgasen betrachtet, der den oben genannten Produkten a) bis e) zugeordnet werden kann.

Da nicht für alle vorgenannten Produkte Daten aus dem ETS vor 2013 zur Verfügung stehen, erfolgt die Berechnung der CO₂-Emissionen auf Basis eines für 2013 hergeleiteten CO₂-Emissionsfaktors und den jährlichen Produktionsmengen der jeweiligen Produkte.

Wegen der häufigen Weiterleitung von Restgasen und Fackelgasen zwischen Anlagen zur Herstellung verschiedener Produkte erscheint es sinnvoll, dafür einen über alle in dieser Quellgruppe betrachteten Produkte aggregierten Emissionsfaktor zu verwenden. Durch diese Aggregation werden auch Unsicherheiten bei der Zuordnung der Emissionen der oben angegebenen Herstellungsverfahren auf die unter a) bis e) genannten Produkte mit berücksichtigt, insbesondere weil CO₂-Emissionen aus Fackeln der o.a. Anlagen nicht zwangsläufig nur eines der Produkte a) bis e) betreffen. An Chemiestandorten werden abzufackelnde Gase aus verschiedenen Produktionsprozessen häufiger in einer zentralen Fackel verbrannt, die genehmigungsrechtlich nur einer bestimmten Produktionsanlage zugeordnet ist. Dadurch erhöht sich in solchen Fällen die dem Produkt zugeordnete Emissionsmenge gegenüber der eigentlichen durch die Produktherstellung verursachten Emissionsmenge. Andersherum können auch abzufackelnde Gase aus den Prozessen unter a) bis e) an eine Fackel in einer hier nicht betrachteten Anlage weitergeleitet werden, sodass die erfasste Emissionsmenge niedriger als die eigentliche produktbezogene Emissionsmenge ist.

Die für das Jahr 2013 den einzelnen Anlagen an Chemiestandorten zugeordneten Fackelemissionen (ETS-Daten) wurden aufsummiert und durch die Gesamtproduktionsmenge aller hergestellte Produkte a) bis e) in dem Jahr 2013 geteilt, um den Emissionsfaktor für Fackelverluste (EFFackel) zu bestimmen. Die Fackelemissionen der Steamcracker an Raffineriestandorten wurden über die bekannten Kapazitäten bestimmt. Der resultierende EFFackel für die oben genannten Petrochemikalien beträgt 28 kg/t Produkt. Mit diesem Emissionsfaktor werden nach einer Tier 1 Methode die jährlichen Emissionen rückwirkend bis 1990 berechnet.

CH₄ - Emissionsfaktoren

In den IPCC Guidelines werden alle oben genannten Anlagen als potentielle Emissionsquellen aufgeführt.

In deutschen Anlagen muss in den der TA Luft unterliegenden Anlagen gemäß Punkt 5.2.5 ein Grenzwert für die Massenkonzentration organischer Stoffe insgesamt (NMVOC und CH₄, ausgenommen staubförmige organische Stoffe) von 50 mg/m³ (Gesamtkohlenstoff) eingehalten werden. Die thermische Nachverbrennung (TNV) von flüchtigen organischen Stoffen aus Anlagen zur Herstellung organischer Grundchemikalien ist Stand der Technik.

Für Ethylen, Methanol, Ethylendichlorid und Styrol wurde von einem großen deutschen Hersteller gemeldet, dass in diesen Bereichen auf Grund der seit den achtziger Jahren eingesetzten thermischen Nachverbrennung Methanemissionen vernachlässigbar sind.

Zu Methanemissionen von Anlagen der chemischen Industrie können keine Angaben aus dem Emissionshandel genutzt werden, da nach dem aktuell gültigen TEHG von Juli 2011 CH₄ nicht zu berichten ist. Da keine Angaben von weiteren Anlagenbetreibern zur Quantifizierung der CH₄-Emissionen vorliegen, werden zur Berechnung der Methanemissionen für die Gesamtheit der

Anlagen aus der petrochemischen Industrie die 2006 IPCC -Standardemissionsfaktoren (IPCC (2006): Vol. 3, Ch. 3.9.2.2) in einer Tier 1 Methode verwendet.

NMVOC- Emissionsfaktoren

Die Angaben der EF für NMVOC wurden entweder dem entsprechenden BVT-Merkblatt entnommen oder stammen aus vertraulichen Angaben deutscher Hersteller. Bis 1994 wurden die Default Faktoren des EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook verwendet. Eine detaillierte Berichterstattung erfolgt unter der Genfer Luftreinhaltkonvention im Informative Inventory Report.

4.3.8.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.8 Petrochemie)

CO₂

Die „Rückprojektion“ des oben angegebenen produktionsbezogenen Emissionsfaktors für Fackelverluste aus den Emissionsberichten 2013 auf frühere Jahre (bis 1990 zurück) ist mit hohen Unsicherheiten behaftet. Einerseits wurden die im ETS gemeldeten Fackelemissionen im Berichtsjahr 2013 häufig auf Basis von Schätzungen ermittelt und berichtet, andererseits muss davon ausgegangen werden, dass CO₂-Emissionen aus den Fackeln, die den betreffenden Anlagen genehmigungsrechtlich zugeordnet sind, nicht in vollem Umfang der Herstellung der betrachteten Produkte a) bis e) zuzuordnen sind. So werden mitunter auch Gase und Abgase aus anderen Produktionsprozessen in den hier betrachteten Fackeln verbrannt. Im Zeitverlauf können auch standortinterne Änderungen der Abgasführungen aus verschiedenen Prozessen auftreten, die die Unsicherheit der „rückwärtsberechneten“ produktspezifischen Emissionen weiter erhöhen. Hinzu kommt noch, dass sich das Verhältnis der Produktionsmengen zu den Fackelgasen für die betrachteten Anlagen in einzelnen Jahren deutlich von denen im Jahr 2013 unterscheiden kann.

Aufgrund der eingeschränkten Datenverfügbarkeit können Doppelzählungen im Energiesektor nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Auch die Extrapolation der Fackelemissionen der Steamcracker trägt zur Unsicherheit des Emissionsfaktors bei. Es wird darum eine Unsicherheit von $\pm 50\%$ angenommen.

Die Zeitreihenkonsistenz ist sichergestellt, weil die Rückrechnung der Emissionen bis zum Jahr 1990 nach einer einheitlichen Methode durchgeführt wird und es keine Lücken bei den Aktivitätsdaten und keine Sprünge beim Emissionsfaktor gibt.

CH₄

Aufgrund der in den achtziger Jahren eingeführten thermischen Nachverbrennung dürften die punktförmigen Emissionen an organischen Stoffen aus deutschen Anlagen gering sein. Durch die Verwendung der Standardemissionsfaktoren kommt es wahrscheinlich zu einer Übererfassung an Emissionen. Da die daraus resultierenden Unsicherheiten aber nicht abgeschätzt werden können, werden die Unsicherheiten für die Tier 1 Methoden aus Tabelle 3.27 der 2006 IPCC-Richtlinien (IPCC (2006): Vol. 3) verwendet.

Die Zeitreihenkonsistenz ist sichergestellt, weil die Rückrechnung der Emissionen bis zum Jahr 1990 nach einer einheitlichen Methode durchgeführt wird und es keine Lücken bei den Aktivitätsdaten und keine Sprünge bei den Emissionsfaktoren gibt.

Aktivitätsraten

Die Aktivitätsraten stammen aus einer amtlichen Statistik, für die Ungenauigkeiten bei der statistischen Datenerfassung von $\pm 20\%$ zugrunde gelegt werden.

4.3.8.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.8 Petrochemie)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die vom Statistischen Bundesamt gemeldete Produktionsmenge an Ethylen für 2013 wurde mit den Kapazitätsangaben der Association of Petrochemical Producers in Europe (APPE; Petrochemicals Europe⁶⁶) verglichen. Der sich ergebende nationale Standardauslastungsfaktor von 0,858 ist vergleichbar mit dem Standardauslastungsfaktor gemäß Artikel 18 Absatz 2 des Beschlusses 2011/278/EU (European Commission, 2011).

Ein Vergleich des nationalen Emissionsfaktors für CO₂ mit den CO₂-Standardemissionsfaktoren der 2006 IPCC-Richtlinien und den Emissionsfaktoren der anderen Länder ist nicht möglich, weil die Emissionsfaktoren keine CO₂-Emissionen aus Fackeln enthalten.

Weitere Quellen zur Verifizierung der Daten stehen nicht zur Verfügung.

4.3.8.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.8 Petrochemie)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.3.8.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.8 Petrochemie)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.3.8.2 Chemische Industrie: Industrieruß-Produktion (2.B.8 Industrieruß)

4.3.8.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.8 Industrieruß)

Industrieruße werden durch eine unvollständige Verbrennung von gasförmigen oder flüssigen Kohlenwasserstoffen hergestellt. Über eine gezielte Steuerung und Überwachung des jeweiligen Produktionsprozesses werden definierte Spezifikationen hergestellt. In Deutschland werden für die Industrieruß-Herstellung Steinkohleteeröle (Anthracen-Öle) oder Öle aus Erdölraffinerien (Pyrolyse- und Cracköle) eingesetzt.

90 % der Industrieruße werden in Deutschland nach dem Furnacerußverfahren hergestellt. Die restlichen 10 % werden mit dem Flammruß- und Gasrußverfahren produziert.

4.3.8.2.2 Methodische Aspekte (2.B.8 Industrieruß)

CO₂ – Emissionen

Ein Vergleich der bisher berichteten CO₂-Emissionen mit den bei der Deutschen Emissionshandels-stelle (DEHSt) gemeldeten CO₂-Emissionen zeigte, dass bei der DEHSt deutlich weniger CO₂-Emissionen gemeldet sind. Auch die CO₂-Emissionen einer weiteren, nicht emissionshandlungspflichtigen Anlage erklärten diesen Unterschied nicht. Recherchen bei dem bisherigen Datenlieferanten legen den Schluss nahe, dass in der verwendeten Produktionsstatistik teilweise anstelle von Produktionszahlen die Verkaufszahlen berichtet werden. Die bisher verwendete Aktivitätsrate war damit um ein deutliches zu hoch. Ab 2005 werden deshalb die Emissionsmengen der DEHSt verwendet und mit dem Default-

⁶⁶ Webseite: <http://www.petrochemistry.eu>

Emissionsfaktor aus den IPCC-Guidelines 2006 (IPCC (2006): Vol. 3, Table 3.23, Furnace Black Process (default process), primary feedstock) die Aktivitätsrate rückgerechnet. Die Emissionen einer nicht emissionshandlungspflichtigen Anlage werden direkt von der Betreiberin an das UBA gemeldet. Eine (emissionshandlungspflichtige) Anlage wurde 2016 stillgelegt. In Deutschland werden demnach noch fünf Anlagen von zwei Betreibern betrieben.

CH₄ – Emissionsfaktoren

In den internationalen Richtlinien wird nur sehr knapp auf diese Quellgruppe eingegangen. In den IPCC Guidelines wird als potentielle Emissionsquelle auch die Produktion von Industrieruß aufgeführt.

In deutschen Anlagen muss in den der TA Luft unterliegenden Anlagen gemäß Punkt 5.2.5 ein Grenzwert für die Massenkonzentration organischer Stoffe insgesamt (NMVOC und CH₄, ausgenommen staubförmige organische Stoffe) von 50 mg/m³ (Gesamtkohlenstoff) eingehalten werden. Von den deutschen Herstellern von Industrieruß wird auf Grund dieses Sachverhalts ein Emissionsfaktor von 0,027 kg Methan pro t Industrieruß gemeldet. Da diese Technik bereits seit den siebziger Jahren im Einsatz ist, wird dieser EF zu 0,03 kg/t gerundet und auf die gesamte Zeitreihe angewandt.

NMVOC, CO und SO₂ – Emissionsfaktoren

In Deutschland wurden für sonstige Schadstoffe neben dem oben betrachteten Methan die in der folgenden Tabelle aufgeführten Emissionsfaktoren verwendet.

Tabelle 189: In Deutschland verwendete Emissionsfaktoren für sonstige Schadstoffe

	Industrieruß [kg CO/t]	Industrieruß [kg SO ₂ /t] ⁶⁷
1990	4,8/5	19,5/ (68)
1991	4,6/5	19/20
1992	4,4/5	18,5/20
1993	4,2	18
1994	4	17,5
1995	3,75	17
1996	3,5	16
1997	3,25	15
1998	3	14
1999	2,9	13,4
2000	2,8	12,8
2001	2,7	12,54
2002	2,65	12,28
2003	2,6	12,0
2004	2,55	11,7
2005	2,5	11,5
2006	2,5	11,2
2007	2,5	10,9
2008	2,5	10,6
2009	2,5	10,3
ab 2010	2,5	10,0

⁶⁷ Bei zwei angegeben EF bezieht sich der zweite Wert auf die neuen Bundesländer.

⁶⁸ Für die neuen Bundesländer wird kein EF ausgewiesen, da diese SO₂-Emissionen nur pauschal in einer Summe berücksichtigt werden konnten.

Die Angaben der EF für CO und SO₂ bei der Herstellung von Industrieruß basieren auf dem BREF Large Volume Inorganic Chemicals - LVIC – S (European Commission, 2007b) und sind identisch mit den im CORINAIR-Handbuch 2008 (First Order Draft) dargestellten Default-Werten.

Aktivitätsraten

In der Produktionsstatistik des Statistischen Bundesamtes werden die folgenden Produkte berücksichtigt (s. folgende Tabelle).

Tabelle 190: Meldenummern der Produktionsstatistik

Zeile	Industrieruß
bis 1994	4113 70
ab 1995 bis 2005	2413 11 300

Die Angabe für die Industrierußproduktion in den NBL 1990 entstammt dem statistischen Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland (Statistisches Bundesamt (1992): S. 234), für 1991 und 1992 wurden sie wegen Geheimhaltung geschätzt. Die übrigen Daten für die Industrierußproduktion ab 1990 entstammen dem Statistischen Bundesamt (Statistisches Bundesamt (FS 4, R 3.1): Produzierendes Gewerbe, Produktion im Produzierenden Gewerbe). Ab 2005 wird die Aktivitätsrate aus den CO₂-Emissionen rückgerechnet über den Default Emissionsfaktor von CO₂.

4.3.8.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.8 Industrieruß)

Bei den Aktivitätsraten sind im Zeitablauf Schwankungen erkennbar, diese entsprechen aber im Wesentlichen den globalen wirtschaftlichen Schwankungen.

4.3.8.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.8 Industrieruß)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

4.3.8.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.8 Industrieruß)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.3.8.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.8 Industrieruß)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.3.9 Chemische Industrie: Produktion von halogenierten Kohlenwasserstoffen und SF₆ (2.B.9)

KC	Category	Activity	EM of	1995 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1995-2019
L/T	2 B 9 a, By-product Emissions		HFC-23	C	C	C	C	C
-/-	2 B 9 b, Fugitive Emissions		HFC-134a	C	C	C	C	C
-/-	2 B 9 b, Fugitive Emissions		HFC-227ea	C	C	C	C	C
-/-	2 B 9 b, Fugitive Emissions		CF ₄	C	C	C	C	C
-/-	2 B 9 b, Fugitive Emissions		SF ₆	159,6	0,0	1,1	0,0	-99,3 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
HFC	Tier 3	PS	PS
SF ₆	Tier 3	PS	PS

Die Kategorie *Produktion halogener Kohlenwasserstoffe* ist für HFC-23-Emissionen aus Nebenprodukten eine Hauptkategorie nach dem Level und dem Trend. Die Kategorie ist unterteilt in Emissionen durch Nebenprodukte (2.B.9.a By-product Emissions) und in herstellungsbedingte Emissionen (2.B.9.b Fugitive Emissions).

4.3.9.1 Nebenprodukt-Emissionen (2.B.9.a)

4.3.9.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.9.a)

Bei der Herstellung von HFCKW-22 fällt prozessbedingt bis zu 3 % HFCKW-23 als Nebenprodukt an. Selbst bei Weiterverarbeitung (z.B. zu Kältemitteln) oder beim Auffangen zur stofflichen Zersetzung ist es technisch bedingt unvermeidlich, dass ein Teil des HFCKW-23 in die Atmosphäre entweicht.

In Deutschland gab es zwei Produktionsanlagen für HFCKW-22, die von einem Unternehmen betrieben wurden, eine in Frankfurt und eine in Bad Wimpfen. Seit Inbetriebnahme der FCKW-Spaltanlage in Frankfurt im Jahr 1995 wurde der bei der HFCKW-22 Produktion entstehende überschüssige HFCKW-23 dort direkt der Hochtemperaturspaltung mit Rückgewinnung von Flusssäure zugeführt, d.h. es entstanden keine nennenswerten Emissionen. Das an der zweiten deutschen Produktionsanlage entstandene HFCKW-23 wurde quantitativ an der Produktionsanlage aufgefangen und entweder als Kältemittel oder - nach weitergehender destillativer Reinigung - als Ätzwasser für die Halbleiterindustrie vermarktet. Der nicht verkäufliche Überschuss wurde seit 1999 nach Frankfurt an die Spaltanlage geliefert. Durch diese Maßnahme konnten die Emissionen maßgeblich gesenkt werden. Die HFCKW-22 Produktion wurde Mitte 2010 an einem Standort beendet und an dem anderen Standort soweit herunter gefahren dass nur noch die Teflonproduktion bedient wird. Die Produktionsmenge ist seither auf niedrigem Niveau konstant. Da die Anlage direkt mit der FCKW-Spaltanlage verbunden ist, treten nur sehr geringe Emissionen auf.

4.3.9.1.2 Methodische Aspekte (2.B.9.a)

Basierend auf Herstellerinformationen aus dem Jahr 1996 werden die HFCKW-23-Emissionen für die Jahre 1990 bis 1994 als konstant angenommen.

Seit 1995 wurden die Emissionen anhand der HFCKW-22 Produktionsmenge, einer jährlichen Messung der HFCKW-23-Konzentration im Abgas, der HFCKW-23 Verkaufsmenge und der Menge an HFCKW-23, welche der Spaltanlage zugeführt wurde, vom Hersteller über eine Massenbilanz berechnet. Dabei wurden für das Berichtsjahr 1995 bei der ersten Produktionsanlage seit Jahresmitte Maßnahmen (Spaltanlage) zur Vermeidung von Emissionen zu Grunde gelegt. Seit dem Berichtsjahr 2011 werden die Produktionsmengen von Experten geschätzt und daraus die Emissionen ermittelt. Grundlage für die Schätzung sind vergleichbare Produktionsanlagen in

anderen europäischen Ländern. 2019 erfolgte ein Abgleich der Annahmen mit dem zuständigen Industrievertreter.

Aktivitätsdaten

Es gibt nur einen Hersteller von HFCKW in Deutschland. Die Daten des Unternehmens unterliegen daher der Vertraulichkeit. Die Emissions- und Produktionsmengen wurden dem Umweltbundesamt bis 2010 gemeldet, aber nur aggregiert berichtet. Seit 2011 werden die Daten des Statistischen Bundesamtes verwendet. Die Aktivitätsdaten des HFCKW-23 werden mit denen der HFKW, FKW und SF₆ als „unspecified mix“ in 2.B.9 berichtet.

Emissionsfaktoren

Es wird seit 2011 von einem Zwangsanfall vom HFKW-23 von 0,03kg/kg HFCKW-22 ausgegangen. Der Emissionsfaktor liegt damit bei 0,015kg/ kg HFCKW-22. Obwohl heute weniger R23 zwangsanfällt, kann in Zukunft nicht ausgeschlossen werden, dass der Anteil wieder steigt. Es erfolgt daher keine Herabsetzung des Emissionsfaktors.

Da die entsprechende Anlage in einem direkten Rohrverbundsystem ist, welches direkt mit einer HFCKW Cracking Anlage verbunden ist, resultiert dies in einer sehr geringen Emissionsmenge. Der Emissionsfaktor von 0,015 kg/kg HFCKW-22 liegt im Bereich der angegebenen Emissionsfaktoren im Guidebook. Unter der Tabelle 3.28 (IPCC GLs 2006, Vol 3) steht „EF for optimized large plants may go down to 0.014 kg HFC-23/kg HCFC-22 produced“.

Emissionen

Die Emissionen des HFKW-23 wurden bis 2010 vom Hersteller mitgeteilt. Seit 2011 werden Expertenschätzungen herangezogen.

Da die Anzahl der Hersteller in Deutschland unter drei liegt, sind die Emissionen vertraulich. Die Emissionen des HFKW-23 werden als „unspecified mix“ in 2.B.9 als Aggregat von 2.B.9a und 2.B.9b berichtet.

4.3.9.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.9.a)

Die für die Berechnung der Emissionen zu Grunde gelegten Annahmen werden in größeren regelmäßigen Abständen mit der Industrie überprüft. Sie werden mit 3% als recht genau angenommen.

4.3.9.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.9.a)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Statistischen Bundesamt und dem Produzenten zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren liegen in derselben Größenordnung wie die anderer europäischer Länder.

4.3.9.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.9.a)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.3.9.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.9.a)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.3.9.2 Herstellungsbedingte Emissionen (2.B.9.b)

4.3.9.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.9.b)

In Deutschland gibt es ein Unternehmen, das an zwei Standorten HFKW und SF₆ produziert. Die Emissionsentwicklung geht mit der Entwicklung der Produktionsmengen einher. Während SF₆ und der HFKW-134a in Deutschland produziert werden, fand für den HFKW-227ea bis zum Jahr 2008 keine vollständige Synthese in Deutschland statt. Vielmehr wurde ein Teil des im spanischen Tarragona produzierten HFKW-227ea einer abschließenden Destillation in Deutschland unterzogen, um pharmazeutische Reinheit zu erzielen (Einsatz in Dosieraerosolen). Dabei entstanden Emissionen aufgrund geringfügiger Gasverluste.

Der HFKW-134a wird seit 1994 produziert, der HFKW-227ea seit 1996.

Die Emissionen des HFKW-134a sind seit 2011 relativ konstant. Die Schwankungen resultieren aus leichten Unterschieden in den jährlichen Produktionsmengen.

Die Emissionen des HFKW-227ea steigen, parallel zu den steigenden Produktionsmengen, seit 2009 an. Eine Ausnahme bildet das Jahr 2012, in dem weniger HFKW-227ea verkauft wurde und damit auch weniger Emissionen auftraten.

Zwischen 1990 und 1994 wurde in Deutschland auch CF₄ (FKW-14) produziert.

Die Emissionen bei der Produktion von SF₆ sind seit 2014 stark gesunken, da ein Plasmabrenner zur Reinigung der Abluft installiert wurde.

4.3.9.2.2 Methodische Aspekte (2.B.9.b)

Emissionsfaktoren

Aus den vom Hersteller bis 2009 gemeldeten Emissions- und Produktionsmengen wurden Emissionsfaktoren errechnet. Durch emissionsbegrenzende Maßnahmen konnte der Emissionsfaktor für SF₆ ab 2014 weiter gesenkt werden. Alle Emissionsfaktoren wurden 2019 durch Gespräche mit Industrievertretern überprüft.

Aktivitätsdaten

Da jeweils nur ein Hersteller pro HFKW in Deutschland existiert, unterliegen die Daten der Unternehmen der Vertraulichkeit. Die Emissions- und Produktionsmengen wurden dem Umweltbundesamt bis 2010 gemeldet, aber nur aggregiert berichtet. Seit 2011 werden die Daten des Statistischen Bundesamtes verwendet.

4.3.9.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.9.b)

Die für die Berechnung der Emissionen zu Grunde gelegten Produktionszahlen können als sehr genau angenommen werden, da es sich um interne Aufzeichnungen der Hersteller handelt bzw. um offizielle statistische Erhebungen. Die Unsicherheiten der Emissionen werden mit 3% angenommen.

4.3.9.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.9.b)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Statistischen Bundesamt zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren liegen in derselben Größenordnung wie die anderer europäischer Länder.

4.3.9.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.9.b)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.3.9.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.9.b)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.3.10 Chemische Industrie - Sonstige: Emissionen aus sonstigen Produktionsprozessen (2.B.10)

4.3.10.1 Beschreibung der Kategorie (2.B.10)

Unter dieser Kategorie werden die Vorläufersubstanzen der Treibhausgase aus der Produktion von Düngemitteln und Schwefelsäure berichtet. N₂O-Emissionen aus der Produktion von n-Dodecandisäure werden zwar hier beschrieben aber aus Vertraulichkeitsgründen mit in 2.G.3 erfasst. 1,12-Dodecandisäure ist nach Adipinsäure mengenmäßig die zweitwichtigste Dicarbonsäure. In Deutschland gibt es einen Hersteller.

4.3.10.2 Methodische Aspekte (2.B.10)

N₂O – Emissionen

Die N₂O-Emissionen werden nach einer Tier 2-Methode berechnet. Die Produktionsmenge dafür stammt aus einer einmaligen Datenerhebung beim Hersteller. Die Daten werden fortgeschrieben. Die N₂O-Emissionen werden in einer Abgasbehandlungsanlage massiv reduziert.

4.3.10.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.B.10)

Die Zeitreihenkonsistenz ist sichergestellt, weil die einmalige Datenerhebung auf die anderen Jahre übertragen wurde. Da die Zahlen auf qualitativen Aussagen des Herstellers basieren und sich nur auf ein Jahr beziehen, müssen Unsicherheiten angenommen werden $\pm 20\%$.

4.3.10.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.B.10)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

4.3.10.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.B.10)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.3.10.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.B.10)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.4 Metallproduktion (2.C)

Die Kategorie 2.C ist unterteilt in die Unterpunkte 2.C.1 bis 2.C.7. Dem Unterpunkt Eisen- und Stahlproduktion (2.C.1) sind in der Emissionsdatenbank ZSE die Sinterproduktion, die Roheisenproduktion, die Erzeugung von Eisenschwamm (direkt reduziertem Eisen; *engl.* DRI), die Stahlerzeugung und die Eisen-, Stahl- und Temperegussproduktion zugeordnet. Die Produktion von Ferrolegierungen (2.C.2) ist in Deutschland von untergeordneter Bedeutung und wird daher im vorliegenden Bericht nicht weiter untergliedert. Die Aluminiumproduktion (2.C.3) untergliedert sich in Hüttenaluminium und Umschmelzaluminium. Für die Anwendung von SF₆ in der Aluminium- und Magnesiumproduktion (2.C.4) gibt es keine weiteren Untergliederungen. Der Unterpunkt (2.C.5) umfasst im ZSE die Bleiproduktion. (2.C.6) beinhaltet die Zinkproduktion. Unter (2.C.7) werden die Kupferproduktion (2.C.7a), die Nickelproduktion (2.C.7b) und Sonstige (2.C.7c) zusammengefasst. Aus diesen Kategorien resultieren in Deutschland keine Treibhausgasemissionen.

4.4.1 Metallproduktion: Eisen- und Stahlproduktion (2.C.1)

4.4.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.1)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	2 C 1, Iron and Steel Production		CO ₂	22.810,3	1,8	18.091,7	2,3	-20,7 %
-/-	2 C 1, Iron and Steel Production		N ₂ O	26,5	0,0	14,8	0,0	-44,4 %
-/-	2 C 1, Iron and Steel Production		CH ₄	4,7	0,0	5,0	0,0	6,5 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 2	NS	CS
CH ₄	Tier 2	NS	CS
N ₂ O	CS	NS	CS
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂	Tier 2	NS	CS

Die Kategorie *Eisen- und Stahlproduktion* ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend. In dieser Kategorie fallen neben Kohlendioxid- auch geringfügige Emissionen von Methan und Lachgas an. Die Methanemissionen resultieren aus der Walzstahlerzeugung sowie der Eisen-, Stahl und Temperegussproduktion. Das Lachgas stammt aus der Primärstahlproduktion, wo es beim Einsatz von Gichtgas in den Winderhitzern entsteht.

Da die CRF-Reporter-Software eine Zuordnung von Lachgas unter 2.C.1 nicht ermöglicht wird es stattdessen unter 2.C.7 berichtet.

In Deutschland wurden im Jahr 2019 27,7 Mio. t Rohstahl auf Erzbasis in sechs integrierten Hüttenwerken erzeugt. Die Elektrostahlproduktion betrug 11,9 Mio. t.

4.4.1.2 Methodische Aspekte (2.C.1)

Dieser Sektor umfasst die prozessbedingten Emissionen aus der Primärstahlerzeugung (via Sinteranlage, Hochofen und Oxygenstahlwerk) sowie aus Elektrostahlwerken.

Weitere Strukturelemente in dieser Kategorie (Gießereien: Eisen-, Stahl- und Temperegussproduktion; Stahlerzeugung: Walz-Stahl-Produktion) dienen der Berechnung anderer Schadstoffemissionen (nicht von Treibhausgasen).

Die prozessbedingten CO₂-Emissionen aus der Primärstahlerzeugung in integrierten Hüttenwerken resultieren vor allem aus dem Reduktionsmitteleinsatz in den Hochöfen. Zudem

werden die CO₂-Emissionen aus dem Kalksteineinsatz in Sinteranlagen und bei der Roheisenerzeugung (einschließlich der CO₂-Emissionen aus den von der Stahlindustrie selbst betriebenen Kalköfen) sowie die CO₂-Emissionen aus dem Elektrodenabbrand bei der Elektrostahlerzeugung den prozessbedingten Emissionen im Sektor 2.C.1 zugerechnet.

Eine Produktion von Eisenschwamm - direkt reduziertem Eisen (*engl.* DRI) erfolgt in Deutschland nur in geringem Umfang (ca. 0,6 Mio. t. pro Jahr). Jährliche Angaben zur Produktionsmenge sind für die gesamte Zeitreihe vorhanden, sind aber vertraulich, weil sie sich nur auf eine einzige Anlage beziehen.

Die bei der Produktion von Eisenschwamm entstehenden CO₂-Emissionen resultieren aus dem Einsatz von Erdgas bzw. dem daraus erzeugten Gemisch der Reduktionsgase H₂ und CO. Die eingesetzte Menge an Erdgas ist über die gesamte Zeitreihe in den unter 1.A.2.a berichteten Einsätzen von Erdgas in der Stahlindustrie enthalten. Die CO₂-Emissionen aus der Produktion von Eisenschwamm sind folglich ebenso über die gesamte Zeitreihe in den unter 1.A.2.a berichteten Emissionen enthalten.

Eine gesonderte Ausweisung prozessbedingter CO₂-Emissionen aus der Produktion von Eisenschwamm unter 2.C.1 ist nicht möglich, weil gesonderte Angaben zur hierzu verwendeten Menge an Erdgas aus Gründen der Vertraulichkeit nicht vorliegen und anderenfalls hieraus auf die vertraulichen Angaben zur Produktionsmenge der betreffenden Anlage zurückgeschlossen werden könnte.

Methode zur Berechnung der aus dem Reduktionsmitteleinsatz in den Hochöfen resultierenden CO₂-Emissionen

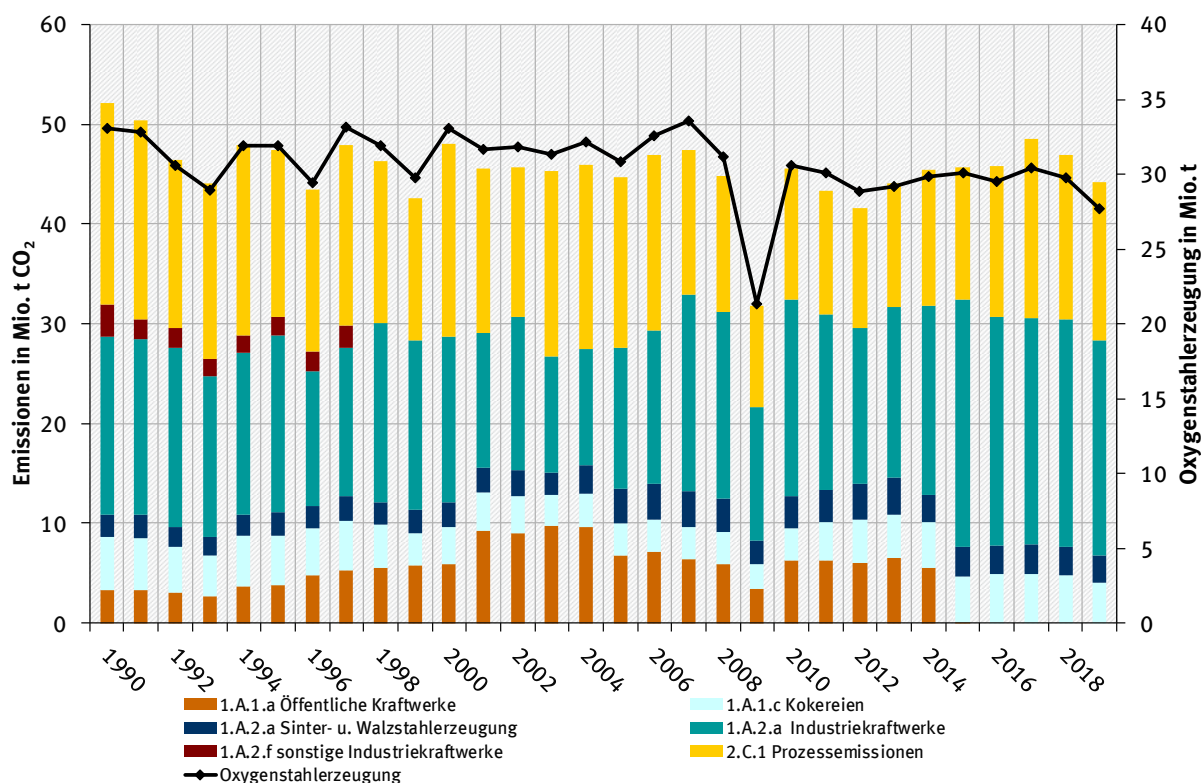
Den IPCC Guidelines zufolge sind die CO₂-Emissionen in Kategorie 2.C.1 über eine Kohlenstoffbilanz zu ermitteln. Hintergrund ist, dass praktisch sämtlicher Kohlenstoff, der in die die Hochöfen eingebracht wird, bei der späteren energetischen Nutzung oder Abfackelung des im Hochofen gebildeten Gichtgases oder des im Oxygenstahlkonverter gebildeten Konvertergases als CO₂ in die Atmosphäre abgegeben wird. Der Anteil des Roheisens, der nicht zu Stahl weiterverarbeitet wird, beträgt unter 1 %, daher ist der darin enthaltene Kohlenstoffanteil im Vergleich zu den mit dem Reduktionsmitteleinsatz verbundenen CO₂-Emissionen nicht relevant (ca. 0,1 %). Analoges gilt für den Kohlenstoffanteil im erzeugten Stahl, der nach überschlägiger Rechnung in der Größenordnung von 60.000 t/a liegt und somit dem Kohlenstoffeintrag über die eingesetzten Rohstoffe (Erze und Schrotte) entspricht⁶⁹.

Der Reduktionsmitteleinsatz im Hochofen und der Materialeinsatz im Konverter werden statistisch sehr detailliert erfasst. Diese Daten werden dem UBA von der WV Stahl jährlich übermittelt. Die Kohlenstoffgehalte der einzelnen Materialien werden aus den Emissionshandelsdaten berechnet. Weiterhin stehen CO₂ Emissionsfaktoren für die Nutzung von Hochofen- und Konvertergas aus dem Emissionshandel zur Verfügung. Die eingesetzten Gasmengen werden aus der Energiestatistik entnommen. Die Berechnung über den Kohlenstoffeintrag auf der einen Seite und dem Kohlenstoffaustrag in Form der Hochofen-/ Konvertergasnutzung führt zu einer Differenz. Diese CO₂ Emissionen werden in der Kategorie 2.C.1 berichtet. Die energetische Nutzung von Gichtgas und Konvertergas findet nur zum Teil in der Kategorie 2.C.1 statt (namentlich in den Winderhitzern am Hochofen), daneben wird es für andere Prozessfeuerungen in der Eisen- und Stahlindustrie (1.A.2.a), in Kokereien zur

⁶⁹ Der durchschnittliche Kohlenstoffanteil der über 2000 Stahlsorten, die in Deutschland erzeugt werden, wird statistisch nicht erfasst. Nach Angaben der Werke im Rahmen des Emissionshandels wird der durchschnittliche Kohlenstoffgehalt des erzeugten Rohstahls auf 0,15 % geschätzt. Nach überschlägiger Rechnung deckt sich der nicht energetische Kohlenstoffaustrag über den erzeugten Stahl mit dem Kohlenstoffeintrag über das Erz (Kohlenstoffgehalt ca. 0,1 %) sowie den eingesetzten Schrott (Kohlenstoffgehalt ca. 0,15 %),

Koksofenunterfeuerung (1.A.1.c) sowie in öffentlichen (1.A.1.a) oder Industriekraftwerken (1.A.2.f) zur Stromerzeugung genutzt. Für alle genannten Kategorien liefert die Energiestatistik Angaben zum Gicht- und Konvertergasverbrauch. Folglich teilen sich die aus dem Reduktionsmitteleinsatz zur Primärstahlerzeugung resultierenden CO₂-Emissionen auf alle Kategorien auf, in denen das Gicht- und Konvertergas verbrannt und somit tatsächlich CO₂ emittiert wird (siehe folgende Abbildung).

Abbildung 41: Zeitlicher Verlauf und Quellgruppenzuordnung der aus dem Reduktionsmitteleinsatz zur Primärstahlerzeugung bzw. Gichtgasaufkommen resultierenden CO₂-Emissionen



Die Summe der dargestellten CO₂-Emissionen zeigt eine gute Korrelation mit den berichteten Aktivitätsraten für die Primärstahlerzeugung (siehe schwarze Linie). Jährliche Schwankungen in den einzelnen Kategorien beruhen vermutlich auf wechselnden Zuordnungen einzelner Anlagen in der amtlichen Statistik. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die Gesamtsumme der berichteten Emissionen.

Tabelle 191: CO₂-Emissionen aus der Primärstahlerzeugung (einschließlich Gichtgasnutzung)

Mt CO ₂	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
1.A.1.a Öffentliche Kraftwerke	3,244	3,291	3,015	2,631	3,647	3,764	4,816	5,305	5,465	5,808
1.A.1.c Kokereien	5,340	5,251	4,590	4,083	5,066	4,924	4,707	4,969	4,362	3,145
1.A.2.a Sinter- u. Walzstahlerzeugung	2,228	2,256	2,046	1,936	2,081	2,445	2,151	2,419	2,255	2,444
1.A.2.a Industriekraftwerke	17,886	17,660	17,927	16,098	16,326	17,759	13,624	14,935	17,975	16,933
1.A.2.f Sonstige Industriekraftwerke	3,206	2,025	1,942	1,707	1,720	1,770	1,932	2,144	0,000	0,000
2.C.1 Prozessemissionen	20,228	19,961	16,942	17,693	19,074	16,736	16,204	18,194	16,255	14,317

Mt CO ₂	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1.A.1.a Öffentliche Kraftwerke	5,956	9,284	9,030	9,766	9,640	6,738	7,086	6,370	5,851	3,425
1.A.1.c Kokereien	3,652	3,741	3,684	3,029	3,356	3,247	3,281	3,226	3,226	2,500
1.A.2.a Sinter- u. Walzstahlerzeugung	2,520	2,487	2,629	2,265	2,788	3,461	3,603	3,642	3,437	2,315
1.A.2.a Industriekraftwerke	16,573	13,627	15,406	11,709	11,695	14,164	15,351	19,748	18,675	13,429
1.A.2.f Sonstige Industriekraftwerke	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2.C.1 Prozessemissionen	19,379	16,493	14,979	18,509	18,418	17,154	17,586	14,452	13,614	10,135
Mt CO ₂	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1.A.1.a Öffentliche Kraftwerke	6,276	6,258	6,080	6,465	5,533	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000
1.A.1.c Kokereien	3,245	3,895	4,289	4,341	4,554	4,648	4,872	4,905	4,809	3,979
1.A.2.a Sinter- u. Walzstahlerzeugung	3,198	3,217	3,646	3,715	2,787	3,015	2,912	2,987	2,872	2,752
1.A.2.a Industriekraftwerke	19,705	17,553	15,512	17,173	18,890	24,735	22,955	22,631	22,757	21,648
1.A.2.f Sonstige Industriekraftwerke	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2.C.1 Prozessemissionen	13,144	12,367	12,046	12,429	13,717	13,344	15,101	18,075	16,450	15,811

Sekundärbrennstoffe werden in der Eisen- und Stahlindustrie nur bei der Erzeugung von Roheisen im Hochofenprozess eingesetzt. Diese Materialien sind bisher in nationalen Statistiken und der Energiebilanz nicht enthalten. Als Datenquelle werden daher Angaben der Wirtschaftsvereinigung Stahl genutzt. Da die Sekundärbrennstoffe jedoch ausschließlich als Ersatzreduktionsmittel an Stelle von Koks eingesetzt werden, sind die aus ihrem Einsatz resultierenden CO₂-Emissionen ebenfalls in den über den Gichtgas- und Konvertergaseinsatz ermittelten CO₂-Emissionen enthalten und müssen nicht gesondert berechnet werden.

Ermittlung der CO₂-Emissionen aus dem Kalksteineinsatz bei der Roheisenerzeugung

Die CO₂-Emissionen aus dem Kalksteineinsatz werden nach Tier 1 bestimmt (Lechtenböhrer et al. (2006a), FKZ 20541217/02). Die Stahlindustrie setzt Kalkstein (CaCO₃) in der Sinteranlage und bei der Roheisenerzeugung im Hochofen ein. In den Oxygenstahl- sowie den Elektrostahlwerken wird hingegen gebrannter Stahlwerkalk (CaO) als Schlackenbildner eingesetzt, der in der Regel von Kalkindustrie zugekauft wird. Die bei der Erzeugung des zugekauften Branntkalks freigesetzten CO₂-Emissionen werden bereits unter 2.A.2 berichtet. Lediglich ein Stahlwerk deckt seinen Kalkbedarf mit Hilfe eigener Kalkbrennöfen, deren Produktionsmenge und damit verbundene CO₂-Emissionen nicht in den unter 2.A.2 berichteten Daten enthalten sind. Die Produktionsmenge dieser Kalköfen wurde auf Basis verfügbarer Angaben zur Rohstahlerzeugung des Werks geschätzt (genauere Beschreibung siehe NIR 2016).

Aus den so ermittelten AR werden in 2.C.1 – analog zu 2.A.2 – nur die über einen stöchiometrischen EF berechneten rohstoffbedingten CO₂-Emissionen berichtet (siehe Tabelle 192). Die CO₂-Emissionen aus dem Energieeinsatz in den stahlwerkseigenen Kalköfen, der in der Energiebilanz nicht gesondert ausgewiesen werden, sind in den unter 1.A.2.a berichteten Emissionen enthalten.

Die Kalksteineinsätze bei der Sinter- und Roheisenherstellung wurden bis 2004 in der Eisen- und Stahlstatistik veröffentlicht ((Statistisches Bundesamt, FS 4, R 8.1)), seitdem müssen sie aus den im Rahmen des BGS-Bogens berichteten Produktionsmengen von Sinter und Roheisen über spezifische Einsatzfaktoren (d. h. kg Kalkstein pro t Sinter oder Roheisen) berechnet werden. Die Aktivitätsraten des Kalksteineinsatzes werden mit dem stöchiometrischen Emissionsfaktor für Kalkstein multipliziert und ergeben dann die in Tabelle 192 angegebenen CO₂-Emissionen.

Tabelle 192: Kalksteineinsatz sowie Eigenerzeugung von Branntkalk in der Stahlindustrie und daraus resultierende CO₂-Emissionen

Jahr	Kalksteineinsatz [t/a]		Eigenerzeugung Branntkalk [t/a] AR	CO ₂ -Emissionen [t/a]		
	Hochofen AR	Sinteranlage AR		Kalksteineinsatz EF 440 kg/t	Kalkerzeugung EF 746 kg/t	Summe
1990	755.737	4.680.775	153.918	2.392.065	114.823	2.506.888
1991	757.000	4.532.000	147.439	2.327.160	109.990	2.437.150
1992	666.000	4.198.000	136.560	2.140.160	101.874	2.242.034
1993	627.000	3.891.000	129.458	1.987.920	96.575	2.084.495
1994	733.000	4.173.153	140.003	2.158.707	104.443	2.263.150
1995	751.000	4.600.000	139.973	2.354.440	104.420	2.458.860
1996	686.000	4.350.000	129.177	2.215.840	96.366	2.312.206
1997	629.000	4.471.000	145.351	2.244.000	108.432	2.352.432
1998	677.000	4.588.000	140.157	2.316.600	104.557	2.421.157
1999	817.000	4.144.000	130.704	2.182.840	97.505	2.280.345
2000	924.000	4.273.000	144.991	2.286.680	108.163	2.394.843
2001	866.000	4.136.000	138.859	2.200.880	103.588	2.304.468
2002	831.000	3.940.000	139.538	2.099.240	104.096	2.203.336
2003	832.525	4.046.711	137.468	2.146.864	102.551	2.249.415
2004	847.689	4.209.871	140.977	2.225.326	105.169	2.330.495
2005	787.724	4.306.067	134.550	2.241.268	100.374	2.341.642
2006	822.920	4.410.408	162.500	2.302.664	121.225	2.423.889
2007	840.868	4.608.067	149.500	2.397.531	111.527	2.509.058
2008	790.216	4.541.174	136.500	2.345.812	101.829	2.447.641
2009	547.680	3.496.405	97.500	1.779.397	72.735	1.852.132
2010	799.679	4.045.042	130.000	2.131.677	96.980	2.228.657
2011	782.420	4.097.270	123.500	2.147.063	92.131	2.239.194
2012	757.355	3.912.824	117.000	2.054.879	87.282	2.142.161
2013	760.932	3.926.706	130.000	2.062.561	96.980	2.159.541
2014	782.447	3.945.838	130.000	2.080.446	96.980	2.177.426
2015	794.999	3.987.196	149.500	2.104.166	111.527	2.215.693
2016	780.445	3.750.267	149.500 ^{*)}	1.993.514	111.527 ^{*)}	2.105.041
2017	797.856	4.120.243	149.500 ^{*)}	2.163.964	111.527 ^{*)}	2.275.491
2018	779.356	3.926.906	149.500 ^{*)}	2.070.755	111.527 ^{*)}	2.182.282
2019	727.895	4.003.122	149.500^{*)}	2.081.647	111.527^{*)}	2.193.174

Quelle: bis 2004: Berechnung der Kalksteineinsätze im Projekt Kalksteinbilanz ((Lechtenböhrer et al., 2006a), FKZ 20541217/02),

ab 2005: Berechnung über die im o.g. Projekt ermittelten produktspezifischen Faktoren

^{*)} Fortschreibung aufgrund fehlender Angaben zur Rohstahlerzeugung des betreffenden Werks (Expertenschätzung)

Ermittlung der CO₂-Emissionen aus dem Elektrodenabbrand bei der Elektrostahlherstellung

Bei der Elektrostahlherstellung entstehen direkte CO₂-Emissionen durch den Abbrand der Graphitelektroden, die ebenfalls den prozessbedingten CO₂-Emissionen der Stahlerzeugung zuzurechnen sind. Sie werden aus der Menge des produzierten Elektrostahls über einen in 2009 im Rahmen eines Forschungsvorhabens (Hensmann et al., 2012) aktualisierten Emissionsfaktor (7,4 kg/t) berechnet, der auf dem spezifischen Elektrodenverbrauch pro t Elektrostahl (2,06 kg/t), dessen Kohlenstoffgehalt (98%) sowie dem stöchiometrischen Faktor (3,667 t CO₂/t C) basiert. Der Beitrag des Elektrodenabbrands bei der Elektrostahlherstellung ist mit ca. 0,2% der gesamten CO₂-Emissionen der Eisen- und Stahlerzeugung unbedeutend.

Ermittlung der insgesamt unter 2.C.1 zu berichtenden CO₂-Emissionen der Eisen- und Stahlproduktion)

Die insgesamt unter 2.C.1 zu berichtenden prozessbedingten Emissionen setzen sich wie folgt zusammen:

1. die aus dem Reduktionsmitteleinsatz zur Primärstahlerzeugung resultierenden CO₂-Emissionen, soweit das Gicht- und Konvertergas nicht in anderen Kategorien eingesetzt und folglich dort als CO₂-Emissionen berichtet wird

2. den CO₂-Emissionen aus dem Kalksteineinsatz bei der Roheisenerzeugung sowie der Eigenerzeugung an Branntkalk und
3. den CO₂-Emissionen aus dem Elektrodenabbrand bei der Elektrostahlherstellung

Die so ermittelten Emissionsmengen sind Tabelle 193 zu entnehmen.

Tabelle 193: Insgesamt unter 2.C.1 zu berichtende prozessbedingte Emissionen

Jahr	CO ₂ -Emissionen aus dem	CO ₂ -Emissionen aus	CO ₂ -Emissionen aus	2.C.1 gesamt
	Reduktionsmitteleinsatz, soweit nicht in anderen Kategorien berichtet	Kalksteineinsatz sowie der Eigenerzeugung an Branntkalk	dem Elektrodenabbrand	
	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]
1990	20.228.163	2.506.888	75.242	22.810.293
1991	19.960.553	2.437.150	68.464	22.466.167
1992	16.942.152	2.242.034	64.358	19.248.544
1993	17.692.711	2.084.495	59.840	19.837.046
1994	19.074.282	2.263.150	65.783	21.403.215
1995	16.736.415	2.458.860	74.794	19.270.069
1996	16.204.219	2.312.206	76.291	18.592.716
1997	18.193.667	2.352.432	87.552	20.633.651
1998	16.255.161	2.421.157	89.196	18.765.514
1999	14.316.676	2.280.345	90.456	16.687.477
2000	19.378.698	2.394.843	98.250	21.871.792
2001	16.493.071	2.304.469	96.959	18.894.499
2002	14.978.738	2.203.335	97.379	17.279.452
2003	18.508.674	2.249.415	99.046	20.857.135
2004	18.418.361	2.330.495	104.981	20.853.837
2005	17.153.961	2.341.642	100.778	19.596.381
2006	17.586.218	2.423.890	108.203	20.118.311
2007	14.451.531	2.509.058	110.718	17.071.307
2008	13.614.398	2.447.641	107.945	16.169.984
2009	10.134.642	1.852.132	83.587	12.070.361
2010	13.144.494	2.228.658	97.446	15.470.598
2011	12.367.111	2.239.195	104.741	14.711.047
2012	12.046.280	2.142.161	101.676	14.290.117
2013	12.428.654	2.159.541	99.245	14.687.440
2014	13.716.522	2.177.426	96.314	15.990.262
2015	13.344.183	2.215.693	93.401	15.652.946
2016	15.100.844	2.105.041	93.193	17.298.748
2017	18.075.302	2.275.491	97.530	20.446.702
2018	16.450.331	2.182.283	93.669	18.726.283
2019	15.810.703	2.193.174	88.099	18.091.664

4.4.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.1)

Die Zeitreihenkonsistenz ist gegeben, da die Aktivitätsraten bei allen Anlagen erhoben und die Emissionen für alle Jahre nach derselben Methode ermittelt wurden. Da die Aktivitätsraten für das Jahr 2017 von der WV Stahl aufgrund wettbewerbsrechtlicher Probleme nicht vereinbarungsgemäß bereitgestellt werden konnten, wurden ersatzweise für das Jahr 2017 aggregierte Werte aus dem Emissionshandel verwendet. Die Konsistenz der Angaben aus dem Emissionshandel wurde anhand von Vergleichswerten für vorangegangene Jahre überprüft; die Abweichungen betragen unter 1%, nur bei der Sinterproduktion sind sie geringfügig höher (maximal + 8%).

Bei den CO₂-Emissionen aus dem Kalksteineinsatz gab es von 2004 zu 2005 einen Methodenbruch durch den Wegfall der bis 2004 verwendeten Datenquelle. Die Entwicklung der Zeitreihe erscheint jedoch trotz Methodenbruch plausibel. Aufgrund der notwendigen

Berechnung beträgt die Unsicherheit der Aktivitätsrate hier $\pm 10\%$. Eine erhöhte Unsicherheit weist auch die auf Basis mehrerer Annahmen geschätzte Aktivitätsrate für die Eigenerzeugung an Branntkalk auf; die damit verbundenen CO₂-Emissionen sind allerdings vergleichsweise unbedeutend.

Die Unsicherheit des Emissionsfaktors für den Elektrodenabbrand beträgt $\pm 3\%$, bei den übrigen Daten liegt die Unsicherheit bei $\pm 5\%$. Die Unsicherheiten beruhen nur auf Mess- und Analyseungenauigkeiten.

4.4.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.1)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Aktivitätsraten werden gemäß einer Kooperationsvereinbarung mit der Wirtschaftsvereinigung Stahl von dieser zusammengetragen und dem Umweltbundesamt jährlich übermittelt. Die Zeitreihe erscheint plausibel und weist keine Inkonsistenzen auf. Es wird davon ausgegangen, dass diese Angaben vereinbarungsgemäß qualitätsgesichert erhoben werden.

Die Emissionsermittlung in den Kategorien 1.A.2.a und 2.C.1 ist eine komplexe Aufgabe, da es zwischen der Energiebilanz, der Emissionsberichterstattung, dem Emissionshandel sowie den Verbandsstatistiken große methodische Unterschiede gibt. Zur Sicherung der Datenqualität werden von der Fachseite und der Nationale Koordinierungsstelle anlassbezogen Expertengespräche durchgeführt, in denen die Daten verglichen und bewertet werden. Aufgrund der methodischen Unterschiede ist eine Plausibilitätskontrolle der ermittelten Emissionsmengen mit den Daten der deutschen Emissionshandelsstelle nur auf einer hoch aggregierten Ebene möglich.

Eine Plausibilisierung der für diese Quellgruppe ermittelten Emissionen anhand der vom Klimasekretariat ermittelten implizierten Emissionsfaktoren (IEF) ist

1. aufgrund des von Land zu Land sehr unterschiedlichen Anteils der CO₂-intensiven Primärstahlerzeugung an der gesamten Stahlerzeugung,
2. aufgrund der von Land zu Land unterschiedlichen Allokation der daraus resultierenden Emissionen auf die Quellgruppen 1.A.2.a, 2.C.1 sowie ggf. weitere Quellgruppen, in denen die bei der Eisen- und Stahlerzeugung anfallenden Prozessgase energetisch genutzt werden, und
3. aufgrund der von Land zu Land unterschiedlich berichteten Aktivitätsraten unter 2.C.1, deren Addition zudem z.T. nicht sachgerecht ist,

nicht möglich. Die genannten Faktoren führen zu einer extremen Streuung der ermittelten IEF für die genannten Quellgruppen, die keinen Rückschluss auf die „Richtigkeit“ der ermittelten Emissionen ermöglichen.

4.4.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.1)

Das Ersetzen von Daten aus der vorläufigen Energiebilanz durch Daten der endgültigen Energiebilanz führt zu Rückrechnungen bis zum Jahr 2017.

4.4.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.1)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.4.2 Metallproduktion: Produktion von Ferrolegierungen (2.C.2)

4.4.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.2)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	2 C 2, Ferroalloys Production		CO ₂	429,0	0,0	5,9	0,0	-98,6 %
-/-	2 C 2, Ferroalloys Production		CH ₄	8,6	0,0	1,6	0,0	-81,4 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS	IS	CS
NO _x , CO, NMVOC, SO ₂			NE

Die Kategorie *Produktion von Ferrolegierungen* ist keine Hauptkategorie. Ferrolegierungen sind Zuschlagsstoffe, mit denen Stahl legiert wird. In Deutschland existieren fünf Hersteller von Ferrolegierungen: Ferrochrom, Ferrosilizium und Siliziummetall werden jeweils nur von einem Unternehmen hergestellt; weitere Ferrolegierungen nur in sehr geringem Umfang. Seit 1995 wird ausschließlich das Elektro-Lichtbogen-Verfahren verwandt, bei dem nur aus dem Elektrodenabbrand geringe Mengen an prozessbedingtem CO₂ freigesetzt werden.

Bis 1995 kam teilweise das Hochofenverfahren zum Einsatz, das mit vergleichsweise höheren CO₂-Emissionen verbunden war.

4.4.2.2 Methodische Aspekte (2.C.2)

Die verwendeten **Emissionsfaktoren** zu beiden genannten Verfahren (Hochofen- und Elektro-Lichtbogen-Verfahren) wurden in dem Forschungsvorhaben „NEU-CO₂“ (FKZ 203 41 253/02, Weiß et al. (2006)) ermittelt.

Für die **Aktivitätsrate** wurden für die Jahre 1990 bis 1994 Daten aus der amtlichen Produktionsstatistik des Statistischen Bundesamtes verwendet. Seit 1995 wird auf Daten des British Geological Survey (Brown et al., 2019) zurückgegriffen, weil keine nutzbaren Daten mehr in der amtlichen Produktionsstatistik enthalten sind. Die aktuell verfügbaren Daten stammen aus dem Jahr 2017. Für das Jahr 2018 ist die Aktivitätsrate fortgeschrieben worden.

4.4.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.2)

Die Aktivitätsraten des (British Geological Survey Brown et al. (2019)) beruhen teilweise auf Schätzungen und sind daher mit vergleichsweise hohen Unsicherheiten behaftet.

Die Daten des (British Geological Survey Brown et al. (2019)) wurden zudem mit Daten des US Geological Survey (USGS) verglichen. Die Daten des USGS liegen zwar in derselben Größenordnung wie die Daten des BGS, weisen aber einen geringeren Detail- und höheren Aggregationsgrad auf. Aus diesem Grund werden die Daten des BGS bevorzugt.

Für die Jahre 2001 – 2006 liegen auch Daten des Statistischen Bundesamtes zum Absatz von Ferrolegierungen vor, welche aber um Faktor 0,7 unter den Produktionsdaten des BGS liegen. Aus Gründen der Zeitreihenkonsistenz werden daher auch für diese Jahre die Daten des BGS verwendet.

Die deutliche Abnahme des CO₂-Emissionsfaktors von 1994 zu 1995 bedeutet ebenfalls keine Inkonsistenz, sondern resultiert aus dem Wechsel des Produktionsverfahrens.

4.4.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.2)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die verwendeten AR von BGS wurden mit Hilfe der Angaben des Statistischen Bundesamtes und des USGS verifiziert (siehe oben).

4.4.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.2)

Auf Grund der Aktualisierung der im letzten Jahr fortgeschriebenen Aktivitätsrate ergeben sich Rückrechnungen, die geringfügige Emissionsänderungen für das vergangene Jahr zur Folge haben. Diese Rückrechnung erfolgt regelmäßig jedes Jahr, da die zugrunde liegende Statistik nur alle zwei Jahre bereitgestellt wird.

4.4.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.2)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.4.3 Metallproduktion: Aluminiumproduktion (2.C.3)

4.4.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.3)

KC	Category	Activity	EM of	1990/1995 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990/1995- 2019
-/T	2 C 3, Aluminium Production		CF ₄	1.544,5	0,1	75,5	0,0	-95,1 %
-/-	2 C 3, Aluminium Production		SF ₆	C	C	C	C	C
-/-	2 C 3, Aluminium Production		CO ₂	1.011,9	0,1	694,3	0,1	-31,4 %
-/-	2 C 3, Aluminium Production		C ₂ F ₆	256,2	0,0	15,1	0,0	-94,1 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 3	AS	CS
CH ₄	-	-	NE
PFC	Tier 3	AS	CS
SF ₆	CS	NS	CS
NO _x	-	-	NE
CO, SO ₂	-	AS	CS

Primäraluminium - Nebenprodukteemissionen

Die Kategorie *Primäraluminiumproduktion* ist nach der Einordnung der Kategorie 2.C.3 Aluminiumproduktion für CF₄-Emissionen eine Hauptkategorie nach dem Trend.

In Deutschland wird in vier Hütten Aluminium in Elektrolyseöfen mit vorgebrannten Anoden erzeugt. Wesentliche Emissionsquellen sind die Abgase der Elektrolyseöfen und diffuse Emissionen über Hallendächern. An klimarelevanten Substanzen und Luftschadstoffen werden insbesondere CO, CO₂, SO₂, CF₄ und C₂F₆ emittiert.

Die größte Quelle für FKW-Emissionen ist in Deutschland trotz erheblicher Reduktionen seit 1990 weiterhin die Produktion von Primäraluminium. Durch umfangreiche Modernisierungsmaßnahmen in deutschen Aluminiumhütten und der Stilllegung von Produktionskapazitäten sanken die absoluten Emissionen aus diesem Sektor seit 1995 um über 90 %. Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der FKW-Emissionen ist eine Stagnation auf niedrigem Niveau zu erwarten.

Sekundäraluminium – Verwendung von F-Gasen in Gießereien

Die Kategorie *Verwendung von SF₆ in der Sekundäraluminiumproduktion* (Alu-Gießereien) ist nach der Einordnung der Kategorie 2.C.3 Aluminiumproduktion für SF₆-Emissionen keine Hauptkategorie.

Zum Spülen von Sekundäraluminium-Schmelzen genügen in der Regel Inertgase ohne Additive. In einigen wenigen, meist kleineren Aluminium-Gießereien sowie in Laboren kam in der Vergangenheit aber ein Reinigungssystem aus Inertgasen zum Einsatz, dem SF₆ in Konzentrationen von 1 oder 2,5 % zugesetzt war. Solche Reinigungssysteme wurden letztmalig im Jahr 1999 eingesetzt (seit dem Jahr 2000 findet kein Verkauf in Deutschland mehr statt). Von 1990 bis 1999 lag der SF₆-Verbrauch relativ konstant bei 0,5 t/a.

Vereinzelt wird seit dem Jahr 1999 reines SF₆ als Reinigungsgas eingesetzt.

4.4.3.2 Methodische Aspekte (2.C.3)

Primäraluminium - Nebenproduktemissionen

Die Aktivitätsraten werden dem Umweltbundesamt jährlich durch die Wirtschaftsvereinigung Metalle übermittelt. Der durchschnittliche Anodenverbrauch zur Produktion von Primäraluminium liegt bei 430 kg Petrolkoks je Tonne Aluminium. In der Tabelle 194 sind die prozessbedingten Emissionsfaktoren dargestellt.

Die bei der Erzeugung von Primäraluminium anfallende Gesamtabgasmenge je Tonne Aluminium wurde mit einem mittleren Konzentrationswert, der aus mehreren Einzelwerten verschiedener Anlagen mit entsprechender Gewichtung gebildet wurde, multipliziert. Die Emissionsfaktoren berücksichtigen auch diffuse Emissionsquellen, wie Hallendachemissionen. Die verwendeten Emissionswerte für CO sind Ergebnisse aus Emissionsmessungen im Rahmen von Investitionsvorhaben.

Die SO₂- und CO₂-Emissionsfaktoren wurden aus dem spezifischen Anodenverbrauch errechnet. Die Anoden bestehen aus Petrolkoks; diese weisen spezifische Schwefelgehalte von ca. 1,2 % auf, woraus ein SO₂-Emissionsfaktor von 10,4 kg/t Al berechnet werden kann. Grundlage der Berechnung des CO₂-Emissionsfaktors ist der spezifische Kohlenstoffgehalt von Petrolkoks von 857 kg pro t. (vgl. Kapitel 18.8). Durch Multiplikation des durchschnittlichen Anodenverbrauchs mit dem mittleren Kohlenstoffgehalt und der stöchiometrischen Umsetzung zu CO₂ ergibt sich ein CO₂-Emissionsfaktor von 1367 kg/t Aluminium. Der CO₂-Emissionsfaktor vermindert sich theoretisch um den Anteil, der sich aus einem CO-Anteil von 180 kg/t Al ergibt, da sich auch CO lediglich aus dem Verbrauch der Anoden bilden kann. Dies ist in dem unten genannten CO₂-Faktor nicht berücksichtigt. Dieser Ansatz entspricht der Tier 2 -Methodik nach den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006).

Die in Tabelle 194 genannten Emissionsfaktoren wurden mit den Emissionsangaben in BAT-Merkblättern⁷⁰ und anderen Quellen (z.B. der VDI Richtlinie 2286 VDI (1998): Blatt 1) sowie mit den Daten aus dem EU-Emissionshandel (ETS) abgeglichen.

Tabelle 194: AR und prozessbedingte EF der Primäraluminiumproduktion im Jahr 2013

	AR		Emissionsfaktoren				
	Anzahl Hütten	Produktion [t]	CO ₂ [kg/t]	NO _x [kg/t]	SO ₂ [kg/t]	C gesamt [kg/t]	CO [kg/t]
Primäraluminium	4	492.368	1367	k.A.	10,4	k.A.	180

⁷⁰ siehe <http://www.bvt.umweltbundesamt.de/kurzue.htm>

Für die FKW-Emissionen aus Primäraluminiumhütten liegen aufgrund einer Selbstverpflichtung der Aluminiumindustrie Emissionsangaben vor. Seit 1997 berichtet die Aluminiumindustrie jährlich über die Entwicklung der FKW-Emissionen aus diesem Sektor. Die Messdaten werden nicht veröffentlicht, liegen dem Umweltbundesamt aber vor.

Basis für Berechnungen der CF₄ Emissionen sind die in den Jahren 1996 und 2001 in allen deutschen Hütten durchgeführten Messungen. Hierbei wurden je nach Technologie spezifische CF₄- Emissionswerte pro Anodeneffekt⁷¹ ermittelt. Die Zahl der Anodeneffekte wird in den Hütten erfasst und dokumentiert. Die CF₄-Gesamtemission wurde durch Multiplikation der gesamten Anodeneffekte des Jahres mit der in 2001 ermittelten spezifischen CF₄-Emission pro Anodeneffekt errechnet. Der Gesamtemissionsfaktor für CF₄ ergibt sich durch Addition der CF₄-Emissionen der Hütten dividiert durch die Gesamtaluminiumproduktion der Hütten. C₂F₆ und CF₄ entstehen im festen Verhältnis von etwa 1:10. Die oben genannte Methode wurde auf die Zeitreihe bis 2010 angewendet, durch Rückrechnungen wurden die Emissionen für die Jahre 1990 bis 1996 ergänzt. Für den Emissionshandel hat die Aluminiumindustrie die Berechnung der PFC-Emissionen auf die IAI-Methode (entspricht UNFCC-Default Tier 2) umgestellt. Der dafür vorgesehene Default-Slope-Faktor wird auch von allen anderen europäischen Anlagen genutzt und ist im Rahmen des europäischen Emissionshandels anerkannt. Aus Konsistenzgründen hat die Aluminiumindustrie deshalb ab 2010 auch die Emissionsdaten für die Emissionsberichterstattung nach der IAI-Methode berichtet.

Sekundäraluminium – Verwendung von F-Gasen in Gießereien

Für die Aluminiumgießereien konnten durch anlagenspezifische Messungen Konkretisierungen des Emissionsfaktors und damit der Emissionen vorgenommen werden.

Für die Berichtsjahre 1990 bis 1994 wurden Berichte und archivierte Umfrageprotokolle aus dem Jahr 1996 zu Grunde gelegt.

Aus Vertraulichkeitsgründen werden die SF₆-Emissionen mit 2.C.4 Magnesiumproduktion zusammen berichtet.

Emissionsfaktor Sekundäraluminium

Basierend auf von der Zulassungsbehörde anerkannten, vertraulichen Messprotokollen ist der Emissionsfaktor von SF₆ für die Aluminiumgiessereien für den Zeitraum von 1999 bis 2008 von 100 % auf 3 % reduziert worden. Durch Umbaumaßnahmen konnte eine weitere Reduzierung des Emissionsfaktors ab 2009 auf 1,5 % erreicht werden. Dieser Wert ist ebenfalls durch von der Zulassungsbehörde anerkannte, vertrauliche Messprotokolle bestätigt.

Aktivitätsdaten Sekundäraluminium

Der SF₆-Verbrauch wurde durch Befragung der Gasehändler ermittelt, wobei die Abfrage für das Berichtsjahr 2000 ergeben hat, dass die Gasemischung seit dem Jahr 2000 nicht mehr vermarktet wird.

Das seit 1999 wieder verwendete rein eingesetzte SF₆ wurde bei den Anwendern direkt erfragt und mit Daten der Gasehändler abgeglichen.

Seit dem Berichtsjahr 2006 werden die Daten vom Statistischen Bundesamt durch Abfrage der SF₆-Verkaufszahlen des Gasehandels (UStatG 2005) erhoben.

71 „...Zu organischen Fluoriden kommt es jedoch nur unter besonderen Bedingungen, wenngleich diese in Intervallen von Stunden bis zu mehreren Tagen am Ofen immer wieder eintreten. Diese Bedingungen werden als Anodeneffekt bezeichnet. ... Das Gas an der Anode ändert seine Zusammensetzung von CO₂ zu CO und zu 5 bis 20 % CF₄...“ (Winfried Schwarz, 1996) .

4.4.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.3)

Primäraluminium - Nebenproduktemissionen

Die Emissionsangaben zu FKW, CO, CO₂ und SO₂ genügen dem Tier 3b Ansatz und werden entsprechend als sehr genau bewertet. Für CO, CO₂ und SO₂ besteht eine Zeitreihenkonsistenz.

Allerdings wurde die anlagenspezifische Anzahl der Anodeneffekte in den Jahren 1991, 1992, 1993 und 1995 im Rahmen der freiwilligen Selbstverpflichtung nicht erhoben und für diese Jahre keine Berechnung durchgeführt (siehe 4.4.3.6).

Außerdem waren die Jahre 1991 bis 1994 wegen des Verfalls der Weltmarktpreise für Primäraluminium tiefe Krisenjahre für die deutsche Aluminiumindustrie. Aus diesem Grund wurden einige Anlagen stillgelegt. Der Abbau betraf alle Ofentypen, aber am stärksten betroffen waren die kurz zuvor modernisierten Öfen mit Punktdosierungstechnik. Deren Kapazität sank um 43 %, gemessen am Bestand 1990. Dies erklärt auch den kurzfristigen Anstieg bzw. die Stagnation des implizierten Emissionsfaktors für CF₄ in diesen Jahren. Absolut haben die Primärhütten 2007 nur 26 Tonnen CF₄ gegenüber 45 Tonnen in 2005 emittiert. Ursache hierfür ist ein Produktionsrückgang. Gegenüber dem Jahr 2006 ist jedoch eine geringe Produktionssteigerung zu verzeichnen, weil das teilweise Abschalten der Öfen im Werk Stade durch eine Produktionssteigerung am Produktionsstandort Hamburg mehr als ausgeglichen wurde. Im Jahr 2009 führte die Wirtschaftskrise u.a. zu drastischen Produktionseinbrüchen im Rheinwerk Neuss. Aufgrund der schwierigen ökonomischen Situation aller deutschen Primärhütten kam es in der Folgezeit immer wieder zu Prozessinstabilitäten durch häufige An- und Abfahrprozesse. Dies führte zu einer höheren Anzahl von Anodeneffekten und damit zu höheren PFC-Emissionen. Im Jahr 2010 stabilisierte sich die ökonomische Lage merklich. Die Prozesse konnten wieder kontinuierlich und stabil gefahren werden. Dadurch verringerte sich die Anzahl der Anodeneffekte in einem solchen Maße, dass die absoluten PFC-Emissionen trotz der Produktionssteigerung im Vergleich zu 2009 sanken. Dieser Trend setzte sich auch in den Folgejahren fort. Im Jahr 2018 sind die PFC-Emissionen zum ersten Mal seit 2010 wieder leicht angestiegen. In einer Hütte war die technische Umstellung des Anodenformats der Auslöser für einen temporären Anstieg der Anodeneffekte. In einer anderen Hütte führte der niedrige Pegelstand des Rheins (Lieferschwierigkeiten) und die temporäre Stilllegung von Aluminiumoxid-Produktionsstätten dazu, dass zeitweise nur Aluminiumoxid minderer Qualität eingesetzt werden konnte, was ebenfalls die Anzahl der Anodeneffekte erhöhte.

Sekundäraluminium – Verwendung von F-Gasen in Gießereien

Wie Untersuchungen belegen, wird ein Teil des SF₆ bei der Nutzung in der Aluminiumproduktion zersetzt. In der Aluminiumindustrie wurde der Emissionsfaktor auf die maximal gemessenen Emissionen gelegt und nach unten eine Unsicherheit von 50 % angenommen, da die Messungen gezeigt haben, dass die Emissionen häufig auch deutlich geringer sind.

4.4.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.3)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Aktivitätsraten für die Primäraluminiumproduktion stützen sich auf Eigenerhebungen der Wirtschaftsvereinigung Metalle und werden dem Umweltbundesamt jährlich übermittelt. Die Zeitreihe erscheint plausibel und weist keine Inkonsistenzen auf. Es wird davon ausgegangen, dass diese Angaben qualitätsgesichert erhoben werden.

4.4.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.3)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.4.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.3)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.4.4 Metallproduktion: Magnesiumproduktion (2.C.4)**4.4.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.4)**

KC	Category	Activity	EM of	1995 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1995-2019
-/-	2 C 4, Magnesium Production		SF ₆	C	C	C	C	C
-/-	2 C 4, Magnesium Production		HFC-134a	0,0	0,0	10,4	0,0	-

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
SF ₆	D	PS	D
HFC	D	PS	CS

Die Kategorie *SF₆ und HFKW-134a in der Magnesiumproduktion* ist keine Hauptkategorie.

In Deutschland wird kein Primärmagnesium hergestellt. Es werden lediglich Gussteile aus Magnesiumlegierungen produziert. Beim Gießen von Magnesium wurde SF₆ seit Mitte der 1970er Jahre als Schutzgas über der Schmelze eingesetzt, um ihre Oxidation und Entzündung zu verhindern. Die eingesetzte Menge an SF₆ pro Tonne Magnesium (spezifischer SF₆-Koeffizient) hat sich seit 1995 stark reduziert, da es seit 2003 in zunehmendem Maße durch HFKW-134a ersetzt wurde. SF₆ wird sowohl beim Sandgussverfahren zur Fertigung von Prototypen, Einzelteilen und kleinen Serien, als auch beim Druckgussverfahren als Schutzgas eingesetzt.

Die Verwendung von SF₆ im Magnesiumdruckguss ist gemäß Artikel 13 der Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase ab dem 01. Januar 2018 auch in kleinen Produktionsanlagen verboten. Bereits seit dem 01. Januar 2008 ist SF₆ als Schutzgas in Magnesium-Druckgießereien mit mehr als 850 kg SF₆-Jahresverbrauch, untersagt. Die vom Verbot betroffenen deutschen Betriebe haben seitdem schrittweise auf den HFKW-134a umgestellt.

4.4.4.2 Methodische Aspekte (2.C.4)

Der Einsatz von SF₆ als Reinigungs- und Schutzgas bei der Magnesiumherstellung ist eine offene Anwendung, d.h. die eingesetzte SF₆-Menge emittiert vollständig beim Gebrauch in die Atmosphäre. Die Gleichsetzung von Verbrauch (AR) und Emission entspricht der Methode in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Kapitel 4.5).

Die 2006 IPCC Guidelines enthalten keine Aussagen zum Emissionsfaktor für die Verwendung des HFKW-134a. Daher wurde bisher der verwendete Emissionsfaktor identisch mit der Verwendung von SF₆ in der Magnesiumproduktion gesetzt. Ab diesem Jahr wurde der Emissionsfaktor rückwirkend für die gesamte Zeitreihe auf 50 % gesetzt.

Aus Vertraulichkeitsgründen werden die SF₆-Emissionen aus 2.C.3.b Sekundäraluminium hier mit berichtet.

Emissionsfaktoren

Für die Magnesiumgießereien wird für SF₆ der Default-Emissionsfaktor von $EF_{\text{Anwendung}} = 100\%$ angenommen, da genauere Daten zu Zersetzungsgraden fehlen.

Ab dem Berichtsjahr 2017 wird der Emissionsfaktor rückwirkend für die gesamte Zeitreihe (also ab 2003) auf 50% gesetzt. Die IPCC Emission Factor Data Base (EFDB) hat 2017 "Destruction rates of cover gas HFC-134a" in Höhe von 71% und 77%, als nicht-verbindliche Anhaltspunkte für die nationalen Emissionsinventare, aufgenommen. Diese Werte entsprechen Emissionsraten von 29% bzw. 21%. Untersuchungen im Auftrag der US-Umweltbehörde EPA zeigten 2007, dass die Zersetzungsrate von verschiedenen Rahmenbedingungen wie Temperatur der Schmelze, Trägergas, Durchflussmenge des Schutzgases sowie der Konzentration von HFKW-134a abhängig ist. In Ermangelung weiterer Untersuchungen schlagen die Experten daher einen Sicherheitsemissionsfaktor von 50% vor (Gschrey et al., 2018).

Aktivitätsdaten Magnesiumproduktion

Im Jahr 1996 wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes eine Mengenbefragung bei allen inländischen Magnesiumgießereien mit SF₆-Einsatz durchgeführt. Hierbei wurden die Verbrauchsmengen für die Jahre 1990 bis 1995 ermittelt.

Bis zum Berichtsjahr 2007 wurden die verwendeten Mengen direkt bei den Anwendern erfragt. Seit dem Berichtsjahr 2006 werden die Daten durch Abfrage der SF₆-Verkaufszahlen des Gasehandels erhoben. Im Berichtsjahr 2006 erfolgte ein Vergleich beider Methoden.

Seit dem Berichtsjahr 2007 werden die Daten des Statistischen Bundesamtes (UStatG 2005) verwendet.

4.4.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.4)

Wie Untersuchungen belegen, wird ein Teil des SF₆ und HFKW-134a bei der Nutzung in der Magnesiumproduktion zersetzt. Daher werden die Emissionen von SF₆ sowie auch noch teilweise bei dem HFKW-134a durch die Annahmen zu den Emissionsfaktoren wahrscheinlich überzeichnet.

4.4.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.4)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Statistischen Bundesamt zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Der Emissionsfaktor für SF₆ entspricht dem Default-Emissionsfaktor der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) und der Emissionsfaktor für den HFKW-134a liegt zur Absicherung aller Emissionen über dem in der IPCC Emission Factor Data Base (EFDB) enthaltenen.

4.4.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.4)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.4.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.4)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.4.5 Metallproduktion: Blei (2.C.5)

4.4.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.5)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	2 C 5, Lead Production		CO ₂	157,9	0,0	71,1	0,0	-54,9 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 1	AS	D/CS

Die Kategorie *Metallproduktion: Blei* ist keine Hauptkategorie.

Die Bleiproduktion erfolgt in Deutschland aus primären Bleikonzentraten und sekundären Vorstoffen wie bleihaltigen Schrotten oder Blei-Säure-Batterien.

Die Primärbleiproduktion erfolgt in Deutschland ausschließlich durch das Direktschmelzverfahren (DS) im Badschmelzofen (Isasmelt-Ausmelt) oder im QSL-Reaktor. Prozessbedingte CO₂-Emissionen entstehen maßgeblich durch die Zugabe von kohlenstoffhaltigen Reduktionsmitteln (z.B. Kohlenstaub). Das Imperial Smelting Verfahren (ISF) wird in Deutschland nicht mehr angewendet.

Die Sekundärbleiproduktion in Deutschland wird maßgeblich durch die Aufbereitung von Blei-Säure-Batterien bestimmt. Dabei kommt entweder der Kurztrommelofen- oder der Schachtofenprozess zum Einsatz. Prozessbedingte CO₂-Emissionen entstehen maßgeblich durch die Zugabe von kohlenstoffhaltigen Reduktionsmitteln (z.B. Koks).

Die Aktivitätsraten werden dem Umweltbundesamt jährlich durch die Wirtschaftsvereinigung Metalle übermittelt.

4.4.5.2 Methodische Aspekte (2.C.5)

Die verwendeten **Emissionsfaktoren** entstammen den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC (2006): Werte aus Table 4.21) und entsprechen der Tier 1 Methodik. In Deutschland existieren nur das Direktschmelzverfahren (DS) zur Primärbleiproduktion sowie das Sekundärproduktionsverfahren (S).

4.4.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.5)

Es werden Default-Unsicherheiten der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006) verwendet.

4.4.5.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.5)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.4.5.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.5)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Aktivitätsraten stützen sich auf vertrauliche Eigenerhebungen der Wirtschaftsvereinigung Metalle und werden dem Umweltbundesamt jährlich übermittelt. Die Zeitreihe erscheint plausibel und weist keine Inkonsistenzen auf. Es wird davon ausgegangen, dass diese Angaben qualitätsgesichert erhoben werden.

4.4.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.5)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.4.6 Metallproduktion: Zink (2.C.6)**4.4.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.6)**

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2018 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2018
-/-	2 C 6, Zinc Production		CO ₂	670,8	0,1	304,4	0,0	-54,6 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 1	AS	D

Die Kategorie *Metallproduktion: Zink* ist keine Hauptkategorie.

Die Zinkproduktion erfolgt in Deutschland aus primären Zinkkonzentraten und sekundären Vorstoffen wie zinkhaltigen Schrotten oder Stahlwerksstäuben.

Die Primärzinkproduktion erfolgt in Deutschland ausschließlich durch das hydrometallurgische Verfahren. Das pyrometallurgische Imperial Smelting Verfahren (ISF) wird nicht angewendet.

Prozessbedingte Treibhausgasemissionen entstehen in Deutschland vorrangig bei der Sekundärzinkproduktion. Durch die Nutzung von Koks als Reduktionsmittel entstehen vor allem bei der Aufbereitung von zinkhaltigen Sekundärmaterialien im Wälzofen prozessbedingte CO₂-Emissionen.

Die Aktivitätsraten werden dem Umweltbundesamt jährlich durch die Wirtschaftsvereinigung Metalle übermittelt.

4.4.6.2 Methodische Aspekte (2.C.6)

Es wird der CO₂-**Emissionsfaktor** der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC (2006): Default-Faktor) verwendet. Dies entspricht der Tier 1 Methodik.

4.4.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.6)

Es werden Default-Unsicherheiten der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006) verwendet.

4.4.6.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.6)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.4.6.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.6)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Aktivitätsraten stützen sich auf vertrauliche Eigenerhebungen der Wirtschaftsvereinigung Metalle und werden dem Umweltbundesamt jährlich übermittelt. Die Zeitreihe erscheint plausibel und weist keine Inkonsistenzen auf. Es wird davon ausgegangen, dass diese Angaben qualitätsgesichert erhoben werden.

4.4.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.6)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.4.7 Metallproduktion: Sonstige (2.C.7)

Da die CRF-Reporter-Software eine Zuordnung von Lachgasemissionen unter 2.C.1 nicht ermöglicht, werden diese Emissionen stattdessen unter 2.C.7 berichtet. Ansonsten werden in Kategorie 2.C.7 keine Treibhausgasemissionen berichtet; die Kategorie ist nur für andere Schadstoffemissionen relevant.

4.4.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.C.7)

Die unter 2.C.7 berichteten Lachgasemissionen resultieren aus dem Einsatz von Hochofen- und Konvertergas in den Winderhitzern der Hochöfen (Quellgruppe 2.C.1).

Unter diese Kategorie fällt in Deutschland vor allem die Produktion von Kupfer und die Feuerverzinkung. Die beim Feuerverzinken entstehenden Treibhausgasemissionen stammen jedoch ausschließlich aus Prozessfeuerungen und werden folglich unter 1.A.2 berichtet.

Der Hauptteil der Treibhausgasemissionen aus der Kupferindustrie stammt ebenfalls aus Prozessfeuerungen und wird unter 1.A.2.b berichtet. Die Prozessemissionen aus der Feuerraffination im Anodenofen werden ebenfalls unter 1.A.2.b berichtet, da das hierfür eingesetzte Reduktionsmittel Erdgas in der Statistik des produzierenden Gewerbes nicht getrennt von den Prozessfeuerungen erfasst wird. Die nicht aus Prozessfeuerungen stammenden Treibhausgasemissionen sind zudem vergleichsweise sehr gering.

4.4.7.2 Methodische Aspekte (2.C.7)

Die Berechnung der eigentlich 2.C.1 zuzuordnenden Lachgasemissionen erfolgt auf der Basis der statistischen Angaben zum Einsatz von Hochofen- und Konvertergas in den Winderhitzern der Hochöfen sowie eines Emissionsfaktors für Feuerungsanlagen in Deutschland, der im Rahmen eines Forschungsprojekts des UBA (Rentz et al., 2002) ermittelt wurde.

Für andere Treibhausgasemissionen aus 2.C.7 sind keine Emissionsfaktoren vorhanden.

4.4.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.C.7)

Keine Angaben.

4.4.7.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.C.7)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.4.7.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.C.7)

Die Aktivitätsraten stützen sich auf vertrauliche Eigenerhebungen der Wirtschaftsvereinigung Metalle und werden dem Umweltbundesamt jährlich übermittelt. Die Zeitreihe erscheint plausibel und weist keine Inkonsistenzen auf. Es wird davon ausgegangen, dass diese Angaben qualitätsgesichert erhoben werden.

4.4.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.C.7)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.5 Verwendung von nichtenergetischen Produkten aus Brennstoffen und von Lösemitteln (2.D)

4.5.1 Anwendung von Schmiermitteln (2.D.1)

4.5.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.1)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	2 D 1, Lubricant Use		CO ₂	188,4	0,0	208,0	0,0	10,4 %
Gas	Angewandte Methode		Quelle der Aktivitätsdaten		genutzte Emissionsfaktoren			
CO ₂	Tier 2		NS		CS			

Die Kategorie *Anwendung von Schmierstoffen* ist für CO₂-Emissionen keine Hauptkategorie.

Schmierstoffe sollen die Reibung und Beanspruchung bei sich bewegenden Maschinenteilen vermindern. Dabei können sie auch zur Kraft- oder Wärmeübertragung genutzt werden. Auch das Dichten, das Vermeiden von Ablagerungen und der Korrosionsschutz können Anforderungen an Schmierstoffe sein. Die ebenfalls als Schmierstoffe betrachteten Prozessöle werden zudem entweder als Rohstoff- oder als Hilfs- und Betriebsstoff angewendet. Darüber hinaus gibt es noch andere Industrieöle, die auch nicht zum Schmieren eingesetzt werden.

Der Verbrauch an Schmiermitteln in Deutschland ist, abgesehen von einem konjunkturell bedingten Einbruch im Jahr 2009, seit 1990 relativ konstant geblieben..

4.5.1.2 Methodische Aspekte (2.D.1)

Aufgrund unterschiedlicher Berechnungsmethoden erfolgt eine Unterteilung des Schmierstoffeinsatzes in Kraftfahrzeugen einschließlich anderer mobiler Quellen und in der Industrie.

Innerhalb des deutschen Treibhausgas-Inventars werden für sämtliche mobile Quellen CO₂-Emissionen aus der Schmierstoff-Mitverbrennung erfasst. Gemäß den Anforderungen an die Emissionsberichterstattung werden dabei auf Zweitakt-Ottomotoren entfallende Emissionen direkt der jeweiligen Emissionsquelle zugeordnet, da hier der Schmierstoff als Teil des Kraftstoffes (Zweitakter-Gemisch) betrachtet wird. Die Beschreibung der diesbezüglichen Berechnungsmethoden erfolgt in Kapitel 19.1.4. Alle nicht von Zweitaktern verursachten Mitverbrennungs-Emissionen werden dagegen als Produktanwendung betrachtet und zusammen mit den Emissionen aus der stationären Schmierstoffanwendung im industriellen Bereich unter 2.D.1 berichtet.

stationäre Schmierstoffanwendung

Für den Schmierstoffeinsatz in der Industrie werden als Aktivitätsraten die Inlandsablieferungen (Einheit: Tonnen) aus der Statistik „Amtliche Mineralölstatistik für die Bundesrepublik Deutschland“ (Mineralölstatistik) des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) verwendet (Tabelle 10j). In der Statistik wird zwischen folgenden Schmierstoff-Sortengruppen unterschieden:

- Kompressorenöle
- Turbinenöle
- Getriebeöle

- KFZ
 - ATF
 - Industriegetriebeöle
- Hydrauliköle
- Elektroisolieröle
- Maschinenöle
- Andere Industrieöle nicht zum Schmieren
- Prozessöle
- Metallbearbeitungsöle
 - Härteöle
 - Wassermischbare
 - Nicht-wassermischbare
 - Korrosionsschutzöle
- Schmierfette
 - Darunter für KFZ
- Basisöle
- Extrakte aus der Schmierölraffination

Für diese Sortengruppen werden vom BAFA regelmäßig (monats- und jahresspezifische) Absatzzahlen veröffentlicht. Die Zahlen basieren auf Meldungen von Unternehmen. Die meldenden Unternehmen können in der sogenannten Erhebungskreisliste⁷² eingesehen werden.

In den 2006 IPCC Richtlinien wird nicht konkretisiert, welche Emissionsquellen bei der Schmierstoffanwendung berücksichtigt werden müssen. Es können Verluste auf der Inputseite (Befüllung), während der Nutzung und auf der Outputseite (Entnahme) auftreten. Um hier Klarheit zu schaffen und die Genauigkeit der Emissionsberechnung zu erhöhen, wurde ein Sachverständigengutachten in Auftrag gegeben (Zimmermann & Jepsen, 2018). In dem Vorhaben wurden die Sortengruppen einzeln betrachtet und Emissionsfaktoren hergeleitet, die eine Tier2-Methode ermöglichen. Das Gutachten konnte belegen, dass bei den verschiedenen Schmierstoffsortengruppen diverse Arten von Verlusten auftreten, die jedoch nur zum Teil zu Emissionen in die Luft führen.

Typische Verluste auf der Inputseite, also bei der Befüllung am geplanten Einsatzort (d.h. beispielsweise Befüllung KFZ-Motor, Getriebe, Maschinen (-teile)) sind:

- Tropfverluste und sonstige durch das Handling bedingte Verluste sowie
- Restanhaftungen in Gebinden

Mögliche Verluste in der Nutzung sind vielfältig. Sie umfassen:

- Verdampfung
- (Mit-) Verbrennung
- Leckagen
- Export (Betrifft insbesondere Schmierstoffe im KFZ)
- Umwandlung in Produkte
- Anhaftung an Produkten

Auf der Outputseite, bei der Entnahme gebrauchter Schmierstoffe, können folgende Verluste auftreten:

⁷²

http://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/Mineraloel/moel_erhebungskreisliste.xls?sessionid=8F5CC4170FEBC89A69DE21218062873.2_cid378?_blob=publicationFile&v=4

- Tropfverluste und sonstige durch das Handling bedingte Verluste sowie
- Restanhaftungen am Einsatzort

In Bezug auf *gasförmige* Emissionen besonders relevant sind die Freisetzung von Treibhausgasen aus der (Mit-)Verbrennung der Schmierstoffe sowie die Bildung von VOC infolge von Leckagen oder offenen Anwendungen in Abhängigkeit von den jeweils herrschenden Anwendungsbedingungen (insbesondere Temperatur).

Auf Basis der in dem Vorhaben durchgeführten Analysen konnten folgende auf Sortengruppen bezogene Emissionsfaktoren abgeleitet werden:

Tabelle 195: sortengruppenspezifische Emissionsfaktoren für Schmierstoffe, in Prozent

Sortengruppe	Anteilsspanne am Gesamtabsatz ab 1990	Ø	NMVOC	
			Min	Max
Kompressorenöle	≤ 1 %	1,5 %	1 %	2 %
Turbinenöle	< 1 %	0,5 %	0 %	1 %
Kfz-Getriebeöle	5-10 %	1 %	0 %	2 %
Industriegetriebeöle	2-3 %	1,5 %	1 %	2 %
Hydrauliköle	6-15 %	1,5 %	1 %	2 %
Maschinenöle	1-7 %	2,5 %	0 %	5 %
andere Industrieöle, nicht zum Schmieren	2-7 %	25 %	0 %	50 %
Metallbearbeitungsöle	5-9 %	5 %	0 %	10 %
Basisöle	4-16 %	10 %	5 %	15 %
Elektroisolieröle	1-2 %			
Prozessöle	4-20 %			
Schmierfette	2-4 %			
Extrakte aus der Schmierstoffraffination	≤ 5 %			

Die Berechnung der NMVOC-Emissionen erfolgt nach einer Tier 2-Methode, bei der die Emissionsfaktoren auf die gesamte Zeitreihe angewendet werden.

Die NMVOC-Emissionen werden in CO₂-Emissionen umgerechnet, um konform mit den 2006 IPCC Guidelines und der Emissionsberichterstattung der EU zu sein. Dazu wird der gleiche Kohlenstoffgehalt zugrundegelegt, wie für 2.D.3 beschrieben.

Für die Berichterstattung von Luftschadstoffen im *Informative Inventory Report* (IIR) werden die NMVOC-Emissionen unter 2.D.3.i allokiert.

1995 wurden Kategorien in der Mineralölstatistik umgestellt. Drei Sortengruppen, die ab 1995 aufgeführt wurden, gab es vor 1995 in der Mineralölstatistik noch nicht, wohingegen vier andere Kategorien geführt wurden. Dies erfordert eine leichte Anpassung des Vorgehens für die Jahre 1990-1994. In folgender Tabelle sind die betroffenen Kategorien der Jahre 1990-1994 sowie der Umgang mit ihnen in der Berechnung dargestellt.

Tabelle 196: Umgang mit Kategorien der BAFA-Statistik 1990-1994

Kategorie	Anmerkung zum Vorgehen	Emissionsfaktor
Sonstige Schmieröle, spezialisiert Sonstige Schmieröle, unspezialisiert	Es erfolgt eine Berücksichtigung analog zur 1990-1994 fehlenden Sortengruppe „Maschinenöle“, welche verschiedene spezialisierte und unspezialisierte Schmieröle umfasst.	2,5 %
Sonstige mineralische Öle für besondere Anwendungszwecke	Diese Kategorie umfasst keine Öle zum Schmieren. Es erfolgt eine Berücksichtigung analog zu 1990-1994 fehlenden Kategorie „Andere Industrieöle nicht zum Schmieren“.	25 %
Helle Weichmacher und Extenderöle	Extenderöle und Weichmacher sind den Prozessölen zuzuordnen. Es erfolgt eine entsprechende Berücksichtigung.	0 %

mobile Schmiermittelanwendung

Da hinsichtlich der Schmierstoff-Mitverbrennung in Viertakt-Ottomotoren sowie sonstigen Motoren in mobilen Quellen nur unvollständige Daten zu insgesamt eingesetzten Schmierstoffmengen vorliegen, werden die mitverbrannten Mengen weitestgehend auf Basis von Angaben des *Verbandes der Schmierstoff-Industrie e. V. (VSI)* aus den eingesetzten Kraftstoffmengen berechnet Wallfarth (2014).

Gemäß Wallfarth (2014) werden in den verschiedenen Einsatzbereichen folgende auf die jeweils eingesetzten Kraftstoffmengen bezogenen Mitverbrennungsanteile erreicht:

Tabelle 197: Übersicht der verwendeten spezifischen Mitverbrennungsanteile

Sektor	Kraftstoff	Anteil	Quelle / Anmerkung
1.A.2.g vii	OK	0,00 %	Annahme, basierend auf Wallfarth (2014)
	DK	0,10 %	
1.A.3.a, 1.D.1.a, 1.A.5.b ii	Ke & FB	0,01 %	Flugbenzin: analog zu Kerosin
1.A.3.b	alle	-	Berechnung anhand TREMOD
1.A.3.c	DK	0,05 %	
1.A.3.d, 1.D.1.b, 1.A.4.c iii, 1.A.5.b iii	DK & HOS	0,15 %	Schweröl: analog zu Diesel
1.A.4.a ii	DK	0,10 %	analog zu 1.A.3.b
	LPG	0,10 %	
1.A.4.b ii	OK	0,00 %	Annahme, basierend auf Wallfarth (2014)
	DK	0,10 %	
1.A.4.c ii (i)	OK	0,00 %	Annahme, basierend auf Wallfarth (2014)
	DK	0,10 %	
1.A.4.c ii (ii)	DK	0,10 %	analog zu 1.A.3.b
	OK	0,00 %	
1.A.5.b i	OK	0,00 %	Annahme, basierend auf Wallfarth (2014)
	DK	0,15 %	
	HOS	0,15 %	

OK: Ottokraftstoffe (inkl. Bioethanol), nur Viertakter; DK: Dieselmotoren (inkl. Biodiesel), Ke: Kerosin; FB: Flugbenzin; HOS: Schweröl; LPG: Flüssiggas

Anhand der in den einzelnen Sektoren in Nicht-Zweitaktern eingesetzten Energiemengen und der oben genannten Mitverbrennungsanteile werden die Mengen mitverbrannter Schmierstoffe ermittelt, aus denen wiederum über den einheitlichen Emissionsfaktor von 73.300 kg CO₂ / TJ die sektorspezifischen Kohlendioxid-Emissionen aus der unbeabsichtigten Schmierstoff-Mitverbrennung berechnet werden.

Tabelle 198: Kohlendioxid aus unbeabsichtigt in mobilen Nicht-Zweitaktmotoren mitverbrannten Schmierstoffen, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1.A.2.g vii	3,52	3,32	3,27	2,80	3,01	3,09	3,06	3,11	3,28	3,38	3,50	3,59	3,34	3,36
1.A.3.a	0,24	0,21	0,26	0,25	0,23	0,21	0,22	0,20	0,20	0,20	0,21	0,22	0,22	0,22
1.A.3.b	86,1	104,0	114,5	117,6	121,3	123,3	123,4	124,4	126,9	128,8	130,7	132,3	133,0	134,0
1.A.3.c	1,41	1,14	0,93	0,68	0,57	0,58	0,53	0,53	0,48	0,51	0,53	0,44	0,37	0,37
1.A.3.d	5,31	4,17	2,99	2,83	2,45	2,52	2,53	2,55	2,70	3,01	2,50	2,78	2,68	2,80
1.A.4.a ii	0,78	0,73	0,80	0,79	0,79	0,79	0,76	0,75	0,76	0,76	0,79	0,80	0,76	0,75
1.A.4.b ii	hier nur Einsatz von Zweitakttern (siehe Kapitel 19.1.4)													
1.A.4.c ii	4,10	3,37	3,21	3,14	3,52	3,57	3,50	3,66	3,81	4,01	4,16	4,29	4,06	4,12
1.A.4.c iii	0,08	0,05	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,15	0,16	0,32
1.A.5.b i	1,65	0,88	0,15	0,38	0,12	0,07	0,11	0,08	0,08	0,07	0,07	0,05	0,03	0,03
1.A.5.b ii	0,28	0,12	0,07	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03
1.A.5.b iii	0,11	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04
Summe	104	118	126	129	132	134	134	135	138	141	143	145	145	146
1.D.1.a	1,19	1,50	1,92	2,28	2,42	2,33	2,50	2,55	2,46	2,46	2,65	2,90	2,99	2,96
1.D.1.b	8,93	7,61	8,21	9,91	11,39	11,22	10,31	9,21	8,94	9,50	11,54	8,68	6,09	4,31

Quelle: eigene Berechnungen

4.5.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.1)

Die Unsicherheiten der sortengruppenspezifischen Emissionsfaktoren für die industriellen Schmierstoffanwendungen ergeben sich aus den Spannbreiten der Emissionsfaktoren in Tabelle 195.

Für die Unsicherheiten der Aktivitätsraten werden durch Expertenschätzung im Rahmen des Gutachtens aufgrund von ausgewerteten Fehlmeldungen in der Mineralölstatistik 5 % angenommen.

4.5.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.1)

Für die *stationären* Schmierstoffanwendungen war eine Rückrechnung für das Jahr 2011 wegen Übertragungsfehler in der Datenbank erforderlich.

Bei den *mobilen* Schmierstoffanwendungen kam es gegenüber Submission 2020 zu einer Revision der ungewollt mitverbrannten Schmierstoffmengen.

Tabelle 199: revidierte ungewollt mitverbrannte Mengen, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Subm. 2021	1.413	1.611	1.723	1.754	1.802	1.831	1.831	1.847	1.887	1.922	1.945	1.974	1.973
Subm. 2020	1.413	1.611	1.722	1.751	1.802	1.832	1.831	1.848	1.881	1.914	1.947	1.968	1.974
Änd. absolut	0,18	-0,12	0,61	3,28	0,07	-0,85	-0,76	-1,41	5,98	8,27	-1,55	5,05	-1,30
Änd. relativ	0,01%	-0,01%	0,04%	0,19%	0,00%	-0,05%	-0,04%	-0,08%	0,32%	0,43%	-0,08%	0,26%	-0,07%

Quelle: TREMOD und TREMOD MM

Die CO₂-Emissionen aus dieser ungewollten Mitverbrennung wurden entsprechend revidiert.

Tabelle 200: revidierte CO₂-Emissionen aus ungewollter Mitverbrennung, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Subm. 2021	104	118	126	129	132	134	134	135	138	141	143	145	145
Subm. 2020	104	118	126	128	132	134	134	135	138	140	143	144	145
Änd. absolut	0,01	-0,01	0,04	0,24	0,01	-0,06	-0,06	-0,10	0,44	0,61	-0,11	0,37	-0,10
Änd. relativ	0,01%	-0,01%	0,04%	0,19%	0,00%	-0,05%	-0,04%	-0,08%	0,32%	0,43%	-0,08%	0,26%	-0,07%

Quelle: eigene Berechnungen

Die Gesamtmenge der indirekten (berechnet aus freigesetzten NMVOC) und direkten Kohlendioxid-Emissionen (aus der unbeabsichtigten Mitverbrennung) hat sich wie folgt geändert:

Tabelle 201: revidierte CO₂-Emissionen aus stationärer und mobiler Anwendung, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Subm. 2021	188,3	179,7	190,5	185,8	192,8	185,6	194,2	198,5	224,3	217,0	222,5	231,9	224,7
Subm. 2020	188,3	179,7	190,5	185,5	192,8	185,6	194,2	198,6	223,9	216,4	222,6	231,5	224,8
Änd. absolut	0,01	-0,01	0,04	0,24	0,01	-0,06	-0,06	-0,10	0,44	0,61	-0,11	0,37	-0,10
Änd. relativ	0,01%	0,00%	0,02%	0,13%	0,00%	-0,03%	-0,03%	-0,05%	0,20%	0,28%	-0,05%	0,16%	-0,04%

Quelle: eigene Berechnungen; stationäre Anwendung: indirektes CO₂, berechnet aus freigesetztem NMVOC

4.5.1.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.1)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

stationäre Schmiermittelanwendung

Im zuvorgenannten Gutachten wurden die neu ermittelten Emissionsfaktoren mit den Emissionsfaktoren der 2006 IPCC Guidelines und des EMEP Guidebooks sowie den in der norwegischen und schweizerischen Berichterstattung verwendeten Emissionsfaktoren verglichen.

Zur Validierung der Aktivitätsrate wurde in dem Gutachten die Eignung der Produktions- und Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamtes untersucht, welche neben der Mineralölstatistik auch periodisch Angaben zur Schmierstoffproduktion in Deutschland sowie zu Importen und Exporten enthält. Die Untersuchung hat ergeben, dass die Daten zur Schmierstoffinverkehrbringung, die sich anhand von Produktions- und Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamtes ermitteln lassen, weder zur Validierung der Mineralölstatistik noch zur Berechnungen der Emissionen aus Schmierstoffanwendungen genutzt werden können, weil die Daten auch relevante Mengen zum Einsatz in unternehmensinterner Weiterverarbeitung beinhalten, welche nicht in Schmierstoffanwendungen im Sinne der Emissionsberichterstattung resultieren.

Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse erfolgt unter der Genfer Luftreinhaltekonvention im Informative Inventory Report.

4.5.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.1)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.5.2 Anwendung von Paraffinwachsen (2.D.2)

4.5.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.2)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	2 D 2, Paraffin Wax Use		CO ₂	242,7	0,0	427,9	0,1	76,3 %
-/-	2 D 2, Paraffin Wax Use		N ₂ O	0,7	0,0	1,2	0,0	76,3 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 1	NS	D
N ₂ O	Tier 1	NS	D

Die Kategorie *Anwendung von Paraffinwachsen* ist keine Hauptkategorie.

Die wesentliche Anwendung von Wachsen erfolgt in Kerzen, daneben stellen noch Verpackungen und synthetisches Holz sowie Heißklebstoffe bedeutende Anwendungsgebiete dar.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens (Zimmermann & Jepsen, 2018) konnte durch Befragung von Branchenexperten die Annahme bestätigt werden, dass außer Kerzen keine anderen Wachsenwendungen für die Emissionsberichterstattung relevant sind, weil außer beim Kerzenabbrand unter den Anwendungsbedingungen mit keinen Emissionen zu rechnen ist. Es werden darum im Inventar weiterhin nur die Wachsenwendungen in Kerzen berücksichtigt. In dem Forschungsvorhaben wurden auch zwei Studien aus den Jahren 2002 und 2010 ausgewertet, die die Anteile nachwachsender Rohstoffe in Kerzen auf 15 % (Matthäi & Petereit, 2004) bzw. 22 % (Matthäi et al., 2010) beziffern. Die nachwachsenden Rohstoffe umfassen neben Bienenwachs (2 %) auch pflanzliche und tierische Fette (12 %) sowie Stearine (8 %), die vorrangig aus Palmölen gewonnen werden.

Deutschland ist ein bedeutender Markt für Kerzen innerhalb der Europäischen Union. 2016 belief sich der Marktanteil auf knapp 27 % (European Candle Association, 2017) Im Gegensatz zum europäischen Trend wuchs der Bedarf in Deutschland von 1990 bis 2013. Der zunehmende Bedarf wurde durch Importe gedeckt. Seit 2013 sinkt die Produktion deutlich und wird nicht durch steigende Importe aufgefangen.

4.5.2.2 Methodische Aspekte (2.D.2)

Dem Berechnungsmodell liegen die Annahmen zugrunde, dass alle Kerzen innerhalb eines Jahres verbraucht und vollständig verbrannt werden.

Die Berechnungen der CO₂ und N₂O-Emissionen erfolgen nach einer Tier 1 Methode.

Aktivitätsraten

Die Produktionsmengen sowie die Import- und Exportmengen an Kerzen für die Jahre ab 1996 entstammen dem Statistischen Bundesamt (Statistisches Bundesamt (FS 4, R 3.1), Produzierendes Gewerbe, Produktion im Produzierenden Gewerbe sowie der Außenhandelsstatistik).

Die Berechnung der Verbrauchsmenge erfolgt gemäß Produktion + Import – Export. Für die Bestimmung der C₂O-Emissionen wird noch ein fester biogener Anteil von 15% abgezogen, wohingegen die N₂O-Emissionen auch den biogenen Anteil umfassen. Die Verbrauchsmenge im Jahr 2019 betrug 170.854,3 t Wachs inkl. biogenem Anteil.

Für die Jahre 1990 bis 1995 erfolgt die Berechnung der Verbrauchsmenge über den ProKopf-Verbrauch, der aus den Jahren 1996 bis 2013 abgeleitet wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass auch in diesen Jahren der Verbrauch linear gestiegen ist.

Emissionsfaktoren

Der Emissionsfaktor für CO₂ beträgt 2,9467 t/t Produkt und für N₂O 0,024 kg/t Produkt.

Zur Herleitung der Emissionsfaktoren, die auf die gesamte Zeitreihe angewendet werden, wurde auf Standardwerte zurückgegriffen (IPCC (2006): Vol. 2 Chapter 1 table 1.2 und IPCC, 2006: Vol. 2, Ch. 2 Tab. 2.4).

4.5.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.2)

Da eine Tier 1 Methode mit Standardwerten der 2006 IPCC Guidelines angewendet wird, gelten auch die entsprechenden Unsicherheiten für Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren (IPCC (2006): Vol. 3, Ch- 5).

Aufgrund des festen biogenen Anteils für alle Jahre wird die Unsicherheit für die Aktivitätsrate auf +30%/-10% geschätzt.

4.5.2.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.2)

Für 2018 war eine Korrektur der CO₂ und N₂O-Emissionen notwendig, da sich Anpassungen der Außenhandelsstatistik ergaben. Die Anwendungsmengen stiegen aber nur um 0.38 % für das Jahr und dementsprechend auch die CO₂- und N₂O-Emissionen. Auf eine tabellarische Darstellung wird aufgrund der Geringfügigkeit der Änderungen verzichtet.

4.5.2.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.2)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der Import-, Export- und Produktionsmengen als Grundlage zur Verifikation der Verbrauchsmengen stehen national außer den von Statistischen Bundesamt zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Quellen zur Verfügung. Soweit die amtliche Mineralölstatistik die Anwendung in Kerzen nicht extra aus. Und der europäische Kerzenverband ECA (European candle association) greift auf die Daten von EUROSTAT zurück. Ein Vergleich mit den Daten von EUROSTAT wurde durchgeführt.

Ein Vergleich mit den Berechnungsmethoden anderer Länder wurde im Rahmen der Berichterstattung 2018 durchgeführt. Unterschiede konnten nur in der Erfassung der Wachsmengen festgestellt werden.

4.5.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.2)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.5.3 Sonstige: Lösemittel - NMVOC (2.D.3 Lösemittel)

4.5.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Lösemittel)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	2 D 3, Other		CO ₂	2.552,0	0,2	1.391,0	0,2	-45,5 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	D	NS	D
NMVOC	Tier 2	NS	CS

Die Kategorie indirektes CO₂ aus NMVOC-Emissionen aus dem Bereich *Lösemittel und andere Produktverwendung* (CRF 2.D.3) ist aufgrund der Einordnung der übergeordneten Kategorie 2.D.3 - *Weitere* keine Hauptkategorie.

Für die Berichterstattung 2021 konnte der NIR aufgrund personeller Engpässe nicht überarbeitet werden. Für die Emissionsdaten des Jahres 2019 wurden die Werte des Jahres 2018 fortgeschrieben.

Die aus dem Gebrauch von Lösemitteln oder aus der Anwendung lösemittelhaltiger Produkte freigesetzten NMVOC-Emissionen entstammen allen Subgruppierungen dieser Quellgruppe.

Um der sehr heterogenen Struktur dieser Kategorie bei der Datenermittlung besser gerecht zu werden, werden für die Berechnung der Inventardaten die UNECE/EMEP Substrukturen verwendet, die auf der CORINAIR97 (CORINAIR: COordination d' INFORMATION Environmentale; Teilprojekt AIR) SNAP-Systematik⁷³ basieren.

Für die Kategorien 2.D.3.a, d, e, f, g, h, i werden folgende Anwendungen bzw. Aktivitäten einbezogen:

2.D.3.a: Häusliche Verwendung von Lösemitteln inklusive Fungizide

i) Häusliche Verwendung von Lösemitteln

- **Seifen**
- **Waschmittel, Spülmittel und Reiniger** (Weichspüler; Universalwaschmittel; Waschmittel; Waschhilfsstoffe; Geschirrspülmittel; Reinigungsmittel für Fußbodenbeläge und Teppiche; Autowaschmittel; Fensterputzmittel; WC-Reinigungsmittel);
- **Schuhcreme, Schuh- und Lederpflegemittel, Möbel- und Bohnerwachs; Lackpflegemittel für Autos**
- **Zubereitungen zum Polieren von Metall**
- **Duftstoffe** (für Räume, Parfüme, Toilettenwässer, Aftershave)
- **Kosmetika und Schminkmittel** (Make-up; Zubereitungen zur Hand-, Nagel- und Fußpflege; Gesichtspflegemittel; Körperpflegemittel; Sonnenschutzmittel und andere Zubereitungen)
- **Haarwaschmittel und Haarpflegeprodukte** (Shampoos; Dauerwell- und Entkrausungsmittel; Haarsprays; Haarcremes und Brillantine; Tönungsshampoo, Haarfärbemittel, Haarbleichmittel und andere Pflegeprodukte)
- **Andere persönliche Pflegeprodukte** (Rasiercremes; Körperdesodorierungs- und Antitranspirationsmittel; Badeessenzen; Zubereitungen zur Körperintimpflege, Haarentfernungsmittel, Schönheitsmittel und anderes)
- **Kfz-Frostschutz**

ii) Häusliche Verwendung von pharmazeutischen Produkten

2.D.3.d: Anwendung von Farben und Lacken

i) Dekorative Farben und Lacke, Bautenanstrichmittel

- **Kfz-Reparatur**
- **Professionelle Anwendungen von Farben und Lacken in Konstruktionen und Gebäuden** (Dispersionsfarben innen; Fassadenfarben / Silikat; Kunstharzputze / Silikat; Bautenlacke / Lasuren; Grundierungen / Überzüge; andere Anwendungen)
- **Do-it-yourself Anwendungen von Farben und Lacken in Konstruktionen und Gebäuden** (Dispersionsfarben innen; Fassadenfarben / Silikat; Kunstharzputze / Silikat; Bautenlacke / Lasuren; Grundierungen / Überzüge; andere Anwendungen)
- **Holzbeschichtungen** (Holzinnenausbau; Schreinerarbeiten)

ii) Industrielle Beschichtungen

- **Kfz-Herstellung** (Grundierung, Füller, Deck- und Klarlacke)
- **Kfz-Reparatur von Nutzfahrzeugen und sonstigen Fahrzeugen**
- **Spulenbeschichtung**
- **Beschichtungen im Schiffsbau**
- **Holzbeschichtungen** (Möbel)

⁷³ hier in der Detaillierung des sogenannten SNAP Level 3

- **Andere industrielle Beschichtungen** (Lackspray (ohne Treibgas); Elektro / Haushalt; Maschinenbau; Autozubehör / Metall; Metallwaren, Blechemballagen; Drahtlacke; Tränk- und Gießmittel; Bauelemente ohne Bandbeschichtung; Kunststoffe; Papier / Folie; Übrige Verarbeitung)

iii) Andere nichtindustrielle Farbbeschichtungen

(Markierungsfarben; Korrosionsschutz; Anderes)

2.D.3.e Entfettung

- **Metallentfettung**
- **Herstellung von Elektronikkomponenten**
- **Andere industrielle Reinigung** (Feinmechanik, Optik, Herstellung von Uhren)

2.D.3.f Chemische Reinigung

- **Chemische Reinigung**

2.D.3.g Herstellung und Verarbeitung von chemischen Produkten

- **Verarbeitung von Polyester**
- **Verarbeitung von Polyvinylchlorid**
- **Verarbeitung von Polyurethan**
- **Verarbeitung von Polystyrolschaum**
- **Gummi-Verarbeitung** (Reifenherstellung)
- **Herstellung von pharmazeutischen Produkten**
- **Herstellung von Farben und Lacken**
- **Herstellung von Druckfarben und Tinten**
- **Herstellung von Klebstoffen**
- **Asphalt blasen**
- **Herstellung von Haftmaterialien, Magnetbändern, Filmen und Fotografien**
- **Herstellung von lösemittelhaltigen Produkten**
 - Herstellung von Holzschutzmitteln
 - Herstellung von Baustoffadditiven
 - Herstellung lösemittelhaltiger Konsumgüter
 - Herstellung von Oberflächenreinigungsmitteln
 - Herstellung von Frostschutz- und Enteisungsmitteln
 - Herstellung von Be- und Entwachungsmitteln
 - Herstellung von Abbeizmitteln

2.D.3.h Druckindustrie-Druckanwendungen

- **Coldset-Offsetdruck** (Zeitungsdruck)
- **Bogenoffsetdruck** (konventionell, UV-basiert)
- **Heatset-Offsetdruck**
- **Endlos-Offsetdruck**
- **Buchdruck**
- **Verpackungs-Flexodruck** (lösemittelbasiert, wasserbasiert)
- **Verpackungs-Tiefdruck** (lösemittelbasiert, wasserbasiert)
- **Illustrationstiefdruck**
- **Siebdruck**
- **Andere Druckanwendungen**
- **Farben für Kunstmaler in Zusammenstellungen**

- Farben für Kunstmaler, nicht in Zusammenstellungen
- Tinte und Tusche zum Schreiben oder Zeichnen u. ä., auch konzentriert oder in fester Form (ohne Druckfarben)

2.D.3.i: Andere Anwendungen

- **Behandlung von Glas- und Mineralwolle**
- **Extraktion von Ölen und Fetten**
- **Anwendung von Klebstoffen und Haftmaterialien** (Papier und Verpackung; Bau, Holz; Transport; Schuhe; Heimwerkeranwendungen; anderes)
- **Anwendung von Holzschutzmitteln**
- **Anwendung von Unterbodenschutz und Fahrzeugkonservierung**
- **Entwachsen von Fahrzeugen**
- Sonstige
 - Verwendung von Pflanzenschutzmitteln
 - Abbeizen mit Dichlormethan
 - Entlackung (fehlbeschichtete Aluminiumteile, Stahlteile und Stahlgehänge)
 - Betonzusatzmittel
 - Enteisung (Flugzeuge; Betriebsflächen; Sonstiges)
 - Wissenschaftliche Laboratorien

Auf Grundlage der Ergebnisse eines Sachverständigengutachtens aus dem Jahr 2018 werden die NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Metallbearbeitungsölen (Kühlschmierstoffe) sowie sonstigen Schmierstoffen (Industrieschmierstoffe) nicht mehr unter der Quellkategorie 2.D.3.i. – „Andere Anwendungen - Sonstige“ berichtet. Wir berücksichtigen diese beiden Quellgruppen zusammen mit den Emissionen aller weiteren Schmierstoffanwendungen – mit Ausnahme der verkehrsbezogenen - unter der Quellkategorie 2.D.1. „Anwendung von Schmiermitteln“.

Für die Definition von „NMVOC“ wird auf die VOC-Definition der EG-Lösemittelrichtlinie (European Parliament and Council of the European Union, 2010) zurückgegriffen⁷⁴. Zur Konkretisierung des Begriffes „Lösemittelanwendung“ (solvent use) wird für die Lösemitteldefinition ebenfalls auf die EG-Lösemittelrichtlinie zurückgegriffen⁷⁵.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass einige dieser flüchtigen organischen Verbindungen sowohl als Lösemittel als auch als chemische Reaktionskomponente eingesetzt werden, z. B. Toluol - als Lösemittel in Lacken und Klebstoffen und als Reaktionskomponente bei der Herstellung von Toluoldiisocyanat (TDI) - oder Methylethylketon (Butanon) - als Lösemittel in Druckfarben und als Ausgangsmaterial bei der Synthese von Methylethylketonperoxid. VOC (genauer Stoffe oder Mengenteile von Stoffen oder Produkten), die als chemische Reaktionskomponente eingesetzt werden, werden dementsprechend in dieser Kategorie nicht betrachtet.

Durch die skizzierte Abgrenzung der Kategorie wird ein sehr heterogenes Feld von emissionsverursachenden Vorgängen einbezogen. Dies gilt für:

⁷⁴ Demnach sind flüchtige organische Verbindungen (VOC) alle organischen Verbindungen, die bei 293,15 K einen Dampfdruck von mindestens 0,01 kPa oder unter den entsprechenden Gebrauchsbedingungen eine entsprechende Flüchtigkeit haben.

⁷⁵ Demnach ist ein organisches Lösemittel eine flüchtige organische Verbindung, die, ohne sich chemisch zu verändern, alleine oder in Kombination mit anderen Stoffen Rohstoffe, Produkte oder Abfallstoffe auflöst oder als Reinigungsmittel zur Auflösung von Verschmutzungen, als Lösungsmittel, als Dispersionsmittel oder als Mittel zur Einstellung der Viskosität oder der Oberflächenspannung oder als Weichmacher oder Konservierungsmittel verwendet wird.

- den Anteil und die Flüchtigkeit der eingesetzten VOC.
(Die Spannbreite reicht von der Verwendung von leichtflüchtigen Einzelstoffen als Lösemittel z.B. bei Reinigungsvorgängen über den Einsatz von Produkten mit Lösemittelgemischen z.B. in Farben & Lacken bis zu Anwendungen, in denen nur kleine Teile der Zubereitung (auch) Lösemittelleigenschaft haben, wie dies z.B. bei der Polystyrolschaumherstellung der Fall ist.)
- die sehr unterschiedlichen Emissionsbedingungen.

Lösemittelleinsätze können umweltoffen (wie bei der Verwendung von Kosmetika) bis weitgehend geschlossen (wie bei der Extraktion von nativen Ölen oder in Anlagen zur chemischen Reinigung) sein.

4.5.3.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Lösemittel)

Die Berechnung der NMVOC-Emissionen erfolgt auf der Basis eines produktverbrauchsorientierten Ansatzes. Dabei werden die NMVOC-Einsatzmengen, die über Lösemittel oder lösemittelhaltige Produkte zu diesen Quellkategorien zugeordnet werden, ermittelt und daraus über (für jede Quellkategorie) spezifische Emissionsfaktoren die NMVOC-Emissionen berechnet. Diese Methodik ist unter der Bezeichnung „consumption-based emissions estimating“ explizit als eine von zwei für die Emissionsberechnung dieser Kategorie anzuwendenden Methoden aufgeführt.

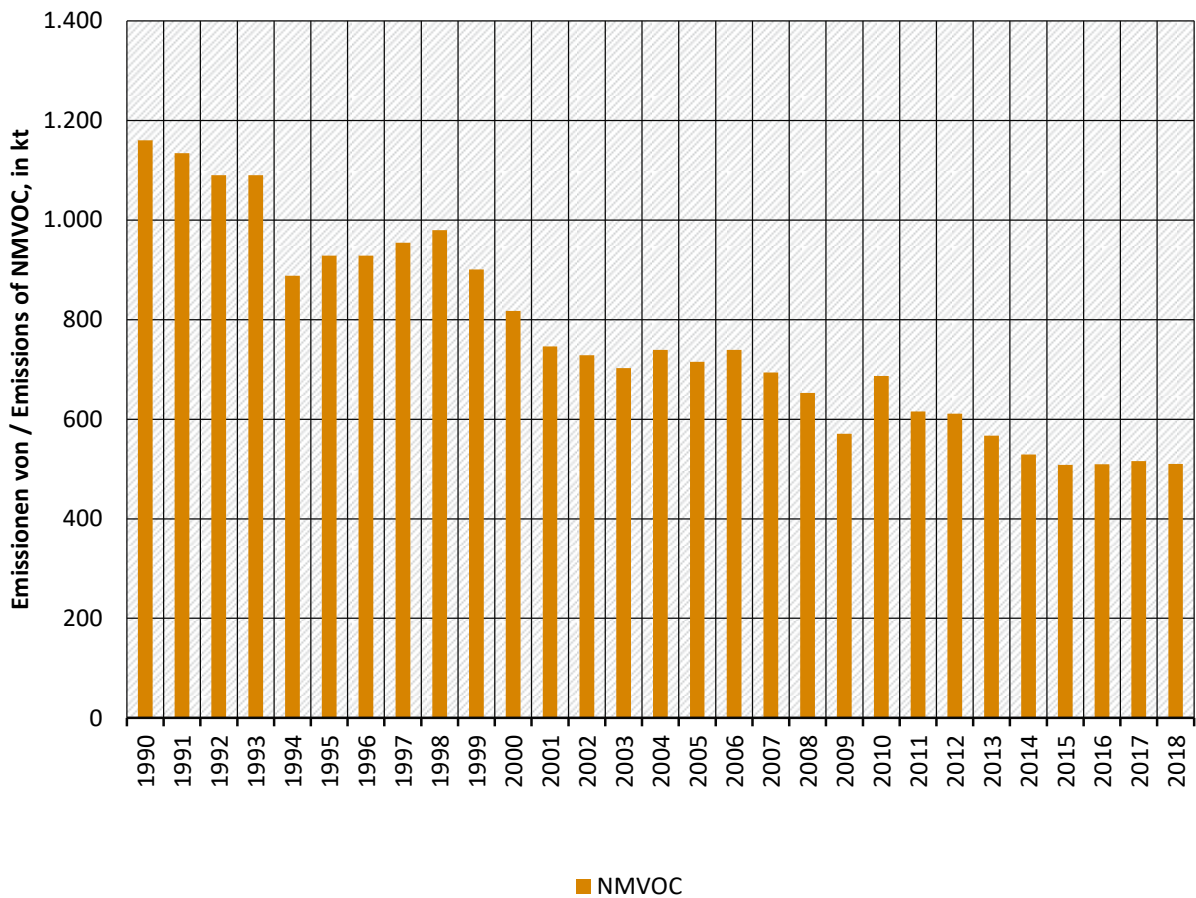
Die Methodik erfordert - differenziert nach den Quellkategorien - belastbare Informationen über die folgenden Eingangsgrößen:

- die im Berichtsjahr eingesetzten Mengen an VOC-haltigen (Vor-) Produkten und Hilfsmitteln,
- den VOC-Gehalt dieser Produkte (Stoffe und Zubereitungen),
- die jeweiligen Anwendungs- und Emissionsbedingungen (bzw. den daraus resultierenden spezifischen Emissionsfaktor).

Um der sehr heterogenen Struktur innerhalb der Kategorie gerecht zu werden, werden die Eingangsgrößen nach 37 differenzierten Verursacherprozessen (wie oben aufgeführt, analog zu CORINAIR SNAP Level 3) bestimmt und die errechneten NMVOC-Emissionen anschließend aggregiert. Die eingesetzten Produkt-/Stoffmengen werden auf der Ebene von Produktgruppen unter Verwendung der Produktions- und der Außenhandelsstatistik ermittelt. Wo möglich, werden die so ermittelten Inlandsverbrauchsmengen durch den Abgleich mit Branchenstatistiken weiter verifiziert.

Für die durchschnittlichen VOC-Gehalte der Einsatzstoffe sowie die Emissionsfaktoren werden Werte angesetzt, die auf Expertenschätzungen (Fachgutachten und Branchendialoge) für die einzelnen Kategorien oder Kategorienbereiche basieren. Für die Berechnung der NMVOC-Emissionen des jeweils aktuellsten Jahres liegen die benötigten statistischen Basisangaben noch nicht abschließend vor, so dass für die aktuelle Berichterstattung zunächst die für das Vorjahr ermittelten Daten als Grundlage für eine Prognose verwendet werden. Die Prognose der NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelverwendung für das aktuellste Jahr wird auf der Grundlage der spezifischen Aktivitätsentwicklungen errechnet. Sobald die statistischen Basisdaten für das jeweils aktuellste Jahr in der endgültigen Fassung vorliegen, werden damit die Inventardaten der NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelverwendung neu berechnet.

Seit 1990 sind die NMVOC-Emissionen aus der Verwendung von Lösemitteln und lösemittelhaltigen Produkten insgesamt um 50% zurückgegangen.

Abbildung 42: NMVOC-Gesamtemissionen aus lösemittelbasierten Produkten und Anwendungen (2.D.3.a,d-i)

Der Schwerpunkt der Emissionsminderung lag in den Jahren 1999 bis 2009. Zu diesem Minderungserfolg trugen insbesondere ordnungsrechtliche Regelungen wie die *Chemikalienrechtliche Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) durch Beschränkung des Inverkehrbringens lösemittelhaltiger Farben und Lacke (Lösemittelhaltige Farben- und Lack-Verordnung - ChemVOCFarbV)*, die 31. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (*Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen – 31. BImSchV*) und die 2. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (*Verordnung über Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen – 2. BImSchV*) sowie die TA Luft bei. Aber auch das deutsche Umweltzeichen „Blauer Engel“, in dessen Rahmen unter anderem lösemittelarme Lacke, Wandfarben oder Klebstoffe ausgezeichnet werden, hat daran einen wichtigen Anteil.

Obwohl in einzelnen Bereichen teilweise für mehrere Jahre sogar erhöhte Produkteinsatzmengen zu verzeichnen waren, die sich dort entsprechend emissionssteigernd auswirkten, konnte durch die oben beschriebenen Maßnahmen diese Entwicklung weitgehend ausgeglichen werden. Diese Erfolge gelangen insbesondere in den letzten Jahren und spiegeln sich in den aktualisierten Emissionsberechnungen wieder, die im Rahmen der Methodenoptimierung weiter differenzierte VOC-Gehalte und Emissionsfaktoren berücksichtigen konnten.

Seit der Berichterstattung 2009 werden die indirekten CO₂-Emissionen aus NMVOC berechnet.

Da der methodische Hintergrund für die Umrechnung der NMVOC-Emissionen in indirekte CO₂-Emissionen vor allem die Kompatibilität zur Emissionsberichterstattung der EU ist, haben wir für die Berichterstattung den in Vol 3, *Chapter 7 Precursors and Indirect Emissions* der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories vorgeschlagenen Referenzansatz verwendet:

$$EM_{\text{indirektes CO}_2} = EM_{\text{NMVOC}} * \text{Molmasse CO}_2 / \text{Molmasse C} * 60 \%$$

Im Rahmen von Expertengutachten und von Fachgesprächen mit den betroffenen Branchen in den Jahren 2013, 2015 und 2017 konnten die Lösemittelgehalte von verschiedenen Lacken, Beschichtungstoffen und Druckfarben dem aktuellen Stand der Technik angepasst und damit verringert werden. Ebenso konnten die NMVOC-Emissionen aus der Anwendung von Metallbearbeitungsölen (Kühlschmierstoffe) sowie sonstigen Schmierstoffen (Industrieschmierstoffe) einer anderen Kategorie (2.D.1. „Anwendung von Schmiermitteln“) zugeordnet werden (siehe Kapitel 4.5.3.1).

Eine ausführlichere Darlegung der Methodik und Analyse der Trends von NMVOC-Emissionen aus lösemittelhaltigen Produkten und Anwendungen liegt im Informative Inventory Report (IIR)⁷⁶ vor.

4.5.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Lösemittel)

Für die NMVOC-Emissionen liegt zum Berichtszeitpunkt eine Fehlerbetrachtung auf der Basis von Expertenschätzungen für alle Eingangsgrößen (in allen 37 differenzierten Quellbereichen) nach der Methode der Fehler-Fortpflanzung vor. Die bestehenden Unsicherheiten liegen derzeit vor allem in der mangelnden Trennschärfe der Basis-Statistiken (Produktions- und Außenhandelsstatistik) in Hinblick auf die Unterteilung in VOC-haltige und VOC-freie Produkte sowie in Bezug auf die Verwendung in verschiedenen Quellbereichen mit sehr unterschiedlichen Emissionsbedingungen.

Für eine Konsistenzprüfung des Inventars wurden im Rahmen eines Sachverständigengutachtens eine Dokumentation der Datenbasis und der Berechnungsmethoden für die 37 SNAP Codes vorgenommen; die Zeitreihen der Emissionen ab dem Jahr 2005 wurden in Bezug auf größere Sprünge (>10 % von Jahr zu Jahr) hin geprüft und eine Ursachenanalyse vorgenommen. Für alle identifizierten Sprünge konnten dabei die Ursachen nachvollzogen werden. Im Ergebnis konnten wir keine Inkonsistenzen in den Zeitreihen feststellen.

4.5.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Lösemittel)

Aufgrund derzeit fehlender Fachzuständigkeiten, konnte keine Qualitätskontrolle/Qualitätssicherung durch Quellgruppenexperten durchgeführt werden - eine Wiederaufnahme dieser Tätigkeiten wird angestrebt. Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, erfolgte durch die Nationale Koordinierungsstelle - Daten wurden fortgeschrieben.

4.5.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Lösemittel)

Die im Emissionsinventar verwendeten Daten für die NMVOC-Emissionen des vorangehenden Jahres werden routinemäßig einer quellenspezifischen Rückrechnung unterzogen. Diese Vorgehensweise ist in der Methodik des produktverbrauchsorientierten Ansatzes begründet und

⁷⁶ Informative Inventory Report – Germany <http://iir.umweltbundesamt.de>

notwendig, da die endgültigen Daten der Außenhandelsstatistik erst nach Abschluss der Berichterstattung des betreffenden Berichtsjahres vorliegen.

Für die NMVOC-Emissionen des Jahres 2017 waren Korrekturen nur in geringem Maße notwendig aufgrund der entsprechenden Anpassungen / Aktualisierungen der Außenhandelsstatistik.

4.5.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Lösemittel)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.5.4 Sonstige: Verwendung von Bitumen zur Dachdeckung (2.D.3 Bitumen)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
NMVOC	Tier 1	AS	CS
CO ₂	NE	NE	NE

Die Kategorie *Verwendung von Bitumen zur Dachdeckung* weist nach derzeitigem Kenntnisstand keine Emissionen an Treibhausgasen auf⁷⁷ und ist somit keine Hauptkategorie.

4.5.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Bitumen)

Die Verwendung von Bitumen umfasst die Herstellung und Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen.

Die Menge an in Deutschland produzierten und verwendeten Mengen an Dach- und Dichtungsbahnen ist aus Tabelle 202 zu entnehmen, wobei die Abweichung zwischen beiden Angaben vom Exportüberschuss abhängt. Bei der Herstellung wird flüssiges Bitumen bei Temperaturen von 150°C bis 220°C als Tränk- oder Deckmasse verarbeitet. Der Prozess ist mit Emissionen an organischen Stoffen verbunden (hier als NMVOC zusammen gefasst).

Die Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen erfolgt in Heiß- und Kaltverfahren. Beim Heißverfahren, dem Bahnenschweißen, treten relevante Emissionen an organischen Stoffen auf. Die Emissionsentwicklung wird hauptsächlich von der Entwicklung der Produktionsmenge an Polymerbitumenbahnen bestimmt. Die Verwendung von lösemittelhaltigen Voranstrichen wird hier nicht berücksichtigt, sondern erfolgt im Lösemittelmodell, siehe Kapitel 4.5.1.

Die Emissionen aus der Herstellung der Dach- und Dichtungsbahnen bleiben bei kaum sinkenden Produktionsmengen stabil. Die Emissionen aus der Verlegung der Dach- und Dichtungsbahnen können bei sinkenden Verwendungsmengen leicht ansteigen, weil die Verwendung von Bitumenschweißbahnen einen zunehmend höheren Anteil hat.

Andere Substanzen als NMVOC haben nur eine untergeordnete Emissionsrelevanz (siehe Fußnote ⁷⁷).

4.5.4.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Bitumen)

Die Daten zur Produktionsmenge und Anwendungsmenge (**Aktivitätsrate**) an Dach- und Dichtungsbahnen stellt auf Basis einer Kooperationsvereinbarung aus dem Jahre 2009 der Verband der Dachbahnenindustrie zur Verfügung (VDD, 2020). Momentan finden keine Datenergänzungen oder Hochrechnungen statt. Für eine international vergleichbare Angabe

⁷⁷ siehe Diskussion um indirekte CO₂-Emissionen unter methodische Aspekte

werden jedoch die Produktionsmengen in die Menge an eingesetztem Bitumen umgerechnet (je nach Bahnenart zwischen 1,3 und 3,3 Bitumen kg/m²).

Es werden wegen der dominierenden Emissionsrelevanz nur die Emissionen an NMVOC betrachtet und im Emissionsinventar berücksichtigt und dabei zwischen Emissionen aus der Herstellung und Emissionen aus der Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen unterschieden.

Der **Emissionsfaktor** für die Herstellung der Dach- und Dichtungsbahnen stammt aus einer Berechnung auf Basis des Standes der Technik deutscher Hersteller (VDD, 2009). Der Emissionsfaktor für die Verlegung von Polymerbitumenbahnen ist einer Ökobilanz entnommen (Kreißig, 1996). Für Bahnen, die überwiegend mit Heißbitumen verklebt werden, wurde dieser Emissionsfaktor in Analogie übernommen. Dünne Bahnen werden nicht verklebt, sondern genagelt und weisen keine Emissionen auf. Wegen der zunehmenden Bedeutung der Polymerbitumenbahnen steigt der implizite Emissionsfaktor für die Kategorie leicht an.

Die Berechnung der NMVOC-Emissionen entspricht einer Tier-1-Methode, da keine detaillierten Daten vorliegen.

Tabelle 202: Herstellung und Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen mit Bitumen und dazugehörige AR und EF

	Produzierte oder verarbeitete Fläche in 2019 [Mio. m ²]	EF/ IEF [kg/ m ²]
Herstellung von Dach- und Dichtungsbahnen mit Bitumen	160	NMVOC 0,000358
Verlegung von Dach- und Dichtungsbahnen mit Bitumen	138	NMVOC 0,000027 – 0,000041

Die Emissionen von Kohlendioxid, die sich aus der Multiplikation der NMVOC-Emissionen mit einem Faktor für den Kohlenstoffgehalt in Höhe von 80% und einer Umrechnung auf CO₂ ergeben würden, liegen vernachlässigbar niedrig. Diese werden deshalb nicht ausgewiesen, sondern in den CRF-Tabellen mit ‚NE‘ gekennzeichnet.

4.5.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Bitumen)

Angaben zur Unsicherheit der Daten des vdd wurden zwischen vdd und Umweltbundesamt abgestimmt. Die Gesamtunsicherheit der Aktivitätsdaten von Herstellung und Verlegung wird auf einen Wert von circa +/-1 % geschätzt. Daraus ergibt sich für den errechneten Bitumenverbrauch der Gesamtproduktion eine höhere Unsicherheit von circa +/-2,5 %.

Die kumulierten Emissionsfaktoren werden für die Produktion und Verlegung der Dach- und Dichtungsbahnen auf circa +/-5 % geschätzt.

4.5.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Bitumen)

Aufgrund begrenzter Ressourcen und minimaler Relevanz wird für die Berichterstattung von Precursoren keine QK/QS durchgeführt. Im Rahmen der Verbandsvereinbarung mit dem VDD wurde eine Checkliste zur QK/QS ausgefüllt und bestätigt.

Die Ermittlung der Aktivitätsraten wird als plausibel eingeschätzt. Die Emissionsfaktoren stehen im Einklang mit Erkenntnissen aus Forschungsprojekten des UBA und sind plausibel. Vor allem wird die Gültigkeit der Emissionsfaktoren damit begründet, dass hier keine Emissionen aus dem Einsatz lösemittelhaltiger Anstriche zu berücksichtigen sind (erfolgt im Lösemittelmodell, siehe oben).

4.5.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Bitumen)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.5.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Bitumen)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.5.5 Sonstige: Straßenasphaltierung (2.D.3 Asphalt)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
NO _x , NMVOC, SO ₂	Tier 1	AS	CS
CO ₂	NE	NE	NE

Die Kategorie Straßenasphaltierung weist nach derzeitigem Kenntnisstand keine Emissionen an Treibhausgasen auf⁷⁸ und ist somit keine Hauptkategorie.

4.5.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Asphalt)

Aktuell werden in den Berichtstabellen Produktionsmengen von Asphaltmischgut und die Emissionen an NMVOC, NO_x und SO₂ berichtet (bezüglich CO₂ siehe Fußnote ⁷⁸).

Im Jahr 2019 wurden in Deutschland ca. 40 Mio. t Asphalt (DAV, 2020) in ca. 600 Asphaltmischanlagen produziert (DAV, 2016). Das Produkt wird vornehmlich im Straßenbau eingesetzt und steht in direkter Konkurrenz zu hydraulisch gebundenen Betonstraßen. Nach einem deutlichen Anstieg der Produktion im Jahr 1991 nahm die produzierte Menge seit 2000 ab.

Die Emissionsentwicklung wird hauptsächlich von der Entwicklung der Produktionsmenge bestimmt, die in den letzten Jahren stagniert.

4.5.5.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Asphalt)

Für den Brennstoffeinsatz existiert in der Kategorie 1.A.2 kein gesondertes Berechnungsverfahren. Die eingesetzten Brennstoffe sind aber über die Auswertung der Energiebilanz berücksichtigt und mit entsprechenden Emissionsfaktoren gekoppelt.

Die Produktionsmenge (**Aktivitätsrate**) an Asphaltmischgut wurde den Mitteilungen vom Deutschen Asphaltverband (DAV) entnommen.

Die Ermittlung der **Emissionsfaktoren** erfolgte länderspezifisch nach Tier 2. Zur Bestimmung der Emissionsfaktoren anderer Substanzen als CO₂ wurde auf Emissionsmessdaten von über 400 Asphaltmischanlagen im Messzeitraum 1989 bis 2000 zurückgegriffen. Der größte Teil der Emissionen entsteht beim Trocknen der Mineralstoffe. NMVOC-Emissionen stammen nahezu vollständig aus den organischen Rohstoffen und werden v.a. im Paralleltrommelbetrieb und sowie aus dem Mischer und im Verladebereich freigesetzt. NO_x und SO₂ stammen durchschnittlich zu etwa 50 % aus den mineralischen Einsatzstoffen (anteilige Prozessemission). CO entsteht überwiegend bei unvollständigen Verbrennungsvorgängen. Die Emissionen an CO werden ausschließlich beim Brennstoffeinsatz berechnet.

⁷⁸ siehe Diskussion um indirekte CO₂-Emissionen unter methodische Aspekte

Tabelle 203: Emissionsfaktoren bei der Herstellung Asphaltmischgut

	NO _x	NM _{VOC}	SO ₂
EF [kg/ t]	0,015	0,030	0,030

Es werden nur die Emissionen bei der Herstellung von Asphalt berichtet. Angaben über die Emissionen beim Einbau des Asphalts sind noch nicht ausreichend geprüft.

Die Emissionen von Kohlendioxid, die sich aus der Multiplikation der NM_{VOC}-Emissionen mit einem Faktor für den Kohlenstoffgehalt in Höhe von 80 % und einer Umrechnung auf CO₂ ergeben würden, liegen vernachlässigbar niedrig. Diese werden deshalb nicht ausgewiesen, sondern in den CRF-Tabellen mit ‚NE‘ gekennzeichnet.

4.5.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Asphalt)

Wie die umfangreichen Messdaten zeigen, liegen die Emissionen in einem vergleichsweise engen Bereich. Aufgrund der Anzahl der Messdaten lassen sich sehr verlässliche Mittelwerte bilden. Lediglich die Aufteilung der Emissionsmengen in brennstoff- und prozessbedingte Emissionen ist mit größeren Unsicherheiten behaftet.

Die Ermittlung der Produktionsmengen kann als sehr genau betrachtet werden, da es sich um ein verkaufsfertiges Produkt handelt und die Mengen von den Betreibern an den DAV übermittelt werden.

4.5.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Asphalt)

Aufgrund begrenzter Ressourcen und minimaler Relevanz wird für die Berichterstattung von Precursern keine QK/QS durchgeführt.

4.5.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Asphalt)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.5.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Asphalt)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.5.6 CO₂-Emissionen aus dem Einsatz von AdBlue® in Straßenverkehr und Off-Road-Fahrzeugen (2.D.3 Sonstige: AdBlue)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS / M	CS / M	D

4.5.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.D.3 Sonstige: AdBlue)

Seit 2004 kommen in Deutschland zunehmend Fahrzeuge mit SCR-Katalysator zum Einsatz. In diesen Katalysatoren zur reduktiven Minderung von NO_x-Emissionen kommt eine wässrige Harnstofflösung⁷⁹ zum Einsatz, bei deren chemischer Umwandlung Kohlendioxid frei wird. In Deutschland wird dazu nahezu ausschließlich das Produkt AdBlue® verwendet (VDA, 2013).

⁷⁹ mittlerer Harnstoffgehalt gemäß DIN 70070: 32,5 %

4.5.6.2 Methodische Aspekte (2.D.3 Sonstige: AdBlue)

Da aktuell keine umfassenden Statistiken oder Marktstudien zum AdBlue®-Absatz vorliegen, werden die eingesetzten Mengen und resultierenden CO₂-Emissionen innerhalb TREMOD (Knörr et al., 2020c) anhand der Angaben zum Kraftstoffverbrauch der SCR-Fahrzeuge berechnet.

Tabelle 204: modellierte AdBlue®-Einsatzmengen, in Tonnen

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Personenkraftwagen	0	0	3.000	52.815	96.845	141.460	176.167	206.682
Leichte Nutzfahrzeuge	0	0	0	604	4.620	18.123	37.654	56.164
Lastkraftwagen	203	7.627	350.366	570.287	617.059	654.735	686.045	710.605
Busse	51	200	17.365	37.684	43.138	47.509	53.010	57.476
Σ Straßenverkehr	254	7.827	370.732	661.391	761.662	861.827	952.876	1.030.926
Bauwirtschaft	0	0	0	5.901	16.027	28.961	41.704	53.802
GHD	0	0	0	876	2.405	4.347	6.256	8.078
Landwirtschaft	0	0	0	2.363	6.749	13.098	20.145	27.201
Forstwirtschaft	0	0	0	334	1.064	2.129	3.786	5.235
Σ Offroad	0	0	0	9.474	26.244	48.535	71.892	94.316
Gesamtmenge	254	7.827	370.732	670.864	787.907	910.361	1.024.768	1.125.243

Quelle: Knörr et al. (2020b); Knörr et al. (2020c)

Die Berechnung der resultierenden CO₂-Emissionen erfolgt anhand folgender Formel gemäß 2006 IPCC GL (IPCC (2006): Band 2, Kap. 3.2 - Road Transportation, S. 3.12, Formel 3.2.2):

$$EM_{CO_2} = AR_{AdBlue^{\circledR}} \times \frac{12}{60} \times \frac{32,5}{100} \times \frac{44}{12}$$

Die folgende Tabelle stellt die so ermittelten CO₂-Emissionen dar.

Tabelle 205: aus dem Einsatz von AdBlue® resultierende CO₂-Emissionen, in Kilotonnen

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Personenkraftwagen	0,00	0,00	0,72	12,59	23,08	33,71	41,99	49,26
Leichte Nutzfahrzeuge	0,00	0,00	0,00	0,14	1,10	4,32	8,97	13,39
Lastkraftwagen	0,05	1,82	83,50	135,92	147,07	156,05	163,51	169,36
Busse	0,01	0,05	4,14	8,98	10,28	11,32	12,63	13,70
Σ Straßenverkehr	0,06	1,87	88,36	157,63	181,53	205,40	227,10	245,70
Bauwirtschaft	0,00	0,00	0,00	1,41	3,82	6,90	9,94	12,82
GHD	0,00	0,00	0,00	0,21	0,57	1,04	1,49	1,93
Landwirtschaft	0,00	0,00	0,00	0,56	1,61	3,12	4,80	6,48
Forstwirtschaft	0,00	0,00	0,00	0,08	0,25	0,51	0,90	1,25
Σ Offroad	0,00	0,00	0,00	2,26	6,25	11,57	17,13	22,48
Gesamtmenge	0,06	1,87	88,36	159,89	187,78	216,97	244,24	268,18

Quelle: Knörr et al. (2020b); Knörr et al. (2020c)

Im deutschen Treibhausgas-Inventar werden diese Emissionen gemäß Fußnote (6) zur CRF-Tabelle 2(I).A-Hs2 unter 2.D.3 – *Non-energy products from fuels – Other* berichtet.

4.5.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)

Die hier zugrundegelegten Unsicherheitenangaben stellen Expertenschätzungen dar. Datenquellen, Methoden und Emissionsfaktoren werden über die gesamte Zeitreihe hinweg konsistent angewendet.

4.5.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Eine Verifizierung der Daten anhand vergleichbarer Inventare für Deutschland ist nicht möglich. Ein Vergleich mit Inventaren anderer Länder erfolgte im Rahmen eines EU-weiten Austausches zu neuen Emissionsquellen zuletzt im Sommer 2018.

4.5.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)

Tabelle 206: revidierte jährliche Kraftstoffverbräuche der SCR-Fahrzeuge, in Terajoule

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Submission 2021	204,1	6.402	366.315	972.273	1.099.711	1.209.004	1.295.574
Submission 2020	204,3	6.401	365.940	970.995	1.100.742	1.213.356	1.304.065
Änderung absolut	-0,3	1,0	376	1.277	-1.032	-4.352	-8.490
Änderung relativ	-0,13%	0,02%	0,10%	0,13%	-0,09%	-0,36%	-0,65%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Knörr et al. (2020b); Knörr et al. (2020c)

Aus der Revision der Kraftstoffverbräuche der SCR-Fahrzeuge resultiert eine Neuberechnung der eingesetzten AdBlue®-Mengen. Hier ist zu beachten, dass diese sich nicht 1:1 zu den Kraftstoffverbräuchen ändern. Grund hierfür ist, dass die betrachteten Offroad-Fahrzeuge im Schnitt mehr Harnstofflösung je Liter Diesel verbrauchen, als Sraßenfahrzeuge.

Tabelle 207: revidierte AdBlue®-Einsatzmengen, in Tonnen

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Submission 2021	253,6	7.827	370.732	670.864	787.907	910.361	1.024.76
Submission 2020	254,0	7.826	370.260	672.391	794.436	923.031	1.043.14
Änderung absolut	-0,3	1,3	472	-1.526	-6.530	-12.669	-18.374
Änderung relativ	-0,13%	0,02%	0,13%	-0,23%	-0,82%	-1,37%	-1,76%

Quelle: eigene Berechnungen basierend auf Knörr et al. (2020b); Knörr et al. (2020c)

Aus den korrigierten AdBlue®-Mengen resultiert nachfolgend dargestellte Anpassung der Kohlendioxid-Emissionen.

Tabelle 208: revidierte CO₂-Emissionen, in Kilotonnen

	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Submission 2021	0,0604	1,8655	88,36	159,89	187,78	216,97	244,24
Submission 2020	0,0605	1,8651	88,25	160,25	189,34	219,99	248,62
Änderung absolut	-0,0001	0,0003	0,11	-0,36	-1,56	-3,02	-4,38
Änderung relativ	-0,13%	0,02%	0,13%	-0,23%	-0,82%	-1,37%	-1,76%

Quelle: eigene Berechnungen

4.5.6.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.D.3 Sonstige: AdBlue®)

Derzeit sind keine über die allgemeine Pflege der zugrundeliegenden Modelle TREMOD und TREMOD MM hinaus gehenden Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.6 Elektronik-Industrie (2.E)

KC	Category	Activity	EM of	1995 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1995-2019
-/-	2 E, Electronics Industry		C ₂ F ₆	162,5	0,0	50,3	0,0	-69,0 %
-/-	2 E, Electronics Industry		CF ₄	102,6	0,0	66,7	0,0	-35,0 %
-/-	2 E, Electronics Industry		SF ₆	47,3	0,0	23,3	0,0	-50,6 %
-/-	2 E, Electronics Industry		C ₆ F ₁₄	25,4	0,0	0,0	0,0	-100,0 %
-/-	2 E, Electronics Industry		HFC-23	17,1	0,0	14,7	0,0	-14,3 %
-/-	2 E, Electronics Industry		NF ₃	5,3	0,0	11,0	0,0	107,1 %
-/-	2 E, Electronics Industry		HFC-32	0,0	0,0	0,0	0,0	-
-/-	2 E, Electronics Industry		C ₃ F ₈	0,0	0,0	14,8	0,0	-
-/-	2 E, Electronics Industry		c-C ₄ F ₈	0,0	0,0	5,2	0,0	-

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
HFC	Tier 3	AS, NS	PS
PFC	CS	AS, NS	CS
SF ₆	CS	AS, NS	CS
NF ₃	CS	AS, NS	CS

Die Kategorie *Elektronik-Industrie* ist keine Hauptkategorie.

4.6.1 Halbleiter- und Platinenproduktion (2.E.1)

4.6.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.E.1)

In der Halbleiterindustrie emittieren gegenwärtig FKW (CF₄, C₂F₆, C₃F₈, c-C₄F₈), HFKW (CHF₃, CH₂F₂), Stickstofftrifluorid (NF₃) und Schwefelhexafluorid (SF₆) aus dem Fertigungsprozess. Diese Gase werden zum Strukturätzen dünner Schichten und zum Reinigen der Reaktionskammern nach dem CVD-Prozess (Chemical Vapour Deposition) eingesetzt. Einige der in die Plasmakammern eingebrachten FKW werden im Produktionsprozess teilweise zu CF₄ umgewandelt.

Die Emissionen aus der Halbleiterindustrie hängen zum einen von der Häufigkeit des Einsatzes von Abgasreinigungstechniken ab. Zum anderen hat die jährlich produzierte Menge an Halbleitern direkten Einfluss auf die Emissionen. Daraus resultieren jährliche Schwankungen in den Emissionen.

In der Platinenfertigung gibt es Anlagen zur Bohrlochreinigung, die mit CF₄ arbeiten. Dieser Anwendungsbereich unterliegt kaum Veränderungen, wie eine wiederholte Befragung im Jahr 2019 ergab.

4.6.1.2 Methodische Aspekte (2.E.1)

Emissionsfaktoren

Während des Ätzprozesses setzen sich nur etwa 15 % des zugeführten CF₄ chemisch um. Der Emissionsfaktor als inverse Umsetzungsrate beträgt also 85 % des CF₄-Verbrauchs.

Die Emissionen können allerdings nicht allein anhand der eingesetzten Mengen (Verkäufe des Gasehandels) ermittelt werden, weil die Differenz zwischen Verbrauch und Emission von verschiedenen Faktoren abhängig ist, nämlich neben der nur partiellen chemischen Umsetzung im Plasmareaktor vor allem auch von der Wirkung nachgeschalteter Abgasreinigungsanlagen. Sie werden daher anlagenspezifisch vom Industrieverband aggregiert und gemeldet.

Aktivitätsdaten

Die Verwendungsmengen von SF₆ (seit dem Berichtsjahr 2006) und NF₃ (seit dem Berichtsjahr 2015) werden durch Befragung des Gasehandels vom Statistischen Bundesamt ermittelt (UStatG 2005). Die Verwendungsmengen der anderen Stoffe werden vom Statistischen Bundesamt erhoben, der Halbleiterindustrie zugeordnet und von ihr bestätigt.

Gesicherte Emissionsdaten liegen für 1990 und 1995 vor. Für die Jahre 1991 bis 1994 wurde eine lineare Interpolation durchgeführt.

Bis zum Berichtsjahr 2000 basierten die Emissionsangaben auf Befragungen durch EECA-ESIA (European Electronic Component Manufacturers Association – European Semiconductor Industry Association). Die nationalen Hersteller wurden zu Produktionskapazitäten, eingesetzten Stoffmengen und Abgasbehandlungstechniken befragt.

Seit dem Jahr 2001 liegen aufgrund einer freiwilligen Zusage der Halbleiterindustrie Emissionsangaben für diese Teilgruppe für alle Einzelstoffe vor. Die Emissionsdaten werden nach einer einheitlichen Berechnungsformel (Tier 3-Ansatz) aus dem jährlichen Verbrauch für jede Produktionsstätte berechnet, aggregiert und vom ZVEI (Fachverband Bauelemente) an das Umweltbundesamt gemeldet.

Die Emissionen aus der Halbleiterindustrie steigen je nach Stoff leicht oder sind konstant. Die Emissionen aus der Leiterplattenproduktion sind konstant.

4.6.1.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.1)

Die Unsicherheiten der Halbleiterindustrie wurden vollständig erfasst. Die Unsicherheiten der Emissionen liegen laut des Verbandes bei $U_{\max} = 12\%$ und $U_{\min} = 7\%$.

Die Unsicherheiten (U_{\min}/U_{\max}) für die Emissionen aus der Leiterplattenproduktion liegen bei 15%.

4.6.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.1)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.6.1.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.1)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Daten haben einen verbandsinternen Prozess der Qualitätssicherung /-kontrolle durchlaufen.

Eine Qualitätskontrolle (nach Tier 1) und eine Qualitätssicherung, die den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen entsprechen, wurden durchgeführt.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Verband erhobenen Daten und den vom Statistischen Bundesamt zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren liegen in derselben Größenordnung wie die anderer Länder.

4.6.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.1)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.6.2 TFT (2.E.2)

Es findet keine Herstellung von TFT Flachbildschirmen in Deutschland statt.

4.6.3 Photovoltaik (2.E.3)

4.6.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.E.3)

SF₆ und andere Fluorverbindungen wurden in Deutschland bei der Herstellung von Wafern zum Strukturätzen und zur Reinigung der Reaktionskammern im Fertigungsprozess eingesetzt. Da die Reinheit des Prozessgases niedriger ist als im analogen Produktionsprozess der Halbleiterindustrie, wird die Anwendung Photovoltaik gesondert berichtet. In Deutschland begann die Verwendung von SF₆ in der Solartechnik im Jahr 2003.

Die Zeitreihe zeigt zwischen 2003 und 2006 einen kontinuierlichen Anstieg der Emissionen, der auf steigende Produktionsmengen zurückzuführen ist. 2007 und 2008 ist ein sprunghafter Anstieg zu verzeichnen, da die Zahl der produzierten Wafer und damit auch der Anwendungsmengen von SF₆ stark stiegen. Sinkende Produktionsmengen führten ab dem Jahr 2010 wieder zu sinkenden Emissionen. Ab dem Jahr 2014 gab es in Deutschland keine Waferproduktion mit SF₆ mehr.

NF₃ ersetzte seit 2008 SF₆ in allen neu gebauten Produktionslinien zur Herstellung von Si-Dünnschichtzellen. Die Produktion wurde bis 2015 eingestellt.

Außerdem wurde der perfluorierte Kohlenwasserstoff CF₄ in den Jahren 2002/2003 zum so genannten Kantenisolieren kristalliner Solarzellen eingeführt. Er wurde aber bald durch ein leichter handhabbares Verfahren ersetzt. Der Verbrauch von CF₄, der seinen Spitzenwert im Jahr 2004 erreichte, ging seitdem stark zurück. Die Produktion wurde 2014 eingestellt.

4.6.3.2 Methodische Aspekte (2.E.3)

Wie auch in der Halbleiterindustrie traten die Emissionen in der Photovoltaik während der Produktion auf. Die Fertigungsemissionen konnten nicht allein anhand der eingesetzten Mengen (Verkäufe des Gasehandels) ermittelt werden. Die Differenzen zwischen Verbrauch und Emission resultierten aus der partiellen chemischen Umsetzung im Plasmareaktor und der Wirkung nachgeschalteter Abgasreinigungsanlagen.

Emissionsfaktoren

In Deutschland gab es im Jahr 2009 nur noch einen Hersteller ohne Abgasreinigungsanlage. Daher wurde der IPCC Default-Emissionsfaktor von 40 % nur für das erste Einsatzjahr 2003 angenommen. Danach sankt der Emissionsfaktor mit steigendem Anteil der Wafer-Produktion mit nachgeschalteter Abgasreinigungsanlage. Im Jahr 2010 lag er bei knapp 6 %. Ab 2011 hatten alle Produktionsstätten, die SF₆ einsetzen, Abgasreinigungsanlagen installiert, und der Emissionsfaktor betrug seitdem 4 %.

Bei der Waferproduktion mit NF₃ hatte der Emissionsfaktor einen Wert von 4 % und lag deutlich unter dem IPCC Default-Emissionsfaktor von 20 %, da alle nationalen Produktionsstätten Abgasreinigungsanlagen betrieben haben.

Der Emissionsfaktor beim Kantenisolieren mit CF₄ beträgt 7 %.

Aktivitätsdaten

Die jährlichen Verbrauchsmengen wurden vom Statistischen Bundesamt durch Abfragen der Inlandsabsätze der Gaslieferanten (UStatG 2005) ermittelt. Zusätzlich wurden die Daten in einer gesonderten Studie nachrecherchiert (Schwarz 2009).

4.6.3.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.3)

Die Unsicherheiten wurden vollständig erhoben. Die Unsicherheiten der Emissionen (U_{\min}/U_{\max}) liegen laut Expertenschätzungen bei 10 % für SF₆, 20% für NF₃ und 50 % für CF₄.

4.6.3.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.3)

Der vom statistischen Bundesamt für 2018 berichtete Verbrauchswert von SF₆ in Höhe von 0,05t wurde 2019 auf Null korrigiert, da es nach wie vor keine Produktionsstätte in Deutschland gibt. Der gemeldete Wert für 2019 war ebenfalls Null.

4.6.3.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.3)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Statistischen Bundesamt und vom Forschungsnehmer zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren liegen in derselben Größenordnung wie die anderer Länder, die Produktionsstätten mit Abgasreinigungsanlagen betreiben.

4.6.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.3)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.6.4 Wärmeüberträger (2.E.4)

4.6.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.E.4)

Der FKW C₆F₁₄ fand als Wärmeüberträger in der Halbleiterindustrie und in ausgewählten ICE-Triebköpfen Anwendung. Die Verwendung von C₆F₁₄ in der Halbleiterindustrie war in den 1990er Jahren weit verbreitet, ist aber 2015 zugunsten hydrofluorierter Ether eingestellt worden. Emissionen entstehen daher nur noch aus dem Bestand und bei der Entsorgung. Zur Kühlung in ICE-Triebköpfen kam C₆F₁₄ bis 2009 zum Einsatz.

4.6.4.2 Methodische Aspekte (2.E.4)

Die Emissionsfaktoren werden mit 1 % für die Befüllung, 5 % für die Emissionen aus dem Bestand und 15 % für die Entsorgung angenommen. Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) enthalten keine Default-Emissionsfaktoren nach Tier 2.

Die Verwendungsmengen und Emissionsfaktoren wurden durch Befragungen von Branchenexperten (Deutsche Bahn, ZVEI) und Literaturangaben im Rahmen eines Forschungsvorhabens ermittelt (Gschrey et al. 2015).

Die durchschnittliche Lebenszeit der Anlagen mit Wärmeüberträger in der Halbleiterindustrie beträgt 12 Jahre.

Wegen der Vertraulichkeit wird die Quellgruppe unter CRF 2.H.3 berichtet.

4.6.4.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.E.4)

Die Unsicherheiten wurden vollständig erhoben. Die Unsicherheiten für die Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren (U_{min}/U_{max}) liegen laut Expertenschätzungen bei 20 %.

4.6.4.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.E.4)

Es wurden die Daten für die Verwendung von C₆F₁₄ in ICE-Triebköpfen ergänzt. Da der Einsatz von C₆F₁₄ in 2E4 vertraulich ist, kann die Rückrechnung hier nicht dargestellt werden.

4.6.4.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.E.4)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Forschungsnehmer erhobenen Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren liegen in derselben Größenordnung der in anderen Ländern verwendeten Werte.

4.6.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.E.4)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.7 Anwendungen als ODS-Ersatzstoff (2.F)

KC	Category	Activity	EM of	1995 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1995-2019
L/T	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-134a	2.268,2	0,2	5.296,9	0,7	133,5 %
L/T	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-125	149,9	0,0	2.174,4	0,3	1.350,8 %
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-152a	90,1	0,0	37,5	0,0	-58,4 %
-/T	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-143a	71,3	0,0	1.418,4	0,2	1.888,5 %
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C ₃ F ₈	19,9	0,0	1,8	0,0	-90,8 %
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-23	16,3	0,0	70,6	0,0	334,6 %
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-32	0,8	0,0	202,1	0,0	26.630,4 %
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-227ea	0,6	0,0	101,6	0,0	15.619,9 %
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C ₂ F ₆	0,0	0,0	2,4	0,0	-
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-43-10mee	C	C	C	C	C
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-236fa	C	C	C	C	C
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-245fa	C	C	C	C	C
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		HFC-365mfc	C	C	C	C	C
-/-	2 F, Product Uses as Substitutes for ODS		C ₆ F ₁₄	C	C	C	C	C

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
HFC, PFC	s. Tabelle 209/Tabelle 210	s. Tabelle 209/Tabelle 210	s. Tabelle 209/Tabelle 210

Die Kategorie Anwendungen als ODS Ersatzstoff ist für HFKW-134a- und HFKW-125-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend sowie für HFC-143a-Emissionen nur nach dem Trend.

Zu der Kategorie 2.F gehören Kälte- und Klimaanlage (2.F.1), die Schaumherstellung (2.F.2), Feuerlöschmittel (2.F.3), Aerosole (2.F.4), Lösemittel (2.F.5) und andere Anwendungen, die ODS-Ersatzstoffe verwenden (2.F.6). Zwecks genauerer Datenerhebung erfolgt eine weitere Unterteilung dieser Unterkategorien, die in den folgenden Unterkapiteln beschrieben wird.

Die Verwendung als Kältemittel in der stationären und mobilen Kühlung ist mit über drei Vierteln der Emissionsmenge die größte Quelle der HFKW-Emissionen dieser Quellgruppe. Die verbleibenden Emissionen verteilen sich auf Schäume und Aerosole, sowie in geringen Mengen auf Feuerlöschmittel und Lösemittel.

Die FKW-Emissionen stammen aus dem Einsatz bestimmter Kältemittelgemische in Kälte- und Klimaanlage.

Tabelle 209: Überblick über Methoden und verwendete Emissionsfaktoren für das aktuelle Berichtsjahr in der Kategorie 2.F.1 – Kälte- und Klimaanlage.

	QG	Methode	Schadstoff		Lebensdauer [Jahre]	Herstellung Emissionsfaktor (dimensionslos)	Anwendung Emissionsfaktor (dimensionslos)	Entsorgung	
			HFKW	FKW				Restfüllstand (dimensionslos)	Rückgewinnungsrate (dimensionslos)
Kälte- und Klimaanlage	2.F.1								
Gewerbekälte	2.F.1a								
- Steckerfertige Geräte		Tier 2a	HFKW		10 (D)	0,005 (D)	0,01 - 0,014 (D)	0,90 (CS)	0,326 - 0,58 (D)
- Verflüssigungssätze					12 (D)	0,01 (D)	0,051 - 0,097 (CS)	0,85 (D)	0,475 - 0,78 (D, CS)
- Zentralanlagen				FKW	10 - 14 (D)	0,01 (D)	0,084 - 0,195 (D, CS)	0,875 (D)	0,429 - 0,781 (D, CS)
Haushaltskälte	2.F.1b								
- Haushaltskühlgeräte		Tier 2a	HFKW		15 (D)	NO	0,003 (D)	0,955 (CS)	0,733 (CS)
- Speiseeismaschinen		Tier 2a	HFKW		15 (CS)	NO	0,003 (CS)	0,955 (CS)	0,53 - 0,635 (CS)
Industriekälte	2.F.1c								
- Steckerfertige Geräte		Tier 2a	HFKW		10 (CS)	0,005 (D)	0,01 - 0,014 (CS)	0,9 (D)	0,337 - 0,58 (D)
- Großkälteanlagen				FKW	10 - 30 (CS, D)	0,01 (D)	0,0475 - 0,088 (CS, D)	0,85 (D)	0,45 - 0,795 (D)
Transportkälte	2.F.1d								
- Kühlfahrzeuge		Tier 2a	HFKW	FKW	10 (CS)	5 g/Anlage (CS, D)	0,15 - 0,3 (D)	0,875 (CS)	0,657 (D)
- Kühlcontainer					14 (CS)	NO	0,1 (CS)	0,875 (CS)	0,657 (D)
Mobile Klimaanlage	2.F.1e								
- Nfz		Tier 2a	HFKW		15 (D)	5 g/Anlage (CS, D)	0,15 (D)	0,34 (D)	0,38 - 0,487 (D)
- Pkw					15 (D)	3 g/Anlage (CS, D)	0,1 (D)	0,34 (D)	0,38 - 0,487 (D)
- Busse					15 (D)	50 g/Anlage (D)	0,15 (D)	0,34 (D)	0,38 (D)
- Schiffe					25 (CS)	0,01 (CS)	0,1 - 0,35 (CS)	NO	NO
- Schienenfahrzeuge					25 (CS)	0,005 (D)	0,06 (CS)	0,875 (CS)	0,80 (CS)
- Landmaschinen					10 (CS)	5 g/Anlage (CS)	0,15 - 0,25 (CS)	0,34 (CS)	0,117 (CS)
- Flugzeuge					-	NO	0,05 (CS)	NO	NO
Stationäre Klimaanlage	2.F.1f								
- Großklimaanlagen		Tier 2a	HFKW		15 - 25 (D)	0,005 (D)	0,029 - 0,06 (D)	0,9 (D)	0,658 - 0,795 (D)
- Wärmepumpen					15 (D)	0,005 (D)	0,02 - 0,025 (D)	0,75 (D)	0,5 - 0,635 (D)
- Wärmepumpentrockner					15 (CS)	0,005 (CS)	0,003 (CS)	NO	NO
- Spülmaschinen					12 (CS)	0,01 (CS)	0,003 (CS)	0,955 (CS)	0,82 - 0,85 (CS)
- mob. Raumklimageräte					10 (D)	NO	0,025 - 0,034 (D)	0,75 (D)	0,242 - 0,385 (D)
- Single-Split-Geräte					10 (D)	0,1 (CS)	0,05 - 0,069 (D)	0,875 (CS)	0,379 - 0,58 (D)
- Multi-Split-Geräte					13 (D)	0,01 (D)	0,044 - 0,079 (D)	0,875 (CS)	0,62 - 0,78 (D)
- VRF-Geräte					13 (D)	0,01 (D)	0,051 - 0,081 (D)	0,875 (CS)	0,72 - 0,78 (D)

Tabelle 210: Überblick über Methoden und verwendete Emissionsfaktoren für das aktuelle Berichtsjahr in den Kategorien 2.F.2 (Schaumherstellung), 2.F.3 (Feuerlöschmittel), 2.F.4 (Aerosole), 2.F.5 (Lösemittel) und 2.F.6 (Andere Anwendungen, die ODS-Ersatzstoffe verwenden)

	QG	Methode	Schadstoff		Lebensdauer [Jahre]	Emissionsfaktor (dimensionslos)		
			HFKW	FKW		Herstellung	Anwendung	Entsorgung
Schaumherstellung	2.F.2							
geschlossenzellig	2.F.2a							
- PU-Hartschaum mit 134a		Tier 2a	HFKW		50 (D)	0,1 (D)	0,005 (D)	NO
- PU-Hartschaum mit 227ea/245fa/365mfc					50 (D)	0,1 - 0,15 (D)	0,01 (D)	NO
- XPS-Schaum mit 134a/1234ze					50 (D)	C	0,0066 (CS)	NO
offenzellig	2.F.2b							
- XPS-Schaum mit 152a		Tier 2a	HFKW		-	1 (CS)	NO	NO
- PU-Integralschaum mit 134a/227ea/245fa/365mfc		Tier 2a			-	1 (CS)	NO	NO
- PU-Montageschaum mit 134a/152a		Tier 2a			-	0,5 - 1,5 g/Dose (CS)	1 (CS)	NO
Feuerlöschmittel	2.F.3	CS	HFKW		20 (D)	0,001 (CS)	0,01 – 0,04 (CS, D)	0,01(CS)
Aerosole	2.F.4							
Dosieraerosole	2.F.4a	Tier 2a	HFKW		-	0,015 (CS)	1 (CS)	NO
Sonstige Aerosole/Novelties	2.F.4b/c	Tier 2a			-	0,015 (CS)	1 (CS)	NO
Lösemittel	2.F.5	Tier 2a	HFKW		-	NO	0,5 (D)	NO
Andere Anwendungen, die ODS-Ersatzstoffe verwenden	2.F.6					NO	NO	NO

Halogenierte Kohlenwasserstoffe werden in verschiedenen Anwendungen eingesetzt. Während die eingesetzten Stoffe in einigen, so genannten offenen Anwendungen vollständig und noch im selben Jahr emittieren, kommt es in anderen Anwendungen zu großen Speichermengen (stocks). Aus diesen „stocks“ emittieren sie ganz oder teilweise über die gesamte Nutzungsphase und bei der Entsorgung. Die verwendeten Emissionsfaktoren (EF) sind länderspezifisch (CS) oder IPCC Default (D).

Die in einem Berichtsjahr langsam aus dem „stock“ entweichenden sowie bei der Herstellung und Entsorgung emittierenden Mengen an HFKW und FKW stellen die Emissionen dar, wie sie in den Inventartabellen angegeben sind.

Die für die einzelnen Produktgruppen erhobenen Emissionsdaten setzen sich im Allgemeinen aus Herstellungs-, Anwendungs- und Entsorgungsemissionen zusammen. Sofern nicht bei den jeweiligen Methoden etwas anderes angegeben ist, werden sie folgendermaßen berechnet:

1. Herstellungsemissionen werden über den Inlands-Neuverbrauch als Aktivitätsrate bestimmt:

Gleichung 1:

$$EM_{\text{Herstellung}} = \text{Inlands-Neuverbrauch} * EF_{\text{Herstellung}}$$

2. Anwendungsemissionen basieren auf dem Endbestand an Schadstoff als Aktivitätsrate und werden mit folgender Formel berechnet:

Gleichung 2:

$$EM_{\text{Anwendung}} = \text{Endbestand} * EF_{\text{Anwendung}}$$

Der Endbestand des aktuellen Jahres wird durch Summation der jährlichen Neuzugänge vom ersten bis zum aktuellen Berichtsjahr errechnet. Der Neuzugang eines Jahres ist der

Inlands-Neuverbrauch, von dem Herstellungsemissionen und durch Abgänge verursachte Verluste subtrahiert werden. Hier muss auch noch der Außenhandel mit berücksichtigt werden.

3. Entsorgungsemissionen beziehen sich auf den Neuzugang des Jahres, das x Jahre (entsprechend der Produktlebensdauer x) vor dem aktuellen Berichtsjahr n liegt:

Gleichung 3:

$$EM_{\text{Entsorgung}} = \text{Neuzugang}(n-x) * EF_{\text{Entsorgung}}$$

10. Bei Kälte- und Klimaanlageanlagen werden die Entsorgungsemissionen entsprechend Vol. 3, Gleichung 7.14 der 2006 IPCC Guidelines berechnet:

Gleichung 4:

$$EM_{\text{Entsorgung}} = \text{Neuzugang}(n-x) * \text{Restfüllstand} * (1-\text{Rückgewinnungsfaktor})$$

In diesem Kapitel werden die Abschnitte *Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz*, *Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung*, *Kategoriespezifische Rückrechnungen* und *Geplante Verbesserungen* zum Teil auf die gesamte Quellgruppe, die Unterkategorie oder auch nur auf eine Teilgruppe bezogen. Der Bezug ist aus der Angabe der CRF-Nummer in der Abschnittsüberschrift ersichtlich.

4.7.1 Kälte- und Klimaanlageanlagen (2.F.1)

4.7.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.1)

Dieser Bereich wird in die Teilgruppen Gewerbekälte, Haushaltskälte, Industriekälte, Transportkälte, mobile Klimaanlageanlagen und stationäre Klimaanlageanlagen (siehe Tabelle 209) gegliedert.

Die mit Abstand wichtigsten HFKW-Kältemittel sind in Deutschland der HFKW-134a und die Gemische R404A, R407C, R410A, R422D und R507A.

Für die Berechnung der HFKW-Emissionen aus den Untergruppen der Kälte- und Klimaanlageanlagen werden je nach Gruppe Einzeldaten erhoben oder Kältemittel-Modelle genutzt und bei der jeweiligen Methode beschrieben.

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen. Entsorgungsemissionen in dieser Kategorie treten erstmals im Jahr 2000 auf, in den Unterkategorien 2.F.1.a (Gewerbekälte) und 2.F.1.e (mobile Klimaanlageanlagen).

4.7.1.2 Methodische Aspekte (2.F.1)

4.7.1.2.1 Gewerbekälte (2.F.1.a)

Die Gewerbekälte ist die größte und zugleich heterogenste Anwendung von (H)FKW. Es erfolgt eine Unterteilung in steckerfertige Geräte, Verflüssigungssätze und Zentralanlagen. Bei Zentralanlagen resultiert die Vielfalt in Bezug auf Bauart, Größe, Kältemitteltyp und Emissionsdichtheit aus der überwiegenden Konzeption individuell angepasster Lösungen. Bei steckerfertigen Geräten und Verflüssigungssätzen ist dies weniger ausgeprägt.

Der Einsatz der (H)FKW als Kältemittel begann nur zögerlich. So wurde der HFKW-134a erst Mitte 1993 in nennenswertem Umfang eingesetzt. Die Kältemittelgemische R404A und R407C kamen ebenfalls erst ab 1993 zum Einsatz, die verschiedenen R422-Gemische, die als drop-in Kältemittel bei der Umrüstung von HFCKW-22-Anlagen eingesetzt wurden, wurden zwischen 2009 und 2013 verwendet. Daneben kamen seit 1993 in geringem Umfang auch FKW-haltige

Kältemittelgemische wie R403A/B, R413A, Isceon 89 und R508A/B als drop-in Kältemittel zum Einsatz. Seit 2007 findet R410A Verwendung in kleinen Zentralanlagen. Für die Umrüstung von R404A-Zentralanlagen kommen seit 2013 das Kältemittelgemisch R449A und seit 2014 auch R448A zum Einsatz. R449A, R452A und R513A finden seit 2016 auch in Verflüssigungssätzen Verwendung, seit 2019 auch der nicht berichtspflichtige HFKW-1234ze sowie R454C und R455A, die beiden letztgenannten ebenso in steckerfertigen Geräten. Als halogenfreie Alternativen werden seit 2002 auch CO₂ (R744) und seit 2010 Propan (R290) verwendet.

Heute sind neben HFKW-134a die Mischungen R404A und R449A die wichtigsten HFKW-Kältemittel im Bestand stationärer Gewerbekälteanlagen, daneben spielt das halogenfreie Kältemittel R744 eine wichtige Rolle. Ab 2020 ist das Inverkehrbringen von gewerblich genutzten Kühl- und Gefriergeräten, die HFKW-Kältemittel mit einem GWP von 2.500 oder mehr verwenden, laut EU F-Gas Verordnung verboten, ab 2022 beträgt die GWP-Grenze sogar 150. Für stationäre Kälteanlagen gilt ebenfalls ab 2020 ein Verbot des Inverkehrbringens ab einem GWP des Kältemittels von 2.500 oder mehr (F-GasV, 2014). Die Auswirkungen dieser Verbote sind bereits heute sichtbar – bei Neuanlagen und neuen Geräten kommt seit 2019 kein R404A mehr zum Einsatz.

Aufgrund der außerordentlich großen Zahl an Kältefachbetrieben ist eine detaillierte statistische Erfassung der Kältemittel-Bestände nicht praktikabel, so dass eine andere Berechnungsmethode angewendet wird.

- Zur Berechnung der Emissionen von *Zentralanlagen* der Gewerbekälte, die im Lebensmitteleinzelhandel zum Einsatz kommen, wird das folgende Kältemittelmodell verwendet (Schwarz et al. 2012):
- Der Außenhandel mit vor Ort errichteten Kälteanlagen ist vernachlässigbar, so dass der jährliche HFKW-Verbrauch für Neuanlagen gleich dem HFKW-Zugang in Neuanlagen ist.
- Ausgangspunkt für die Berechnungen ist nicht die Zahl der Betriebe oder die installierte Kälteleistung, sondern die Verkaufsfläche der Lebensmitteleinzelhandelsgeschäfte, da diese jährlich statistisch erfasst wird. Für Discountmärkte, deren Verkaufsflächen in Deutschland relativ konstant bei 800 m² liegen, wird angenommen, dass der Kältebedarf und damit die Kältemittelmenge für alle Märkte gleich groß sind. Daher ist hier die Anzahl der Discountmärkte Ausgangspunkt für weitere Berechnungen. Auch die Anzahl der Discounter wird jährlich statistisch erfasst.
- Von einem typischen Supermarkt mittlerer Größe wird auf Basis einer Studie des EPEE⁸⁰ (SKM Enviro 2010) der Koeffizient „Kilogramm pro Quadratmeter Verkaufsfläche“ abgeleitet. Dieser beträgt 0,23 kg/m². Für Discounter wird der Koeffizient „Kilogramm pro Discount-Markt“ bestimmt. Er hat eine Größe von 80 kg/Markt. Mit Hilfe dieser Koeffizienten wird der jährliche Kältemittelbestand für die drei Marktformate Discount-Märkte, kleine und große Supermärkte berechnet.
- Die nach Kältemitteltypen untergliederten Kältemittelbestände der verschiedenen Marktformate werden mit Hilfe von prozentualen Anteilen der verwendeten Kältemitteltypen bestimmt. Die Kältemittelanteile werden in statistischen Rechenmodellen abgeleitet, die auf Expertenschätzungen beruhen. Hierbei wird zwischen großen Supermärkten (Verkaufsflächen über 1500 m²), kleinen Supermärkten (Verkaufsflächen zwischen 400 und 1500 m²) und Discount-Märkten unterschieden.
- Die Division der Kältemittelbestände durch die durchschnittliche Lebensdauer der Anlagen (10 Jahre für Discount-Märkte, 14 Jahre für alle anderen Marktformate) führt zum HFKW-Zugang in Neuanlagen.

⁸⁰ EPEE: The European Partnership for Energy and the Environment.

- Herstellungsemissionen und Bestandsemissionen werden durch Gleichung 1 und Gleichung 2 errechnet. Die Herstellung erfolgt i.d.R. vor Ort.
- Der Austausch von FCKW und HFCKW in Altanlagen wird gesondert berücksichtigt.
- Entsorgungsemissionen treten bei Zentralanlagen erstmalig im Jahr 2000 auf. Der Abgang von Kältemittel wird mit Hilfe der durchschnittlichen Lebensdauer, bei Zentralanlagen in Discount-Märkten 10 Jahre, bei Zentralanlagen aller anderen Marktformate 14 Jahre, errechnet. Die nominale Entsorgungsmenge entspricht dabei dem Neuzugang, den eine Anlage bei Inbetriebnahme enthielt. In der Praxis enthalten die Anlagen zum Zeitpunkt der Entsorgung jedoch weniger Kältemittel als die nominale Füllmenge, da in der Zeit vor der Außerbetriebnahme in der Regel nicht nachgefüllt wird. Daher wird der bei der Entsorgung vorliegende aktuelle Füllstand, die „effektive“ Entsorgungsmenge, mit Hilfe von prozentualen Restfüllständen ermittelt. In die Bestimmung der Restfüllstände fließt als wichtigster Faktor der Kältemittelverlust ein, bei dem eine Anlage nachgefüllt werden muss, um ihre Funktionsfähigkeit aufrecht zu erhalten. Der effektive Füllstand am Lebensende ist um die Hälfte der Differenz zwischen technischem Mindestfüllstand und Nominalfüllmenge größer als der technische Mindestfüllstand. Er beträgt für Zentralanlagen 87,5 % der Nominalfüllmenge.
- Die Entsorgungsemissionen werden durch Multiplikation der so bestimmten „effektiven“ Entsorgungsmenge mit dem umgekehrten Rückgewinnungsfaktor mit Gleichung 4 berechnet.
- Emissionen der nicht berichtspflichtigen HFKW-1234yf und HFKW-1234ze aus den Kältemittelgemischen R448A und R449A werden gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gases“ berichtet. Die Emissionen sind aggregiert mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 aufgeführt.

Auch bei *Verflüssigungssätzen* der Gewerbekälte ist der Kältemittelbestand zentraler Bezugspunkt des Kältemittelmodells zur Berechnung der Emissionen:

- Ausgangspunkt für die Berechnungen ist die Anzahl von Betrieben in den zahlreichen Anwendungssektoren von Verflüssigungssätzen, deren Auswahl auf einer Studie des VDMA (2011) beruht. Dazu zählen Getränkeabholmärkte, Tankstellenshops, Gärtnereien, Blumengeschäfte, Blumengroßhandel, Kantinen, Caterer, Krankenhäuser, Pflegeheime, Gaststätten- und Beherbergungsgewerbe, Fleischerfachbetriebe und -filialen, Bäckereihandwerk und -filialen, Discount-Märkte, kleine Lebensmitteleinzelhandelsgeschäfte und der Facheinzelhandel mit Nahrungsmitteln. Die Anzahl der Betriebe wird aus öffentlich zugänglichen Statistiken jährlich aktualisiert.
- Der Kältemittelbestand für die einzelnen Sektoren berechnet sich als Produkt aus der jeweiligen Anzahl der Betriebe, den sektorspezifischen Füllmengen, die durch Literaturrecherche und Expertenbefragungen ermittelt wurden, und den prozentualen Anteilen der verwendeten Kältemitteltypen. Die Kältemittelanteile werden in einem statischen Rechenmodell abgeleitet (Winfried Schwarz et al., 2012).
- Die Division des Gesamtkältemittelbestands durch die durchschnittliche Lebensdauer von Verflüssigungssätzen (12 Jahre) führt zum HFKW-Zugang in Neuanlagen.
- Herstellungsemissionen und Bestandsemissionen werden durch Gleichung 1 und Gleichung 2 errechnet.
- Durch Gleichung 4 werden die Entsorgungsemissionen berechnet. Die nominale Entsorgungsmenge ist sowohl quantitativ als auch von den Kältemittelanteilen her mit der Erstbefüllung vor 12 Jahren identisch. Der effektive Füllstand am Lebensende beträgt für Verflüssigungssätze 85 % der Nominalfüllmenge.

- Emissionen der nicht berichtspflichtigen HFKW-1234yf und HFKW-1234ze aus den Kältemittelgemischen R448A, R449A, R452A, R454C, R455A und R513A bzw. aus der Verwendung als Einzelstoff werden gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gases“ berichtet. Die Emissionen sind aggregiert mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 aufgeführt.

Die Anwendungssektoren für hermetische *steckerfertige Geräte* decken sich überwiegend mit denen für Verflüssigungssätze. Ergänzend kommen noch Verkaufsautomaten, wie zum Beispiel Getränke Kühler, und Kühlzentrifugen hinzu. Die Berechnung der Emissionen entspricht dem unter Verflüssigungssätzen beschriebenen Kältemittelmodell. Die durchschnittliche Lebensdauer der Geräte beträgt 10 Jahre, der Restfüllstand bei Entsorgung 90 % der Nominalfüllmenge.

- Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen und Literaturlauswertungen.

Die Befüllungsemissionen sind bei kältetechnischen Anlagen im Allgemeinen gering. Die 2006 IPCC Guidelines geben für „initial emission“ in Vol. 3, Tabelle 7.9 Werte von 0,5 bis 3 Prozent der Erstbefüllung für steckerfertige Geräte sowie mittelgroße und große Gewerbekälteanlagen an. Der länderspezifische $EF_{\text{Herstellung}}$ liegt mit 0,5 % für steckerfertige Geräte sowie 1 % für Zentralanlagen und Verflüssigungssätze innerhalb dieses Bereichs.

Die laufenden (H)FKW-Emissionen aus stationären Kälteanlagen der Gewerbekälte differieren nach der Anlagenbauart stark voneinander. So reicht der Kältemittelverlust von 1 bis 1,4 % für steckerfertige Einzelgeräte über 5,1 bis 9,7 % für Verflüssigungssätze bis zu 8,4 bis 19,5 % für Zentralanlagen. Die Emissionsfaktoren der Anwendung sinken für alle Anlagen und Geräte der Gewerbekälte von 1993 an kontinuierlich ab (siehe Tabelle 209), um dem Umstand des zunehmend sorgsameren Umgangs mit HFKW-Kältemitteln Rechnung zu tragen. Die verwendeten Emissionsfaktoren liegen verglichen mit den in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Werten von 1 bis 15 % für Einzelgeräte und 10 bis 35 % für mittelgroße und große gewerbliche Kälteanlagen im unteren Bereich (Einzelgeräte und Zentralanlagen bis zum Berichtsjahr 2014) bzw. darunter (Verflüssigungssätze und Zentralanlagen ab dem Berichtsjahr 2015).

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 10 (Einzelgeräte, Zentralanlagen in Discount-Märkten), 12 (Verflüssigungssätze) bzw. 14 Jahren (Zentralanlagen in allen Marktformaten außer Discount-Märkten) ein. Die verwendeten Lebensdauern liegen damit innerhalb der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) angegebenen Werte von 10 bis 15 (Einzelgeräte) bzw. 7 bis 15 Jahren (mittelgroße und große gewerbliche Kälteanlagen).

Der in den Geräten und Anlagen enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 90 % (Einzelgeräte), 85 % (Verflüssigungssätze) bzw. 87,5 % (Zentralanlagen). In den 2006 IPCC Guidelines sind Werte von 0 - 80 % (Einzelgeräte) und 50 - 100 % (mittelgroße und große gewerbliche Kälteanlagen) angegeben. Der verwendete Restfüllstand von Einzelgeräten liegt somit über dem angegebenen Wertebereich, alle anderen verwendeten Werte sind Default-Werte.

Die Rückgewinnungsfaktoren entwickeln sich kontinuierlich nach oben, so dass die bei der Entsorgung auftretenden Verluste bezogen auf die Erstfüllmenge bzw. Restfüllmenge über die Jahre kleiner werden. Für steckerfertige Einzelgeräte beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr

2003 32,6 %, im Jahr 2019 58 %, bei Verflüssigungssätzen beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr 2005 47,5 % und im Jahr 2019 bereits 78 %, bei Zentralanlagen steigt der Rückgewinnungsfaktor von 42,9 % im Jahr 2000 auf 78,1 % im Jahr 2019. Damit liegen die meisten verwendeten Rückgewinnungsfaktoren innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0 bis 70 %, lediglich die für Zentralanlagen ab dem Berichtsjahr 2009 und für Verflüssigungssätze ab dem Berichtsjahr 2016 genutzten Rückgewinnungsfaktoren liegen über den IPCC Werten.

Aktivitätsdaten

Die Verkaufsflächen der Lebensmitteleinzelhandelsgeschäfte werden jährlich statistisch durch zwei Marktforschungsinstitute⁸¹ erfasst. Das EHI erhebt ebenfalls die Anzahl der Discounter. Auch die Anzahl der Gewerbebetriebe wird jährlich aus verschiedenen, öffentlich verfügbaren Statistiken aktualisiert (Winfried Schwarz et al., 2012).

Der jährliche Neuzugang von FKW-116 (C₂F₆), FKW-218 (C₃F₈), HFKW-125 und HFKW-23, die in den Kältemittelgemischen R508A, R508B, Isceon MO 89 und R413A enthalten sind bzw. im Fall von HFKW-23 auch als Einstoffkältemittel verwendet wird, wird der jährlichen nationalen Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) entnommen.

Die typische kältetechnische Ausstattung von Gewerbebetrieben beruht auf Literatursauswertung und Expertenschätzung. Der Koeffizient „Kilogramm pro Quadratmeter Verkaufsfläche“ bzw. „Kilogramm pro Discounter“ ist von Experten mit Hilfe von Fachliteratur (SKM Enviro (2010), Clodic and Barrault (2011), Clodic et al. (2012)) semiempirisch bestimmt worden. Die Füllmengen von Verflüssigungssätzen und steckerfertigen Geräten sind durch Fachgespräche mit deutschen Kälteanlagenbauern und durch Literaturrecherche bestimmt worden.

4.7.1.2.2 Haushaltskälte (2.F.1.b)

1994 stellten inländische Produzenten von Haushaltskühl- und Gefriergeräten von FCKW-12 auf HFKW-134a um, kurze Zeit später erfolgte in Deutschland die Umstellung auf Isobutan. Ein geringer Anteil von Geräten mit HFKW-134a wurde aber zwischen 1993 und 2014 importiert. Ab 2015 ist der Import von Haushaltskühl- und -gefriergeräten, die Kältemittel mit einem GWP von 150 oder mehr verwenden, laut EU F-Gas Verordnung verboten (F-GasV, 2014).

Herstellungsverluste und der Neuverbrauch fürs Inland brauchen nicht bestimmt zu werden, da Befüllungen mit HFKW nur im Ausland erfolgten.

Mit Gleichung 2 werden die jährlichen HFKW-Emissionen auf Basis des Endbestands berechnet. Dazu ermittelt und aggregiert man den jährlichen HFKW-Neuzugang seit 1993 und subtrahiert die aggregierten jährlichen Abgänge durch Entsorgung.

Entsorgungsemissionen, die bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren ab dem Jahr 2008 auftreten, werden mit Gleichung 4 berechnet.

In Deutschland bieten eine Vielzahl von ausländischen Unternehmen seit Ende der 1990er Jahre Speiseeismaschinen für den Heimbedarf an. Kompressorbetriebene Speiseeismaschinen arbeiten wie eine klassische Kälteanlage mit Kältemittel. Zum Einsatz kommen seit 1997 der HFKW-134a und das Kältemittelgemisch R404A, seit 2015 zunehmend auch Geräte mit R600a. Die Füllmengen der Speiseeismaschinen mit HFKW-Kältemittel bewegen sich, je nach Größe des Gerätes, zwischen etwa 30 g und über 100 g. Daraus ergibt sich eine mittlere HFKW-Füllmenge von etwa 75 g.

Da keine Produktion im Inland stattfindet, fallen keine inländischen Herstellungsemissionen an.

⁸¹ EHI – EuroHandelsinstitut, Köln, The Nielsen Company GmbH, Frankfurt am Main.

Die jährlichen HFKW-Emissionen auf Basis des Endbestands werden mit Gleichung 2 berechnet. Der Endbestand errechnet sich aus den aggregierten jährlichen HFKW-Neuzugängen seit 1997 abzüglich der aggregierten jährlichen Abgänge durch Entsorgung.

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren, also seit 2012, ein. Die dabei entstehenden Emissionen werden mit Gleichung 4 berechnet.

Emissionsfaktoren

Die laufenden HFKW-Emissionen aus Haushaltskühl- und -gefriergeräten werden auf 0,3 % geschätzt und liegen damit innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0,1 bis 0,5 %.

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren ein. Die verwendete Lebensdauer liegt damit innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines angegebenen Wertebereichs von 12 bis 20 Jahren.

Der in den Geräten enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 95,5 %. In den 2006 IPCC Guidelines sind Werte von 0 - 80 % angegeben. Der verwendete Wert liegt somit oberhalb des in den 2006 IPCC Guidelines angegebenen Bereichs. Der Grund dafür sind die geringen Kältemittelverluste während der Nutzungsphase (0,3 % pro Jahr, 4,5 % über die gesamte Nutzungsphase), die keinen kleineren Restfüllstand rechtfertigen.

Der Rückgewinnungsfaktor beträgt 73,3 % und liegt damit leicht oberhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0 bis 70 %. Der höhere Rückgewinnungsfaktor ist auf die laut Elektroggesetz (ElektroG, 2015) gesetzlich geregelte Entsorgung von Haushaltsgeräten zurückzuführen.

Für Speiseeismaschinen gibt es keine Vorgaben in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006). Alle zur Berechnung herangezogenen Werte sind somit länderspezifisch (siehe Tabelle 209). Die Bestandsemissionen werden auf 0,3 % geschätzt. Die durchschnittliche Lebensdauer beträgt 15 Jahre. Der Restfüllstand bezogen auf die Erstfüllmenge liegt ebenso wie bei Haushaltskühlgeräten bei 95,5 %, die Rückgewinnungsrate wird auf 53 % (2012) bis 63,5 % (2019) geschätzt.

Aktivitätsdaten

Der jährliche Neuzugang von 1 % an Haushaltskühl- und Haushaltsgefriergeräten ist eine Schätzung führender Kühlgerätehersteller.

Unterstützt durch Aussagen eines namhaften Herstellers von Speiseeismaschinen wurde die Anzahl der in Deutschland befindlichen Speiseeismaschinen im Jahr 2016 auf 1,5% der Gesamtzahl der Haushalte geschätzt. Der jährliche Neuzugang liegt konstant bei 6,7 % (Warncke et al., 2018).

4.7.1.2.3 Industriekälte (2.F.1.c)

Die in diesem Sektor zusammengefasste Kälte im Industriebetrieb dient der Erzeugung von Produkten, in der Regel von Nahrungsmitteln, die gekühlt oder gefroren werden. Wie in der *Gewerbekälte* ist die kältetechnische Ausstattung in der Regel nicht serienmäßig, sondern individuell angepasst, so dass für die Berechnung der Emissionen ein Kältemittelmodell verwendet werden muss.

Fluorhaltige Kältemittel sind in der Industrie, besonders in der Lebensmittelindustrie kein allgemeiner Standard und natürliche Kältemittel, hauptsächlich Ammoniak, werden viel häufiger eingesetzt als in anderen Sektoren. Als fluorhaltige Kältemittel werden in der Industriekälte R404A, HFKW-134a, R407C, R507A und R422D als Ersatzkältemittel für umgerüstete HFKW-

22-Anlagen eingesetzt. Daneben spielen HFKW-23 und FKW-116 bei Tieftemperaturanlagen, sowie das Kältemittel HFKW-227ea zur Kranklimatisierung und für Hochtemperaturwärmepumpen eine Rolle.

Der Einsatz fluorhaltiger Kältemittel beginnt in Deutschland 1993. Entsorgungsemissionen treten erstmalig 2002 aus umgerüsteten FCKW-12 und HFCKW-22-Anlagen auf.

Für die *Industriekälte* wird folgendes Kältemittel-Modell genutzt:

- Der Kältemittelbestand ist zentraler Bezugspunkt des Modells. Er gliedert sich in die zwölf großen Sektoren der Industriekälte: Bierbrauereien, Weinerzeugung, Fleischproduktion, Molkereien, Kühlhäuser, Schokoladeproduktion, Tiefkühlkost- und Fruchtsafterzeugung, Eisbahnen, Milchkühlung in der Landwirtschaft, sonstige Industrie (80 % Chemische Industrie) und hermetisch geschlossene Geräte der verarbeitenden Industrie. Die Berechnungsbasis zur Bestimmung des Kältemittelbestands sind die Produktionsmengen von Gütern, die über öffentlich zugängliche Waren-Statistiken jährlich aktualisiert werden.
- In den drei kleineren Sektoren der Industriekälte Kranklimatisierung, Hochtemperaturwärmepumpen und Tieftemperaturkühlung mit HFKW-23 (vornehmlich in der Kunststoffindustrie) und R508A/B, wird der jährliche Neuzugang als Ausgangsgröße zur Berechnung des Bestands und aller Emissionen verwendet.
- Basierend auf diesen Produktionsmengen erfolgt die Umrechnung in die für die Kühlung der Güter in den zwölf großen Sektoren installierte Kälteleistung. Die dafür benötigten Kennziffern „installierte Kälteleistung pro jährliche Güterproduktion“ wurden basierend auf Fachliteratur empirisch ermittelt.
- Die Abschätzung der Kältemittelmenge für diese Kälteleistungen erfolgt auf Basis von Kältemittelraten für Plus- und Minuskühlung sowie direkter und indirekter Kühlung. Die verwendeten Kältemittelraten wurden ebenfalls durch Literaturrecherche, u.a. Clodic and Barrault (2011) und Clodic et al. (2012), ermittelt. Sie liegen zwischen 2 kg/kW für indirekte Plus-Kühlung und 8,8 kg/kW für direkte Minus-Kühlung. Aus der Kombination dieser Werte mit jeweiliger sektorspezifischer Wichtung der vier Kühlungsformen errechnen sich die typischen Füllmengen pro installierte Kälteleistung für die zwölf Sektoren.
- Der Außenhandel mit vor Ort errichteten Kälteanlagen ist vernachlässigbar, so dass der jährliche HFKW-Verbrauch für Neuanlagen gleich dem HFKW-Zugang in Neuanlagen ist.
- Der Kältemittelbestand ist auch Berechnungsgrundlage für die Entsorgungsmenge. Sie wird in jedem Sektor durch Division des Bestands durch die Anlagenlebensdauer errechnet. Diese liegt für die meisten Sektoren bei 30 Jahren, für Milchviehbetriebe und Eisbahnen bei 20 Jahren, für steckerfertige Geräte, Krankklimaanlagen, Hochtemperaturwärmepumpen und Tieftemperaturanwendungen bei 10 Jahren.
- Die prozentualen Anteile der verwendeten Kältemitteltypen, die sich zeitlich für Bestand, Neuzugang und Entsorgungsmenge ändern, werden für jeden Sektor in einem statischen Rechenmodell abgeleitet (Winfried Schwarz et al., 2012).
- Der Austausch von FCKW und HFCKW in Altanlagen wird gesondert berücksichtigt.
- Herstellungsemissionen und Bestandsemissionen werden durch Gleichung 1 und Gleichung 2 errechnet.
- Entsorgungsemissionen werden durch Gleichung 4 berechnet. Die nominale Entsorgungsmenge ist mit der Erstbefüllung identisch. Der effektive Füllstand am Lebensende beträgt für alle Sektoren 85 % der Nominalfüllmenge, nur bei steckerfertigen Geräten ist er mit 90 % höher.

Emissionsfaktoren

Die den Emissionsdaten zugrunde liegenden Emissionsfaktoren sind in Tabelle 209 wiedergegeben.

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen und Literaturlauswertungen.

Die Befüllungsemissionen sind bei Industriekälteanlagen im Allgemeinen gering. Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) geben in Vol. 3, Tabelle 7.9 für „initial emission“ 0,5 bis 3 Prozent der Erstbefüllung an, der länderspezifische $EF_{\text{Herstellung}}$ liegt mit 1 %, für die sektoralen Anwendungsbereiche bzw. mit 0,5 % für steckerfertige Geräte im unteren Bereich dieser Vorgaben.

Die laufenden HFKW-Emissionen aus Industriekälteanlagen gehen in allen Sektoren außer hermetischen Geräten kontinuierlich von 8,8 % im Jahr 1993 auf 4,75 % im Jahr 2019 zurück, da die Kälteanlagen bedingt durch nationale und europäische gesetzliche Regelungen zunehmend dichter werden. Sie liegen im unteren Bereich bzw. unterhalb der in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 angegebenen Werte von 7 bis 25 Prozent. Bei steckerfertigen Geräten geht der entsprechende Rückgang wie in der Gewerbekälte auch von 1,4 % im Jahr 1994 auf 1 % ab dem Jahr 2009.

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 10 Jahren (steckerfertige Einzelgeräte, Krankklimaanlagen, Hochtemperaturwärmepumpen, Tieftemperaturanwendungen und Kunststoffindustrie), 20 Jahren (Milchviehbetriebe, Eisbahnen) bzw. 30 Jahren (Lebensmittelindustrie, Kühlhäuser, chemische Industrie) ein. Die verwendeten Lebensdauern liegen damit mit Ausnahme der Anwendungsbereiche mit 10 Jahren Lebensdauer innerhalb der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Werte von 15 bis 30 Jahren.

Der in den Geräten und Anlagen enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 90 % (Einzelgeräte) bzw. 85 % (sektorale Anwendungsbereiche). In den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) sind Werte von 50 bis 100 % für Industriekälteanlagen angegeben. Die verwendeten Werte sind somit alle Default-Werte.

Die Rückgewinnungsfaktoren entwickeln sich kontinuierlich nach oben, so dass die bei der Entsorgung auftretenden Verluste bezogen auf die Erstfüllmenge bzw. Restfüllmenge über die Jahre kleiner werden. Für steckerfertige Einzelgeräte beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr 2004 33,7 %, im Jahr 2019 58 %, bei den Kälteanlagen der sektoralen Anwendungsbereiche beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr 2002 45 % und im Jahr 2019 79,5 %. Damit liegen die verwendeten Rückgewinnungsfaktoren innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0 bis 90 %.

Aktivitätsdaten

Zahlreiche Zeitreihen für die Produktionsmengen von Nahrungsmitteln finden sich in den Statistiken des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) oder des Statistischen Bundesamtes. Zudem sind Daten von Industrieverbänden wie dem Verband Deutscher Kühlhäuser und Kühllogistikunternehmen e.V. (VDKL) oder dem Bundesverband der Deutschen Süßwarenindustrie (BDSI) sowie spezialisierten Instituten, z.B. dem Deutschen Weininstitut, verfügbar.

Die Stückzahlen der steckerfertigen Geräte stammen aus einer Studie des VDMA (2011) und Aussagen von Branchenexperten.

Der jährliche Neuzugang von HFKW-227ea und HFKW-23 (Kranklimatisierung, Hochtemperaturwärmepumpen und Tieftemperaturkühlung) wird der jährlichen nationalen Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) entnommen.

Die Kennziffern „installierte Kälteleistung pro jährliche Güterproduktion“ und die Kältemittelraten für Plus- und Minuskühlung sowie direkte und indirekte Kühlung wurden basierend auf Fachliteratur ermittelt.

4.7.1.2.4 Transportkälte (Kühlfahrzeuge und –container) (2.F.1.d)

HFKW werden in *Kühlfahrzeugen* seit 1993 als Kältemittel eingesetzt. Heute kommen überwiegend der HFKW-134a und die Kältemittelgemische R404A und R410A zum Einsatz. Seit 2015 auch R452A. Dem Ladevolumen der Kühlfahrzeuge entsprechend variieren Größe und Kältemittelfüllung der Kälteaggregate.

Kühlcontainer werden vor allem für den Transport verderblicher Waren auf Seeschiffen eingesetzt. Da die Emissionen vorzugsweise in internationalen Gewässern erfolgen, werden die Kältemittellemissionen entsprechend dem Anteil eines Landes am Welthandel aufgeteilt. Deutschland werden 10 % der weltweiten Emissionen aus dem Bestand von Kühlcontainern zugerechnet. Bevorzugtes Kältemittel ist seit 1993 der HFKW-134a. Seit 1997 wird auch R404A eingesetzt.

Es wird folgendes Kältemittelmodell für *Kühlfahrzeuge* angewendet (Warncke et al., 2018):

- Die Kühlfahrzeuge werden entsprechend ihres Gewichts in fünf Größenklassen eingeteilt: Van <3,5 t, Van mit 3,5-7,5 t, Lkw mit 7,5-12 t, Lkw > 12 t und Trailer > 26 t Gesamtgewicht.
- Den Größenklassen werden Kältemittel (Typ) und spezifische Kältemittel-Füllmengen zugeordnet und jedem Kältemittel ein prozentualer Anteil an der Größenklasse zugeteilt.
- Bei Trailern > 26 t Gesamtgewicht dominierte lange Zeit das Kältemittel R404A mit einem jährlichen Anteil von 95 % (1993-1994) bzw. 85 % (1995-2014). Ab 2018 liegt der R404A-Anteil bei Null. Seit 2015 wird in zunehmendem Maße R452A eingesetzt, das seit 2017 sogar den Markt dominiert. Sein Anteil lag 2015 bei 13 % und 2019 bereits bei 85 %. Darüber hinaus kamen seit 1993 auch HFKW-134a (5 %) und seit 1995 R410A (10 %) zum Einsatz.
- Bei Lkw > 12 t Gesamtgewicht lag der Anteil von R404A bei 90 % (1993-1994) bzw. 80 % (1995-2014) und sank ab 2015 kontinuierlich auf Null im Jahr 2019 ab. Der Anteil von HFKW-134a (ab 1993) und R410A (ab 1995) lag bei 10 %. Seit 2015 wurde zunehmend R452A verwendet, das seit 2018 das am häufigsten verwendete Kältemittel dieser Größenklasse ist. 2019 waren es 80 %.
- In Lkw mit 7,5 - 12 t Gesamtgewicht wurden seit 1993 R404A und HFKW-134a verwendet. Der Anteil von HFKW-134a lag bei 30 % (ab 1993), der von R404A bei 70 % (1993-1994), sank dann auf 60 % (1995-2014) und ab 2015 kontinuierlich weiter auf 15 % im Jahr 2018 bzw. Null im Jahr 2019. Ab 1995 kam auch R410A mit einem Anteil von 10 % zum Einsatz. Der Anteil von R452A lag 2015 noch bei 1 % und stieg bis 2019 kontinuierlich auf 60 %.
- In Vans mit 3,5 - 7,5 t Gesamtgewicht wurden seit 1993 70 % R404A und 30 % HFKW-134a verwendet. 2018 betrug der Anteil von R404A nur noch 15 %, 2019 wurde es nicht mehr verwendet. Dafür kam ab 2018 R452A zum Einsatz, dessen Anteil 2019 bei 70 % lag.

- Von 1993 bis 2005 wurde in Vans mit einem Gesamtgewicht unter 3,5 t ausschließlich HFKW-134a eingesetzt. Von 2006 bis 2017 wurde in 70 % der Vans das Kältemittel R404A eingefüllt, in den restlichen 30 % HFKW-134a. Seit 2018 kommt auch das Kältemittel R452A zum Einsatz, dessen Anteil 2019 bereits bei 70 % lag. Dafür ist der R404A-Anteil ab 2019 auf Null abgesunken.
- Die Anzahl der neu zugelassenen Kühlfahrzeuge und der im Inland befüllten Kühlfahrzeuge (nach Kältemittel) wird für jedes Jahr ermittelt.
- Herstellungsemissionen werden mit Gleichung 1 über den Neuverbrauch zur Befüllung der im Inland produzierten Kühlfahrzeuge berechnet.
- Aus der Anzahl neu zugelassener Kühlfahrzeuge und den o.g. Annahmen ergibt sich der jährliche Neuzugang an Kältemitteln.
- Zwischen 1996 und 1999 wurden in einer gewissen Zahl von Altanlagen FCKW-12 durch HFKW ausgetauscht. Diese Mengen sind dem jährlichen Neuzugang zuzuschlagen.
- Der Jahresendbestand wird durch Aggregation der jährlichen HFKW-Neuzugänge seit 1993 und Subtraktion der Abgänge durch Entsorgung ermittelt.
- Mit Gleichung 2 werden die jährlichen HFKW-Emissionen auf Basis des Endbestands berechnet.
- Entsorgungsemissionen treten bei Kühlfahrzeugen erstmalig im Jahr 2003 auf. Diese werden durch Gleichung 4 errechnet. Die nominale Entsorgungsmenge ist mit dem Neuzugang vor 10 Jahren (bzw. 7 Jahren bei umgerüsteten FCKW-12 Anlagen) identisch. Der effektive Füllstand am Lebensende beträgt 87,5 % der Nominalfüllmenge.
- Emissionen des nicht berichtspflichtigen HFKW-1234yf aus dem Kältemittelgemisch R452A werden gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gases“ berichtet. Die Emissionen sind aggregiert mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 aufgeführt.

Für *Kühlcontainer* wird folgendes Kältemittel-Modell angewendet:

- Die Anzahl der weltweit produzierten Kühlcontainer wird für jedes Jahr ermittelt.
- Der weltweite HFKW-Neuzugang für Kühlcontainer wird mit Hilfe der jährlichen Stückzahlen aus der Weltproduktion in Kombination mit den Füllmengen und den Kältemittelanteilen ermittelt.
- Der HFKW-Neuzugang Deutschlands wird aus dem weltweiten Neuzugang entsprechend seinem Anteil am Welthandel, der bei 10 % liegt, berechnet.
- Da Kühlcontainer nur außerhalb Deutschlands produziert werden, fallen im Inland keine Emissionen aus der Befüllung an.
- Der Jahresendbestand wird durch Aggregation der jährlichen HFKW-Neuzugänge seit 1993 und Subtraktion der Abgänge durch Entsorgung ermittelt.
- Bestandsemissionen werden mit Gleichung 2 berechnet.
- Bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von 14 Jahren, treten Entsorgungsemissionen bei Kühlcontainern erstmals im Jahr 2007 auf. Diese werden durch Gleichung 4 errechnet.

Emissionsfaktoren

Die den Emissionsdaten zugrunde liegenden EF sind in Tabelle 209 wiedergegeben.

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen und Literaturlauswertungen.

Die Befüllungsemissionen sind bei Kühlfahrzeugen im Allgemeinen gering. Die Kältemittelverluste beim Befüllen werden auf 5 Gramm pro Anlage geschätzt, unabhängig von deren Größe. Dies ist ein Standardwert für Schlauchverluste bei Vor-Ort-Befüllungen. Werden die Befüllungsemissionen rechnerisch auf den Neuverbrauch bezogen, so ergeben sich Emissionsfaktoren zwischen 0,06 und 0,25 %. Die 2006 IPCC Guidelines geben in Vol. 3, Tabelle 7.9 für „initial emission“ in der Transportkälte 0,2 bis 1 Prozent der Erstbefüllung an. Damit liegen die verwendeten Werte zum größten Teil unter dem in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) vorgeschlagenen Wertebereich.

Da es keine Inlandsproduktion von Kühlcontainern gibt, fallen keine Befüllungsemissionen an.

Die laufenden HFKW-Emissionen aus Kälteaggregaten von Kühlfahrzeugen werden für Neuanlagen der drei Größenklassen Lkw mit 7,5 - 12 t, Lkw > 12 t und Trailer > 26 t zulässigem Gesamtgewicht auf 15 % geschätzt. Für Vans < 3,5 t und 3,5 - 7,5 t zulässigem Gesamtgewicht beträgt der Emissionsfaktor 30 %. Für Kühlfahrzeug-Altanlagen (umgerüstete FCKW-12-Anlagen) wird der Emissionsfaktor des Bestands über alle Anlagengrößen auf durchschnittlich 25 % geschätzt. Die Emissionsfaktoren von Kühlfahrzeugen liegen damit an der unteren Grenze des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 angegebenen Wertebereichs von 15 bis 50 %.

Der Bestandsemissionsfaktor für Kälteaggregate von Kühlcontainern beträgt 10 % und liegt damit unterhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 angegebenen Wertebereichs von 15 bis 50 %.

Die Lebensdauer von Kühlfahrzeug-Altanlagen beträgt 7 Jahre, die von Kühlfahrzeug-Neuanlagen 10 Jahre. Die Entsorgung von Kühlcontainern setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 14 Jahren ein. Die verwendeten Lebensdauern liegen damit, mit Ausnahme von Kühlfahrzeug-Altanlagen, über der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Größenordnung von 6 bis 9 Jahren.

Der in Kühlfahrzeugen und Kühlcontainern enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 87,5 %. In den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) sind Werte von 0 bis 50 % für Transportkälteanlagen angegeben. Die verwendeten Werte sind alle größer als in den Guidelines angegeben, da davon ausgegangen werden muss, dass Transportkälteanlagen, die nur noch über 50 % der Erstfüllmenge verfügen, nicht mehr einwandfrei funktionieren und so eine lückenlose Kühlkette gefährden. Dies ist mit deutschem Recht nicht vereinbar.

Die Rückgewinnungsfaktoren betragen für Kühlfahrzeuge und Kühlcontainer 65,7 %. Damit liegen die verwendeten Rückgewinnungsfaktoren innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 angegebenen Wertebereichs von 0 bis 70 % und sind Default-Werte.

Aktivitätsdaten

Die Zulassungszahlen von Kühlfahrzeugen nach Gewichtsklassen stammen bis 2008 und ab 2011 aus den statistischen Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes. Da das Kraftfahrt-Bundesamt 2009 und 2010 keine gesonderten Erhebungen für Kühlfahrzeuge durchführte, wurde die Anzahl neuer Kühlfahrzeuge für diese beiden Jahre durch Extrapolation der Zulassungszahlen von Nutzfahrzeugen bestimmt. Die Füllmengen der Kälteaggregate, verwendete Kältemittel und Details zum FCKW-12-Ersatz stammen von Experten der wichtigsten Anbieter von Kühlfahrzeug-Kälteanlagen.

Der Kältemittel-Neuzugang bei Kühlcontainern wird anhand eines Kältemittelmodells, ausgehend von der Anzahl der weltweit produzierten Kühlcontainer, die dem Branchen-

Informationsdienst "World Cargo News" entnommen wird, ermittelt. Ein Anteil von 10 % wird Deutschland zugerechnet.

4.7.1.2.5 Mobile Klimaanlage (2.F.1.e)

Mobile Klimaanlage sind Fahrzeugklimaanlagen in Personenkraftwagen (Pkw), Lastkraftwagen bzw. Nutzfahrzeugen (Nfz), Bussen, Landmaschinen (Ackerschleppern, Mähreschern, Feldhäckslern), Schienenfahrzeugen, auf Schiffen, in Flugzeugen und Hubschraubern. Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) werden seit 1991 in mobilen Klimaanlage eingesetzt. Als HFKW-Kältemittel wird HFKW-134a verwendet. Seit dem Jahr 2012 kommt in Pkw-Klimaanlagen auch HFKW-1234yf zum Einsatz.

Die Zeitreihen zeigen einen signifikanten Anstieg der Emissionen von HFKW-134a von 1995 bis 2015, was in direktem Zusammenhang mit dem vermehrten Einsatz von Klimaanlage in Fahrzeugen steht, trotz rückläufiger Füllmengen. Danach sinken sie, bedingt durch den Ersatz von HFKW-134a in Neuanlagen durch den nicht berichtspflichtigen HFKW-1234yf sowie der daraus resultierenden Abnahme des HFKW-134a-Bestands, kontinuierlich.

- Für *Pkw* wird folgendes Kältemittelmodell angewendet:
- Die Stückzahlen deutscher Pkw-Produktion sind aus öffentlich zugänglichen Statistiken des Verbands der Automobilindustrie (VDA) jährlich verfügbar. Sie bilden die Datenbasis zur Berechnung der Verbrauchsmengen für die Befüllung.
- Die Jahrgangs-Klimaanlagenquote wird direkt über umfangreiche Herstellerbefragungen erhoben, da keine amtlichen oder öffentlich verfügbaren Statistiken verfügbar sind. Dies gilt auch für die durchschnittlichen Kältemittelfüllmengen, die aus den Angaben für jeden Fahrzeugtyp und den Aussagen von Branchenexperten bestimmt werden.
- Durch Multiplikation der produzierten Stückzahlen mit der Jahrgangs-Klimaanlagenquote und den durchschnittlichen Kältemittelfüllmengen wird die Verbrauchsmenge für die Befüllung berechnet.
- Herstellungsemissionen werden nach Gleichung 1 errechnet.
- Für die Ermittlung des jährlichen Neuzugangs und des Kältemittelbestands in Pkw-Klimaanlagen werden nicht die jährlichen Fahrzeug-Neuzulassungen des Kraftfahrtbundesamtes herangezogen, da der vorzeitige, vor Erreichen der durchschnittlichen Lebensdauer auftretende Fahrzeugschwund aus den Zulassungsjahrgängen, die den Bestand bilden, nicht quantitativ abgeschätzt werden kann. Der Kältemittelbestand wird vielmehr aus den zugelassenen Fahrzeugbeständen nach Alter seit Erstzulassung bestimmt. Diese amtlichen Zahlen sind in der Statistischen Mitteilung des Kraftfahrtbundesamtes (Kraftfahrtbundesamt, Versch. Jahrgänge) für alle benötigten Jahre, d.h. ab 1991, verfügbar und ermöglichen die Bestimmung eines kontinuierlichen und chronologischen Fahrzeugbestands nach Zulassungsjahrgängen in Stückzahlen.
- Auch die Bestimmung der Jahrgangs-Klimaanlagenquote für die zugelassenen Fahrzeuge erfolgt direkt über umfangreiche Herstellerbefragungen. Sie ist nicht identisch mit der Klimaquote für die in Deutschland produzierten Pkw, da auch im Ausland produzierte Pkw berücksichtigt werden müssen. Zu ihrer Bestimmung werden deshalb auch ausländische Unternehmen befragt. Dies gilt ebenso für die Bestimmung der durchschnittlichen Kältemittelfüllmengen der zugelassenen Fahrzeuge.
- Für die Berechnung des Kältemittelbestands eines Zulassungsjahrgangs wird die jahrgangsspezifische Füllmenge mit der Stückzahl klimatisierter Pkw multipliziert. Der Gesamtbestand entspricht der Summe der Kältemittelbestände aller Zulassungsjahrgänge seit 1991.
- Bestandsemissionen werden gemäß Gleichung 2 berechnet.

- Der Austausch von FCKW in Altanlagen und die Klimaanlage nachrüstung älterer Fahrzeuge werden gesondert berücksichtigt.
- Für die Bestimmung der Entsorgungsmenge werden nur die Altfahrzeuge berücksichtigt, die jährlich in deutschen Demontagebetrieben behandelt werden. Deren Anzahl wird amtlichen Daten für das Altfahrzeugaufkommen (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1) entnommen. Gebrauchtwagen- und Altfahrzeugexporte bleiben im Kältemittel-Modell unberücksichtigt, da die bei der Entsorgung auftretenden Emissionen in den Zielländern berichtet werden müssen, und eine Doppelnennung vermieden werden soll.
- Für die demontierten Altfahrzeuge wird eine durchschnittliche Lebensdauer von 15 Jahren angenommen. Durch Multiplikation der Stückzahlen demontierter Fahrzeuge mit der Klimaanlagequote und der durchschnittlichen Kältemittelfüllmenge des Neuzulassungsjahrgangs vor 15 Jahren, wird die Kältemittelentsorgungsmenge ermittelt.
- Entsorgungsemissionen traten erstmals im Jahr 2002 auf und werden mit Gleichung 4 berechnet.
- Emissionen des nicht berichtspflichtigen HFKW-1234yf berichtet Deutschland gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig unter „additional greenhouse gases“. Die HFKW-1234yf-Emissionen werden mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen zusammengefasst und in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 berichtet.

Die Kältemittelmodelle für *Nutzfahrzeuge* und *Busse* sind ähnlich aufgebaut wie das Modell für Pkw. Eine ausführliche Beschreibung der Modelle findet sich in (Winfried Schwarz et al., 2012).

Das für *Landmaschinen*, *Schiffe* und *Schienenfahrzeuge* genutzte Kältemittelmodell sieht folgendermaßen aus:

- Für Schiffe und Schienenfahrzeuge werden die Kältemittelmmissionen auf Basis der jährlichen Neuinstallationen von Klimaanlage in Schiffen (Ausgangsdaten: Schiffsneubauten für die deutsche Flotte) und in Schienenfahrzeugen (Ausgangsdaten: Neubeschaffungen der deutschen Bahn und privater Unternehmen) und deren Füllmengen bestimmt.
- Das Kältemittelmodell für Klimaanlage in Landmaschinen beruht auf der Ermittlung der Anzahl der jährlichen Fahrzeug-Neuzulassungen, der durchschnittlichen Klimaanlagequote und der durchschnittlichen Füllmenge der verschiedenen Landmaschinentypen.
- Der jährliche Neuzugang sowie der Endbestand an HFKW-134a für jeden Bereich wird aus den Angaben zuvor ermittelt.
- Bestandsemissionen werden gemäß Gleichung 2 durch Multiplikation des Endbestandes für jeden Bereich mit dem jeweiligen $EF_{\text{Anwendung}}$ errechnet.
- Der inländische Verbrauch an HFKW-134a zur Herstellung von mobilen Klimaanlage wird aufbauend auf Produktionsstückzahlen ermittelt. Die Herstellungsemissionen werden nach Gleichung 1 errechnet.
- Entsorgungsemissionen werden durch Gleichung 4 errechnet. Sie treten bei Landmaschinen erstmalig im Jahr 2004, nach Ablauf einer durchschnittlichen Lebensdauer von 10 Jahren, auf. Bei Schienenfahrzeugen kommt es erstmalig im Jahr 2017, nach Ablauf einer durchschnittlichen Lebensdauer von 25 Jahren, zu Entsorgungsemissionen. Bei Schiffen setzt die Entsorgung erst im Jahr 2022, nach 25 Jahren, ein.

Für *Flugzeuge* und *Hubschrauber* wird folgendes Kältemittelmodell angewendet:

- Für die Ermittlung des Kältemittelbestands in Klimaanlage mittelgroßer, mehrmotoriger Flugzeuge (Kennzeichenklasse I) und Hubschrauber (Kennzeichenklasse H) sowie in der Bordkühlung von Passagierflugzeugen der Kennzeichenklassen A, B und C wird die jeweilige Anzahl der in Deutschland zugelassenen Flugzeuge bzw. Hubschrauber herangezogen. Diese amtlichen Zahlen sind in den jährlich veröffentlichten Statistiken des Luftfahrt-Bundesamtes (Luftfahrt-Bundesamt, Versch. Jahrgänge, Bestand an Luftfahrzeugen) für alle benötigten Jahre, d.h. ab 1993, verfügbar.
- In Passagierflugzeugen der Kennzeichenklassen A, B und C werden bei Flügen von über vier Stunden durchschnittlich drei HFKW-134a-Chiller mit einer Füllmenge von jeweils 500 g für die Bordkühlung eingesetzt.
- In Flugzeugen der Kennzeichenklasse I und Hubschraubern kommen laut Herstellerangaben pro Flugzeug durchschnittlich 2 kg HFKW-134a zur Instrumentenkühlung und Klimatisierung zum Einsatz.
- Für die Berechnung des Kältemittelbestands wird die flugzeugspezifische Füllmenge mit der Stückzahl der zugelassenen klimatisierten bzw. gekühlten Flugzeuge multipliziert.
- Bestandsemissionen werden gemäß Gleichung 2 berechnet.
- Entsorgungsemissionen treten aufgrund der langen Lebensdauer der Flugzeuge bisher nicht auf.

Emissionsfaktoren

Die den Emissionsdaten zugrunde liegenden EF sind in Tabelle 209 wiedergegeben.

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Literaturlauswertungen (z.B. Winfried Schwarz (2003); Siegl et al. (2002); Clodic and Barrault (2011); Clodic et al. (2012); Winfried Schwarz et al. (2012), Hafner et al. (2019)), Messungen (Pkw), Auswertungen von Werkstattokumentationen und umfangreichen Expertenbefragungen sowie Umfragen bei Pkw-Werkstätten und Demontagebetrieben. Zu den regulären Emissionen während des Betriebs kommen hier noch Emissionen durch Unfälle und andere äußere Einflüsse hinzu.

Die Befüllungsemissionen sind bei mobilen Klimaanlage im Allgemeinen gering. Die Kältemittelverluste beim Befüllen werden bei Pkw auf 3 Gramm pro Anlage geschätzt, bei Nfz und Landmaschinen auf 5 Gramm pro Anlage und bei Bussen auf 50 Gramm pro Anlage. Dabei handelt es sich um Standardwerte für Schlauchverluste bei Vor-Ort-Befüllungen. Werden die Befüllungsemissionen rechnerisch auf den Neuverbrauch bezogen, so ergeben sich in Abhängigkeit von jährlich sich ändernder Erstfüllmengen Emissionsfaktoren zwischen 0,25 - 0,63 % (Pkw), 0,36 - 0,66 % (Nfz), 0,28 - 0,35 % (Landmaschinen) und 0,42 - 0,45 % (Busse). Bei Schienenfahrzeugen beträgt der Emissionsfaktor der Befüllung 0,5 % und bei Schiffen 1 %. Die 2006 IPCC Guidelines geben in Vol. 3, Tabelle 7.9 für „initial emission“ bei mobilen Klimaanlage (Pkw, Nfz, Busse und Schienenfahrzeuge) 0,2 bis 0,5 Prozent der Erstbefüllung an. Die verwendeten Werte für die in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) beschriebenen Fahrzeuge liegen somit zum größten Teil innerhalb des vorgeschlagenen Wertebereichs. Die 2006 IPCC Guidelines geben keine Werte für Landmaschinen, Schiffe und Flugzeuge vor.

Die laufenden HFKW-Emissionen werden für Pkw auf 10 % geschätzt, für Nutzfahrzeuge und Busse auf 15 %, für Schienenfahrzeuge auf 6 %, für Landmaschinen auf 15 % (Ackerschlepper) bzw. 25 % (Mähdrescher, Feldhäcksler), für Schiffe auf 10 % (Binnenpersonenschiffe), 20 % (Seepersonenschiffe) bzw. 35 % (Seegüterschiffe) und für Flugzeuge auf 5 %. Die verwendeten EF_{Anwendung} liegen damit größtenteils im Bereich des in Vol. 3, Tabelle 7.9 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) gegebenen Vorschlags von 10 bis 20 % für Klimaanlage in Pkw, Nfz,

Bussen und Schienenfahrzeugen. Für Landmaschinen, Schiffe und Flugzeuge werden keine Vorschläge unterbreitet.

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren (Pkw, Nfz, Busse), 10 Jahren (Landmaschinen) bzw. 25 Jahren (Schienenfahrzeuge, Schiffe) ein. Mit Ausnahme von Schienenfahrzeugen und Schiffen liegen die verwendeten Lebensdauern innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines für Pkw, Nfz, Busse und Schienenfahrzeuge angegebenen Wertebereiches von 9 bis 16 Jahren.

Der in den Klimaanlagen enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 34 % (Pkw, Nfz, Busse, Landmaschinen) bzw. 87,5 % bei Schienenfahrzeugen, da diese kürzere Wartungsintervalle aufweisen, um den Fahrgastkomfort zu gewährleisten. In den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) sind Werte von 0 - 50 % angegeben. Bis auf Schienenfahrzeuge sind die verwendeten Werte alle Default-Werte.

Wegen der seit dem Jahr 2002 in der Altfahrzeugverordnung geforderten geregelten Entsorgung und Verwertung von Altfahrzeugen entwickeln sich die Rückgewinnungsfaktoren bei Pkw und Nfz kontinuierlich nach oben, so dass die bei der Entsorgung auftretenden Verluste bezogen auf die Erstfüllmenge bzw. Restfüllmenge über die Jahre kleiner werden. Sie liegen für Pkw und Nfz im Jahr 2000 bei 38 % und im Jahr 2019 bei 48,7 %. Der Rückgewinnungsfaktor wird bei Bussen auf 38 %, bei Landmaschinen auf 11,7 % und bei Schienenfahrzeugen auf 75,6 % (2017) bis 80 % (2019) geschätzt. Damit liegen die verwendeten Rückgewinnungsfaktoren für Pkw, Nfz und Busse innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0 bis 50 %. Der länderspezifische Wert für Schienenfahrzeuge liegt deutlich über dem Default-Wert, da bei der Entsorgung von Schienenfahrzeugen deutlich mehr Sorgfalt aufgewendet wird. Für Landmaschinen machen die 2006 IPCC Guidelines keine Vorschläge.

Aktivitätsdaten

Zugelassene Fahrzeugbestände von Pkw, Nfz und Bussen sowie Neuzulassungen von landwirtschaftlichen Zugmaschinen werden vom Kraftfahrtbundesamt gemeldet. Die Anzahl der zugelassenen Flugzeuge stammt vom Luftfahrt-Bundesamt. Produktionszahlen stammen vom Verband der Automobilindustrie (VDA), vom Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), sind anderen Statistiken entnommen oder basieren auf Herstellerbefragungen.

Bei den Pkw-Klimaanlagen werden Füllmengen und Jahrgangs-Klimaanlagenquoten durch Direktbefragung von Automobilunternehmen ermittelt, bei den anderen Fahrzeugtypen durch eine Kombination aus amtlichen Statistiken, gezielter Herstellerbefragung und Expertenschätzung.

4.7.1.2.6 Stationäre Klimaanlagen (2.F.1.f)

Zu den stationären Klimaanlagen zählen Raumklimageräte, Kaltwassersätze zur Gebäudeklimatisierung und industriellen Flüssigkeitskühlung, sowie Wärmepumpenanlagen, Wärmepumpen-Wäschetrockner und gewerbliche Spülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion.

4.7.1.2.6.1 Raumklimageräte

Raumklimageräte dienen der Temperierung der Innenraumluft einzelner Räume, ganzer Stockwerke oder kleinerer bis mittelgroßer Gebäude und liegen von der Leistung her unter der von Großklimaanlagen. Als Kältemittel kommen seit 1998 das HFKW-Gemisch R407C, ab 2003 das Gemisch R410A und ab 2014 der HFKW-32 zum Einsatz. Als halogenfreie Alternative wird in mobilen Raumklimageräten ab 1997 auch R290 verwendet.

Eine inländische Produktion von Raumklimageräten gibt es nicht. Raumklimageräte werden in der Regel befüllt importiert. Bei der Installation von fabrikmäßig hergestellten Single-Split-, Multi-Split- und VRF-Multi-Split-Geräten erfolgt jedoch eine Auffüllung der vor Ort verlegten Kältemittelleitungen. Dies ist bei mobilen, steckerfertigen Raumklimageräten nicht erforderlich.

Folgendes Kältemittelmodell wird für Raumklimageräte angewendet:

- Die *Raumklimageräte* werden in vier Kategorien eingeteilt, deren jeweilige Stückzahl von Neuanlagen jedes Jahr durch Anbieterbefragung und die in internationalen Publikationen veröffentlichten Zahlen ermittelt wird: kleine mobile Geräte, Single-Split-Geräte, Multi-Split-Geräte mit konstantem Volumenstrom des Kältemittels und VRF-Multi-Split-Systeme mit variablem Volumenstrom.
- Für jede Kategorie werden Füllmenge und prozentuale Anteile der verwendeten Kältemitteltypen entsprechend der jährlich verkauften Neuanlagen festgelegt. Aus der Absatzmenge und den o.g. Annahmen ergibt sich der jährliche Neuverbrauch, der identisch ist mit dem Neuzugang an Kältemitteln. Der Jahresendbestand wird durch Aggregation der jährlichen HFKW-Neuzugänge und Subtraktion der Abgänge durch Entsorgung ermittelt.
- Herstellungsemissionen treten nicht auf. Befüllungsverluste treten aber bei der Installation der ortsfesten Single-Split-Geräte, Multi-Split-Geräte und VRF-Multisplit-Systeme auf. Auf der Grundlage von Expertenbefragungen kommt es hierbei zu Installationsverlusten von 5 g pro Gerät (10 % der Auffüllmenge) bei Single-Split-Geräten, 20 g pro Gerät (1 % der Auffüllmenge) bei Multi-Split-Geräten und 45 g pro Gerät (1 % der Auffüllmenge) bei VRF-Multisplit-Systemen.
- Bestandsemissionen werden nach Gleichung 2 berechnet.
- Entsorgungsemissionen traten erstmals im Jahr 2008 nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 10 Jahren für mobile Geräte und Single-Split-Geräte bzw. 13 Jahren für Multi-Split- und VRF-Multi-Split-Geräte auf und werden mit Gleichung 4 berechnet.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen und Literatúrauswertung und sind in Tabelle 209 wiedergegeben.

Der länderspezifische $EF_{\text{Herstellung}} = 1\%$ für Multi-Split- und VRF-Multi-Split-Geräte liegt innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 vorgeschlagenen Wertebereichs von 0,2 bis 1 %. Bei Single-Split-Geräten beträgt der Emissionsfaktor 10 %, was einem Verlust von 5 g Kältemittel bei 50 g Auffüllung entspricht und über den in den Guidelines angegebenen Werten liegt.

Die Emissionsfaktoren der Anwendung sinken für alle Geräte innerhalb der Zeitreihe ab dem ersten Jahr der Anwendung kontinuierlich ab (siehe Tabelle 209). Sie liegen für mobile Raumklimageräte zwischen 3,4 % (1999) und 2,5 % (ab 2010), für Single-Split-Geräte zwischen 6,9 % (1998) und 5 % (ab 2010), für Multi-Split-Geräte zwischen 7,9 % (1998) und 4,4 % (2019) und für VRF-Multi-Split-Geräte zwischen 8,1 % (2003) und 5,1 % (2019). Die Anwendungs-Emissionsfaktoren liegen somit innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 vorgeschlagenen Wertebereichs von 1 bis 10 %.

Die geschätzte Lebensdauer liegt mit 10 Jahren (mobile Raumklimageräte, Single-Split-Geräte) bzw. 13 Jahren (Multi-Split-Geräte, VRF-Multi-Split-Geräte) innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 vorgeschlagenen Wertebereichs von 10 bis 20 Jahren.

Der Restfüllstand bei Entsorgung beträgt 75 % bei mobilen Raumklimageräten und 87,5 % bei allen anderen Typen. Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) schlagen in Vol.3, Tabelle 7.9 Werte

von 0 bis 80 % vor. Der für mobile Raumklimageräte verwendete Restfüllstand ist somit ein Default-Wert, die für die anderen Typen verwendeten Werte liegen oberhalb des angegebenen Bereichs.

Die Rückgewinnungsfaktoren entwickeln sich kontinuierlich nach oben, so dass die bei der Entsorgung auftretenden Verluste bezogen auf die Erstfüllmenge bzw. Restfüllmenge über die Jahre kleiner werden. Bei mobilen Raumklimageräten beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr 2009 24,2 % und im Jahr 2019 38,5 %, bei Single-Split-Geräten beträgt er im Jahr 2008 37,9 % und im Jahr 2019 58 %, bei Multi-Split-Geräten liegt er im Jahr 2011 bei 62 % und im Jahr 2019 bei 78 %. Bei VRF-Multi-Split-Geräten liegt er im Jahr 2016 bei 72 % und im Jahr 2019 bei 78 %. Damit liegen die verwendeten Rückgewinnungsfaktoren innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0 bis 80 %.

Aktivitätsdaten

Die in Deutschland verkauften Stückzahlen der verschiedenen Gerätetypen sind über Fachpublikationen (JARN, Versch. Jahrgänge) und durch Anbieterbefragung jährlich verfügbar.

4.7.1.2.6.2 Kaltwassersätze (Chiller)

Kaltwassersätze zur Gebäudeklimatisierung und industriellen Flüssigkeitskühlung werden in drei Kategorien unterteilt: Chiller mit einer Kälteleistung unter 100 kW, Chiller mit einer Kälteleistung über 100 kW und Turboverdichteranlagen (Kälteleistung über 1500 kW). Die in Leistungsklassen eingeteilten Chiller verwenden Kolben-, Scroll- oder Schraubenverdichter.

In Turboverdichteranlagen kommt seit 1993 der HFKW-134a zum Einsatz und seit 2017 auch der nicht berichtspflichtige HFCKW-1233zd. HFKW-134a wurde auch für die Umrüstungen von FCKW-12-Turboverdichteranlagen in den Jahren 1995 bis 1999 genutzt. Die wichtigsten in Chillern eingesetzten Kältemittel sind HFKW-134a (Einsatz ab 1993), ab 1998 R407C und seit 2004 auch R410A. Seit 2013 wird auch der nicht berichtspflichtige HFKW-1234ze verwendet und seit 2017 das Kältemittelgemisch R513A.

Es wird folgendes Kältemittelmodell für *Kaltwassersätze* angewendet:

- Kaltwassersätze werden in drei Kategorien eingeteilt, deren Anzahl an Neuanlagen jedes Jahr durch Expertenbefragung und internationale Absatzstatistiken ermittelt wird: Chiller <100 kW Kälteleistung, Chiller >100 kW Kälteleistung und Turboverdichteranlagen im Leistungsbereich über 1500 kW.
- Für jede Kategorie werden eine durchschnittliche Füllmenge und die prozentualen Anteile der verwendeten Kältemitteltypen ermittelt. Die Füllmengen liegen bei 10 kg für Chiller <100 kW, 95 kg (HFKW-134a, R407C und R410A), 150 kg (R513A) bzw. 630 kg (HFKW-1234ze) für Chiller >100 kW und 630 kg für Turboverdichteranlagen.
- Aus der Anzahl der Neuanlagen und den o.g. Annahmen ergibt sich der jährliche HFKW-Zugang zum inländischen Bestand. Hier muss auch noch der Verbrauch für den FCKW-Ersatz in Altanlagen berücksichtigt werden.
- Durch Kenntnis des Vorjahresbestands, des Neuzugangs und des Abgangs kann der Jahresendbestand an Kältemitteln errechnet werden.
- Durch Kenntnis des Vorjahresbestands, des Neuzugangs und des Abgangs kann der Jahresendbestand an Kältemitteln errechnet werden.
- Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation der Verbrauchsmengen für die Befüllung mit dem $EF_{\text{Herstellung}}$ gemäß Gleichung 1 errechnet.
- Bestandsemissionen werden gemäß Gleichung 2 errechnet.
- Entsorgungsemissionen traten erstmals im Jahr 2003 auf (FCKW-Umrüstanlagen) und werden mit Gleichung 4 berechnet.

- Emissionen der nicht berichtspflichtigen HFKW-1234ze und HFCKW-1233zd aus der Verwendung als Einzelstoff sowie des HFKW-1234yf aus dem Einsatz des Kältemittelgemisches R513A werden gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gases“ berichtet. Die Emissionen sind aggregiert mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 aufgeführt.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen. Sie sind in Tabelle 209 aufgeführt.

Der Befüllungsverlust liegt mit 0,5 % innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006): Vol.3, Tabelle 7.9 vorgeschlagenen Wertebereichs von 0,2 bis 1 %. Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass eine große Menge der Kaltwassersätze vorgefüllt importiert wird, wird nicht der eigentliche $EF_{\text{Herstellung}} = 1 \%$ verwendet.

Die laufenden HFKW-Emissionen werden für alle Kälteleistungsklassen bzw. Verdichterbauarten, Altersstufen und Kältemittel-Typen bis zum Jahr 2000 auf 6 % geschätzt. Danach nimmt der $EF_{\text{Anwendung}}$ kontinuierlich auf 2,9 % (2019) ab. Alle verwendeten Werte liegen damit im unteren Bereich des Vorschlags von 2 bis 15 Prozent der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9).

Die Lebensdauer von Kaltwassersätzen wird in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 mit 15 bis 30 Jahren angegeben. Die verwendeten Werte liegen in diesem Rahmen: 15 Jahre für Chiller kleiner und größer 100 kW Kälteleistung und 25 Jahre für Turboverdichteranlagen.

Der Restfüllstand bei Entsorgung beträgt 90 % für alle Typen von Kaltwassersätzen. Die 2006 IPCC Guidelines schlagen in Vol. 3, Tabelle 7.9 Werte von 80 bis 100 % vor. Die verwendeten Restfüllstände sind somit Default-Werte.

Die Rückgewinnungsfaktoren entwickeln sich bedingt durch technischen Fortschritt und zunehmende Sorgsamkeit im Umgang mit Kältemitteln kontinuierlich nach oben, so dass die bei der Entsorgung auftretenden Verluste bezogen auf die Erstfüllmenge bzw. Restfüllmenge über die Jahre kleiner werden. Bei Chillern kleiner und größer 100 kW Kälteleistung beträgt der Rückgewinnungsfaktor im Jahr 2003 65,8 %, im Jahr 2019 79,5 %, bei Turboverdichteranlagen beträgt er im Jahr 2003 69,5 % und im Jahr 2019 79,5 %. Die verwendeten Rückgewinnungsfaktoren liegen alle innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 angegebenen Wertebereichs von 0 bis 95 %.

Aktivitätsdaten

Die Anzahl an Neuanlagen wird jährlich durch Expertenbefragung von Herstellern und internationale Absatzstatistiken (z.B. BSRIA Limited (Versch. Jahrgänge)) ermittelt.

Die durchschnittlichen Füllmengen und die prozentualen Anteile der verwendeten Kältemitteltypen wurden in Expertentreffen mit Industrievertretern ermittelt.

4.7.1.2.6.3 Wärmepumpenanlagen

Mit einer Wärmepumpenanlage wird mittels eines Kältemittelkreislaufs aus der Umgebungswärme in Luft, Erdreich oder Grundwasser Nutzwärme zur Heizung oder Klimatisierung von Innenräumen sowie für die Bereitstellung von Warmwasser erzeugt. Geräte, die die Umweltwärme der Außenwärme zur direkten Innenluftherwärmung nutzen, fallen unter die Kategorie der Raumklimageräte.

Als Kältemittel kommen in Wärmepumpen seit 1995 der HFKW-134a und die HFKW-Gemische R404A und R407C zum Einsatz, seit 2001 auch R410A. Als halogenfreie Alternativen werden in Heizungswärmepumpen ab 1995 auch R290 und in Brauchwarmwasser-Wärmepumpen ab 2018 auch R744 verwendet.

Methodisch ist das Kältemittel-Modell für *Wärmepumpen* wie das für Raumklimageräte aufgebaut:

- Es wird zwischen drei Kategorien von Heizungswärmepumpen unterschieden: Luft - Wasser, Erdreich (Grundwasser) - Wasser, Erdreich (Sole) - Wasser. Daneben gibt es als vierte Kategorie Brauchwarmwasser-Wärmepumpen.
- Ausgangs- und Bezugspunkt für die Berechnungen sind die jährlichen Stückzahlen neu installierter Wärmepumpen aller vier Kategorien, die jährlich vom Bundesverband Wärmepumpe (BWP) veröffentlicht werden. Die Stückzahlen der neu installierten Brauchwarmwasser-Wärmepumpen werden auch als Produktionszahlen genutzt. Die Produktionszahlen von Heizungswärmepumpen sind um den Faktor 2 größer als die Installationszahlen. Den verschiedenen Wärmepumpentypen werden basierend auf den Werten des Neuzugangs mittlere HFKW-Füllmengen und prozentuale Anteile der HFKW-Typen zugeordnet. Das Modell enthält außerdem die Lebensdauern und Emissionsraten.
- Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation der Verbrauchsmengen für die Befüllung mit dem $EF_{\text{Herstellung}}$ gemäß Gleichung 1 errechnet, Bestandsemissionen gemäß Gleichung 2.
- Wärmepumpen mit HFKW werden seit 1995 hergestellt und vertrieben. Bei einer Lebensdauer von durchschnittlich 15 Jahren treten Entsorgungsemissionen ab dem Jahr 2010 auf. Sie werden mit Gleichung 4 berechnet.

Emissionsfaktoren

Die den Emissionsdaten zugrunde liegenden Emissionsfaktoren (EF) sind in Tabelle 209 wiedergegeben.

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenbefragungen.

Der Befüllverlust beträgt 0,5 %. Damit ist der $EF_{\text{Herstellung}}$ innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) vorgeschlagenen Wertebereichs von 0,2 bis 1 %.

Die jährlichen HFKW-Emissionen werden für Heizungswärmepumpen auf 2,5 % geschätzt, für Warmwasser-Wärmepumpen auf 2 %. Die verwendeten $EF_{\text{Anwendung}}$ liegen damit im Bereich des Vorschlags der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) von 1 bis 10 %.

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 15 Jahren ein. Die verwendete Lebensdauer liegt damit innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines in Vol. 3, Tabelle 7.9 angegebenen Wertebereichs von 10 bis 20 Jahren.

Der in den Wärmepumpen enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 75 %. In den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) sind Werte von 0 - 80 % angegeben. Der verwendete Wert ist somit ein Default-Wert.

Der Rückgewinnungsfaktor für Wärmepumpen entwickelt sich, bedingt durch einen zunehmend sorgsameren Umgang mit Kältemitteln, kontinuierlich nach oben, so dass die bei der Entsorgung auftretenden Verluste bezogen auf die Erstfüllmenge bzw. Restfüllmenge über die Jahre kleiner werden. Der Rückgewinnungsfaktor beträgt im Jahr 2010 50 %, im Jahr 2019 63,5 %. Damit liegen alle verwendeten Rückgewinnungsfaktoren innerhalb des in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.9) angegebenen Wertebereichs von 0 bis 80 %.

Aktivitätsdaten

Der Bundesverband Wärmepumpe (BWP) veröffentlicht jährlich die Zahl der inländischen Neuinstallationen von Wärmepumpen, die die Grundlage für die Emissionsberechnung bilden.

Das Verhältnis von Produktions- und Installationszahlen basiert auf Aussagen von Wärmepumpenproduzenten.

4.7.1.2.6.4 Wärmepumpen-Wäschetrockner

Wärmepumpen-Wäschetrockner mit HFKW-Kältemitteln werden seit dem Jahr 2008 auf dem deutschen Markt vertrieben. Sie verwenden den HFKW-134a, zwischen 2008 und 2018 nutzten sie auch das Kältemittelgemisch R407C als Kältemittel. Die Füllmenge in den hermetischen Geräten liegt zwischen 220 g und 485 g. Als halogenfreie Alternative kommt in Wärmepumpen-Wäschetrocknern ab 2015 in stark steigendem Umfang (Propan) R290 zum Einsatz.

Von 2008 bis 2012 produzierte ein inländisches Unternehmen Wärmepumpen-Wäschetrockner mit dem Kältemittel HFKW-134a. Die Produktion wurde Ende 2012 ins Ausland verlagert.

Das Kältemittelmodell für *Wärmepumpen-Wäschetrockner* ist ähnlich aufgebaut wie das Modell für Raumklimageräte:

- Die wichtigsten Ausgangswerte sind die Stückzahlen für den Inlandsabsatz und die inländische Produktion sowie die Untergliederung in die verwendeten Kältemittel, die den Werten des Inlandsabsatzes folgen. Der Gerätebestand wird aus der Summe der Neuzugänge errechnet.
- Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation der Verbrauchsmengen für die Befüllung mit dem $EF_{\text{Herstellung}}$ gemäß Gleichung 1 errechnet, Bestandsemissionen gemäß Gleichung 2.
- Wärmepumpen-Wäschetrockner mit HFKW werden seit 2008 hergestellt und vertrieben. Bei einer Lebensdauer von durchschnittlich 15 Jahren treten Entsorgungsemissionen erst ab dem Jahr 2023 auf.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenaussagen. Sie sind in Tabelle 209 wiedergegeben.

Der Befüllverlust beträgt 0,5 %. Der $EF_{\text{Herstellung}}$ ist länderspezifisch, da die 2006 IPCC Guidelines diese Geräte nicht erfassen.

Die laufenden HFKW-Emissionen dieser hermetischen Geräte werden auf 0,3 % geschätzt. Auch hierfür gibt es keine Vorgaben in den 2006 IPCC Guidelines.

Aktivitätsdaten

Wärmepumpen-Wäschetrockner sind ein relativ neues Produkt, über das erst wenige statistische Daten und technische Informationen vorliegen. Das Kältemittelmodell basiert daher fast ausschließlich auf Aussagen von Herstellerunternehmen (Winfried Schwarz et al., 2012).

4.7.1.2.6.5 Spülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion

Um in Großküchen die Abwärme von gewerblichen Geschirrspülmaschinen zu nutzen, sind seit dem Jahr 2005 einzelne Modelle mit Wärmepumpenfunktion auf dem deutschen Markt erhältlich. Als Kältemittel kommt ausschließlich der HFKW-134a zum Einsatz. Die durchschnittliche Füllmenge liegt bei 2,5 kg.

In Deutschland gibt es zwei Hersteller von gewerblichen Geschirrspülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion. Die Produktion der Geschirrspülmaschinen startete 2005 und deckt

fast den kompletten nationalen Markt ab. Die Anlagen werden in Deutschland gebaut, die darin verbauten Wärmepumpen aber vorbefüllt von externen Zulieferern aus dem Ausland bezogen. Bei der Montage vor Ort finden zusätzlich Nachfüllungen von ca. 200 g pro Anlage statt.

Der nationale Markt für gewerbliche Spülmaschinen ist recht stabil und seit einigen Jahren auf relativ konstantem Niveau.

Das Kältemittelmodell für *Spülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion* ist ähnlich aufgebaut wie das Modell für Raumklimageräte (Warncke et al., 2018):

- Die wichtigsten Ausgangswerte sind die Stückzahlen für den Inlandsabsatz und die inländische Produktion. Der Gerätebestand wird aus der Summe der Neuzugänge abzüglich der Abgänge durch Entsorgung errechnet.
- Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation der Verbrauchsmengen für die Befüllung mit dem $EF_{\text{Herstellung}}$ gemäß Gleichung 1 errechnet, Bestandsemissionen gemäß Gleichung 2.
- Gewerbliche Geschirrspülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion werden seit 2005 hergestellt und vertrieben. Bei einer Lebensdauer von durchschnittlich 12 Jahren treten Entsorgungsemissionen ab dem Jahr 2017 auf. Sie werden mit Gleichung 4 berechnet.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenaussagen. Sie sind in Tabelle 209 wiedergegeben.

Der Befüllverlust beträgt 1 %. Der $EF_{\text{Herstellung}}$ ist länderspezifisch, da die 2006 IPCC Guidelines diese Geräte nicht erfassen.

Die laufenden HFKW-Emissionen von Spülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion werden auf 0,3 % geschätzt. Auch hierfür gibt es keine Vorgaben in den 2006 IPCC Guidelines.

Die Entsorgung setzt nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 12 Jahren ein. Die 2006 IPCC Guidelines machen hierzu keine Angaben.

Der in den Spülmaschinen enthaltene Restfüllstand beträgt bezogen auf die Erstfüllmenge 95,5 %. In den 2006 IPCC Guidelines ((IPCC, 2006) sind keine Werte angegeben. Der verwendete Wert ist somit ebenfalls länderspezifisch.

Der Rückgewinnungsfaktor steigt wie bei Wärmepumpen und Raumklimageräten kontinuierlich an und beträgt im Jahr 2017 82 %, im Jahr 2019 85 %. Ein Vergleich mit den 2006 IPCC Guidelines ((IPCC, 2006) ist nicht möglich.

Aktivitätsdaten

Über gewerbliche Geschirrspülmaschinen mit Wärmepumpenfunktion gibt es nur wenige statistische Daten und technische Informationen. Das Kältemittelmodell basiert daher fast ausschließlich auf Aussagen von Herstellerunternehmen (Warncke et al., 2018).

4.7.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.1 alle)

Die Emissionsfaktoren sind mit größeren Unsicherheiten behaftet. Die in der Literatur (s. Kältemittelmodelle) zu findende breite Streuung von Emissionsfaktoren für identische Anwendungen ist nur teilweise Folge technischer Veränderung, der Anlagendichtheit oder Ausdruck nationaler Unterschiede. In großem Maße resultiert sie aus realer Unsicherheit, da es noch zu wenig solide empirische Erforschungen ihrer Größen gibt Schwarz (2007).

Aufgrund der genannten Unsicherheit bei den Emissionsfaktoren, aber auch aufgrund der Vielzahl von Einzelanwendungen (Anlagen) wird für die Emissionsdaten noch

Präzisierungsbefehl gesehen. Zur Verbesserung der Datenqualität wurden die Daten mit den Verkaufsdaten (stoffbezogen) der Hersteller abgeglichen.

Bis zum Berichtsjahr 2001 hatte Deutschland nur aggregierte Emissionen über alle Untergruppen gemeldet. Im Rahmen der Emissionserhebung für die Jahre 1999 bis 2001 und der Emissionserhebung für das Berichtsjahr 2002 wurden auch die Emissionen der Berichtsjahre 1995 bis 1998 überprüft und aufgrund neuer Erkenntnisse zu Einsatzmengen und Emissionsfaktoren aktualisiert. Alle Daten unterliegen weiterhin einer kontinuierlichen Verbesserung. Eine umfassende Überprüfung der Aktualität der verwendeten Kältemittelmodelle, Ausgangsdaten und Emissionsfaktoren erfolgte 2012. Die Aufnahme neuer Anwendungsbereiche von HFKW-Kältemitteln erfolgt kontinuierlich, zuletzt 2018 mit der Aufnahme von Speiseeismaschinen und gewerblichen Spülmaschinen in das nationale Inventar.

Die Datenqualität der Emissionen aus mobilen Klimaanlageanlagen ist gut. Denn es können die Jahresverbräuche von HFKW über die zugelassenen Fahrzeugbestände, Neuzulassungen, die Produktion und den Im- und Export von Pkw, die den Großteil dieses Sektors ausmachen, sowie der jährlichen Ermittlung der modellspezifischen Ausstattungsquoten mit Klimaanlageanlagen und der zugehörigen Füllmengen statistisch recht genau ermittelt werden. Lediglich bei den Nutzfahrzeugen sind die Angaben mit größeren Unsicherheiten behaftet.

Auf der Grundlage der Ergebnisse eines Gutachtens im Auftrag des Umweltbundesamtes (Winfried Schwarz et al., 2012) wurden die Emissionsfaktoren aktualisiert und weisen jetzt in vielen Anwendungsbereichen eine kontinuierliche Entwicklung innerhalb der Zeitreihe auf. Insgesamt werden die EF als genau bewertet. In dem Gutachten wurden ebenfalls Restfüllstände und Rückgewinnungsfaktoren für alle Anwendungsbereiche von Kälte- und Klimaanlageanlagen bestimmt, um den Anforderungen der 2006 IPCC Guidelines gerecht zu werden.

Eine Quantifizierung der Unsicherheiten für die gesamte Unterquellgruppe Kälte- und Klimaanlageanlagen ist für die Berichterstattung 2015 erfolgt.

4.7.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.1 alle)

Bei steckerfertigen Geräten der Gewerbekälte (Subquellgruppe 2.F.1.a) wurden die Stückzahlen der Einzelhandelsgeschäfte mit Nahrungsmitteln basierend auf Zahlen des Statistischen Bundesamtes (Serie 45341-0001) für das Vorjahr rekalkuliert. Auf Basis anderer statistischer Erhebungen wurden die Stückzahlen von Krankenhäusern, Pflegeheimen und Discountern für das Jahr 2018 aktualisiert. Verbunden mit der Berücksichtigung des halogenfreien Kältemittels Propan (R290) ab 2015 mussten die prozentualen Anteile der verwendeten Kältemittelgemische R404A und R407C in den Jahren 2015 bis 2018 neu bewertet werden. Dies führte zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a und HFKW-32 in den Jahren 2015 bis 2018.

Bei Verflüssigungssätzen der Gewerbekälte (Subquellgruppe 2.F.1.a) wurden die Stückzahlen der Einzelhandelsgeschäfte mit Nahrungsmitteln sowie die von Krankenhäusern und Pflegeheimen basierend auf statistischen Erhebungen für das Jahr 2018 rekalkuliert. Bei Pflegeheimen wurde darüber hinaus die Stückzahl für 2017 korrigiert. Durch die Berücksichtigung der ab 2016 verwendeten Kältemittel CO₂ (R744), R449A, R452A und R513A im Kältemittelmodell mussten die Kältemittelanteile von HFKW-134a, R404A und R407C in den Jahren 2016 bis 2018 angepasst werden. Dies führte zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a und HFKW-32 in den Jahren 2016 bis 2018.

Bei Zentralanlagen von Discountern (Subquellgruppe 2.F.1.a) wurde die Stückzahl von Discountern basierend auf neuen Statistiken für das Jahr 2018 aktualisiert. Darüber hinaus wurde die Anzahl neuer Zentralanlagen mit Propan und R410A sowie deren Anzahl im Bestand

für die Jahre 2017 und 2018 korrigiert. Ebenso musste die Anzahl neuer Zentralanlagen mit CO₂ und HFKW-134a im Jahr 2018 aktualisiert werden. Dies führte zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a und HFKW-32 in den Jahren 2017 und 2018.

Bei Zentralanlagen von großen Supermärkten (Subquellgruppe 2.F.1.a) mussten der Verbrauch zur Befüllung mit HFKW-134a, R448A und R449A sowie der Endbestand von HFKW-134a und die nominale Entsorgungsmenge von R404A für das Jahr 2018 für das Jahr 2018 rekalkuliert werden. Dadurch änderten sich die Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a und HFKW-32 für das Jahr 2018.

Bei Tieftemperaturanwendungen der Gewerbekälte und HFCKW-22-Umrüstanlagen (Subquellgruppe 2.F.1.a) werden für die Erstfüllung von Neuanlagen und die Erstfüllung der Umrüstanlagen mit R413A, R508A, R508B, Isceon 89 und HFKW-23 die vom Statistischen Bundesamt erhobenen Daten nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) verwendet. Da die UStatG-Zahlen für HFKW erst im Dezember des Folgejahres vorliegen, erfolgt jährlich eine Rekalkulation der Vorjahreszahlen. Dies führt jeweils zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von FKW-116, FKW-218, HFKW-125 und HFKW-23 für das Vorjahr.

Bei Speiseeismaschinen (Subquellgruppe 2.F.1.b) mussten die Kältemittelanteile der Geräte mit den Kältemitteln R290 und HFKW-134a in den Jahren 2016 bis 2018 korrigiert werden. Dies führte zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-134a in den Jahren 2016 bis 2018.

In der Industriekälte (Subquellgruppe 2.F.1.c) werden für die Erstfüllung von Neuanlagen und die Erstfüllung der Umrüstanlagen mit HFKW-23 und HFKW-227ea die vom Statistischen Bundesamt erhobenen Daten nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) verwendet. Eine Rekalkulation ist jährlich für den Neuzugang im Vorjahr notwendig, da die nach UStatG erhobenen Daten erst im Dezember des Folgejahres vorliegen. Dies führt jeweils zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-227ea und HFKW-23 für das Vorjahr. Basierend auf Statistiken des Statistischen Bundesamtes (41331-0001 - Schlachtungs- und Schlachtgewichtsstatistik) und des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (186 - Schlachtmengen von Geflügel nach Geflügelarten) wurde die Produktmenge Fleischproduktion ab 1993 rekalkuliert. Dies führte zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a und HFKW-32 in den Jahren 1995 bis 2018.

Bei Pkw und Nutzfahrzeugen (Subquellgruppe 2.F.1.e) wird die Anzahl der entsorgten Fahrzeuge (Pkw und N1 Nutzfahrzeuge) jährlich der Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes entnommen. Da die Daten erst zwei Jahre später veröffentlicht werden, ist eine jährliche Rekalkulation der Vorjahreszahl erforderlich. Dies führt jeweils zu Änderungen der Emissionen der Entsorgung von HFKW-134a für das Vorjahr.

Bei Pkw wurde die Klimaquote der im Inland produzierten Fahrzeuge des Jahres 2018 aktualisiert, was zu geänderten Befüllungsemissionen von HFKW-134a im gleichen Jahr führte. Darüber hinaus wurden die durchschnittlichen Füllmengen und Klimaquoten der Neuzulassungsjahrgänge 2016 bis 2018 rekalkuliert. Dadurch kam es zu Änderungen der Emissionen der Anwendung von HFKW-134a in den Jahren 2016 bis 2018.

Bei Nutzfahrzeugen wurden die durchschnittlichen Füllmenge und die Klimaquote des Neuzulassungsjahrgangs 2018 aktualisiert, was zu Änderungen bei den Emissionen der Anwendung von HFKW-134a im Jahr 2018 führte. Außerdem wurde die Anzahl der inländisch produzierten Nutzfahrzeuge, die mit Klimaanlage ausgestattet sind, für die Jahre 2011 bis 2018

korrigiert. Dies führte zu geänderten Befüllungsemissionen von HFKW-134a im gleichen Zeitraum.

Bei Bussen (Subquellgruppe 2.F.1.e) musste die Verbrauchsmenge für die Befüllung der im Inland produzierten Fahrzeuge im Jahr 2018 aktualisiert werden. Dadurch änderten sich die Befüllungsemissionen von HFKW-134a im Jahr 2018.

Bei Schiffen (Subquellgruppe 2.F.1.e) wurde die Anzahl der im Inland produzierten Binnenkabinenschiffe basierend auf Statistiken der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes für das Jahr 2018 aktualisiert. Dadurch sanken die Befüllungsemissionen von HFKW-134a im Jahr 2018. Der Bestand von Seegüterschiffen im Jahr 2018 musste ebenfalls nach unten korrigiert werden. Auf Basis neuer Erkenntnisse (Hafner et al., 2019) wurde der Emissionsfaktor der Anwendung für Seegüterschiffe für die Jahre 1997 bis 2017 von 30 % auf 35 % erhöht. Dadurch kam es zu Änderungen der Bestandsemissionen von HFKW-134 in den Jahren 1990 bis 2018.

Basierend auf neuen Forschungsergebnissen wurde das Kältemittelmodell von Kaltwassersätzen (Subquellgruppe 2.F.1.f) hinsichtlich der Verwendung neuer Kältemittel angepasst. Dadurch mussten die Kältemittelanteile bei Turboverdichteranlagen ab 2015 und bei Chillern mit einer Kälteleistung über 100 kW in den Jahren 2013 bis 2018 geändert werden. Dies führte zu einer Änderung der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a und HFKW-32 in den Jahren 2013 bis 2018.

Bei Raumklimageräten (Subquellgruppe 2.F.1.f) wurde die Anzahl der Single-Split-Geräte im Jahr 2018 und die der mobilen Geräte in den Jahren 2017 und 2018 basierend auf neuen Absatzstatistiken aktualisiert. Dadurch kam es in diesen Jahren zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung von HFKW-125, HFKW-134a und HFKW-32.

Durch die Berücksichtigung des ab 2018 verwendeten Kältemittels CO₂ in Warmwasser-Wärmepumpen (Subquellgruppe 2.F.1.f) musste der Kältemittelanteil von HFKW-134a in diesem Gerätetypus im Jahr 2018 reduziert werden. Dadurch sanken auch die HFKW-134a-Emissionen der Anwendung im gleichen Jahr.

Die Änderungen der Emissionen von FKW-116, FKW-218, HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a, HFKW-227ea, HFKW-23 und HFKW-32 in der Unterkategorie Kälte- und Klimaanlage (2.F.1) in den Jahren 1995 bis 2018 sind in Tabelle 211 aufgeführt.

Tabelle 211: Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der Emissionen (EM) von FKW-116, FKW-218, HFKW-125, HFKW-134a, HFKW-143a, HFKW-227ea, HFKW-23 und HFKW-32 in der Unterquellgruppe Kälte- und Klimaanlage (2.F.1) in den Jahren 1995 bis 2018

	Einheit	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
EM HFKW-125													
Submission 2021	t CO ₂ eq	149.878	314.392	473.360	630.898	754.427	914.149	1.013.938	1.111.319	1.218.034	1.366.850	1.477.403	1.526.853
Submission 2020	t CO ₂ eq	149.930	314.508	473.627	631.028	753.930	913.815	1.013.277	1.111.171	1.218.500	1.367.283	1.478.385	1.527.965
Differenz	t CO ₂ eq	-52	-116	-267	-130	497	334	661	148	-466	-433	-981	-1.112
EM HFKW-134a													
Submission 2021	t CO ₂ eq	350.142	649.160	996.833	1.416.716	1.846.121	2.270.011	2.575.146	2.870.763	3.171.040	3.461.100	3.782.964	4.095.928
Submission 2020	t CO ₂ eq	350.149	649.176	996.634	1.416.262	1.845.345	2.269.021	2.573.875	2.869.327	3.169.431	3.459.219	3.780.869	4.093.572
Differenz	t CO ₂ eq	-7	-16	199	454	777	990	1.271	1.436	1.609	1.881	2.095	2.356
EM HFKW-143a													
Submission 2021	t CO ₂ eq	71.329	221.853	367.110	524.454	680.060	893.567	1.032.651	1.161.541	1.285.733	1.391.411	1.510.466	1.609.839
Submission 2020	t CO ₂ eq	71.397	222.006	367.462	524.626	679.403	893.125	1.031.777	1.161.344	1.286.349	1.391.983	1.511.763	1.611.309
Differenz	t CO ₂ eq	-68	-153	-353	-172	657	442	874	196	-616	-572	-1.297	-1.470
EM HFKW-32													
Submission 2021	t CO ₂ eq	756	2.755	4.666	6.966	9.905	13.225	15.190	17.899	21.582	26.416	32.296	39.111
Submission 2020	t CO ₂ eq	757	2.758	4.672	6.969	9.894	13.217	15.176	17.896	21.593	26.425	32.318	39.135
Differenz	t CO ₂ eq	-1	-3	-6	-3	11	7	15	3	-10	-10	-22	-25
	Einheit	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
EM HFKW-125													
Submission 2021	t CO ₂ eq	1.598.709	1.670.632	1.742.358	1.897.534	2.045.768	2.179.268	2.181.262	2.213.820	2.226.281	2.262.377	2.305.949	2.316.057
Submission 2020	t CO ₂ eq	1.600.049	1.673.262	1.752.242	1.909.856	2.044.344	2.176.917	2.179.120	2.211.710	2.224.015	2.260.066	2.303.878	2.324.323
Differenz	t CO ₂ eq	-1.341	-2.631	-9.885	-12.323	1.424	2.351	2.142	2.109	2.266	2.311	2.071	-8.266
EM HFKW-134a													
Submission 2021	t CO ₂ eq	4.040.683	4.231.539	4.655.565	4.656.950	4.845.958	5.002.948	5.102.467	5.190.667	5.266.870	5.223.265	5.051.356	4.898.958
Submission 2020	t CO ₂ eq	4.038.058	4.228.142	4.653.764	4.655.549	4.842.659	5.000.016	5.099.973	5.188.319	5.264.719	5.225.579	5.055.011	4.855.797
Differenz	t CO ₂ eq	2.625	3.397	1.801	1.401	3.299	2.932	2.493	2.349	2.152	-2.313	-3.655	43.161
EM HFKW-143a													
Submission 2021	t CO ₂ eq	1.729.262	1.839.808	1.938.140	2.022.586	2.096.980	2.137.774	2.100.810	2.098.825	2.037.170	1.943.439	1.862.756	1.686.656
Submission 2020	t CO ₂ eq	1.731.034	1.842.951	1.949.145	2.034.684	2.095.715	2.135.752	2.099.012	2.097.076	2.035.318	1.942.942	1.864.941	1.701.990
Differenz	t CO ₂ eq	-1.772	-3.143	-11.005	-12.098	1.265	2.022	1.798	1.749	1.852	497	-2.185	-15.334
EM HFKW-32													
Submission 2021	t CO ₂ eq	47.359	55.995	63.539	72.422	82.660	94.404	106.020	118.391	132.528	148.064	166.460	185.561
Submission 2020	t CO ₂ eq	47.389	56.047	63.723	72.624	82.639	94.370	105.990	118.366	132.507	147.978	166.228	184.959
Differenz	t CO ₂ eq	-30	-52	-184	-202	21	34	30	25	21	87	233	602

Fortsetzung auf der nächsten Seite.

	Einheit	2018
EM HFKW-227ea		
Submission 2021	t CO ₂ eq	3.177
Submission 2020	t CO ₂ eq	3.392
Differenz	t CO ₂ eq	-215
EM HFKW-23		
Submission 2021	t CO ₂ eq	77.924
Submission 2020	t CO ₂ eq	77.277
Differenz	t CO ₂ eq	646
EM FKW-116		
Submission 2021	t CO ₂ eq	2.419
Submission 2020	t CO ₂ eq	2.581
Differenz	t CO ₂ eq	-161
EM FKW-218		
Submission 2021	t CO ₂ eq	2.664
Submission 2020	t CO ₂ eq	2.665
Differenz	t CO ₂ eq	-1

4.7.1.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.1 alle)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.7.2 Schaumherstellung (2.F.2)

Auch bei der Schaumherstellung werden seit 1992 teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) als Ersatz für die Ozonschicht schädigenden und klimaschädlichen FCKW und HFCKW als Treibmittel eingesetzt.

Dabei kann zwischen offenzelligen und geschlossenzelligen Schaumprodukten unterschieden werden. Bei offenzelligen Schaumprodukten emittiert das Treibmittel nur während des Produktionsprozesses bzw. kurz danach. Zu den offenzelligen Schaumprodukten, die in Deutschland produziert und verwendet werden, zählen Polyurethan-Integralschaum, Polyurethan-Montageschaum und mit HFKW-152a-geschäumter extrudierter Polystyrolhartschaum (XPS). Bei geschlossenzelligen Schaumprodukten treten während der gesamten Lebensdauer Emissionen auf: bei der Produktion, bei der Anwendung und bei der Entsorgung. Hierzu zählen Polyurethan-Hartschaum und extrudierter Polystyrolhartschaum (XPS), der mit HFKW-134a oder HFKW-1234ze geschäumt wurde. Beide geschlossenzellige Schaumprodukte werden in Deutschland produziert und verwendet.

4.7.2.1 Geschlossenzellige Polyurethan-Hartschaumprodukte (2.F.2 PU hard foam)

4.7.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 PU hard foam)

Geschlossenzellige Polyurethan (PU)-Hartschaumprodukte kommen in vielen verschiedenen Anwendungen vor, z.B. in Haushaltsgeräten, Kühlfahrzeugen, flexibel beschichteten Dämmplatten oder starr beschichteten Sandwichelementen. Neben dem HFKW-134a, der von 1998 bis 2003 als Treibmittel zum Einsatz kam, werden seit 2002 HFKW-365mfc (mit einem geringen Zusatz an HFKW-227ea) und seit 2004 HFKW-245fa eingesetzt. Die Verwendung von HFKW geht zugunsten von Kohlenwasserstoffen wie Pentan, und in geringen Mengen auch CO₂, zurück.

Die Zeitreihe beginnt erst 1998 und zeigt bis 2003 einen geringen Anstieg der Emissionen. 2004 ist ein größerer Anstieg zu verzeichnen. Dies steht in Einklang mit der historischen Entwicklung des HFKW-Einsatzes in dieser Anwendung, der in Folge des langen HFCKW-Einsatzes erst langsam beginnt. Von 2005 bis 2009 sinken die Emissionen von PU-Hartschaumprodukten wieder ab. Nach einem leichten Anstieg im Jahr 2010 sind die Emissionen seitdem auf relativ konstantem Niveau.

4.7.2.1.2 Methodische Aspekte (2.F.2 PU hard foam)

Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation der HFKW-Menge, die spätestens innerhalb eines Jahres nach Fertigungszeitpunkt emittiert ist (Erstjahresverlust), mit dem $EF_{\text{Herstellung}}$ gemäß Gleichung 1 errechnet, Bestandsemissionen gemäß Gleichung 2.

Bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von bis zu 50 Jahren (Sandwichelemente) setzt die Entsorgung der PU-Hartschaumprodukte erst in einigen Jahren ein.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 210 entnommen werden.

Der Emissionsfaktor der Produktion mit HFKW-134a beträgt 10 % und entspricht dem in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006) Vol. 3, Tabelle 7.6) vorgeschlagenen Standardwert für „Polyurethane continuous panels“.

Die Emissionsfaktoren für alle anderen HFKW wurden mit nationalen Experten abgestimmt und zum Teil angepasst. So wurde der Emissionsfaktor für die Herstellung von PU-Hartschaum unter Verwendung von HFKW-365mfc/HFKW-227ea ab 2004 von 10 % auf 15 % erhöht, da dieses HFKW-Gemisch verstärkt in offenen Anwendungen vor Ort, vor allem in Spritzschaum, eingesetzt wird. Der Emissionsfaktor der Produktion mit HFKW-245fa beträgt ebenfalls 15 %. Diese Werte liegen innerhalb der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.7) vorgeschlagenen Standardwerte für „first year loss“ der verschiedenen PU-Hartschaum-Anwendungen.

Die jährlichen HFKW-Emissionen aus dem „stock“ werden für PU-Hartschaum, der mit HFKW-134a geschäumt wurde, auf 0,5 % geschätzt. Dies entspricht dem Default-Wert der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.6) für „Polyurethane continuous panels“. Die mit HFKW-365mfc/HFKW-227ea und HFKW-245fa geschäumten Produkte emittieren jährlich 1 % und liegen damit innerhalb der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.7) vorgegebenen Default-Werten für verschiedene PU-Hartschaum-Anwendungen. Der verwendete Emissionsfaktor aus dem Bestand für HFKW-365mfc/HFKW-227ea stammt aus einer Abschätzung aus den Versuchsprodukten.

Aktivitätsdaten

Die Inlands-Neuverbräuche für jedes Treibmittel und jede Produktgruppe basieren auf den in Deutschland produzierten Mengen an Schaumprodukten. Die Bestände basieren auf den in Deutschland eingesetzten Mengen an Schaumprodukten (Verkauf in Deutschland) seit Einführung der HFKW. Abgänge, die den Bestand mindern, spielen bei einer Lebensdauer von bis zu 50 Jahren bis auf weiteres noch keine Rolle.

Inlands-Neuverbräuche und Inlands-Absatz an Schaumprodukten werden jährlich durch Herstellerbefragung, Anwenderbefragung, Befragung von Treibmittellieferanten, Verbandsinformationen (IVPU⁸²) und den jährlichen Verwendungsmengen nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) erhoben.

4.7.2.2 Geschlossenzelliger und offenzelliger XPS-Hartschaum (2.F.2 XPS)

4.7.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 XPS)

Extrudierter Polystyrolhartschaum (XPS) wird für Dämmstoffplatten verwendet, die eine hohe Resistenz gegen Feuchtigkeit aufweisen sollen. Verbräuche und Emissionen von HFKW zur Herstellung von XPS-Dämmplatten gibt es erst seit 2001, da vorher HFCKW oder alternativ CO₂/Ethanol eingesetzt wurde. Als Treibmittel kommen seit 2001 sowohl HFKW-152a als auch HFKW-134a zum Einsatz, entweder allein oder als Gemisch. Ab dem Jahr 2012 wird auch der HFKW-1234ze als Treibmittel eingesetzt. In Abhängigkeit vom Treibmittel zeigen XPS-Dämmstoffplatten ein unterschiedliches Emissionsverhalten. Bei Verwendung von HFKW-152a kommt es nur während der Produktion zu HFKW-Emissionen, so dass man von offenzelligen XPS-Dämmstoffplatten sprechen kann. Werden HFKW-134a oder HFKW-1234ze verwendet,

⁸² IVPU - Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e. V.

entstehen geschlossenzellige XPS-Hartschaumprodukte, die auch während der Anwendung und bei der Entsorgung HFKW-Emissionen verursachen.

Die Zeitreihe beginnt im Jahr 2001 und zeigt zunächst einen Anstieg der Emissionen bis zum Jahr 2002. Ab dem Jahr 2003 sinken die Emissionen kontinuierlich ab, was mit dem zunehmenden Einsatz nichthalogener Treibmittel bei der XPS-Hartschaumproduktion in Deutschland zusammenhängt.

4.7.2.2 Methodische Aspekte (2.F.2 XPS)

Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation des HFKW-Neuverbrauchs der Produktion von XPS-Dämmplatten mit dem $EF_{\text{Herstellung}}$ gemäß Gleichung 1 errechnet.

Anwendungsemissionen errechnen sich gemäß Gleichung 2 aus dem inländischen HFKW-Endbestand in XPS-Dämmstoffen. Dieser erhöht sich jährlich nur durch Neuzugänge von HFKW-134a-haltigen und HFKW-1234ze-haltigen Dämmplatten. Abgänge vom Bestand spielen bei einer Lebensdauer von 50 Jahren noch keine Rolle. Der HFKW-Neuzugang entspricht nicht dem jährlichen Neuverbrauch abzüglich der Herstellungsemissionen. Denn durch den Außenhandel, besonders den Export von HFKW-134a- oder HFKW-1234ze-haltigem XPS, bilden nur 25 % (Kehrwert der Exportquote) des in den Produkten enthaltenen HFKW-134a bzw. HFKW-1234ze einen Neuzugang zum inländischen HFKW-Bestand.

Bei einer durchschnittlichen Lebensdauer der XPS-Dämmplatten von 50 Jahren setzt die Entsorgung frühestens im Jahr 2051 ein. Entsorgungsemissionen sind daher bisher nicht relevant.

Die Emissionen des nicht berichtspflichtigen HFKW-1234ze berichtet Deutschland gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gas“. Die HFKW-1234ze-Emissionen werden aus Vertraulichkeitsgründen mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen zusammengefasst und aggregiert in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 berichtet.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 210 entnommen werden.

Die Herstellungsemissionen (HFKW-Erstjahresverlust) für HFKW-152a betragen praktisch 100 % ($EF_{\text{Herstellung}} = 1$), da es bei der Produktion nur als Treibmittel genutzt wird. Beim HFKW-134a emittiert bei der Schäumung nur eine Teilmenge des Verbrauchs, der Hauptteil geht in das Produkt ein. Der $EF_{\text{Herstellung}}$ von HFKW-134a wird empirisch bestimmt und vom Fachverband CEFIC⁸³ bzw. dessen Branchenverband EXIBA⁸⁴ mitgeteilt. Er unterliegt der Geheimhaltung. Bis zum Vorliegen experimenteller Messwerte wird für mit HFKW-1234ze geschäumte XPS-Dämmplatten der gleiche $EF_{\text{Herstellung}}$ angenommen wie für Dämmplatten, die mit HFKW-134a geschäumt wurden.

Das Auffangen und die Rückgewinnung der HFKW im Produktionsprozess wurden erprobt, bislang aber aus technischen und ökonomischen Gründen nicht umgesetzt.

Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) geben in Vol. 3, Tabelle 7.6 Default-Werte für mit HFKW-134a und HFKW-152a geschäumte Dämmplatten vor: Für den „first year loss“ beträgt er 25 % für HFKW-134a und 50 % für HFKW-152a. Die in Deutschland verwendeten Werte weichen, besonders für HFKW-152a, stark davon ab, werden aber als repräsentativ eingeschätzt, da die Angaben auf Aussagen von Branchenexperten beruhen.

⁸³ CEFIC – The European Chemical Industry Council

⁸⁴ EXIBA – European Extruded Polystyrene Insulation Board Association

Der Sprecher des Fachverbands Polystyrol-Extruderschäumstoff e.V. (FPX) schätzte die jährlichen Ausgasungen von eingeschlossenem HFKW-134a-Zellgas im Jahr 2002 auf unter 1 %. Dem zugrunde liegt u.a. eine interne Studie der BASF über die Halbwertszeit verschiedener Zellgase, u.a. auch HFKW-134a (Weilbacher, 1987). Der $EF_{\text{Anwendung}}$ aus dieser Laborstudie wird für den HFKW-134a benutzt. Die Diffusion aus den Platten ist dickeabhängig und kann nur als Durchschnitt bzw. als Wert für bestimmte Plattenstärken angegeben werden. Der verwendete Wert $EF_{\text{Anwendung}} = 0,66 \%$ ist auf eine mittlere Plattenstärke bezogen und liegt unter dem in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Tabelle 7.6) vorgeschlagenen Wert von 0,75 %. Für mit HFKW-1234ze geschäumte Dämmplatten gibt es keine Default-Werte in den 2006 IPCC Guidelines. Es wird der gleiche $EF_{\text{Anwendung}}$ angenommen wie für HFKW-134a.

Aktivitätsdaten

Für den Inlands-Neuverbrauch von HFKW-134a und HFKW-152a werden die Daten aus der Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) sowie Informationen aus Herstellerbefragung herangezogen.

Für den Inlands-Neuverbrauch von HFKW-1234ze werden die Daten aus der Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) und Informationen des Treibmittelherstellers herangezogen.

Alle für die Emissionsberechnung erforderlichen Daten, wie Verlustrate bei der Produktion und Außenhandelsaldo für HFKW-134a-haltige Dämmplatten stammen vom europäischen Fachverband (CEFIC bzw. EXIBA).

4.7.2.3 Offenzelliger Polyurethan-Integralschaum (2.F.2 PU integral foam)

4.7.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 PU integral foam)

Offenzellige Polyurethan (PU)-Integralschäume sind Schaumstoffe, die einen porösen Kern und eine massive Randzone aufweisen. Ihre Herstellung erfolgt durch Reaktions-spritzgussverfahren. Dabei wird das Reaktionsgemisch inklusive des Treibmittels in flüssiger Form in die kalte Spritzgussform eingebracht. Bei der Verschäumungsreaktion emittiert das Treibmittel vollständig. PU-Integralschäume werden z.B. bei Sport- und Freizeitschuhsohlen, Autokarosserieteilen und Fensterprofilen eingesetzt. HFKW werden seit 1996 als Treibmittel bei der Produktion von PU-Integralschäumen eingesetzt.

In Deutschland werden neben dem HFKW-134a, der seit 1996 verwendet wird, seit dem Jahr 2002 auch HFKW-365mfc (mit einem geringen Zusatz an HFKW-227ea) und seit 2004 HFKW-245fa als Treibmittel eingesetzt.

Die Zeitreihe beginnt 1996 und verläuft bis zum Jahr 2001 relativ konstant. Ab 2002 steigen die Emissionen kontinuierlich an. Der verzögerte Einsatz der HFKW ist auf den langen HFCKW-Einsatz in der PU-Integralschaumproduktion in Deutschland zurückzuführen. 2012 ist ein Rückgang der Emissionen zu verzeichnen. Der Grund hierfür ist der verstärkte Einsatz von Kohlenwasserstoffen (z.B. Pentan) als Treibmittel, die die HFKW zunehmend verdrängen. Bis 2016 steigen die Emissionen jedoch wieder an, um ab 2017 wieder auf das Niveau vom Jahr 2010 abzufallen.

4.7.2.3.2 Methodische Aspekte (2.F.2 PU integral foam)

Gemäß 2006 IPCC-Guidelines (IPCC (2006): Seite 7.34, Gleichung 7.8) wird bei dieser offenen Anwendung die Emission gleich der bei der Produktion verwendeten HFKW-Menge (HFKW-Neuverbrauch) gesetzt.

Herstellungsemissionen werden durch Multiplikation des HFKW-Neuverbrauchs der Produktion mit dem $EF_{\text{Herstellung}}$ gemäß Gleichung 1 errechnet.

Anwendungsemissionen und Entsorgungsemissionen fallen nicht an, da das Treibmittel bereits vollständig bei der Produktion emittiert.

Emissionsfaktoren

Der verwendete Emissionsfaktor kann Tabelle 210 entnommen werden.

Die 2006 IPCC Guidelines geben für PU-Integralschäume, die mit HFKW-134a, HFKW-245fa oder HFKW-365mfc (mit einem Zusatz von HFKW-227ea) geschäumt werden, einen Default-Wert für den Erstjahresverlust (first year loss) von 95 % vor. Als jährlicher Verlust wird ein Wert von 2,5 % angegeben, so dass Emissionen über drei Jahre anfallen.

Laut den befragten inländischen Experten entweicht das Treibmittel bei Integralschäumen bis auf wenige Reste während des Schäumungsvorgangs. Die Reste gasen maximal innerhalb eines Zeitraums von zwei Jahren aus. Daher wird in Deutschland im Unterschied zu den 2006 IPCC Guidelines ein Emissionsfaktor der Produktion von 100 % als angemessen betrachtet.

Aktivitätsdaten

Die Inlands-Neuverbräuche für jedes Treibmittel basieren auf den in Deutschland produzierten Mengen an Integralschäumen.

Die Inlands-Neuverbräuche werden jährlich durch Herstellerbefragung, Anwenderbefragung, Befragung von Treibmittellieferanten, Verbandsinformationen (IVPU) und den jährlichen Verwendungsmengen nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) erhoben.

4.7.2.4 Offenzelliger Polyurethan-Montageschaum (2.F.2 one-component PU foam)

4.7.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.2 one-component PU foam)

Unter dem Begriff „Montageschaum“ wird offenzelliger Polyurethanschaum (PU-Schaum) verstanden, der aus Druckbehältern (Dosen) vor Ort, z.B. bei der Fenster- oder Türzargenmontage, ausgetragen wird. Als Treibmittel werden seit dem HFCKW-Verbot Gemische aus HFKW und Propan, Butan oder Dimethylether (DME) eingesetzt, wobei der HFKW-Anteil in den Dosen seit 1996 immer mehr reduziert worden ist.

HFKW-134a wird in Deutschland bereits seit 1992 bei der Produktion von PU-Montageschaumdosen eingesetzt, HFKW-152a fand zwischen 2002 und 2004 Verwendung in der nationalen Produktion. Importierte und in Deutschland verwendete Montageschaumdosen enthalten seit 1992 HFKW-134a und seit 1995 HFKW-152a.

Die Emissionen von PU-Montageschaum steigen von 1992 bis 1994 stark an, danach sinken sie kontinuierlich ab. Seit dem 4. Juli 2008 gilt, mit wenigen Ausnahmen, in der EU ein Verbot für das Inverkehrbringen von Einkomponentenschäumen, die mit fluorierten Treibhausgasen mit einem Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP) über 150 befüllt wurden. Die Höhe der zukünftigen Emissionen wird daher voraussichtlich relativ konstant auf einem niedrigen Niveau bleiben.

4.7.2.4.2 Methodische Aspekte (2.F.2 one-component PU foam)

Die Fertigungsemissionen werden aus der Zahl der jährlich in Deutschland abgefüllten Dosen und dem Treibmittelverlust pro Dose berechnet.

Gemäß 2006 IPCC-Guidelines (IPCC (2006): Seite 7.34, Gleichung 7.8) wird bei dieser offenen Anwendung die Emission gleich der in den Dosen verkauften Menge HFKW gesetzt. Anwendungsemissionen werden über die in den Dosen verkaufte Menge an HFKW mit Gleichung 2 berechnet.

Entsorgungsemissionen fallen nicht an, da das in den Montageschaumdosen enthaltene HFKW bereits vollständig bei der Anwendung emittiert.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 210 entnommen werden.

Der $EF_{\text{Herstellung}}$ wurde durch Experten- und Herstellerbefragung ermittelt und hatte von 1992 bis 2002 einen Wert von 1,5 g/Dose, ab dem Jahr 2003 nur noch 0,5 g/Dose, da die Gesamtfüllmengen der Dosen seitdem kleiner sind.

Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) geben in Vol. 3, Tabelle 7.6 einen Erstjahresverlust von 95 % und einen jährlichen Verlust von 2,5 % für Einkomponenten-Montageschäume an, so dass die Emissionen über insgesamt drei Jahre verteilt sind. Im Unterschied zur IPCC-Methode wird für das deutsche Inventar angenommen, dass sämtliche Emissionen im Verkaufsjahr entstehen ($EF_{\text{Anwendung}} = 100 \%$), da eine zügige Anwendung und Entsorgung erfolgt. Zwar sind verbrauchte Dosen bei der Entsorgung nicht vollständig leer, sondern enthalten noch etwa 8 % der ursprünglichen Schaummenge einschließlich Treibgas. Dieses Treibgas gelangt jedoch verzögert zum größten Teil ebenfalls in die Atmosphäre.

Aktivitätsdaten

Die für die Ermittlung der Befüllungsverluste (Fertigungsemissionen) benötigten Daten, die Anzahl der jährlich in Deutschland abgefüllten Dosen mit HFKW-134a bzw. HFKW-152a, der HFKW-Gehalt je Dose in Gramm und der spezifische Befüllungsverlust werden durch Expertenbefragung und Informationen von Herstellern erhoben.

Die Anzahl der jährlich in Deutschland verkauften Dosen mit dem Treibmittel HFKW-134a bzw. HFKW-152a und der HFKW-Gehalt je Dose in Gramm, die für die Ermittlung der Anwendungsemissionen benötigt werden, stammen von den Herstellern von Montageschaumdosen.

Die Daten zu Montageschaum vor dem Jahr 1995 stammen aus einem Gespräch mit führenden ausländischen Einkomponenten-Montageschaum-Anbietern aus dem Jahr 2006 sowie älteren Veröffentlichungen.

4.7.2.5 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.2 alle)

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten für die Unterkategorie Schäume ist erfolgt.

Bei PU-Schaumprodukten werden die Emissionsangaben für die zurückliegenden Jahre als gut bewertet, da die eingesetzten HFKW-Mengen eher klein sind.

Der XPS-Markt ist in Deutschland wegen weniger Hersteller überschaubar. Da die EF und AR in Zusammenarbeit mit den Herstellern erarbeitet wurden, werden sie als hinreichend genau bewertet.

Die Einsatzmengen der beiden HFKW-152a und HFKW-134a zur Produktion von XPS-Hartschaum wurden seit 2001 vom Fachverband recherchiert. Seit 2006 liegen darüber hinaus Daten aus der Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) vor. Da nur drei Hersteller HFKW für die XPS-Schäumung einsetzen, ist an der Datensicherheit der Aktivitätsdaten wenig zu zweifeln. Dies gilt auch für die Exportquote und die ermittelten HFKW-Herstellungsemissionen beim Einsatz von HFKW-134a.

Die Fertigungsemissionen bei der Anwendung des HFKW-152a von 100 % stimmen nicht mit den bisherigen IPCC-Schätzungen überein, wurden jedoch vom Fachverband als realistisch eingeschätzt.

Die durch eine Laborstudie erhaltene Emissionsrate aus dem laufenden Bestand wird angewendet, solange es keine zuverlässigen Messungen an wirklich genutzten Dämmplatten gibt, die in der Aussagekraft noch höher zu bewerten wären als Laborwerte.

4.7.2.6 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.2 alle)

Die Werte des Inlandsverbrauchs von HFKW-134a, HFKW-152a und HFKW-1234ze für die Produktion von XPS-Hartschaum werden ab 2007 den Erhebungen nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) entnommen. Eine Rekalkulation ist jährlich für den Inlandsverbrauch des Vorjahres notwendig, da die nach UStatG erhobenen Daten erst im Dezember des Folgejahres vorliegen. Dies führt jeweils zu Änderungen der Emissionen der Produktion und Anwendung für das Vorjahr.

Bei Polyurethan-Hartschaumprodukten und Polyurethan-Integralschäumen wurden die Inlandsverbräuche für die Produktion mit HFKW-227ea, HFKW-245fa und HFKW-365mfc wegen Berücksichtigung der nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005) erhobenen Anteile der verschiedenen Treibgase für die Jahre 2009 bis 2018 rekalkuliert. Dadurch änderten sich die Emissionen der Produktion und Anwendung für diese Jahre.

Aus Vertraulichkeitsgründen (es gibt nur wenige Produzenten von Schaumprodukten in Deutschland) können die Emissionsänderungen in diesem Sektor nur in aggregierter Form dargestellt werden.

Die Änderungen der Emissionen von HFKW-134a, HFKW-152a, HFKW-227ea, HFKW-245fa und HFKW-365mfc in der Unterkategorie Schaumherstellung (2.F.2) in den Jahren 2009 bis 2018 sind in Tabelle 212 aufgeführt.

Tabelle 212: Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der Emissionen (EM) von HFKW-134a, HFKW-152a, HFKW-227ea, HFKW-245fa und HFKW-365mfc in der Unterquellgruppe Schaumherstellung (2.F.2) in den Jahren 2009 bis 2018

	Einheit	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
EM HFKW-134a											
Submission 2021	t CO ₂ eq										301.810
Submission 2020	t CO ₂ eq										482.958
Differenz	t CO ₂ eq										181.148
EM HFKW-152a											
Submission 2021	t CO ₂ eq										37.228
Submission 2020	t CO ₂ eq										38.964
Differenz	t CO ₂ eq										1.736
EM HFKW-227ea											
Submission 2021	t CO ₂ eq	30.921	28.721	31.745	29.743	28.306	24.907	47.338	57.315	75.095	17.025
Submission 2020	t CO ₂ eq	21.590	28.815	31.839	29.837	28.400	33.100	47.351	57.327	74.340	53.970
Differenz	t CO ₂ eq	9.331	-94	-94	-94	-94	-8.193	-12	-12	754	-36.946
EM HFKW-245fa											
Submission 2021	t CO ₂ eq	44.515	62.845	71.714	55.742	82.803	85.636	137.193	156.998	189.069	130.493
Submission 2020	t CO ₂ eq	59.759	62.691	71.560	55.588	82.649	94.614	136.947	156.752	195.250	195.419
Differenz	t CO ₂ eq	-15.244	154	154	154	154	-8.978	246	246	-6.181	-64.926
EM HFKW-365mfc											
Submission 2021	t CO ₂ eq	109.045	97.807	102.128	83.430	87.037	95.375	169.137	175.828	185.601	90.206
Submission 2020	t CO ₂ eq	80.482	98.096	102.416	83.719	87.326	111.723	169.263	175.954	185.727	125.710
Differenz	t CO ₂ eq	28.563	-289	-289	-289	-289	-16.348	-126	-126	-126	-35.505

4.7.2.7 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.2 alle)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.7.3 Feuerlöschmittel (2.F.3)

4.7.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.3)

Die bis 1991 als Feuerlöschmittel erlaubten Halone sind weitgehend durch ökologisch unbedenkliche Stoffe ersetzt worden; vor allem Inertgase wie Stickstoff und Argon in Anlagen zur Beflutung von zu löschenden Innenräumen und Pulver, CO₂ oder Schaum in Handfeuerlöschern.

Als Halonersatz wurde in Deutschland 1998 der HFKW-227ea zugelassen. Danach folgte 2001 der HFKW 236fa, der aber nur im militärischen Bereich eingesetzt wird. Seit 2002 ist auch HFKW-23 zugelassen, wird aber erst seit 2005 eingesetzt. Eine Zulassung von Feuerlöschmitteln ist heute zwar nicht mehr notwendig, die Liste der eingesetzten Löschmittel hat sich aber trotzdem nicht erweitert, da alle Anwendungsbereiche mit halogenfreien und den genannten HFKW (besonders 227ea und 236fa) abgedeckt werden können.

Die HFKW-Feuerlöschmittel werden importiert und in Deutschland in Anlagen eingefüllt. Außenhandel bereits befüllter Anlagen kommt praktisch nicht vor. Die Zeitreihen beginnen erst 1998.

4.7.3.2 Methodische Aspekte (2.F.3)

Der jährliche HFKW-Neuzugang in inländischen Anlagen ist identisch mit der im Inland in Neuanlagen gefüllten Menge (HFKW-Neuverbrauch).

Da in Deutschland die Aktivitätsdaten für den HFKW-227ea und HFKW-236fa vorliegen, wird ein bottom-up Ansatz gewählt. Im Gegensatz zum top-down Ansatz der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Kapitel 7.6) werden Befüllungsemissionen berücksichtigt.

Für den HFKW-23 werden die installierten Mengen mangels Daten vom Umweltbundesamt geschätzt. Ab dem Berichtsjahr 2016 wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Regelungen der Verordnung (EU) Nr. 517/2014 (F-GasV, 2014) keine Neuanlagen mehr installiert werden.

Die durchschnittliche Lebensdauer von Feuerlöschanlagen wird auf 20 Jahre geschätzt und liegt in der gleichen Größenordnung wie der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Kapitel 7.6.2.2) vorgeschlagene Wertebereich von 15 bis 20 Jahren.

Entsorgungsemissionen treten erstmals 2018, nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 20 Jahren, auf.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 210 entnommen werden.

Die EF_{Herstellung} basieren auf Expertenschätzungen.

Der EF_{Anwendung} liegt für den HFKW-236fa und den HFKW-23 bei 4 %. Die 4 % entsprechen den 2006 IPCC Guidelines. Für den HFKW-227ea liegen konkrete Installations- und Nachfüllmengen bis zum Berichtsjahr 2007 vor. Diese werden über den von der Firma geschätzten Marktanteil auf den gesamten deutschen Markt hochgerechnet. Ab dem Berichtsjahr 2008 werden die

Emissionen aus der Anwendung mit einem Emissionsfaktor von 2,5% berechnet. Im Gegensatz zu den Guidelines, die einen EF= 4% annehmen, gehen wir von einem geringeren Emissionsfaktor aus. Dies begründet sich durch die bisher gemeldeten deutlich geringeren Emissionen/ Nachfüllmengen für einen Großteil des Marktes sowie aus den Erfahrungen bei der Umsetzung der Verordnung(EU) 517/2014 über fluorierte Treibhausgase.

Für alle HFKW beträgt der Emissionsfaktor der Entsorgung 1 %. Dieser Wert weicht, auf Empfehlung der Experten von Öko-Recherche, von den Vorgaben der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Kapitel 7.6.2.2) ab, da in der Praxis Gasflaschen von der Anlage getrennt werden und in die Wiederverwendung gehen.

Aktivitätsdaten

Die Emissionsangaben zum HFKW-227ea basieren auf statistischen Erhebungen eines Unternehmens zu Einsatzmengen, Nachfüllmengen, Fehlauflösungen, Auslösungen im Brandfall und Probeflutungen in Deutschland (in Anlehnung an Tier 2). Aufgrund der von der Firma geschätzten Marktanteile wird eine Hochrechnung vorgenommen. Diese Daten liegen in diesem Detaillierungsgrad bis zum Berichtsjahr 2007 vor. Ab dem Berichtsjahr 2008 berichten zwei Firmen ihre Verwendungsmengen. Beide Firmen haben einen Marktanteil von 90%, Die Einsatzmengen werden auf 100% hochgerechnet.

Die Angaben zum HFKW-236fa basieren auf freiwilligen Firmenangaben. Die Angaben zum HFKW-23 beruhen auf Schätzungen des UBA.

4.7.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.3)

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten für die Unterkategorie Feuerlöschmittel ist erfolgt.

4.7.3.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.3)

Es erfolgte eine Rückrechnung ab dem Berichtsjahr 2008.

Tabelle 213: Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der Emissionen (EM) in der Unterquellgruppe Feuerlöschmittel (2.F.3)

	Einheit	2008	2009	2010	2011	2012	2013
EM Produktion Feuerlöschmittel 227ea							
Submission 2021	t CO ₂ eq	67,56	115,66	225,92	116,02	108,32	160,97
Submission 2020	t CO ₂ eq	49,45	32,87	94,30	46,13	37,03	50,43
Differenz	t CO ₂ eq	18,11	82,80	131,62	69,88	71,29	110,54
EM Anwendung Feuerlöschmittel 227ea							
Submission 2021	t CO ₂ eq	21871,56	24763,12	30411,00	33311,42	36019,44	40043,63
Submission 2020	t CO ₂ eq	5980,00	5980,00	14250,80	16389,80	13813,80	13620,60
Differenz	t CO ₂ eq	15891,56	18783,12	16160,20	16921,62	22205,64	26423,03
	Einheit	2014	2015	2016	2017	2018	
EM Produktion Feuerlöschmittel 227ea							
Submission 2021	t CO ₂ eq	142,81	210,62	296,50	154,08	15,20	
Submission 2020	t CO ₂ eq	53,32	27,14	11,04	13,55	13,55	
Differenz	t CO ₂ eq	89,48	183,48	285,46	140,53	1,65	
EM Anwendung Feuerlöschmittel 227ea							
Submission 2021	t CO ₂ eq	43613,81	48879,31	56291,75	60143,68	60328,10	
Submission 2020	t CO ₂ eq	8565,20	2221,80	11040,00	0,00	0,00	
Differenz	t CO ₂ eq	35048,61	46657,51	45251,75	60143,68	60328,10	

4.7.3.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.3)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.7.4 Aerosole (2.F.4)

In diesen Bereich fallen die Dosieraerosole (Metered Dose Inhalers, MDI), die im medizinischen Bereich angewendet werden, sowie die allgemeinen Aerosole und die sogenannten Novelty-Aerosole.

4.7.4.1 Dosieraerosole (2.F.4.a)

4.7.4.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.4.a)

Dosieraerosole werden im medizinischen Bereich, überwiegend zur Behandlung von Asthma, eingesetzt. In Deutschland kam das erste HFKW-getriebene Dosieraerosol 1996 mit dem Treibmittel HFKW-134a auf den Markt. Ab dem Jahr 1999 wurden auch Dosieraerosole mit dem Treibmittel HFKW-227ea vertrieben. Seitdem ist die Anzahl der Präparate kontinuierlich gestiegen. Eine inländische Abfüllung mit dem HFKW-134a gibt es seit dem Jahr 2001.

Die Zeitreihe zeigt von 1996 bis 2002 einen steilen Anstieg der Emissionen, der in Einklang mit der zunehmenden Verwendung der HFKW als FCKW-Ersatzstoffe steht. Ein großer Sprung ist 2001 zu verzeichnen. Ab diesem Jahr wurden FCKW für die größte Wirkstoffgruppe, die kurzwirksamen Beta-Mimetika, verboten. Ab dem Jahr 2003 sind die Emissionen relativ konstant auf gleichbleibend hohem Niveau.

4.7.4.1.2 Methodische Aspekte (2.F.4.a)

Da 98 % des Doseninhalts von Dosieraerosolen aus Treibgas besteht, wird der Doseninhalt als reiner HFKW aufgefasst.

Die Fertigungsemissionen werden aus der Zahl der jährlich in Deutschland abgefüllten Dosieraerosolen und dem Treibmittelverlust pro Dose berechnet. Die Emissionen wären höher, wenn nicht ein Teil des Treibgases mithilfe einer Kältefalle aufgefangen und der Verbrennung zugeführt würde.

Anwendungsemissionen werden über die in den Dosieraerosolen verkaufte Menge an HFKW mit Gleichung 2 berechnet. Die große Mehrheit der Dosieraerosole in Deutschland wird in Apotheken verkauft. Auf weitere 10 Prozent wird der Bedarf in Krankenhäusern geschätzt, und 3 Prozent sind „unverkäufliche Muster“ für Ärzte und Pharmareferenten. Diese Anteile werden durch einen Zuschlagsfaktor von 13 % auf die Apothekenverkäufe berücksichtigt.

Die Zeitspanne zwischen Apothekenverkauf und Anwendung ist kurz. Bezugsgröße für die Anwendungsemissionen ist daher nicht wie in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Gleichung 7.6) vorgeschlagen die Summe der halben Käufe (Verkäufe) des vorherigen Jahres und des aktuellen Jahres, sondern die gesamten Käufe/Verkäufe des aktuellen Jahres. Der Ansatz der 2006 IPCC Guidelines böte sich an, wenn nicht verkaufte, sondern produzierte Dosen als Daten vorlägen, weil zwischen Produktion und Anwendung tatsächlich viel Zeit für Transport- und Lagerung vergehen kann.

Entsorgungsemissionen fallen nicht an, da die in den Dosieraerosolen enthaltenen HFKW bereits vollständig bei der Anwendung emittieren.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 210 entnommen werden.

Der den Herstellungsemissionen zu Grunde liegende $EF_{\text{Herstellung}}$ basiert auf im Betrieb von der einzigen deutschen Abfüllfirma von Dosieraerosolen sehr exakt ermittelten Befüllemmissionen.

Diese betragen 1,5 %, bezogen auf den Neuverbrauch zur Befüllung. Das entspricht etwa 0,2 g pro 10 ml-Dose.

In Übereinstimmung mit den IPCC Vorgaben (2006 IPCC Guidelines, Vol. 3, Seite 7.28) wird von einer 100 %igen Emission bei der Anwendung ausgegangen ($EF_{\text{Anwendung}} = 1$). Inhalede HFKW setzen sich in den Atemwegen nicht um, sondern gelangen beim Ausatmen unverändert in die Atmosphäre. In Deutschland wird abweichend von den Guidelines nur eine einjährige Lebensdauer der Aerosoldosen zugrunde gelegt. Der Emissionsfaktor ist daher als „country specific“ eingestuft.

Aktivitätsdaten

Die Emissionsdaten bis zum Berichtsjahr 2005 (Produktion) bzw. 2006 (Anwendung) basieren auf Verkaufszahlen (Apothekenverkäufen) von Dosieraerosolen in Deutschland, die über Befragungen der Produzenten erhoben wurden. Dabei werden die gesamte Stückzahl, die durchschnittliche Füllmenge in ml und das eingesetzte Treibgas zur Aufbereitung herangezogen. Ab dem Berichtsjahr 2006 beruhen die Angaben zur Aktivitätsrate der Produktion bzw. ab dem Jahr 2007 auch die zur Aktivitätsrate der Anwendung auf Expertenschätzungen. Die Ergebnisse der jährlichen Erhebung bestimmter klimawirksamer Stoffe des Statistischen Bundesamtes (UStatG, 2005) liegen im Bereich der Dosieraerosole nicht rechtzeitig für das laufende Berichtsjahr vor, es wird jedoch, wenn erforderlich, rückwirkend ein Datenabgleich vorgenommen.

4.7.4.2 Sonstige Aerosole (2.F.4.b)

4.7.4.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.4.b)

In Deutschland werden sechs Arten allgemeiner Aerosole (ohne medizinische Dosieraerosole und Novelties) mit HFKW verwendet:

- Druckluftsprays,
- Kältesprays,
- Abflussreiniger-Sprays,
- Schmiermittelsprays,
- Insektizide und
- Abwehrsprays.

Die Produktion und Anwendung von allgemeinen Aerosolen mit HFKW-134a begann im Jahr 1992, mit HFKW-152a im Jahr 1995. Seit dem Jahr 2013 kommt auch der HFKW-1234ze als Treibmittel in Kältesprays und Reinigungssprays zum Einsatz. Die Zeitreihe zeigt von 1992 bis 1996 einen steilen Anstieg der Emissionen, der in Einklang mit der zunehmenden Verwendung der HFKW als FCKW-Ersatzstoffe steht. Zwischen 1996 und 2005 sind die Emissionen konstant. Ein großer Sprung nach unten ist 2009 zu verzeichnen, danach steigen die Emissionen wieder leicht an, um ab 2017 auf sehr niedrige Werte abzusinken.

Zu den sonstigen Aerosolen zählen auch die so genannten Novelty-Aerosole (künstlicher Schnee, Luftschlangensprays u.a.), die aber nicht in Deutschland hergestellt werden. Die Anwendung von Novelties mit HFKW-134a beginnt im Jahr 1995, die mit HFKW-152a im Jahr 2000. Ab 2004 sinken die Emissionen stark ab, seit dem Jahr 2010 befinden sie sich auf konstant niedrigem Niveau. Grund dafür ist das ab dem 4. Juli 2009 in der EU geltende Verbot für das Inverkehrbringen von neuartigen Aerosolen, die mit teilfluorierten Kohlenwasserstoffen mit einem Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP) über 150 befüllt sind, das zu einem vorzeitigen Umstellen der Produktion auf andere Treibgase führte.

Für technische Aerosole, die HFKW mit einem GWP >150 verwenden, gilt mit wenigen Ausnahmen ein Verbot des Inverkehrbringens in die EU ab 01. Januar 2018.

4.7.4.2.2 Methodische Aspekte (2.F.4.b)

Bei allgemeinen Aerosolen halten sich Importe und Exporte die Waage, so dass der Inlandsmarkt mit dem Verbrauch für die inländische Abfüllung gleichgesetzt werden kann. Der inländische Verbrauch richtet sich nach den im Inland abgefüllten Dosen, unabhängig davon, wo diese angewendet werden. Die Fertigungsemissionen werden aus dem HFKW-Verbrauch für die inländische Abfüllung allgemeiner Aerosole und dem Treibmittelverlust bei der Produktion gemäß Gleichung 1 berechnet.

Novelty-Aerosole werden nicht in Deutschland hergestellt. Für Novelty-Aerosole ist der Anteil des deutschen Markts am EU-Markt Basis für die Berechnung der in den Novelty-Aerosoldosen verkauften HFKW-Mengen.

Anwendungsemissionen werden über die in den sonstigen Aerosolen verkaufte Menge an HFKW mit Gleichung 2 berechnet.

Da die Anzahl der verkauften und nicht der produzierten Aerosoldosen Ausgangspunkt für die Berechnungen ist, kann davon ausgegangen werden, dass die Zeitspanne zwischen Verkauf und Anwendung sehr kurz ist. Bezugsgröße für die Berechnung der Anwendungsemissionen sind daher die gesamten Käufe/Verkäufe des aktuellen Jahres und nicht wie in den 2006 IPCC Guidelines (Vol. 3, Gleichung 7.6) vorgeschlagen, die Summe der halben Käufe (Verkäufe) des vorherigen Jahres und des aktuellen Jahres.

Da die in den Aerosolen enthaltenen HFKW bereits vollständig bei der Anwendung emittieren, müssen keine Entsorgungsemissionen berichtet werden.

Die Emissionen des nicht berichtspflichtigen HFKW-1234ze berichtet Deutschland gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gas“. Die HFKW-1234ze-Emissionen werden aus Vertraulichkeitsgründen mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen zusammengefasst und aggregiert in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 berichtet.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 210 entnommen werden.

Der den Herstellungsemissionen zu Grunde liegende $EF_{\text{Herstellung}} = 1,5 \%$ von allgemeinen Aerosolen basiert auf Expertenschätzungen.

Es wird analog den IPCC Vorgaben (IPCC (2006), Vol. 3, Seite 7.28) sachgerecht von einer 100 %igen Emission bei der Anwendung der sonstigen Aerosole ausgegangen ($EF_{\text{Anwendung}} = 1$). Anders als in den Guidelines vorgeschlagen, wird von der in Deutschland abgesetzten Anzahl von Dosen angenommen, dass sie vollständig im gleichen Jahr verbraucht wird. Der Emissionsfaktor ist daher als „country specific“ eingestuft.

Aktivitätsdaten

Die Daten vor 1995 basieren auf Expertenschätzungen. Entsprechend einem bottom-up-Ansatz stammen sämtliche Mengendaten ab 1995 direkt von Produzenten, Abfüllern und Betreibern, Treibmittelherstellern bzw. der Branchenvereinigung. Für allgemeine Aerosole kommen noch Befüllungsemissionen (= Herstellungsemissionen) hinzu. Grundlage für eine Schätzung ist EU-weites Datenmaterial.

4.7.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.4 alle)

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten für die Unterkategorie Aerosole ist erfolgt.

Bei Dosieraerosolen kann der Zuschlagsfaktor für Krankenhäuser und Ärztemuster um 3 % nach oben oder unten von den 13 % abweichen.

Gegenüber den Emissionsangaben zu Dosieraerosolen werden die Angaben für die sonstigen Aerosole als nicht so gut bewertet, da aufgrund der Vielzahl von Produkten der Marktüberblick begrenzt ist. Auch sind hohe Importmengen, vor allem bei den „Novelties“ problematisch. Die Unsicherheiten sind daher deutlich höher (über 20 %).

Da der Umstieg von FCKW auf chlorfreie Treibgase bereits Anfang der 1990er Jahre vollendet war, ist die Zeitreihe von 1995 bis 2005 weitgehend unverändert, seit 2006 sind leichte Emissionsrückgänge zu verzeichnen.

4.7.4.3.1 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.4 alle)

Bei Aerosolen mussten für die Jahre 2001 bis 2018 Rekalkulationen durchgeführt werden, die aus Vertraulichkeitsgründen (es gibt nur wenige Produzenten in Deutschland) nicht weiter quantifiziert werden können.

Die Änderungen der Emissionen von HFKW-134a, HFKW-152a und HFKW-227ea in der Unterkategorie Aerosole (2.F.4) in den Jahren 2001 bis 2018 sind in aggregierter Form in Tabelle 214 aufgeführt.

Tabelle 214: Überblick über die durch Rekalkulationen hervorgerufenen Werteänderungen der aggregierten Emissionen (EM) von HFKW-134a, HFKW-152a und HFKW-227ea in der Unterquellgruppe Aerosole (2.F.4) in den Jahren 2001 bis 2018

	Einheit	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
EM HFKW-134a, HFKW-152a, HFKW-227ea														
Submission 2021	t CO ₂ eq	634.934	714.378	721.393	668.106	680.151	652.216	610.815	560.755	481.402	592.229	566.306	558.090	571.131
Submission 2020	t CO ₂ eq	634.226	713.405	720.165	666.407	678.021	650.278	608.885	558.489	479.186	589.777	563.268	555.465	568.597
Differenz	t CO ₂ eq	708	972	1.228	1.700	2.130	1.938	1.931	2.267	2.217	2.452	3.039	2.625	2.534

Fortsetzung:

	Einheit	2014	2015	2016	2017	2018
EM HFKW-134a, HFKW-152a, HFKW-227ea						
Submission 2021	t CO ₂ eq	556.890	616.088	635.773	576.234	355.599
Submission 2020	t CO ₂ eq	553.494	612.747	632.745	573.134	352.582
Differenz	t CO ₂ eq	3.396	3.341	3.028	3.100	3.017

4.7.4.3.2 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.4 alle)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.7.5 Lösemittel (2.F.5)**4.7.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.F.5)**

Der Einsatz von HFKW als Lösemittel war in Deutschland bis zum Jahr 2001 verboten (2. BImSchV) und ist auch heute noch stark eingeschränkt. Jede Oberflächenbehandlungsanlage, die HFKW in Reinform oder in Gemischen mit trans-1,2-Dichlorethen einsetzt, muss einzeln beantragt werden, wobei eine Bewilligung nur im Sonderfall erteilt wird. Eingesetzt werden heute neben dem HFKW-43-10mee auch in sehr geringem Umfang der HFKW-365mfc (seit 2013), der HFKW-245fa (seit 2010) und C_6F_{14} (seit 2006).

4.7.5.2 Methodische Aspekte (2.F.5)

Die Emissionsberechnung erfolgt nach Tier 2a der 2006 IPCC-Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Kapitel 7.2). Es fallen nur Emissionen während der Anwendung an.

Emissionsfaktoren

Es wird analog den IPCC Vorgaben (IPCC (2006): Vol. 3, Gleichung 7.5) sachgerecht von einer 100 %igen Emission bei der Lösemittelanwendung innerhalb von 2 Jahren ausgegangen ($EF_{\text{Anwendung}} = 1$).

Aktivitätsdaten

Die Verbrauchsangaben für den HFKW-43-10mee basieren auf den Verkaufsdaten eines autorisierten Händlers. Die verwendeten Mengen des HFKW-245fa und des HFKW-365mfc beruhen auf Angaben der Lösemittelproduzenten. Der Inlandsverbrauch von C_6F_{14} stammt aus der Erhebung nach Umweltstatistikgesetz (UStatG, 2005).

Da die Daten vertraulich sind, werden sie unter CRF 2.H.3 berichtet.

4.7.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.F.5)

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten für die Unterkategorie Lösemittel ist erfolgt. Die Verbräuche für die Lösemittel kommen direkt von Einzelunternehmen. Die Unsicherheiten für die Emissionen (U_{\min}/U_{\max}) sind daher sehr gering und werden mit 2 % angenommen. Eine Ausnahme bildet das C_6F_{14} . Hier liegen die Unsicherheiten für die Emissionen laut Expertenschätzung (U_{\min}/U_{\max}) bei 20 %.

Vor 2006 waren die Emissionen auf konstant niedrigem Niveau. Zwischen 2006 und 2008 kam es kurzfristig zu einem starken Anstieg der Emissionen, u.a. durch die einsetzende Verwendung von C_6F_{14} . Seit 2009 sind die Verwendungsmengen und damit auch der Emissionen relativ konstant auf niedrigem Niveau.

4.7.5.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.F.5)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.7.5.5 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.F.5)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.7.6 Andere Anwendungen, die ODS Ersatzstoffe verwenden (2.F.6)

Deutschland berichtet keine Emissionen in dieser Kategorie.

4.7.7 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.F.alle)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Daten für das aktuelle Berichtsjahr wurden, wie bereits für die meisten Vorjahre, im Rahmen eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Umweltbundesamtes durch einen externen Experten erhoben.

Die Qualitätssicherung erfolgt im Wesentlichen durch den externen Experten. Darüber hinaus werden die Daten durch die Fachbegleiter des UBA bei Abnahme geprüft.

Der gesamte Sektor der F-Gas Emissionen wurde im Jahr 2011 einer freiwilligen trilateralen Überprüfung unterzogen. Experten aus England, Deutschland und Österreich überprüften die F-Gas Inventare der anderen Länder. Das Ziel der Überprüfung war der Informationsaustausch über die länderspezifischen Methoden der Erstellung der F-Gas Inventare, ein Einblick in die institutionellen und rechtlichen Regelungen für die F-Gas Inventare in jedem Land, die Identifizierung der Hindernisse zur Erstellung von vollständigen und exakten Inventaren und die Diskussion der Unterschiede und Ähnlichkeiten in den Methoden, die zur Erstellung der F-Gas Inventare verwendet werden. Das Treffen hat allen drei Ländern geholfen, die verwendeten Methoden zur Emissionsberechnung zu überprüfen. Weiterhin konnten die Transparenz, die Vollständigkeit und die Genauigkeit der Inventare bewertet werden. Das positive Ergebnis war, dass Deutschland ein gutes F-Gase-Inventar hat. Im Ergebnis wurden keine Empfehlungen für Verbesserungen des deutschen F-Gase-Inventars ausgesprochen.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Statistischen Bundesamt, den vom Forschungsnehmer erhobenen und den von Firmen gemeldeten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren entsprechen den Default-Emissionsfaktoren der 2006 IPCC Guidelines oder liegen in derselben Größenordnung der in anderen Ländern verwendeten Werte.

4.8 Sonstige Produktherstellung und -verwendung (2.G)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/T	2 G, Other Product Manufacture and Use		N ₂ O	C	C	C	C	C
L/-	2 G, Other Product Manufacture and Use		SF ₆	C	C	C	C	C
-/-	2 G, Other Product Manufacture and Use		C ₁₀ F ₁₈	C	C	C	C	C
-/-	2 G, Other Product Manufacture and Use		CH ₄	4,5	0,0	30,9	0,0	583,4 %
-/-	2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-134a	0,0	0,0	0,2	0,0	-
-/-	2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-245fa	0,0	0,0	10,2	0,0	-
-/-	2 G, Other Product Manufacture and Use		HFC-365mfc	0,0	0,0	0,7	0,0	-

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, SF ₆ , PFC, HFC	s. Tabelle 215	s. Tabelle 215	s. Tabelle 215

Die Kategorie *Sonstige Produktherstellung und -verwendung* ist für SF₆-Emissionen eine Hauptkategorie nur nach der Emissionshöhe und für N₂O-Emissionen nur nach dem Trend.

Zu der Quellgruppe 2.G gehören SF₆ aus elektrischen Betriebsmitteln (2.G.1), SF₆ und FKW aus sonstiger Produktverwendung (2.G.2), Verwendung von N₂O (2.G.3) und Andere - ORC-Anlagen (2.G.4 ORC) sowie CO₂-, CH₄-, N₂O- und Staub-Emissionen aus der Anwendung von Holzkohle (2.G.4 Holzkohle). Aus der Anwendung von Zigaretten (2.G.4) und Feuerwerkskörpern (2.G.4) werden Staub, Vorläufersubstanzen und Schwermetalle berichtet. Zwecks genauerer Datenerhebung erfolgt im Folgenden z.T. eine weitere Unterteilung dieser Unterquellgruppen.

Die der Emissionsberechnung zugrunde liegenden Methoden, Emissionsfaktoren und Lebensdauern finden sich in Tabelle 215.

Tabelle 215: Überblick über Methoden und verwendete Emissionsfaktoren für das aktuelle Berichtsjahr in den Kategorien 2.G.1 (Elektrische Betriebsmittel), 2.G.2 (SF₆ und FKW aus sonstiger Produktverwendung) und 2.G.4 (ORC-Anlagen & Anwendung von Holzkohle)

	QG	Methode	Schadstoff			Lebensdauer [Jahre]	Emissionsfaktor (dimensionslos)		
			SF ₆	HFKW	FKW		Herstellung	Anwendung	Entsorgung
Elektrische Betriebsmittel	2.G.1								
Schaltanlagen	2.G.1a	Tier 3	SF ₆			40	0,02 (CS)	0,001 – 0,01 (CS)	0,015 (CS)
SF₆ und FKW aus sonstiger Produktverwendung	2.G.2								
AWACS	2.G.2a	CS	SF ₆				NO	1 (CS)	NO
Teilchenbeschleuniger	2.G.2b	CS					0,15 - 1 (CS)	0,006 – 0,003 (CS)	NO
Isolierglasfenster	2.G.2c	Equ. 3.24 ff					0,33 (D)	0,01 (D)	1 (D)
Adiabatisches Verhalten	2.G.2d								
- Autoreifen		Equ. 3.23	SF ₆				NO	NO	1 (D)
- Sportschuhe		Equ. 3.23	SF ₆		FKW		NO	NO	1 (D)
Sonstige	2.G.2e								
- Spurengas		Equ. 3.22	SF ₆				NO	1 (D)	NO
- Schweißen		CS	SF ₆				NO	1 (CS)	NO
- Optische Glasfasern		CS	SF ₆				C	NO	NO
- Medizin- und Kosmetik		CS			FKW	-	NO	1 (D) 0,95 – 0,998 (CS)	NO
Halbleiterherstellung		D					C		
Narkotikaanwendung		D						1	
Sprengstoffanwendung		D						0,1036 kg/t	
Sprühdosen		D						1	
Andere	2.G.4								
ORC-Anlagen	2.G.4a	CS		HFKW	FKW	20 – 30 (CS)	0,02 (CS)	0,04 (CS)	0,2 (CS)
Anwendung von Holzkohle	2.G.4b	Tier 1	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O- und Staub				C	C	

4.8.1 Elektrische Betriebsmittel (2.G.1)

Diese Kategorie umfasst die Anwendungen der elektrischen Betriebsmittel (2.G.1), die sich in Hochspannungs (HS)- und Mittelspannungs (MS)- sowie sonstigen elektrischen Betriebsmitteln unterteilen.

4.8.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.1)

In der elektrischen Energieübertragung und -verteilung findet SF₆ als Lösch- und auch als Isoliergas vor allem in Schaltanlagen und Schaltgeräten der Hochspannung (52-380 kV) und zunehmend auch in der Mittelspannung (10-52 kV) Verwendung. Außerdem wird es noch bei der Herstellung von Komponenten eingesetzt, die entweder in gasisolierten Innenraum-Schaltanlagen eingebaut werden (Wandler, Durchführungen) oder direkt zu Betreibern gelangen (HS-Freiluftwandler).

Durch die erstmalige Erfassung weiterer SF₆-Anwendungen im Berichtsjahr 2002 kam es in der Zeitreihe im Jahr 2002 zu einem sprunghaften Anstieg der Emissionen. Im Berichtsjahr 2005 wurden neue Unternehmen in die Berichterstattung aufgenommen, insbesondere in der neuen Kategorie „Sonstige elektrische Betriebsmittel“. Konjunkturrell bedingt wurden 2005 und 2006 mehr Anlagen verkauft. Insgesamt sinken die absoluten Emissionen, vor allem durch sinkende Emissionen aus der Hochspannung. Emissionen aus der Mittelspannung und sonstigen Betriebsmittel steigen, nicht zuletzt durch eine stetig wachsende Anlagenzahl. Die Industrie, vertreten durch die Hersteller- und Betreiberverbände sowie dem SF₆-Produzenten, hat sich 1996 zur Emissionsminimierung in allen Lebenszyklen von Schaltanlagen sowie zu einer jährlichen Berichterstattung verpflichtet. Im Jahre 2005 wurde diese Selbstverpflichtung in

Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt und dem Bundesumweltministerium auf weitere Anwendungen im Bereich der Energieübertragung und -verteilung über 1 kV ausgedehnt und um konkrete Reduktionsziele ergänzt. Die freiwillige Berichterstattung wurde entsprechend ergänzt und verfeinert. In den nachfolgenden Jahren wurde seitens der Hersteller und des Gasproduzenten weiter in Minderungsmaßnahmen investiert. Bei Durchführungen konnten in Teilbereichen SF₆-Schäume substituiert werden.

4.8.1.2 Methodische Aspekte (2.G.1)

Die verwendeten Emissionsfaktoren können Tabelle 215 entnommen werden.

Die Emissionsangaben basieren im Wesentlichen auf einer Massenbilanz, zunehmend kombiniert mit Emissionsfaktoren für Teilbereiche, in denen Massenbilanzierung an messtechnische Grenzen stößt bzw. mit einem unangemessenen Aufwand verbunden wäre.

Die angewendete Methodik basiert auf der in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, Kapitel 8.2.2) beschriebenen Methode „Tier 3 Hybrid Life-Cycle Approach“ (Hybride Methode nach Lebenszyklen).

Anwendungsemissionen

Laufende Bestandsemissionen beziehen sich auf den seit 1970 durch jährliche Zugänge in Schaltanlagen akkumulierten SF₆-Bestand, der im Mittel des Jahres n besteht.

Der SF₆-Endbestand in der Gesamtheit der elektrischen Betriebsmittel eines bestimmten Jahres n verändert sich jährlich um den Saldo aus Zugang und Abgang. Vereinzelt Abgänge (Hochspannung) werden seit 1997 registriert; ein verstärktes Ausscheiden von Hochspannungsschaltanlagen und -geräten der ersten Generation ist bei einer auf mindestens 40 Jahre geschätzten Lebensdauer erst nach 2015 zu erwarten.

Drei Besonderheiten sind bei der Berichterstattung zu Schaltanlagen zu beachten:

- Die Berechnung des Endbestandes für jedes Jahr n basiert zwar jeweils auf dem Endbestand des Vorjahres (n-1), jedoch nicht bis zum allerersten Einsatzjahr. Dieses sonst übliche Verfahren entfällt bei Schaltanlagen, weil die Betreiber/Hersteller den SF₆-Bestand für 1995 abgeschätzt haben, und zwar getrennt für Hoch- und Mittelspannung (770 t bzw. 157,6 t).
- Bestands- und Emissionsermittlung erfolgen in der Hochspannung durch regelmäßige Direkterhebungen bei den ca. 100 Betreibern. Diese werden unmittelbar nach ihrem aktuellen Bestand an SF₆ in Betriebsmitteln (GIS, Leistungsschalter, Freiluftwandler) befragt. Auf diese Bestandsdaten werden Emissionsfaktoren angewendet, die anhand von Referenzanlagen bestimmt worden sind.

- Mittelspannungs-Schaltanlagen haben sehr zahlreiche und zugleich sehr heterogene Betreiber. Direktbefragungen scheiden daher aus. Die Hersteller der Mittelspannungsanlagen haben es selbst übernommen, auf Basis ihrer Verkaufsdaten den inländischen Bestand fortzuschreiben. Die Emissionsermittlung ist dadurch möglich, dass die Anlagen praktisch wartungsfrei sind und per Definition (IEC 62271-1) während der gesamten Lebensdauer keine Nachfüllung benötigen. Die Emissionen sind minimal (meist nur infolge äußerer Einwirkungen) und können durch einen pauschalen Emissionsfaktor (Expertenbefragung) abgedeckt werden: Die Emissionsrate wird seit 1998 mit konstanten 0,1 % angesetzt, da seit Mitte der 90er Jahre praktisch nur noch Anlagen zum inländischen Bestand gelangen, die als "sealed for life" (hermetisch abgeschlossene Drucksysteme nach IEC) gelten. In der Selbstverpflichtung 2005 haben sich zudem die Betreiber verpflichtet, nur noch solche Anlagen einzusetzen. Wenige ältere Anlagen mit Emissionsraten höher als 0,1 % verlieren dadurch an Gewicht. Die Berechnung des Bestandes basiert auf dem Bestand des Vorjahres zuzüglich Neulieferungen und abzüglich Außerbetriebnahmen.

Entsorgungsemissionen

Wegen der langen Lebensdauer von Schaltanlagen (40 Jahre) und dem Ersteinsatz von SF₆ Ende der 1960er Jahre kam es bis 2004 nur zu geringen Entsorgungsemissionen. Aus Altanlagen (Hoch- und Mittelspannung) zur Entsorgung anstehende SF₆-Mengen wurden daher bis 2004 nur grob geschätzt (auf konstante 3 t/a). Ab dem Berichtsjahr 2005 wurden die Entsorgungsmengen von den Verbänden aus dem Anlagenrückbau erstmals präzise ermittelt. Dies gilt auch für die Emissionen aus der Entsorgung, die vor 2005 mit 0,06 t abgeschätzt wurden.

Aktivitätsdaten

Im Rahmen der Selbstverpflichtung wird der Jahresverbrauch der Hersteller aller Betriebsmittel sowie der Bestand von Mittelspannungsschaltanlagen vom ZVEI, der Bestand von Hochspannungsschaltanlagen, Freiluftwandlern, gasisolierten Leitungen und Transformatoren vom Forum Netztechnik/Netzbetrieb (FNN) im Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) und seit 2004 vom Verband der industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (VIK) dem Umweltbundesamt übermittelt. Die Außerbetriebnahmemengen ermitteln die Teilnehmer der Selbstverpflichtung gemeinsam.

In Tabelle 216 sind die Inventardaten für das aktuelle Jahr in Unterkategorien aufgeführt und erläutert. Die Summe der elektrischen Betriebsmittel der Energieübertragung und -verteilung deckt sich mit den Daten in Tabelle 2 (II)F, Blatt 2, Kategorie 2.G.1 im CRF.

Tabelle 216: Inventardaten 2019 der Kategorie 2.G.1 mit Unterkategorien

Kategorie 2.G.1.: Elektrische Betriebsmittel der Energieübertragung und -verteilung	Jahresverbrauch Herstellung	Aktivitätsdaten		Emissionen	
		Bestand	Außer Betrieb genommen (Tonnen SF ₆)	Herstellung	Betrieb
Elektrische Betriebsmittel der Energieübertragung und -verteilung 2.G.1 (Summe), darin:	629	2952	23,9	4,9	6,1
MS Schaltanlagen und -geräte *	178	1371	1,2	0,3	1,3
HS Schaltanlagen und -geräte**	363	1247	22,2	1,8	3,8
Sonstige Elektrische Betriebsmittel ***	88	334	0	2,7	0,9

IE=in HS Schaltanlagen enthalten; marginal

Erläuterungen

- * hermetisch abgeschlossene Drucksysteme nach IEC 62271-1 über 1kV bis einschließlich 52 kV; auch „Sealed for life“ genannt
- ** Geschlossene Drucksysteme nach IEC 62271-1 über 52 kV
- *** Gasisolierte Transformatoren: marginaler Restbestand im Netz; (keine Herstellungsemissionen) + Hochspannungs-Freiluftmesswandler (alle Emissionskategorien) + Gasisolierte Leitungen-GIL- (alle Emissionskategorien) + Hochspannungsdurchführungen (nur Herstellungsemissionen) + Mittelspannungs-Gießharzmesswandler (nur Herstellungsemissionen) + Prüfung von Mittelspannungskomponenten (nur Herstelleremissionen) + Kondensatoren 1000V (nur Herstellungsemissionen)

4.8.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.1)

Da es nur ca. zehn verschiedene Hersteller der Betriebsmittel (einschließlich Durchführungen und Wandler) gibt, sind die Verbrauchsdaten, die Angaben zu Neulieferungen und Außerbetriebnahmen sehr sicher, zumal eine interne Buchführung dahintersteht und die Füllmengen mit hoher Präzision ermittelt und auf den Typenschildern dokumentiert werden. Die Ungenauigkeit liegt hier im Bereich von $\pm 5\%$.

Bei den Emissionen ist die Erfassung schwieriger, da in den Betrieben mehrere Emissionsquellen vorhanden sind, die für sich genommen mitunter recht klein sind. Gasverluste entstehen beim Befüllen von Geräten, beim Testen, beim Öffnen von Ausschuss, in der Entwicklungsabteilung usw. Allerdings gehen mittlerweile alle inländischen Werke nach einem einheitlichen Fragebogen vor, der sämtliche möglichen Emissionsquellen nennt und der im Rahmen der Erhebung auf seine Richtigkeit geprüft wird. Aus diesem Grund und der geringen Anzahl an Herstellern (s.o.) hängt die Exaktheit der Erhebung letztlich von der Messgenauigkeit ab. Diese bewegt sich im Bereich von $\pm 10\%$ der Abschätzungen.

Die Emissionen aus dem Betrieb in der Hochspannung werden von ausgewählten Betreibern mit Referenzanlagen über die jährlichen Nachfüllungen ermittelt (Nachfüllungen erfolgen bei Unterschreitung von 90 % des Soll-Füllstandes, was in der Regel vom Gerät selbst angezeigt wird). Diese Methode ist als sehr sicher zu bewerten, d.h. die Abweichungen vom wahren Wert betragen etwa $\pm 5\%$. Alle bisherigen Erhebungen führten zu nahe beieinander liegenden Größenordnungen für die Emissionsraten, die zwischen 0,55 und 0,88 % betragen. Die einmalige Spitze bei der Emissionsrate von Hochspannungs- Schaltanlagen in 2004 erklärt sich aus Sonderereignissen; im Wesentlichen dem zeitgleichen Nachfüllen von alten, weniger dichten Anlagen älterer Bauart.

Beim HS-Bestand und damit auch bei den Emissionen, die sich beide seit 1995 grundsätzlich erhöhen, gibt es im Jahr 2000 einen Rückgang gegenüber dem Vorjahr um über 25 t beim Bestand (und 0,85 t bei den Emissionen). Dieser Rückgang, der auf HS-GIS (600 zu 567 t) zurückgeht, ist nicht durch Abgänge durch Außerbetriebnahme zu erklären, da diese noch keine nennenswerte Rolle spielen. Dem Verband der Netzbetreiber (VDN) zufolge, der die Erhebungen damals durchführte, steckt dahinter sowohl ein statistisches als auch organisatorisches Problem.

Ende der 1990er Jahre fanden im Zuge der Liberalisierung des Strommarktes bei den Betreibern tiefgehende Umgruppierungen (durch Fusionen und Eigentumswechsel von Unternehmensteilen) statt, so dass die personellen Zuständigkeiten für den Betriebsmittelbestand immer wieder wechselten. So sind Doppelzählungen im Jahr 1999 nicht auszuschließen, ebenso wie nicht erfasste Betriebsmittel im Jahr 2000. Aufgrund der Erfahrungen der letzten Jahre kann aber heute von einer Ungenauigkeit in der Größenordnung von $\pm 5\%$ beim HS-Bestand ausgegangen werden.

Die Emissionsrate 0,1 % in der Mittelspannung ist für hermetisch abgeschlossene Drucksysteme nach IEC üblich.

4.8.1.4 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.1)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.8.1.5 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.1)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Daten für das aktuelle Berichtsjahr wurden, wie in den Vorjahren, von den Hersteller- und Betreiberverbänden sowie dem SF₆-Produzenten im Rahmen der Selbstverpflichtung an das UBA gemeldet.

Die Qualitätssicherung erfolgt im Wesentlichen durch die Verbände. Darüber hinaus werden die Daten durch die Fachbegleiter des UBA bei Abnahme geprüft.

Der gesamte Sektor der F-Gas Emissionen wurde im Jahr 2011 einer freiwilligen trilateralen Überprüfung unterzogen. Experten aus England, Deutschland und Österreich überprüften die F-Gas Inventare der anderen Länder. Das Ziel der Überprüfung war der Informationsaustausch über die länderspezifischen Methoden der Erstellung der F-Gas Inventare, ein Einblick in die institutionellen und rechtlichen Regelungen für die F-Gas Inventare in jedem Land, die Identifizierung der Hindernisse zur Erstellung von vollständigen und exakten Inventaren und die Diskussion der Unterschiede und Ähnlichkeiten in den Methoden, die zur Erstellung der F-Gas Inventare verwendet werden. Das Treffen hat allen drei Ländern geholfen, die verwendeten Methoden zur Emissionsberechnung zu überprüfen. Weiterhin konnten die Transparenz, die Vollständigkeit und die Genauigkeit der Inventare bewertet werden. Das positive Ergebnis war, dass Deutschland ein gutes F-Gase-Inventar hat. Im Ergebnis wurden keine Empfehlungen für Verbesserungen des deutschen F-Gase-Inventars ausgesprochen.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den von den Verbänden gemeldeten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren liegen in derselben Größenordnung der in anderen Ländern verwendeten Werte.

4.8.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.1)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.8.2 SF₆ und FKW aus sonstiger Produktverwendung (2.G.2)

Diese Kategorie umfasst die Anwendungen *Militär-AWACs* (2.G.2.a), *Teilchenbeschleuniger* (2.G.2.b), *Isolierglasfenster* (2.G.2.c), *Adiabatisches Verhalten: Autoreifen* und *Sportschuhe* (2.G.2.d), Sonstige: *Spurengas*, *Schweißen*, *Optische Glasfasern* sowie *medizinische und kosmetische Anwendungen* (2.G.2.e).

4.8.2.1 Militär - AWACS Wartung (2.G.2.a)

4.8.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.a)

SF₆ wird in den großen militärischen Aufklärungsflugzeugen vom Typ Boing E-3A (ehemals AWACS) als Isolationsmedium für das Radar eingesetzt. Es soll elektrische Überschläge in den Hohlleitern zur Antenne verhindern, in denen hohe Spannungen von über 135 kV herrschen. Die laufenden Emissionen sind relativ hoch, da bei Aufstieg des Flugzeugs SF₆ zum Druckausgleich abgelassen wird.

4.8.2.1.2 Methodische Aspekte (2.G.2.a)

Die Emissionsangaben für die Berichtsjahre bis 2001 basieren auf Schätzungen, die als Grundlage eine Erhebung im Jahr 1996 haben. Daher sind die Emissionsdaten der Jahre 1997 bis 2001 ungenauer als in den Folgejahren. Für das Berichtsjahr 2002 wurden die Verbrauchsmengen neu erhoben, was zu einer signifikanten Erhöhung gegenüber dem Berichtsjahr 2001 führte. Ab dem Berichtsjahr 2006 werden die verwendeten Mengen vom Statistischen Bundesamt (UStatG, 2005) erhoben.

Für die SF₆-Emissionen der AWACS wird ein Emissionsfaktor von 100 % des Verbrauches angenommen.

Die Emissionen sanken bis 2016. Seitdem steigen sie wieder leicht. Daten zur AWACS-Wartung werden unter CRF 2.H.3 berichtet, da diese Daten der Vertraulichkeit unterliegen.

4.8.2.2 Teilchenbeschleuniger (2.G.2.b)

4.8.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.b)

Das Isolatorgas SF₆ wird zum Personenschutz und zum Schutz von Geräteteilen (Schutz vor Durchbrennen von Widerständen im Gerät) eingesetzt. Seine Funktion besteht darin, Hochspannungsteile durch die Umhüllung mit Gas zu isolieren (Schutz vor Spannungs-Überschlägen zwischen den Hochspannungsteilen und der Gerätewand).

Diese Schutzfunktion kann u.U. auch durch andere Gase (z.B. Stickstoff, Stickstoff/CO₂-Mischung), durch räumlichen Abstand (Luftisolation) oder z.B. durch Umgebung mit Betonwänden realisiert werden. Ob bei den Geräten SF₆ als Isolatorgas eingesetzt wird (allein oder als Beimischung) hängt von technischen Gegebenheiten, Konstruktion und Spannungshöhe ab. Daher benötigen die Anlagen, sofern sie nicht standardisiert sind, unterschiedliche Mengen an SF₆. Die SF₆-Füllmenge ist deshalb auch nicht von der Anlagengröße (etwa gemessen in MV) abhängig, sondern variiert je nach Geräteaufbau.

SF₆-isolierte Teilchenbeschleuniger werden in unterschiedlicher Größe, Bauart und Funktion genutzt. Hochspannungsgeräte (0,3 bis über 23 MV) werden an Hochschulinstituten, Forschungsgemeinschaften und in der Industrie eingesetzt. Bei diesen Hochspannungsgeräten befinden sich Beschleuniger und Hochspannungsquelle (Van-de-Graaff-Generatoren oder kompaktere Hochspannungsgeneratoren mit Dioden in Kaskadentechnik) in einem mit SF₆ oder SF₆-Beimischung isolierten Tank, der ggfs. unter Druck steht. Zur Einstellung der Geräte und zu Reparaturzwecken muss der Tank geöffnet werden, wobei das Isolatorgas in Reservetanks umgepumpt wird. Hierbei sowie beim Anspringen von Überdruckventilen bei Beschleuniger-

und Reservetanks treten SF₆-Verluste auf. Die Forschungs-Beschleuniger, die unter variierenden Bedingungen gefahren werden, müssen häufiger geöffnet werden als die industriell genutzten Elektronenbeschleuniger.

In der Industrie kommen außerdem Niedrig-Energie-Geräte mit weniger als 0,3 MV zum Einsatz. Bei den Niederenergieanlagen ist die Eindringtiefe der Elektronen in das zu bearbeitende Material wesentlich geringer als bei den Hochenergieanlagen. "Elektronenstrahlwerkzeuge" werden im industriellen Bereich beispielsweise zur Polymervernetzung, vornehmlich von Kabel- und Drahtisolationen eingesetzt. Die Niederenergieanlagen mit geringerer Beschleunigungsspannung benötigen eine geringere Abschirmung (SF₆-Menge) als die Hochenergieanlagen.

Eine weitere Kategorie stellen Strahlentherapiegeräte in medizinischen Einrichtungen dar. Bei Krebsbehandlung durch Bestrahlung mit Elektronen bzw. Photonen werden industriell voreingestellte Teilchenbeschleuniger eingesetzt, bei denen der sog. Hohlleiter, in dem die Teilchen beschleunigt werden, zur Verhinderung von Spannungsüberschlägen mit SF₆ als Isolationsgas gefüllt ist. Vor 1996 wurden in diesen Geräten FCKW eingesetzt.

SF₆ dient ferner als Isolatorgas bei großen Elektronenmikroskopen (>100 kV Beschleuniger-spannung) und Elektronenstrahlenschreibern, die als „sonstige Geräte“ zusammengefasst werden und erstmals für 2010 erfasst wurden.

Insgesamt gilt: Der SF₆-Verbrauch bei Erst- bzw. Neubefüllung der Geräte und beim Emissionsersatz ist von der Größe der Geräte, den Druckverhältnissen sowie den Betriebsbedingungen abhängig.

4.8.2.2.2 Methodische Aspekte (2.G.2.b)

Anfang 2004 führte Öko-Recherche für das Umweltbundesamt eine Totalerhebung zu inländischen Teilchenbeschleunigern durch, um die teilweise bis auf 1996 zurückreichenden Daten zu aktualisieren. Dabei wurden sowohl Anwender als auch Hersteller befragt. Inhalt der Fragen waren sowohl die SF₆-Mengen in ihren Geräten als auch die SF₆-Nachfüllungen während der letzten sieben Jahre.

Das ZSE übernimmt die Gliederung dieser Erhebung und enthält für alle fünf Kategorien den jährlichen SF₆-Bestand und den jährlichen Ersatz für Emissionen. Letztere schließen außer den laufenden auch die Befüll- und Entsorgungsverluste ein.

Für das Berichtsjahr 2011 wurde nochmals eine Totalerhebung durchgeführt. Erstmals wurden Daten für Elektronenmikroskope gesammelt (Winfried Schwarz et al., 2012). Es war nur eine geringe Gerätezu- und abnahme je nach Anwendung zu beobachten. Es werden daher konstante Verwendungsmengen angenommen. Eine Ausnahme bildet die Strahlentherapie. Hier sind leicht ansteigende Verwendungsmengen zu beobachten.

Tabelle 217: SF₆-Bestand in Teilchenbeschleunigern in 5 Anwendungssektoren ab 1995, in t

Nutzer-Kategorie	1995	2001	2003	2010	2015	2019
(1) Universitäts- Institute	30,571	28,067	28,317	32,090	32,090	32,090
(2) Forschungs-Einrichtungen	19,555	19,305	19,555	13,531	13,531	13,531
(3) Industrie (Hochspannung)	13,750	24,422	24,422	26,575	26,575	26,575
(4) Industrie (Niederspannung)	1,600	1,600	1,600	1,425	1,425	1,425
(5) Strahlentherapie Einrichtungen	0,156	0,173	0,157	0,106	0,118	0,130
Gesamt (1-5)	65,632	73,817	73,801	73,727	73,739	73,752

Die Nachfüllmengen als Indikatoren der laufenden Emissionen betragen bei den meist großvolumigen Teilchenbeschleunigern zu Forschungs- und industriellen Zwecken (erste drei Nutzerkategorien) 4,1-4,5 t jährlich in den Jahren von 1995 bis 2003. Die laufenden Emissionen sind im Jahr 2010 deutlich geringer. Dieser Rückgang ist ausgeprägter als der Rückgang der Füllvolumina.

Tabelle 218: SF₆-Emissionen aus Teilchenbeschleunigern nach fünf Anwendungsbereichen ab 1995, in t

Nutzer-Kategorie	1995	2001	2003	2010	2015	201
(1) Universitäts-Institute	1,853	1,508	1,558	1,582	1,582	1,582
(2) Forschungs-Einrichtungen	1,259	1,246	1,196	0,886	0,886	0,886
(3) Industrie (Hochspannung)	0,958	1,722	1,710	1,155	1,155	1,155
(4) Industrie (Niederspannung)	0,020	0,020	0,020	0,017	0,017	0,017
(5) Strahlentherapie Einrichtungen	0,345	0,384	0,395	0,491	0,503	0,516
Gesamt	4,435	4,880	4,879	4,131	4,143	4,156

Das SF₆ wird bei Öffnung der Tanks der großvolumigen Hochspannungsgeräte umgepumpt und danach rückgeführt. Dies kann mit beträchtlichen Gasverlusten verbunden sein. Die gemeldeten Nachfüllungen schließen außerdem den Ausgleich von Emissionen durch Havariefälle ein. Daraus ergeben sich die Schwankungen in den Emissionsfaktoren in den Zeilen 1-3 (Tabelle 219).

Tabelle 219: SF₆-Emissionsfaktoren von Teilchenbeschleunigern in fünf Anwendungsbereichen ab 1995, in % des SF₆-Bestands

Nutzer-Kategorie	1995	2001	2003	2010	2015	2019
(1) Universitäts-Institute	6,1	5,4	5,5	4,9	4,9	4,9
(2) Forschungs-Einrichtungen	6,4	6,2	6,2	6,5	6,5	6,5
(3) Industrie (Hochspannung)	7,0	7,1	7,0	4,3	4,3	4,3
(4) Industrie (Niederspannung)	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2
(5) Strahlentherapie Einrichtungen	222	222	252	463	426	394

Bei den kleinvolumigen Niederspannungs-Anlagen in der Industrie lagen die Emissionsraten nach Herstellerangaben in den Jahren 1995-2003 bei 1,3%. 2010 lag dieser Wert nach Herstellerangaben bei 1,2 %, hat sich also kaum verändert.

Die Strahlentherapiegeräte in medizinischen Einrichtungen hatten in den Jahren von 1995 bis 2003 jährliche Emissionsraten von 220 – 250 %. Der hohe Nachfüllbedarf ergibt sich daraus, dass diese Geräte im Durchschnitt zwei bis vier Mal jährlich im Zuge der vom Hersteller durchgeführten Wartung und Reparatur geöffnet werden, wobei das Isoliergas entweicht. Es wird vom Servicepersonal regelmäßig bei Wartung und Reparatur nachgefüllt. Die Emissionsraten (jährlicher Verlust pro Gerät) unterscheiden sich bei den drei Herstellern um den Faktor 10. Je geringer das Füllvolumen, desto größer der Nachfüllbedarf und damit die Emissionsrate. Bei zwei der drei Hersteller ist die Nachfüllrate pro Gerät zwischen 2003 und 2010 konstant geblieben, bei einem hat sie sich deutlich vermindert. Da sich der Anteil der kleinen und hochemissiven Geräte am Gesamtbestand deutlich vergrößert hat, ist auch die Gesamtverlustrate bei den Strahlentherapiegeräten zwischen 2003 und 2010 deutlich angestiegen, von ca. 250 % auf ca. 460 %. Ein Hersteller von Strahlentherapiegeräten berichtet über die Einführung eines Servicetools zur Wiederverwertung von SF₆ bei seinen Gerätetypen seit 2006 (Abpumpen des SF₆, Zwischenlagerung und Wiederbefüllung). Dies habe zu einer deutlichen Reduzierung des SF₆-Verbrauchs geführt.

4.8.2.3 Isolierglasfenster (2.G.2.c)

4.8.2.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.c)

SF₆ wird seit 1975 zur Erhöhung der Schalldämmung bei Mehrscheiben-Isolierglas in den Scheibenzwischenraum gefüllt. Nachteilig bei der Anwendung sind die schlechtere Wärmedämmleistung und das hohe Treibhauspotenzial von SF₆. Die Verschiebung der Priorität in Richtung Wärmeschutz, z. B. durch die Wärmeschutzverordnung und ein Bedeutungszuwachs SF₆-freier Scheibentechnologien hat dazu geführt, dass der Einsatz von SF₆ in dieser Anwendung seit Mitte der 1990er Jahre zurückgeht.

Schallschutzscheiben wurden in Deutschland in zahlreichen Betrieben hergestellt und mit Gas befüllt. Der Export fertiger Scheiben spielt keine nennenswerte Rolle.

Seit dem 4. Juli 2007 gilt in der EU ein Verbot für das Inverkehrbringen von Fenstern für Wohnhäuser, die mit fluorierten Treibhausgasen befüllt wurden. Ab dem 4. Juli 2008 gilt dieses Verbot auch für sonstige Fenster. Heutige und künftige Emissionen dieser Kategorie stammen daher vorwiegend aus der offenen Entsorgung alter Fensterscheiben, die im Mittel 25 Jahre nach der Befüllung angenommen wird. Aus diesem Grund werden die Gesamtemissionen bis zum Jahr 2020 weiter zunehmen.

4.8.2.3.2 Methodische Aspekte (2.G.2.c)

Emissionen treten bei der Befüllung der Scheibenzwischenräume durch Überfüllung, (Herstellungsemissionen), während des Gebrauchs (Anwendungsemissionen) und bei der Entsorgung (Entsorgungsemissionen) auf. Die Emissionen werden analog den Gleichungen 3.24 – 3.26 der IPCC-GPG (Penman et al., 2000) mittels des Inlandsneuverbrauchs, des mittleren Jahresbestands und des Restbestands vor 25 Jahren berechnet.

Die Zeitreihen für Schallschutzfenster beginnen im Jahr 1975, da für die Bestandsemissionen des Jahres 1995 die Befüllungsmengen des Jahres 1975 von Bedeutung sind. Diese mit Branchenexperten 1996 rekonstruierten Daten wurden erstmals im Jahr 2004 veröffentlicht.

Emissionsfaktoren

Vom SF₆-Verbrauch entweicht laut Expertenangaben von Scheiben- und Gasfüllgeräteherstellern, Branchenexperten und eines wissenschaftlichen Instituts bei der Befüllung des Scheibenzwischenraums ein Drittel. $EF_{\text{Herstellung}}$ ist daher 33 % bezogen auf den Jahres-Neuverbrauch.

Dieser Emissionsfaktor kommt folgendermaßen zustande: Sowohl bei Handgeräten als auch bei automatischen Gasfüllpressen sind Verwirbelungen im Innenraum unvermeidlich, so dass nicht nur Restluft, sondern auch ein Luft-SF₆-Gemisch austritt, und zwar umso mehr davon, je weiter fortgeschritten der Befüllungsvorgang ist. Der Gasverlust, die sog. Überfüllung, reicht von 20 bis 60 % der Einfüllmenge. Relativ ist er umso größer, je kleiner die Scheibe ist. Im Durchschnitt, d.h. über das gesamte Spektrum der befüllten Scheibenformate, beträgt die Überfüllung 50 % auf die tatsächlich im Scheibenzwischenraum verbleibende Menge. Das entspricht einem Drittel (33 %) der jeweiligen Verbrauchsmenge. Der Emissionsfaktor wird unverändert weiter genutzt, da sich die Befüllungstechnik oder auch das geometrische Spektrum der Scheiben nicht verändert hat.

Eine DIN-Norm (DIN EN 1279-3, DIN 2003) schreibt 10 Promille jährlichen Verlust der Gasfüllung durch die Randabdichtung der Scheibe als Obergrenze vor. Dieser Wert bezieht auch Gasverlust infolge von Glasbruch bei Transport, Einbau und Nutzung sowie der mit dem Alter zunehmenden Undichtheit des Randverbunds mit ein. Daraus resultiert ein Emissionsfaktor $EF_{\text{Anwendung}}$ von 1 % bezogen auf den seit 1975 akkumulierten SF₆-Bestand, der im Durchschnitt des Jahres n besteht.

Entsorgungsverluste fallen am Ende der Nutzungsphase der Scheiben an, durchschnittlich 25 Jahre nach der Befüllung. Darum sind erst ab dem Jahr 2000 Abgänge durch Entsorgung bei den Emissionen zu berücksichtigen.

Da die Scheiben in jedem Jahr 1 % Gas vom Vorjahreswert verlieren, wird bei der Entsorgung nur ein Teil der ursprünglichen Füllung emittiert. Da aber keine Rückgewinnung stattfindet, erfolgt eine 100 %ige Emission ($EF_{\text{Entsorgung}} = 1$).

Aktivitätsdaten

Der Jahres-Neuverbrauch wurde mittels top-down-Erhebung gewonnen (Inlandsabsatz des Gasehandels).

Seit dem Berichtsjahr 2006 wird der Neuverbrauch vom Statistischen Bundesamt durch Abfrage der SF₆-Verkaufszahlen des Gasehandels (UStatG, 2005) ermittelt.

4.8.2.4 Adiabatisch - Autoreifen (2.G.2.d)

4.8.2.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.d)

Autoreifen wurden aus Imagegründen (die verbesserte Druckkonstanz ist nicht praxisrelevant) ab 1984 mit SF₆ befüllt. Der größte Verbrauch lag im Jahr 1995. Hier bestand bei über 500 der rund 3500 Verkaufsstellen des deutschen Reifenfachhandels die Möglichkeit, die Reifen mit SF₆-Gas zu befüllen. Wegen des großen Treibhauspotenzials von SF₆ stiegen viele Reifenhändler auf Stickstoff als Befüllungsalternative um, was zu einem deutlichen Rückgang geführt hat. Seit dem 4. Juli 2007 gilt in der EU ein Verbot für das Inverkehrbringen von neuen Autoreifen, die mit fluorierten Treibhausgasen befüllt wurden. Es finden keine Emissionen mehr statt.

4.8.2.4.2 Methodische Aspekte (2.G.2.d)

Gasemissionen während der Reifenlaufzeit werden zur Vereinfachung nicht berücksichtigt, so dass nur Emissionen bei der Reifendemontage auftreten. Bei einer kalkulierten Laufzeit von ca. 3 Jahren folgen die Emissionen dem inländischen Verbrauch zur Befüllung, da es keinen Außenhandel mit befüllten Reifen gibt, dreijährig Zeit versetzt (Winfried Schwarz, 1996). Zur Berechnung der Emissionen wird die Gleichung 8.19 der 2006 IPCC-Guidelines (Vol. 3) angewendet.

Emissionsfaktoren

Die sehr geringen Verluste bei der Reifenbefüllung werden nicht berücksichtigt. Da SF₆ bei der Reifendemontage vollständig entweicht, gilt $EF_{\text{Entsorgung}} = 1$.

Aktivitätsdaten

Die jährlichen Verbrauchsmengen wurden durch Abfragen der Inlandsabsätze der Gaslieferanten an Reifenhändler und Kfz-Werkstätten durch das Statistische Bundesamt (UStatG, 2005) ermittelt.

4.8.2.5 Adiabatisches Verhalten - Sportschuhe (2.G.2.d)

4.8.2.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.d)

Der Einsatz von SF₆ erfolgte in den Sohlen von Sportschuhen zur Verbesserung der Dämpfung; das letzte Mal europaweit im Jahr 2003. Ab 2004 wurde FKW-218 (C₃F₈) eingesetzt, letztmals im Jahr 2006. Heute wird größtenteils Stickstoff verwendet. Das Inverkehrbringen von mit fluorierten Treibhausgasen hergestellter Fußbekleidung in die EU ist seit dem 4. Juli 2006 verboten. Es finden keine Emissionen mehr statt.

4.8.2.5.2 Methodische Aspekte (2.G.2.d)

Die Berechnung der Emissionen erfolgte über Gleichung 8.9 der IPCC-Guidelines (2006). Fertigungsemissionen fielen nur im Ausland an, laufende Emissionen wurden nicht ermittelt. Wegen der Vertraulichkeitszusage werden die Daten zu Sportschuhsohlen unter CRF 2.H.3 berichtet.

Emissionsfaktoren

Emissionen bei der Produktion wurden von den Herstellern nicht berichtet.

Während der Anwendung wird keine Emission angenommen.

Bei der Entsorgung können die Emissionen den eingesetzten Mengen gleichgesetzt werden ($EF_{\text{Entsorgung}} = 1$), wobei analog zur IPCC-Methode bei Autoreifen eine Zeitverzögerung von drei Jahren angenommen wird (IPCC (2006): Vol. 3, Gleichung 8.19).

Aktivitätsdaten

Die Füllmengen beruhen auf europaweiten Verkaufszahlen der Hersteller. Diese Angaben werden auf Deutschland über die Bevölkerungszahl als Kriterium herunter gerechnet. Die Daten liegen dem Umweltbundesamt seit dem Berichtsjahr 2001 vor, werden aber aus Gründen der Vertraulichkeit nur in aggregierter Form unter CRF 2.H.3 berichtet.

4.8.2.6 Sonstige: Spurengas (2.G.2.e)

4.8.2.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e)

Als stabiles und auch in extrem geringer Konzentration gut nachweisbares Spurengas wird SF_6 von Forschungseinrichtungen für die Untersuchung bodennaher und atmosphärischer Luftströmungen und Gasausbreitungen sowie von Wasserströmungen eingesetzt. Außerdem dient es zur Prüfung von Laborabzügen.

Ab dem Berichtsjahr 2007 wurde SF_6 als Spurengas gegenüber den Vorjahren deutlich weniger eingesetzt.

4.8.2.6.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e)

Die verwendeten Mengen wurden von Experten geschätzt.

Emissionsfaktoren

Es wird von einer offenen Anwendung ausgegangen, d.h. der jährliche Neueinsatz emittiert vollständig im selben Jahr und wird als Verbrauch zur Fertigung ($EF_{\text{Herstellung}} = 1$) betrachtet. Eine Rückgewinnung erfolgt nicht.

Aktivitätsdaten

Die Einschätzung des inländischen Gesamteinsatzes erfolgte 1996 durch die Experten aller Forschungseinrichtungen und dann jeweils im Abstand von 3 Jahren durch einen Experten. Die Einschätzungen zeigten nur geringe Variationen der Einsatzmengen. Die SF_6 -Verwendungsmengen für die Jahre 2007 bis 2015 wurden 2017 nach oben korrigiert, da die Verwendung zur Prüfung von Laborabzügen in das deutsche Inventar aufgenommen wurde.

4.8.2.7 Sonstige: Schweißen (2.G.2.e)

4.8.2.7.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e)

Nach Angaben von Gaslieferanten begann die Verwendung von SF_6 beim Schweißen im Jahr 2001. SF_6 wird als Schutzgas beim Schweißen von Metall eingesetzt. Da es nur einen Anwender in Deutschland gibt, unterliegen die Daten der Vertraulichkeit.

4.8.2.7.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e)

Es fallen nur Emissionen während der Anwendung an. Wegen der Datenvertraulichkeit werden Verbrauch und Emissionen beim Schweißen unter CRF 2.H.3 berichtet.

Emissionsfaktoren

Es stehen keine verlässlichen Daten über den Zerfall von SF_6 während der Anwendung zur Verfügung. Nach Expertenschätzung emittiert die eingesetzte SF_6 -Menge bei der Anwendung

vollständig in die Atmosphäre. Daher werden Verbrauch und Emissionen beim Schweißen gleichgesetzt. Für den Emissionsfaktor beim Schweißen gilt $EF_{\text{Anwendung}} = 1$.

Aktivitätsdaten

Die jährlichen Verbrauchsmengen werden durch Abfrage bei der Firma erfragt, die SF₆ zum Schweißen verwendet.

4.8.2.8 Sonstige: Optische Glasfasern (2.G.2.e)

4.8.2.8.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e)

Die Verwendung von SF₆ bei der Herstellung optischer Glasfasern begann im Jahr 2002. SF₆ wird bei der Herstellung spezieller optischer Glasfaserkabel zur Fluordotierung eingesetzt. Es gibt in Deutschland nur wenige Produktionsbetriebe.

4.8.2.8.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e)

Wegen der Datenvertraulichkeit des Emissionsfaktors werden die Emissionen bei der Herstellung optischer Glasfasern vertraulich unter CRF 2.H.3 berichtet.

Emissionsfaktoren

Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3) enthalten keine Informationen über die Verwendung von SF₆ bei der Produktion optischer Glasfasern. Experten schätzten den Emissionsfaktor bisher auf 70 % ($EF_{\text{Herstellung}} = 0,7$). Messungen ergaben aber einen deutlich geringeren Emissionsfaktor. Dieser wurde daher deutlich herabgesetzt, unterliegt aber der Vertraulichkeit. Die Zeitreihe der Emissionen wurde 2018 rückwirkend für alle Jahrgänge rekalkuliert.

Aktivitätsdaten

Die jährlichen Verbrauchsmengen werden durch Abfragen der Inlandsabsätze der Gaslieferanten durch das Statistische Bundesamt (UStatG UStatG, 2005) erhoben. Sie steigen seit 2001 mit leichten Schwankungen stetig an.

4.8.2.9 Sonstige: Medizinische und kosmetische Anwendungen (2.G.2.e)

4.8.2.9.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.2.e)

In Deutschland werden fluorierte Treibhausgase nicht nur in medizinischen Dosieraerosolen (Quellgruppe 2.F.4) eingesetzt, sondern auch in verschiedenen medizinischen bzw. kosmetischen Anwendungen.

Perfluordecalin (C₁₀F₁₈, FKW-9-1-18) wird seit dem Jahr 2000 als Reinstoff in der Augenheilkunde und in der Forschung verwendet. In der Augenheilkunde wird Perfluordecalin in der Netzhautchirurgie innerhalb des Auges angewendet, insbesondere bei Netzhautablösungen, Netzhautrissen, Glaskörperproliferationen etc. In deutlich geringeren Mengen kommt Perfluordecalin in der Forschung zur Organkonservierung während Transplantationen, als Kontrastmittel in diagnostischen Abbildungstechniken (Magnetresonanztomographie, Ultraschall) und als Sauerstoffträger bei der Zellkultivierung zum Einsatz.

Perfluordecalin wird seit dem Jahr 2012 auch als Inhaltsstoff in Kosmetikprodukten (Hautpflege, Nagelpflege), in denen es als Träger- bzw. Speichermedium für Sauerstoff genutzt wird, verwendet. Die Einsatzkonzentration von Perfluordecalin in diesen Produkten beträgt laut Herstellerangaben 0,1 %.

Hydrofluorether (HFE) sind in Deutschland die Standard-Narkosegase für inhalative Anästhesien und werden bei etwa 9 Millionen Operationen jährlich eingesetzt. Der hydrofluorchlorierte Ether Isofluran (HCFE-235da2, CHF₂-O-CHCl-CF₃) kommt bereits seit dem Jahr 1985 zum Einsatz. Desfluran (HFE-236ea2, CHF₂-O-CHF-CF₃) und Sevofluran (HFE-347mmz1, CH₂F-O-CH(CF₃)₂) sind seit 1995 in Gebrauch und haben gegenwärtig einen Marktanteil von zusammen etwa 90 %. Die Hydrofluorether werden bei der Anwendung mit speziellen Vorrichtungen verdampft und in Konzentrationen von 1 % bis 6 % in einem Trägergas, das aus Sauerstoff und Lachgas (N₂O) besteht, verabreicht. Pro Operation werden durchschnittlich 8,2 g Isofluran, 32,6 g Desfluran bzw. 11,4 g Sevofluran eingesetzt. Die Verwendungsmengen der bei den Operationen verwendeten Hydrofluorether sind unterschiedlich, da die Konzentrationen der Narkosegase in der zugeführten Atemluft bzw. dem Trägergas stark differieren, um ihre Wirksamkeit zu gewährleisten.

Medizinische und kosmetische Anwendungen von FKW werden entsprechend des Vorschlags der 2006 IPCC Guidelines in der Quellgruppe 2.G.2 eingeordnet.

4.8.2.9.2 Methodische Aspekte (2.G.2.e)

Perfluordecalin emittiert vollständig bei der Anwendung als Reinstoff in der Augenheilkunde und in der Forschung. Das in Kosmetikprodukten enthaltene Perfluordecalin emittiert ebenfalls vollständig während der Anwendung ($EF_{\text{Anwendung}} = 1$).

Die als Inhalationsnarkotika verwendeten Hydrofluorether werden während der Operationen gesammelt und zentral in die Atmosphäre abgeleitet. Die verschiedenen Hydrofluorether werden bei den Operationen jedoch nicht unverändert wieder ausgeatmet, sondern teilweise und in unterschiedlichem Maße im Organismus metabolisiert. Die gasspezifischen Emissionsfaktoren haben jeweils Werte von 100 % abzüglich der Metabolisierungsrate.

Herstellungsemissionen bei medizinischen bzw. kosmetischen Anwendungen treten nicht auf, da keine Produkte in Deutschland produziert werden.

Anwendungsemissionen werden über die als Bulkware und in Kosmetikprodukten verkauften Mengen an Perfluordecalin mit Gleichung 2 berechnet. Dabei wird entgegen der in den 2006 IPCC Guidelines vorgeschlagenen Methode zur Berechnung der „prompten Emissionen“ (Gleichung 8.23) davon ausgegangen, dass die in einem Jahr verkauften Mengen vollständig im gleichen Jahr emittieren und nicht die Summe der halben Käufe (Verkäufe) des vorherigen Jahres und des aktuellen Jahres. Diese Vorgehensweise ist vertretbar, da die Zeitspanne zwischen Verkauf und Anwendung sehr kurz ist.

Anwendungsemissionen von den als Narkosegasen eingesetzten Hydrofluorethern errechnen sich mit Gleichung 2 über die in Deutschland verwendeten Mengen. Die 2006 IPCC Guidelines machen keine Vorgaben zur Berechnung der Emissionen.

Da Perfluordecalin und die Hydrofluorether bereits vollständig bei ihrer Anwendung emittieren, müssen keine Entsorgungsemissionen berichtet werden.

Wegen der Datenvertraulichkeit werden Verbrauch und Emissionen von Perfluordecalin unter CRF 2.H.3 berichtet.

Die Emissionen der nicht berichtspflichtigen Hydrofluorether werden gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gases“ berichtet. Die Emissionen sind aggregiert mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 aufgeführt.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenaussagen und sind in Tabelle 215 wiedergegeben.

Der $EF_{\text{Anwendung}}$ beträgt für alle medizinischen und kosmetischen Anwendungen von Perfluordecalin 100 %.

Bei den als Inhalationsnarkotika verwendeten Hydrofluorethern beträgt der $EF_{\text{Anwendung}}$ für Isofluran und Desfluran 99,8 %, für Sevofluran 95 %.

In Übereinstimmung mit den IPCC Vorgaben (2006 IPCC Guidelines, Seite 8.32) wird von einer 100 %igen Emission bei der Anwendung von Perfluordecalin ausgegangen ($EF_{\text{Anwendung}} = 100 \%$). In Deutschland wird abweichend von den Guidelines nur eine einjährige Lebensdauer zugrunde gelegt.

Für die Verwendung von Hydrofluorethern als Inhalationsnarkotika gibt es keine Vorgaben in den 2006 IPCC Guidelines.

Aktivitätsdaten

Die jährlichen Importe von $C_{10}F_{18}$ nach Deutschland für die Anwendung in der Augenheilkunde und der Forschung wurden vom Hersteller F2 Chemicals, UK, vertraulich zur Verfügung gestellt.

Die nach Deutschland importierten Mengen $C_{10}F_{18}$ -haltiger Kosmetikprodukte wurden vom Handelsunternehmen P2 cosmetics, das diese Produkte in Deutschland vertreibt, vertraulich zur Verfügung gestellt.

Die Verwendungsmengen der als Inhalationsnarkotika eingesetzten Hydrofluorether wurden durch Befragungen von Branchenexperten (Kliniken, Hersteller von Narkosehilfsgeräten) und Literaturangaben im Rahmen eines Forschungsvorhabens ermittelt (Gschrey et al., 2015).

4.8.2.10 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.2 alle)

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten für die Quellgruppe ist erfolgt.

Bei Isolierglasfenstern erfolgte seit 2006 ein Datenabgleich des Jahres-Neuverbrauchs der top-down-Erhebung auf Basis von kommerziellen Verkaufsdaten mit den vom Statistischen Bundesamt jährlich durchgeführten Erhebungen (UStatG, 2005). Dadurch konnte die Datensicherheit erhöht werden und ist als verlässlich und vollständig zu bewerten. Der $EF_{\text{Herstellung}}$ kann angesichts der Vielfalt der Einflussfaktoren nicht verbindlich gemessen werden. Die Schätzung der 1996 und 1999 befragten zehn Branchenexperten (aus Kreisen der Scheibenhersteller, Füllgeräteelieferanten und eines wissenschaftlichen Instituts) lässt den Schluss zu, dass sich der mittlere Befüllungsverlust zwischen 30 % und 40 % bewegt. 1 % laufende Gasverluste werden als realistisch angesehen.

Bei Sportschuhen ist trotz der guten Datenqualität für die EU die Verteilung der Füllmengen auf die Mitgliedstaaten mit erheblichen Unsicherheiten verbunden.

Bei medizinischen Anwendungen wird die Datenqualität der Verwendungsmenge von Perfluordecalin als gut bewertet, da die Zahlen direkt vom Hersteller (F2 Chemicals Ltd, UK) stammen, der als einziger Anbieter Perfluordecalin nach Deutschland exportiert. Die Unsicherheiten bei den kosmetischen Produkten sind höher, da der Kosmetikmarkt in Deutschland sehr dynamisch ist und nicht auf Statistiken zurückgegriffen werden kann.

4.8.2.11 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.2 alle)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Daten für das aktuelle Berichtsjahr wurden, wie bereits für die meisten Vorjahre, im Rahmen eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Umweltbundesamtes durch einen externen Experten erhoben bzw. stammen aus der Datenerhebung des Statistischen Bundesamtes (UStatG, 2005).

Die Qualitätssicherung erfolgt im Wesentlichen durch den externen Experten bzw. das Statistische Bundesamt. Darüber hinaus werden die Daten durch die Fachbegleiter des UBA bei Abnahme geprüft.

Der gesamte Sektor der F-Gas Emissionen wurde im Jahr 2011 einer freiwilligen trilateralen Überprüfung unterzogen. Experten aus England, Deutschland und Österreich überprüften die F-Gas Inventare der anderen Länder. Das Ziel der Überprüfung war der Informationsaustausch über die länderspezifischen Methoden der Erstellung der F-Gas Inventare, ein Einblick in die institutionellen und rechtlichen Regelungen für die F-Gas Inventare in jedem Land, die Identifizierung der Hindernisse zur Erstellung von vollständigen und exakten Inventaren und die Diskussion der Unterschiede und Ähnlichkeiten in den Methoden, die zur Erstellung der F-Gas Inventare verwendet werden. Das Treffen hat allen drei Ländern geholfen, die verwendeten Methoden zur Emissionsberechnung zu überprüfen. Weiterhin konnten die Transparenz, die Vollständigkeit und die Genauigkeit der Inventare bewertet werden. Das positive Ergebnis war, dass Deutschland ein gutes F-Gase-Inventar hat. Im Ergebnis wurden keine Empfehlungen für Verbesserungen des deutschen F-Gase-Inventars ausgesprochen.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Statistischen Bundesamt, den vom Forschungsnehmer erhobenen und den von Firmen gemeldeten Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern zeigen keinen Verbesserungsbedarf. Die Emissionsfaktoren entsprechen den Default-Emissionsfaktoren der 2006 IPCC Guidelines oder liegen in derselben Größenordnung der in anderen Ländern verwendeten Werte.

Bei medizinischen und kosmetischen Anwendungen (Subquellgruppe 2.G.2.e) ist keine Verifizierung der Methodik oder Daten möglich, da außer Deutschland kein Land Emissionen in diesem Bereich berichtet.

4.8.2.12 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.2 alle)

Bei den als Narkosegasen eingesetzten Hydrofluorethern wurden die Verwendungsmengen des Jahres 2018 auf Basis der durchgeführten Operationen in diesem Jahr rekalkuliert. Auf eine Quantifizierung wird an dieser Stelle verzichtet, da die Stoffe freiwillig berichtet werden.

4.8.2.13 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.2 alle)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.8.3 Verwendung von N₂O (2.G.3)

4.8.3.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.3)

Der deutsche Lachgasmarkt wird von Air Liquide, Linde AG und Westfalen AG dominiert, die sowohl als Haupthersteller als auch Importeur auftreten. Bei der Lachgasherstellung und dessen Abfüllung in Gasflaschen entstehen keine Lachgasemissionen. Diese treten lediglich bei dessen Anwendung auf: Als N₂O-Quelle ist hier vor allem der Einsatz in der Medizin von Bedeutung. Weitere Emissionsquellen sind der Einsatz von Lachgas als Treibmittel in Sprühsahnedosen und der Einsatz in der Halbleiterindustrie. Auch bei Sprengungen wird N₂O in geringen Mengen freigesetzt. Die Lachgas-Emissionen der Anästhesie sind als dominierende Emissionsquelle seit 1990 stark rückläufig, da statt Lachgas zunehmend intravenöse Betäubungen angewandt werden. Dieser Trend wird sich auch in Zukunft fortsetzen.

Medizin - Anästhesie

In der Medizin wird Lachgas als analgetisch wirkendes Gas zu Narkosezwecken genutzt. Bei der Anwendung wird Lachgas mit reinem Sauerstoff gemischt, um eine wirkungsvolle Gasmischung von 70 % Lachgas und 30 % Sauerstoff zu erhalten. In der modernen Anästhesie wird die Wirkung des Lachgases durch Zugabe von anderen Narkosemitteln verbessert. Bislang ist der Einsatz von N₂O in diesem Bereich nicht verboten, jedoch gibt es starke Bestrebungen in der deutschen Medizin gegen dessen allgemeine Verwendung. Der Einsatz von Lachgas in der Medizin geht deshalb seit 1990 kontinuierlich zurück.

Lebensmittelindustrie - Sprühsahnedosen

Lachgas wird in der Lebensmittelindustrie als Zusatzstoff mit dem Namen E 942 verwendet. Treibgase pressen Lebensmittel unter Druck aus ihren Behältern. Je nach Art des Lebensmittels kommt es dabei zur Aufschäumung oder zur Herstellung einer cremigen Konsistenz. So werden Sahne (aus Sprühdosen), Quark, und diverse Desserts wie zum Beispiel Fertigpuddings mit N₂O versetzt (Die Verbraucher Initiative e.V. (2005); Linde Gas (2017)),

Halbleiterherstellung

Für die Fertigungsschritte in der Halbleitertechnik werden eine Vielzahl von Chemikalien und Gasen verwendet. Argon, hochreiner Sauerstoff, Wasserstoff, hochreines Helium und Stickstoff bilden die Hauptmengen der eingesetzten Gase. Der Verbrauch der speziellen Prozessgase wie Distickstoffmonoxid, Ammoniak und Hexafluorethan ist vergleichsweise gering.

Sprengstoffe

Sprengstoffe können militärisch und gewerblich eingesetzt werden. Zivile bzw. gewerbliche Sprengstoffe finden im Bergbau, bei Baumaßnahmen in felsigen Gegenden, bei Abrissunternehmen, in der Geologie und bei Feuerwerken Verwendung.

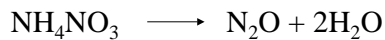
Lachgasemissionen entstehen vorwiegend bei der Detonation von ammoniumnitrathaltigen Sprengstoffen wie dem ANFO (Ammoniumnitrat- / Fuel Oil) und den Emulsions Sprengstoffen. Im Allgemeinen enthalten die gewerblichen/zivilen Sprengstoffe zu ca. 60 bis 80 % Ammoniumnitrat (AN). Dagegen enthält der ANFO-Sprengstoff Andex bis zu 94 % Ammoniumnitrat.

In Deutschland werden Sprengstoffe zur zivilen Nutzung von zwei Firmen hergestellt: Orica Mining (früher Dynamit Nobel) und Westpreng GmbH (Wasag Chemie).

Bei der Herstellung von Sprengstoff entstehen keine Lachgasemissionen, jedoch kann bei der thermischen Zersetzung von Sprengstoffen Lachgas gebildet werden. Die Ursache dafür ist, dass

Ammoniumnitrat (AN) beim thermischen Zerfall Distickstoffmonoxid (Lachgas) und Wasser bildet.

Bei vorsichtigem Erwärmen über die Schmelztemperatur läuft die Reaktion wie folgt ab:



Bei der schnellen, detonativen Umsetzung des AN-haltigen Sprengstoffes, verläuft die Reaktion jedoch wie folgt:



Dies bedeutet, dass bei hohem Druck und hoher Temperatur AN vorwiegend zu Stickstoff, Sauerstoff und Wasser reagiert. Nur eine geringe Konzentration an primär gebildetem N_2O bleibt beim Detonationsprozess erhalten. So enthalten z.B. die Detonationsschwaden von Amatolen⁸⁵ mit etwa 80 % an AN nur 0,1 Mol N_2O pro Mol Ammoniumnitrat. Aus diesem Betrag lässt sich eine theoretische maximale Lachgasbildung von etwa 68 g (dieser Wert wurde von einem Sprengstoffexperten mitgeteilt, der stöchiometrische Wert würde 44 g/Mol Amatol (80 %-AN) betragen) pro Kilogramm AN errechnen ((Ornellas, 1982); Volk (1986): Seite 74). Nach Aussage von Experten können Annahmen über die N_2O -Emissionen bezogen auf diesen AN-Gehalt für andere Sprengstoffe getroffen werden.

N_2O im Auto-Tuning

In der Antriebstechnik wird Lachgas zur Verbesserung des Verbrennungsprozesses in Benzinmotoren, der so genannten „Lachgas-Einspritzung“, verwendet. Dabei wird das Lachgas in Stickstoff und Sauerstoff gespalten. Der Stickstoff kühlt den Verbrennungsprozess und der Sauerstoff erhöht die Verbrennungsleistung. Infolge dieser „Tuningmaßnahme“ kann die Leistung des Motors kurzfristig gesteigert werden. Es gibt in Deutschland bisher eine Firma, die solche Tuning-Maßnahmen anbietet. Recherchen haben ergeben, dass die entsprechende Technik, die für ein solches Tuning genutzt wird, auf einen möglichst restlosen Verbrauch des Lachgases ohne nennenswerte Emissionen ausgelegt ist.

4.8.3.2 Methodische Aspekte (2.G.3)

Anästhesie

Die Menge an N_2O -Emissionen aus medizinischen Anwendungen für das Jahr 1990 basiert auf einer Extrapolation der statistischen Anlagenerhebung im Gebiet der ehemaligen DDR im Jahr 1990. Damals wurde festgestellt, dass dort eine Anlage zur Produktion von N_2O für Narkosezwecke existiert hat. Die Anlage war zum damaligen Zeitpunkt noch nicht lange in Betrieb (Errichtung im Jahr 1988). Die Produktionskapazität betrug etwa 1.200 t pro Jahr. Nach Recherchen fand kein Export bzw. Import dieses Stoffes statt, so dass von der vollständigen Anwendung im Land ausgegangen wurde. Über die hierdurch für die ehemalige DDR ermittelte Pro-Kopf-Emission wurde unter der Annahme gleicher Verhältnisse in grober Näherung für das Jahr 1990 eine N_2O -Emission von 6.200 t für Deutschland festgelegt. Die N_2O -Angabe für das Jahr 2001 stammt aus einer schriftlichen Mitteilung des Industriegaseverbands e.V. (IGV) aus dem Jahr 2002. Dieser Wert hatte eine Bandbreite von 3.000 ~ 3.500 t/a, woraufhin für die Zeitreihenentwicklung der N_2O -Emissionen der Mittelwert aus diesen Werten verwendet wurde (3.250 t/a).

Seit dem Jahr 2005 wird durch den Industriegaseverband eine Erhebung der N_2O -Absatzmengen aller Anwendungen in Deutschland durchgeführt. Diese Daten hat der IGV auch dem

⁸⁵ Amatol x/y : militärische Sprengstoffe. Gießbare Gemische, i.a. aus x % TNT und y % Ammoniumnitrat

Umweltbundesamt für die Berichterstattung zur Verfügung gestellt. 2010 hat der IGV mit dem Bundeswirtschaftsministerium eine Selbstverpflichtung abgeschlossen über die jährliche Bereitstellung der N₂O Absatzmengen für die Emissionsberichterstattung.

Die Datenlücken in der Anästhesie werden durch Interpolation und Extrapolation geschlossen.

Der Emissionsfaktor beträgt 100 %.

Sprühsahnedosen

Der Einsatz von N₂O in Sprühsahnedosen in Deutschland muss differenziert betrachtet werden. Es gibt in Deutschland einen Hersteller von Sprühsahnedosen, der diese auch in Deutschland befüllt. In den Emissionsberechnungen wird aufgrund der oben beschriebenen Recherchen angenommen, dass diese Firma einen Anteil von ca. 3 % an den Lachgas-Absatzmengen des Industriegaseverbandes hat. Der größere Anteil der Unternehmen aber lässt ihre Sprühsahnedosen im Ausland befüllen und importiert diese nach Deutschland. Die Absatzmengen dieser Firmen sind deshalb nicht in den Daten des Industriegaseverbandes enthalten. Der Milchindustrieverband hat in einer einmaligen Erhebung dem Umweltbundesamt mitgeteilt, dass 2008 50,2 Mio. Einheiten Sprühsahnedosen verkauft worden sind. Der Milchindustrieverband gab aber an, dass die Einheiten verschiedene Größen haben und eine differenzierte Angabe nach den Größen nicht möglich ist. Eine Internetrecherche hat ergeben, dass im deutschen Handel Druckpatronen mit 8g N₂O für 0,5l Sahnedosen und 16g N₂O für 1,0l Sahnedosen verkauft werden. Vergleichsrechnungen haben ergeben, dass vereinfacht mit 8g N₂O pro verkaufte Einheit gerechnet werden kann. Dies ergibt eine Einsatzmenge von 401,6 t N₂O für Sprühsahnedosen im Jahr 2008 in Deutschland. Da für die Jahre vor 2008 keine Daten vorliegen wird dieser Wert als konstant angenommen.

Der Emissionsfaktor für Sprühsahnedosen wird mit 100 % angenommen.

Halbleiterherstellung

Für die Jahre 1990, 1995, 2000, 2001 und 2008 hat der ZVEI eine einmalige Angabe über die Einsatzmengen (**Aktivitätsdaten**) von Lachgas gemacht. Zwischen diesen Werten wird interpoliert.

Für die Fertigungsschritte in der Halbleitertechnik werden eine Vielzahl von Chemikalien und Gasen verwendet. Argon, hochreiner Sauerstoff, Wasserstoff, hochreines Helium und Stickstoff bilden die Hauptmengen der eingesetzten Gase. Der Verbrauch der speziellen Prozessgase wie Distickstoffmonoxid und Ammoniak ist vergleichsweise gering und in den letzten Jahren annähernd konstant geblieben (AMD Saxony LLC&Co. KG, Dresden, Umweltbericht 2002/2003, (AMD, 2003): Seite 16).

Der **Emissionsfaktor** ist seit 2020 nicht mehr vertraulich. Da aber die N₂O Emissionen genutzt werden um die Emissionen der N-Dodecandisäure vertraulich zu halten, muss hier weiterhin auf eine Darstellung verzichtet werden.

In 2020 hat der ZVEI rückwirkend bis 2015 die Emissionsdaten gemeldet. Diese jährliche Meldung ist in eine Vereinbarung mit aufgenommen, damit ist die langfristige Verfügbarkeit der Emissionsdaten sicher gestellt.

Sprenstoffe

2003 wurden in Deutschland 59 kt Sprengstoff hergestellt. Davon wurden 13 kt ins Ausland exportiert und 5,8 kt nach Deutschland importiert⁸⁶. Das ergibt eine in Deutschland verbrauchte Menge von 51,8 kt. Der Anteil von ANFO an der Gesamtmenge beträgt 60 %, der der

⁸⁶ Persönliche Mitteilung: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM).

Emulsionssprengstoffe 25 % und der der Dynamitsprengstoffe 15 %. ANFO-Sprengstoffe bestehen aus 94 % Ammoniumnitrat und 6 % Brennstoffen. Für Emulsionssprengstoffe beträgt dieses Verhältnis 80 % zu 20 % und für Dynamitsprengstoffe 50 % zu 50 %.

Derzeit wird Lachgas als Schwadenkomponente im Gegensatz zu NO und NO₂ nicht ermittelt.

In der Regel ist die Bildung von N₂O nur bei Sprengstoffen relevant, die Ammoniumnitrat (AN) enthalten. Allerdings liegen bei ANFO-Sprengstoffen keine genauen Analysen der Detonationsschwaden vor. Aus diesem Grund muss man davon ausgehen, dass bei der Detonation von ANFO eine ähnlich hohe Konzentration von N₂O gebildet wird bezogen auf den AN-Gehalt wie bei den Amatolen und Ammoniten⁸⁷, von denen bereits Analysen vorliegen, um eine Abschätzung ermöglichen zu können. Man kommt zu folgendem Ergebnis: Amatole und Ammonite bilden bei der Detonation etwa 0,1 Mol N₂O pro Mol Ammoniumnitrat (AN).

Laut Aussage der *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* (BAM) ist die Menge des Sprengstoffverbrauchs in der BRD von 1990 bis 2005 konstant geblieben.

Der Emissionsfaktor für den Einsatz von Sprengstoffen beträgt 0,1036 kg N₂O/t Sprengstoff. Der Emissionsfaktor wurde von der Bundesanstalt für Materialprüfung im Februar 2010 durch Messungen ermittelt. Dadurch konnte der Emissionsfaktor gegenüber der Submission 2010 deutlich nach unten korrigiert werden.

Für Anästhesie, Sprühsahnedosen und die Halbleiterindustrie werden die Emissionen zusammen aggregiert mit den vertraulichen Emissionen aus der 1,12-Dodecandisäure-Produktion (2.B.10) berichtet, da Letzteres vertrauliche Daten enthält.

4.8.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.3)

Die Aktivitätsdaten für die Anästhesie werden seit 2005 aus den Verbandsangaben ermittelt, deshalb wird die Unsicherheit auf 20 % geschätzt. Die Verbrauchsmengen für Sprühsahne und Sprengmittel unterliegen einer sehr hohen Unsicherheit (75 %), da die Berechnungen auf mehreren Annahmen fußen und nur jeweils für ein Jahr eine Angabe vorliegt. Die Unsicherheit der Aktivitätsdaten wird für die Halbleiterindustrie auf 10 % geschätzt, da die Daten von den Anlagenbetreibern stammen. Für die Unsicherheiten der Sprengstoffe wird der IPCC Default-Wert von +/- 75 % verwendet.

Die Unsicherheit der Emissionsfaktoren für die Anästhesie und Sprühsahnedosen wird auf 0 % festgelegt, da zum gegenwärtigen Zeitpunkt davon ausgegangen wird, dass N₂O bei seiner Anwendung keiner Umwandlung unterliegt und somit nach der Anwendung vollständig in die Atmosphäre entweicht. Der Emissionsfaktor für den Einsatz in der Halbleiterherstellung wird auf eine Unsicherheit von 15 % geschätzt, da die Daten von den Anlagenbetreibern stammen. Der Emissionsfaktor für Sprengstoffe wird auf 5 % Unsicherheit geschätzt, da der Emissionsfaktor in einer amtlichen Messung ermittelt worden ist.

Für den Verteilungstyp der Zeitreihen kann von einer Normalverteilung ausgegangen werden.

4.8.3.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.3)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

⁸⁷ Ammonit: Zusammensetzung 70-88 % Ammoniumnitrat mit 5-20 % Nitroaromaten, 1-6 % Pflanzenmehl sowie z.T. 4 % Nitroglycerin, Aluminiumpulver und Kaliumperchlorat

Für die Verwendung in der Anästhesie zeigt ein Vergleich mit anderen Ländern, dass die meisten wie Deutschland den Emissionsfaktor von 1,0 verwenden. Dies entspricht auch dem Default-Wert der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 3, S. 8.36).

Für die Lachgas-Emissionen aus der Verwendung von Explosivstoffen ist ein Vergleich mit anderen Ländern oder Datenquellen nicht möglich, da Deutschland das einzige Land ist das diese Emissionen berichtet.

Eine Verifikation des Lachgaseinsatzes durch andere Datenquellen ist nicht möglich, da keine anderen Daten vorliegen mit denen eine Verifikation möglich wäre. Für die Berichterstattung wurden die Daten extra neu erhoben.

4.8.3.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.3)

Für die Jahre ab 2008 kommt es aufgrund der neuen Emissionsdaten ab 2015 zu einer Rekalkulation. Die Emissionen erhöhen sich. Die Änderungen erfolgen bereits ab 2008 da die Emissionen zwischen 2007 und 2015 interpoliert werden. Die Darstellung der Änderungen kann aufgrund der Vertraulichkeit zum Schutz der Emissionsdaten von N-Dodecandisäure hier nicht erfolgen.

4.8.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.3)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.8.4 Andere - ORC-Anlagen (2.G.4 ORC-Anlagen)

4.8.4.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 ORC-Anlagen)

In Deutschland werden fluorierte Treibhausgase seit dem Jahr 2003 in ORC-Anlagen eingesetzt und unter der Kategorie 2.G.4 berichtet.

Zur Stromerzeugung aus Wärmemengen, deren Temperaturen und Drücke für den üblichen Dampfkraftprozess mit Wasser zu niedrig sind, kann man den „Organischen Rankine Kreisprozess“ („Organic Rankine Cycle“, kurz: ORC) verwenden. Die Haupteinsatzbereiche von ORC-Anlagen sind die Erdwärme- (Geothermie-) und die Abwärmenutzung von (Heiz)kraftwerken und Biogas-Anlagen.

Im ORC-Kreislauf werden organische Stoffe wie HFKW, FKW, Kohlenwasserstoffe oder Silikonöle mit niedrigeren Verdampfungstemperaturen als Wasser als Arbeitsmittel eingesetzt. Die Arbeitsmittel verdampfen im ORC-Kreislauf und treiben die Turbine an, analog dem Wasserdampf in herkömmlichen Kraftwerken. In der Geothermie werden die mit Abstand größten Füllmengen, bis zu 75 Tonnen fluorierte Arbeitsmittel, eingesetzt. Deutlich geringere Füllmengen (0,2 bis 0,6 Tonnen) kommen bei der Nutzung von Abwärme in Biogas-Anlagen und in BHKW zum Einsatz.

In Deutschland begann die Verwendung von C₅F₁₂ als Arbeitsmittel in einer ORC-Pilotanlage im Jahr 2003. Diese Anlage wurde bereits im Jahr 2010 außer Betrieb genommen. Der HFKW-134a kam erstmalig im Jahr 2008 in einer ORC-Anlage zum Einsatz. Im Jahr 2010 begann die Verwendung von HFKW-245fa als Arbeitsmittel. Ab dem Jahr 2011 wurden mehrere Anlagen mit dem HFKW-245fa sowie dem Arbeitsmittel „Solkatherm“, das aus HFKW-365mfc (65 %) und einem perfluorierten Polyether (PFPE) mit dem Handelsnamen „Galden“ (35 %) besteht, in Betrieb genommen.

4.8.4.2 Methodische Aspekte (2.G.4 ORC-Anlagen)

Emissionen aus ORC-Anlagen treten während der Befüllung, des Betriebs und der Entsorgung auf.

Herstellungsemissionen werden über den Inlands-Neuverbrauch als Aktivitätsrate bestimmt und gemäß Gleichung 1 berechnet.

Anwendungsemissionen werden basierend auf dem Endbestand der Arbeitsmittel durch Multiplikation mit dem $EF_{\text{Anwendung}}$ gemäß Gleichung 2 bestimmt.

Entsorgungsemissionen beziehen sich auf den Neuzugang des Jahres, der x Jahre (entsprechend der Produktlebensdauer) vor dem aktuellen Berichtsjahr n liegt und werden gemäß Gleichung 3 berechnet.

Entsorgungsemissionen spielen bisher, mit einer Ausnahme, noch keine Rolle, da die Anlagen größtenteils neu sind und bei großen ORC-Anlagen in der Geothermie von einer Lebensdauer von 30 Jahren, bei kleineren Anlagen von einer Lebensdauer von 20 Jahren ausgegangen wird.

Die Emissionen des nicht berichtspflichtigen perfluorierten Polyethers „Galden“ werden gemäß den Empfehlungen der UNFCCC Reporting Guidelines 2014 (FCCC/CP/2013/10/Add.3, Decision 24/CP.19) freiwillig als „additional greenhouse gas“ berichtet. Die Emissionen sind aggregiert mit anderen nicht berichtspflichtigen Emissionen in Kapitel 4.9.3 unter CRF 2.H.3 aufgeführt.

Emissionsfaktoren

Die verwendeten Emissionsfaktoren sind das Ergebnis von Expertenaussagen und sind in Tabelle 215 wiedergegeben.

Der Befüllungsverlust beträgt 2 % und ist länderspezifisch, da ORC-Anlagen nicht in den 2006 IPCC Guidelines aufgeführt sind und daher keine Default-Faktoren zur Verfügung stehen.

Die Anwendungsemissionen werden auf 4 % geschätzt. Auch hierfür gibt es keine Vorgaben in den 2006 IPCC Guidelines.

Nach derzeitigem Stand der Technik beträgt der Emissionsfaktor der Entsorgung 20 %. Dieser Wert ist ebenfalls länderspezifisch.

Aktivitätsdaten

ORC-Anlagen stellen einen neuen Anwendungsbereich fluorierter Treibhausgase dar, über den erst wenige Daten und technische Informationen vorliegen. Die verwendeten Daten basieren daher fast ausschließlich auf Aussagen von Herstellern und Betreibern von ORC-Anlagen. Ermittelt wurden die Daten durch Expertengespräche (Gschrey et al., 2015).

4.8.4.3 Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz (2.G.4 ORC-Anlagen)

Eine systematische Quantifizierung der Unsicherheiten für die Unterkategorie ORC-Anlagen ist erfolgt.

Die Datenqualität der Verwendungsmengen wird insgesamt als gut bewertet. Die Zahl der Hersteller bzw. Vertreiber von ORC-Anlagen mit fluorhaltigen Arbeitsmitteln in Deutschland ist klein (weniger als 10 Unternehmen), und der Markt ist überschaubar. Die Datenqualität der jährlichen Verwendungsmengen von HFKW-245fa und Solkatherm (HFKW-365mfc und PFPE) ist gut, da die Zahlen direkt von den Herstellern dieser Arbeitsmittel (Honeywell und Solvay Solexis) stammen, die diese Stoffe als einzige Anbieter nach Deutschland exportieren.

Die Emissionsfaktoren sind mit größeren Unsicherheiten behaftet. Da ORC-Anlagen erst seit wenigen Jahren in Deutschland betrieben werden, gibt es bisher keine soliden empirischen Erforschungen. Die Werte basieren auf Schätzungen von Anlagenbetreibern.

4.8.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.4 ORC-Anlagen)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Daten für das aktuelle Berichtsjahr wurden, wie bereits für die meisten Vorjahre, im Rahmen eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Umweltbundesamtes durch einen externen Experten erhoben.

Die Qualitätssicherung erfolgt im Wesentlichen durch den externen Experten. Darüber hinaus werden die Daten durch die Fachbegleiter des UBA bei Abnahme geprüft.

Für eine Überprüfung der für die Emissionsberichterstattung ermittelten F-Gas Mengen als Grundlage zur Verifikation stehen außer den vom Forschungsnehmer erhobenen Daten keine weiteren Datenquellen zur Verfügung. Vergleiche mit anderen Ländern sind nicht möglich, da keine Emissionen aus ORC-Anlagen von anderen Ländern berichtet werden. Ebenso ist kein Vergleich der Emissionsfaktoren möglich. Die 2006 IPCC Guidelines geben keine Default-Emissionsfaktoren vor, so dass auch hier keine Vergleichbarkeit gegeben ist.

4.8.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.4 ORC-Anlagen)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.8.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.4 ORC-Anlagen)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.8.5 Sonstige Produktherstellung und –verwendung: Sonstige, Anwendung von Holzkohle (2.G.4 Holzkohle)

4.8.5.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 Holzkohle)

In dieser Kategorie werden CO₂-, CH₄-, N₂O- und Staub-Emissionen aus der Anwendung von Holzkohle zum Grillen berichtet.

In Deutschland werden nur geringe Mengen an Holzkohle produziert – es gibt einen großen Betreiber und mehrere Schauköhlereien. Diese Mengen werden vom Statistischen Bundesamt (STBA) erhoben und unterliegen der Geheimhaltung. Die Produktion von Holzkohle wird unter 1.B.1b berichtet.

Der Holzkohleverbrauch ist in den Jahren 1990 bis 2012, abgesehen von einem konjunkturell bedingten Einbruch im Jahr 2008, kontinuierlich gestiegen und seitdem stagnierend. Der weitaus größte Teil wird importiert.

4.8.5.2 Methodische Aspekte (2.G.4 Holzkohle)

Dem Berechnungsmodell liegen die Annahmen zugrunde, dass alle Holzkohle innerhalb des Jahres verbraucht und vollständig verbrannt wird.

Die Berechnungen der CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen erfolgen nach einer Tier 1 Methode.

Aktivitätsraten

Die Produktionsmengen sowie die Import- und Exportmengen an Holzkohle für die Jahre ab 1996 entstammen dem Statistischen Bundesamt ((Statistisches Bundesamt, FS 4, R 3.1), Produzierendes Gewerbe, Produktion im Produzierenden Gewerbe sowie der Außenhandelsstatistik).

Die Berechnung der Verbrauchsmenge erfolgt gemäß Produktion + Import – Export.

Für die Jahre 1990 bis 1995 erfolgt die Berechnung der Verbrauchsmenge über den ProKopf-Verbrauch, der aus den Jahren 1996 bis 2013 abgeleitet wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass auch in diesen Jahren der Verbrauch linear gestiegen ist.

Emissionsfaktoren

Da Import- und Exportzahlen veröffentlicht werden, können aus Geheimhaltungsgründen keine exakten Emissionsfaktoren für CO₂, CH₄ und N₂O angegeben werden. Die Emissionsfaktoren sind aber vergleichbar mit den Emissionsfaktoren, die aus den 2006 IPCC Richtlinien abgeleitet werden können.

Jeder Emissionsfaktor wird für die gesamte Zeitreihe angewendet.

4.8.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.G.4 Holzkohle)

Da eine Tier 1 Methode mit Emissionsfaktoren, die den Standardwerten der 2006 IPCC Guidelines ähnlich sind, angewendet wird, gelten auch die entsprechenden Unsicherheiten für Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren (IPCC (2006): Vol. 3, Ch. 5).

4.8.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.G.4 Holzkohle)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für eine Überprüfung der Import-, Export- und Produktionsmengen als Grundlage zur Verifikation der Verbrauchsmengen stehen außer den vom Statistischen Bundesamt zur Verfügung gestellten Daten keine weiteren Quellen zur Verfügung. Ein Vergleich der Import- und Exportzahlen mit den Daten von EUROSTAT wurde durchgeführt. Die Zahlen zeigen gute Übereinstimmung mit den vom Statistischen Bundesamt an EUROSTAT übermittelten Zahlen. Die Produktionsmengen können nicht verglichen werden, weil sie auch bei EUROSTAT als geheim ausgewiesen sind.

Ein Vergleich der Emissionsfaktoren mit den Emissionsfaktoren anderer Länder wurde durchgeführt. Aus Vertraulichkeitsgründen kann das Vergleichsergebnis nur intern dokumentiert werden. Die Emissionsfaktoren sind vergleichbar.

4.8.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.G.4 Holzkohle)

Für das Jahr 2018 war eine Korrektur der Emissionen notwendig, da sich Anpassungen der Außenhandelsstatistik ergaben. Die Anwendungsmengen stiegen dadurch aber nur um 0,34 % und dementsprechend auch die Emissionen. Auf eine tabellarische Darstellung wird aufgrund der Geringfügigkeit der Änderungen verzichtet.

4.8.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.G.4 Holzkohle)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.8.6 Sonstige Produktherstellung und –verwendung: Sonstige, Lachgas aus Sprengstoffen (2.G.4 Sprengstoffe)

4.8.6.1 Beschreibung der Kategorie (2.G.4 Sprengstoffe)

Die Lachgas-Emissionen aus der Anwendung von Sprengstoffen werden in den CRF-Tabellen in der Kategorie 2.G.4 berichtet, die Beschreibung dieser Kategorie findet sich im NIR in Kapitel 4.8.3 - Verwendung von N₂O (2.G.3).

4.9 Andere Produktionen (2.H)

Die Kategorie *Andere Produktionen* ist keine Hauptkategorie.

Unter 2.H.1 Pulp and Paper sind im ZSE prozessbedingte Emissionen aus der Produktion von Spanplatten sowie aus der Produktion von Zellstoff aufgeführt.

Unter 2.H.2 Food and Drink sind prozessbedingte Emissionen aus der Produktion alkoholischer Getränke sowie Brot und anderer Nahrungsmittel zu finden.

Unter 2.H.3 werden vertrauliche Emissionen fluorierter Treibhause berichtet. Des Weiteren werden dort freiwillig zu berichtende F-Gase aggregiert berichtet.

4.9.1 Andere Produktionen: Zellstoff- und Papierherstellung (2.H.1)

4.9.1.1 Beschreibung der Kategorie (2.H.1)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
NO _x , SO ₂ , NMVOC			CS

Die Kategorie *Andere Produktionen – Zellstoff- und Papierherstellung* ist keine Quelle für Treibhausgas-Emissionen und daher auch keine Hauptkategorie.

Alle Emissionen von klimarelevanten Gasen aus der Zellstoff- und Papierindustrie sowie der Spanplattenherstellung in Deutschland resultieren aus der Verbrennung von Energieträgern und werden daher in Kapitel 3.2 als energiebedingte Emissionen berichtet. Prozessbedingte Emissionen von klimarelevanten Gasen im Sinne der 2006 IPCC *Guidelines* gibt es bei der Zellstoff- und Papiererzeugung nicht.

Die **Herstellung von Zellstoff** nach dem Sulfatverfahren erfolgt in zwei der sechs Zellstoffanlagen in Deutschland mittels Kaustifizierung, wonach die brennstoffbedingten CO₂-Emissionen des Kalkofens bereits über die Brennstoffangaben als energiebedingte Emissionen berücksichtigt sind. Die restlichen vier Anlagen arbeiten nach dem Sulfitverfahren.

Es wurde darauf verzichtet, die länderspezifischen Emissionsfaktoren für CO bei den energiebedingten Emissionen der Zellstoffproduktion mit zu berücksichtigen, da eine Umrechnung der produktbezogenen Emissionsfaktoren in brennstoffbezogene Emissionsfaktoren erforderlich wäre. Diese Umrechnung ist sehr aufwendig. Die CO-Emissionen für die sechs Zellstoffwerke fallen jedoch mengenmäßig neben den CO-Emissionen aus den Papierfabriken kaum ins Gewicht.

Sowohl die Sulfat- als auch die Sulfitzellstoffproduktion ist eine potentielle SO₂-Emissionsquelle. In der Sulfatzellstoffproduktion treten aus den Laugenkesseln, Kalköfen, Rindenkesseln sowie Hilfskesseln auch Emissionen von NO_x, CO und NMVOC auf.

Spanplatten werden aus Holzspänen mit Zusatz von Bindemitteln unter Einwirkung von Druck und Wärme hergestellt. Hauptquelle der NMVOC Emissionen sind die eingesetzten Holzspäne, aus denen während der Trocknung durch Wärmeeinwirkung NMVOC ausgasen. Auch während des Pressvorgangs können NMVOC aus dem Holz und dem Bindemittel emittieren.

Die Produktion von Spanplatten erfolgt in ca. 20 Anlagen in Deutschland. Die Spanplattenindustrie ist überwiegend durch größere Unternehmen geprägt.

4.9.1.2 Methodische Aspekte (2.H.1)

In der **Zellstoff- und Papierindustrie** treten keine prozessbedingten Emissionen von klimarelevanten Gasen im Sinne der *IPCC Good Practice Guidance* (Penman et al., 2000) auf. Für die Vorläufersubstanzen Stickoxide, Schwefeloxide und flüchtige Verbindungen wurden von den Anlagenbetreibern Emissionsfaktoren berichtet.

Tabelle 220: Emissionsfaktoren aus der Produktion von Zellstoff. (deutscher Beitrag zur Revision des BVT-Merkblattes für die Papier und Zellstoffindustrie 2007 (Spörl, 2009))

in kg/ t	NO _x	NMVOC	SO ₂
Sulfatzellstoff	1,75	3,7	0,03
Sulfitzellstoff	2		1

Zuletzt wurden in 153 Anlagen folgende Mengen produziert:

Tabelle 221: Zellstoff- und Papierherstellung, produzierte Mengen

Produkt	Produzierte Mengen 2019	
Erzeugung von Papier, Pappe und Karton (PPK)	22,07	Mio. t
Rohstoffproduktion:		
Papierzellstoff	1.599	kt
Holzstoff	728	kt
Altpapierstoff	14.340	kt
Menge dazu eingesetzten Altpapiers	(17.140)	kt)

Quelle: VDP (2020)

Diese Zahlen können bis 1990 zurückverfolgt werden und werden jährlich vom Verband Deutscher Papierfabriken erhoben und in einem Leistungsbericht zusammengestellt.

Spanplatten

Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren in Höhe von 0,9 kg/t für NMVOC und 0,3 kg/t für Staub wurden auf der Basis von Expertenschätzungen ermittelt.

Aktivitätsdaten

Die Aktivitätsdaten entstammen der nationalen Statistik (W. Statistisches Bundesamt, 2020a), müssen zur weiteren Verwendung aber von Volumen- in Massenangaben umgerechnet werden.

Tabelle 222: Umgerechnete Aktivitätsdaten der Spanplattenindustrie

Jahr	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Spanplattenproduktion [in t]	4.446.000	4.402.000	4.560.000	4.703.000	4.322.168	4.489.681

Quelle: Statistisches Bundesamt, Melde-Nr. bis 2018: 1621 13 131; 1621 13 133; 1621 13 163; 1621 13 500, Meldenummern ab 2019: 162112001, 162112002, 162112003, 162113160, 162114190, 162114500, umgerechnet und summiert in Tonnen

4.9.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.H.1)**Zellstoff & Papier**

Die deutschlandspezifischen Emissionsfaktoren bilden die erheblichen Modernisierungsmaßnahmen in den deutschen Sulfatzellstoffwerken ab, die zu einer starken Emissionsminderung geführt haben. Für die Sulfatzellstoffwerke führten kontinuierliche Verbesserungen zu einer erheblichen SO₂-Minderung gegenüber 1990.

Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten betragen schätzungsweise 5 %. Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren betragen schätzungsweise 20 %.

Spanplatten

Die Unsicherheiten für die Aktivitätsraten der Spanplattenindustrie betragen ±5 % (Expertenschätzung wegen Umrechnung statistischer Angaben).

4.9.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.H.1)

Aufgrund begrenzter Ressourcen und minimaler Relevanz wird für die Berichterstattung von Precursern keine QK/QS durchgeführt.

4.9.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.H.1)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

4.9.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.H.1)

Derzeit sind keine Inventarverbesserungen für diese Kategorie geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.9.2 Andere Produktionen: Nahrungsmittel und Getränke (2.H.2)**4.9.2.1 Beschreibung der Kategorie (2.H.2)**

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	NA	NA	NA
NMVOG	CS	NS	CS/D

Die Kategorie *Andere Produktionen - Nahrungsmittel und Getränke* ist keine Quelle für Treibhausgas-Emissionen und daher auch keine Hauptkategorie.

Emissionen der direkten Klimagase aus der Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie in Deutschland resultieren aus der Verbrennung von Energieträgern und werden daher in CRF 1.A.2 berichtet. Als prozessbedingte Emissionen der Nahrungsmittel- und Getränkeherstellung sind Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOG) von Bedeutung (IPCC (2006): Vol. 1 S. 7.13). Die Kohlendioxidemissionen aus den eingesetzten Nahrungsmitteln, die während bestimmter Prozesse bei der Produktion anfallen, werden nicht in CRF 2.H.2. berichtet, da sie aus der Verwendung von biologischem Kohlenstoff stammen und nicht zur Netto-CO₂-Emission beitragen. Die bei der Extraktion von Ölen & Fetten (Soja, Raps, Sonnenblumenkerne usw.) anfallenden Lösemittelmmissionen - sozusagen die Lösemittelanwendung bei der Rohstoff-Herstellung - werden in der Kategorie 2.D.3 berichtet. Das bei der Zuckerherstellung eingesetzte, aus dem Brennen von Kalkstein gewonnene CO₂ wird während des Produktionsprozesses gebunden. Daher ist dieser Prozess nicht emissionsrelevant (s. Lechtenböhrer et al. (2006b); Lechtenböhrer et al. (2006a).

Die Emissionen der Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie werden im Inventar in der „Table2(I)s2“ des sektoralen Reports für Industrielle Prozesse zusammengefasst berichtet.

In der Kategorie der Nahrungsmittel und Getränke werden nach IPCC-Guidelines folgende Produkte für die Emissionsberichterstattung betrachtet:

Alkoholische Getränke

- Wein
- Bier
- Spirituosen

Brot und andere Nahrungsmittel

- Fleisch, Fisch und Geflügel
- Zucker
- Margarine und harte und gehärtete Fette
- Kuchen, Kekse und Frühstückscerealien
- Brot
- Tierfutter
- Kaffeeröstung
- Für diese Produkte werden Default-Emissionsfaktoren für die NMVOC-Emissionen im EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019) angegeben (EMEP/EEA (2019), Kapitel 2.H.2).

4.9.2.2 Methodische Aspekte (2.H.2)

Für die Berechnung von Emissionen wurden sofern vorhanden nationale Emissionsfaktoren, ansonsten die von EMEP/ EEA empfohlenen Emissionsfaktoren verwendet. Grundlage für die Auswahl der Emissionsfaktoren bildet der Forschungsbericht „Emissionen aus der Nahrungsmittelindustrie“ (Anderl et al., 2008; Theloke et al., 2008). Das Vorgehen erfolgt analog der Beschreibung im NIR 2013.

Bis auf wenige Ausnahmen werden die Aktivitätsdaten direkt durch das Statistische Bundesamt per Datenlieferung zur Verfügung gestellt. Ergänzend werden Abfragen über das Internetportal Genesis-Online des Statistischen Bundesamtes gestellt. Bezüglich der Weinerzeugung werden ergänzend Daten der Fachserie 9 Reihe 3.2.2, zur Futterherstellung Daten aus dem Statistischen Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft und zur Spirituosenwirtschaft Erhebungen des Bundesverbandes der Deutschen Spirituosen-Industrie genutzt. Zum Zwecke internationaler Vergleichbarkeit aggregiert die Nationale Koordinierungsstelle alle Produkte auf die gemeinsame Einheit Kilotonnen. Diese Gesamtangaben sind in den CRF-Tabellen als Aktivitätsdaten ablesbar, entsprechen aber einem Schätzverfahren.

Für die Kategorie 2.H.2 ergeben sich für 2019 insgesamt 15,3 kt NMVOC-Emissionen, wovon 4,2 kt NMVOC auf die Brotherstellung, 3,7 kt NMVOC auf die Zuckerherstellung und 3,6 kt NMVOC auf die Spirituosenherstellung zurückzuführen sind. Die Minderung im Vergleich zum Vorjahr ist im Wesentlichen auf den heißen, trockenen Sommer und die geringere Ernte (Zucker, Wein) zurück zu führen.

4.9.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (2.H.2)

Die Unsicherheiten der Aktivitätsraten betragen schätzungsweise 5-20 %. Weitere Informationen zu Unsicherheiten sind dem NIR 2013 zu entnehmen.

4.9.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (2.H.2)

Aufgrund begrenzter Ressourcen und minimaler Relevanz wird für die Berichterstattung von Precursern keine QK/QS durchgeführt.

In Berichten anderer Staaten sind kaum Ausführungen zu 2.H.2 enthalten, so dass ein Vergleich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich ist. Ein Vergleich mit ETS-Daten ist nicht möglich, da in 2.H.2 keine emissionshandelspflichtigen Emissionen anfallen.

4.9.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (2.H.2)

Rückrechnungen erfolgen für das Jahr 2018. In 2018 gab es Korrekturen in der Spirituosenstatistik, welche aufgenommen wurde. Die sich daraus ergebenden Änderungen sind deutlich unter 0,1% und werden hier nicht gesondert dargestellt. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Rückrechnung dargestellt. Auf Basis der neuen Informationen ergeben sich für 2018 um 35178 kg (0,2%) niedrigere NMVOC Emissionen im Sektor 2.H.2 als im NIR 2020 angegeben.

Tabelle 223: Rückrechnung in Kategorie CRF 2.H.2

Kategorie	2018 (Berichtsjahr 2020) [kg NMVOC]	2018(Rückrechnung 2020) [kg NMVOC]	Differenz [kg NMVOC]	Änderung
Spirituosen	3.630.321	3.595.143	-35178	-1%
2H2 Gesamt	15.770.310	15.735.131	-35178	-0,2%

4.9.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (2.H.2)

Auf Grundlage eines laufenden Projekts sollen Emissionsfaktoren aktualisiert werden.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

4.9.3 Andere Bereiche (2.H.3)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
HFC, PFC, SF ₆	s. Kapitel 4.6.4: Tabelle 210/ Tabelle 215	s. Kapitel 4.6.4 / 4.7.5 / 4.8.2	s. Tabelle 210/ Tabelle 215

Die Emissionen von SF₆ aus der Anwendung bei der *AWACS-Wartung* (2.G.2.a Militärische Anwendungen), der Anwendung in *Sportschuhen* (2.G.2.d. Adiabatische Eigenschaften - Sportschuhe), der Anwendung beim *Schweißen* (2.G.2.e Sonstige – Schweißen) sowie der Anwendung bei der Herstellung *optischer Glasfasern* (2.G.2.e Sonstige – optische Glasfasern) werden aus Vertraulichkeitsgründen unter 2.H.3 berichtet.

Die Emissionen von HFKW aus der Verwendung der Lösemittel HFC-43-10mee, HFKW-245fa, HFKW-365mfc, der Verwendung in der Halbleiterindustrie HFKW-23 und HFKW-32, sowie der Verwendung in ORC Anlagen - 2.G.4 (HFKW-245fa und HFKW 365mfc) werden auch unter 2.H.3 berichtet.

Die Emissionen von FKW aus der Verwendung als Wärmeüberträger (2.E.4), Lösemittel (2.F.5), aus der Anwendung in Sportschuhen (2.G.2.d Adiabatische Eigenschaften - Sportschuhe) sowie die Verwendung von Perfluordecalin in medizinischen und kosmetischen Anwendungen (2.G.2.e Sonstige – Medizinische und kosmetische Anwendungen) werden ebenfalls unter 2.H.3 berichtet. Weiterhin werden die Emissionen von NF₃ aus der Halbleiterindustrie unter 2.H.3 berichtet.

Entsprechend der Empfehlung des Expert Review Teams wird darauf verwiesen, dass sämtliche Informationen zu den unter 2.H.3 berichteten Emissionen zur Beschreibung der Quellgruppe,

Methodischen Aspekten, Unsicherheiten & Zeitreihenkonsistenz, Kategoriespezifischen Rückrechnungen & Verifizierung sowie den geplanten Verbesserungen in den entsprechenden Kategorie-Kapiteln zu finden sind.

Zusätzlich zu den berichtspflichtigen Treibhausgasen hat sich Deutschland entschlossen, die in Tabelle 224 dargestellten nicht berichtspflichtigen Treibhausgase für die in Deutschland relevanten, ebenfalls aufgezählten Anwendungen zu berichten. In Tabelle 225 sind die Emissionen dieser nicht berichtspflichtigen Treibhausgase aus Vertraulichkeitsgründen in aggregierter Form dargestellt.

Tabelle 224: Überblick über freiwillig berichtete fluorierte Treibhausgase, ihre Treibhausgaspotenziale (GWP) und ihre Anwendungsbereiche

Treibhausgas	Formel	GWP	Anwendungsbereich	QG
HFCKW-1233zd	CHCl=CH-CF ₃ (E)	5	stationäre Klimaanlage	2.F.1.f
HFCKW-1234yf	CF ₃ -CF=CH ₂	4 ¹	Gewerbekälte Transportkälte mobile Klimaanlage stationäre Klimaanlage	2.F.1.a 2.F.1.d 2.F.1.e 2.F.1.f
HFCKW-1234ze	CF ₃ -CH=CHF (E)	7 ¹	Gewerbekälte stationäre Klimaanlage XPS-Schäume allgemeine Aerosole	2.F.1.a 2.F.1.f 2.F.2.a 2.F.4.b
HCFE-235da2 (Isofluran)	CHF ₂ OCHClCF ₃	350	inhalatives Anästhetikum	2.G.2.e
HFE-236ea2 (Desfluran)	CHF ₂ OCHF ₂	989	inhalatives Anästhetikum	2.G.2.e
HFE-347mmz1 (Sevofluran)	CH ₂ FOCH(CF ₃) ₂	216 ²	inhalatives Anästhetikum	2.G.2.e
PFPE/PFPMIE	CF ₃ (OCF(CF ₃)CF ₂) _n (OCF ₂) _m OCF ₃	10.300	ORC-Anlagen	2.G.4

Wenn nicht anders angegeben, stammen die GWP-Werte aus dem 4. IPCC Assessment Report (IPCC 2007).

¹ GWP-Wert nach Verordnung (EU) Nr. 517/2014 (F-GasV, 2014)

Tabelle 225: Aggregierte Emissionen der nicht berichtspflichtigen fluorierten Treibhausgase HFCKW-1233zd, HFCKW-1234yf, HFCKW-1234ze, HCFE-235da2, HFE-236ea2, HFE-347mmz1 und PFPE/PFPMIE

Jahr	Emissionen in t CO ₂ -Äquivalenten
1990	3.038
1991	3.795
1992	4.619
1993	5.512
1994	6.474
1995	7.504
1996	13.874
1997	20.026
1998	26.671
1999	33.809
2000	41.439
2001	47.758
2002	54.433
2003	61.463
2004	68.849
2005	76.591
2006	88.534
2007	95.727
2008	101.095
2009	108.838

Jahr	Emissionen in t CO₂-Äquivalenten
2010	116.013
2011	122.420
2012	129.802
2013	129.984
2014	120.964
2015	122.487
2016	125.287
2017	127.282
2018	128.667
2019	130.339

5 Landwirtschaft (CRF Sektor 3)

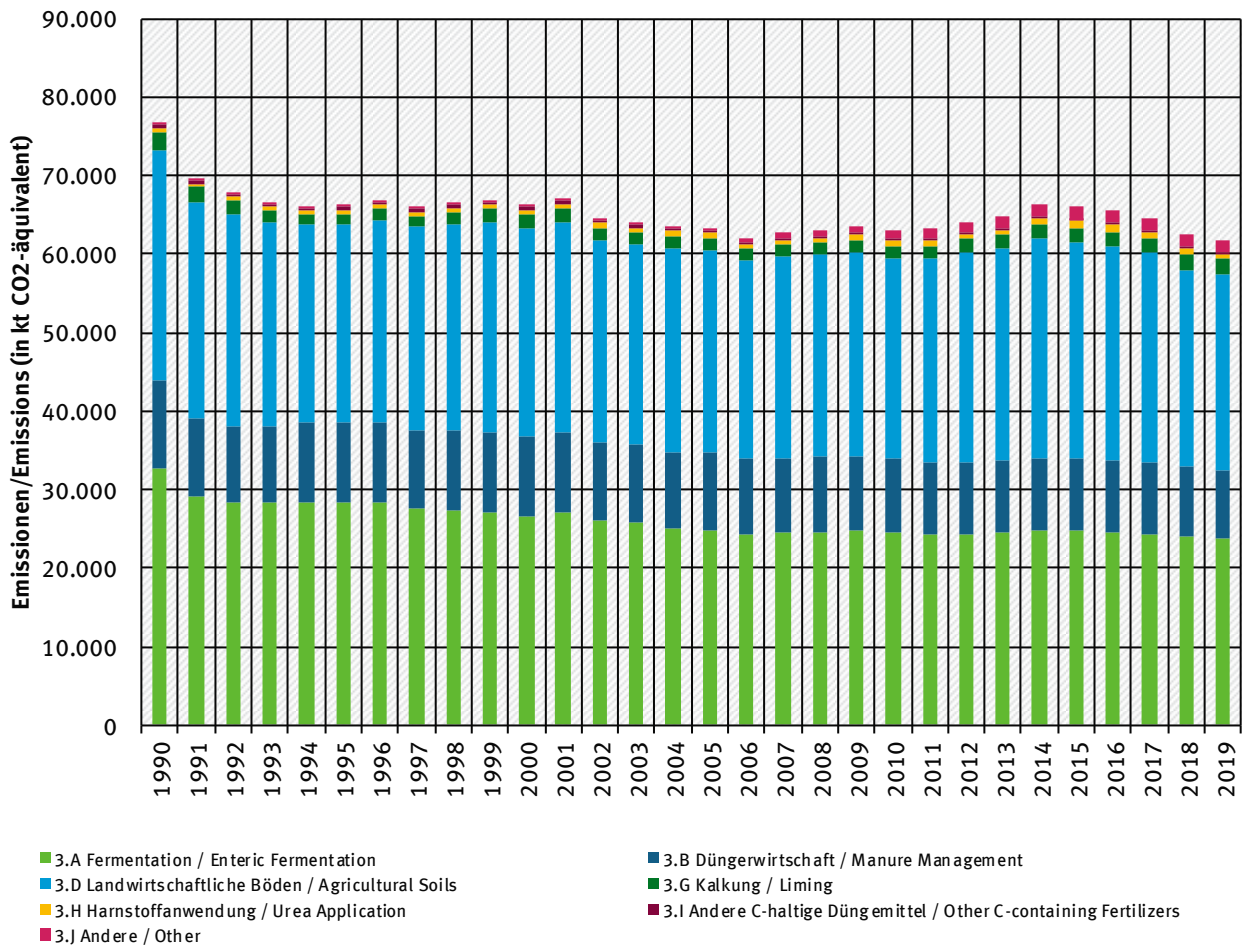
5.1 Übersicht (CRF Sektor 3)

5.1.1 Kategorien und Gesamtemissionen 1990 - 2019

Deutschland berichtet in der Kategorie 3 „Landwirtschaft“ über die Emissionen aus der Fermentation bei der Verdauung (3.A), aus der Behandlung von Wirtschaftsdüngern (incl. Wirtschaftsdünger-Vergärung und deren Gärrestelagerung) (3.B), aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (3.D), aus Kalkung (3.G), aus der Anwendung von Harnstoff (3.H) sowie der Anwendung anderer kalkhaltiger Dünger (3.I). Zusätzlich werden die im Zusammenhang mit der Energiepflanzen-Vergärung entstehenden Emissionen berichtet (3.J: Emissionen aus Vergärung von Energiepflanzen und deren Gärrestelagerung; 3.D: Emissionen infolge der Ausbringung der Gärreste). Emissionen aus der Vergärung anderer Stoffe, z. B. von Lebensmittelabfällen und Grünschnitt, werden einschließlich der Emissionen aus der Ausbringung der daraus resultierenden Gärreste im Abfall-Sektor 5.B.2 (siehe Kapitel 7.3.2) berichtet.

Emissionen aus dem Reisanbau (3.C) kommen in Deutschland nicht vor, Brandrodung (3.E) wird in Deutschland nicht praktiziert (NO). Das Abbrennen von Feldern und Ernterückständen (3.F) ist in Deutschland per Gesetz (BGBl, 2004, und vorrangende bundes- und landesrechtliche Regelungen, siehe Rösemann et al. (2021), Kap. 11.9, verboten (NO).

Abbildung 43 gibt für den vorliegenden NIR 2021 eine Übersicht über die zeitliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen aus den Bereichen 3.A, 3.B, 3.D, 3.G, 3.H und 3.J seit 1990. Die Daten wurden mit dem Inventarmodell GAS-EM (siehe Kapitel 5.1.2) berechnet.

Abbildung 43: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 3

5.1.2 Das Emissionsinventarmodell GAS-EM

5.1.2.1 Verwendete Regelwerke und ausführlicher Bericht

Das Emissionsinventarmodell GAS-EM beruht im Wesentlichen auf der Umsetzung der entsprechenden Handbücher (Treibhausgase: IPCC (2006): Vol. 1 & 4; Schadstoffe, insbesondere NH₃: EMEP/EEA (2019)). Für die Berechnung von Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen geben die genannten Handbücher keine Berechnungsmethodik an.

Im Laufe der letzten Jahre wurden zahlreiche der in den Handbüchern beschriebenen Methoden für das GAS-EM-Modell weiter entwickelt. Für die Berechnung von Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen wurde eine nationale Methodik entwickelt. Eine umfassende Beschreibung des Inventarmodells GAS-EM einschließlich der Dokumentation weiterer Quellen findet sich im ausführlichen Bericht (Rösemann et al., 2021). Die nachfolgenden Ausführungen repräsentieren eine Zusammenfassung des ausführlichen Berichtes.

5.1.2.2 Grundstruktur des Emissionsinventarmodells GAS-EM

Als Grundlage der Emissionsberechnungen in der Tierhaltung dient die Futtermittelaufnahme, die als Funktion des erhaltungs- und leistungsbedingten Energiebedarfs berechnet wird, wie Abbildung 44 am Beispiel der Milchkuh verdeutlicht. Daraus ergeben sich die CH₄-Emissionen aus der Verdauung (3.A) und die Ausscheidungen von Kohlenstoff und Stickstoff für die Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger- und Gärreste-Management (3.B). Letztere gehen auch in die Berechnungen des Stickstoffeintrags in landwirtschaftliche Böden (3.D) ein.

Abbildung 44: Logik der nationalen Methodik für die Emissionsberechnungen in der Tierhaltung am Beispiel der Milchkuh. („Leistungsindikator“ steht hier für die Summe aus leistungs- und erhaltungsbedingtem Bedarf.)

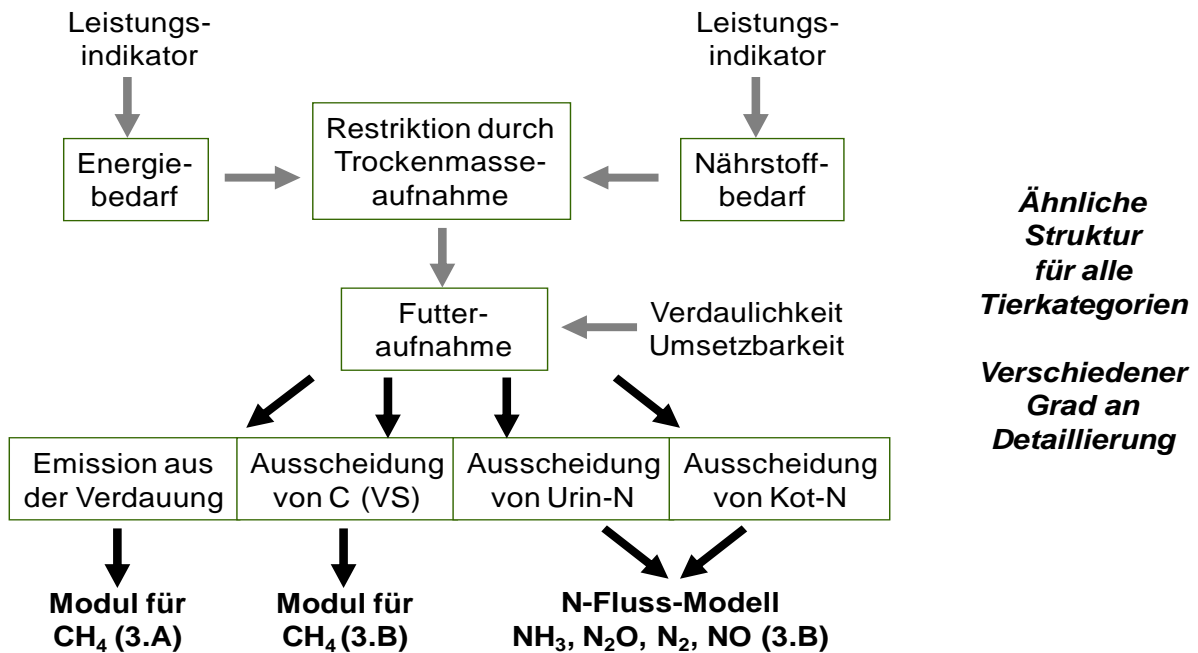
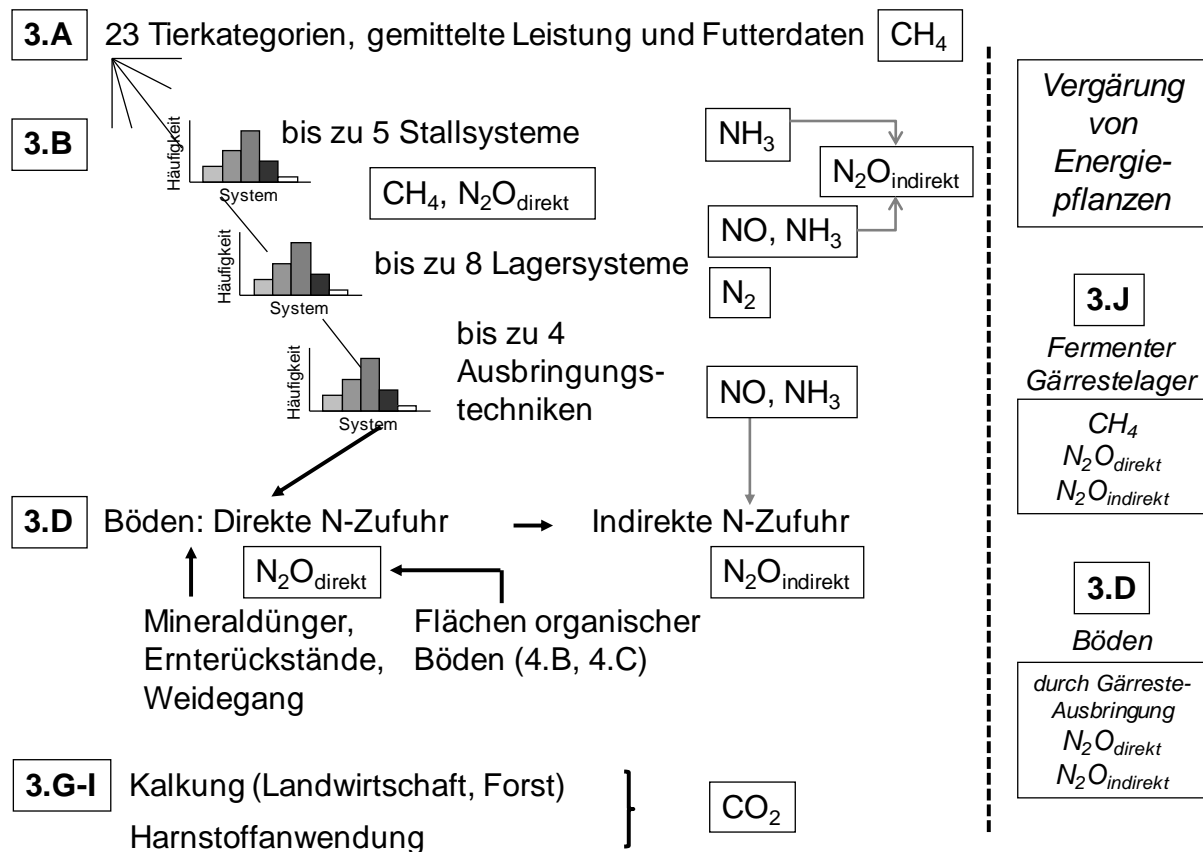


Abbildung 45 zeigt, wie das GAS-EM-Modell erst nach Tierkategorien und -unterkategorien für die Berechnungen der Kategorien 3.A und 3.B differenziert und diese wiederum nach Stallsystemen, Lagerungssystemen (mit Vergärung als separatem Lagersystem) und Ausbringungsverfahren für Wirtschaftsdünger und Gärreste aufteilt. CH₄ wird für 3.A und 3.B getrennt für jede Tier-Subkategorie berechnet. N₂O wird für die Kategorien 3.B und 3.D auf der Basis eines N-Fluss-Konzeptes berechnet (s. Kapitel 5.1.2.4). CO₂-Emissionen werden im Bereich 3.G-I für Kalkung und Harnstoffeinsatz berechnet, wobei IPCC-konform auch die Kalkung im Forst eingeschlossen ist. Die Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen werden in zwei getrennten Abschnitten berechnet: Emissionen aus Fermenter und Gärrestelagerung in 3.J, Emissionen aus Böden als Folge der Gärreste-Ausbringung in 3.D.

Abbildung 45: Konzept und thematische Inhalte des GAS-EM-Modells



5.1.2.3 Die Behandlung von CH_4 im Emissionsinventar

Mit dem Inventarmodell GAS-EM werden die CH_4 -Emissionen aus der Verdauung und den VS-Ausscheidungen der landwirtschaftlichen Nutztiere (siehe Kapitel 5.2 und 5.3.2) berechnet, wobei gülle- und strohbasierte Systeme mit ihren typischen Lagerformen berücksichtigt werden. Die anaerobe Vergärung von Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen in Biogasanlagen wird in die Berechnungen einbezogen (siehe Kapitel 5.1.3.6.5 und 5.1.4).

5.1.2.4 Das Stickstoff-Fluss-Konzept (3.B, 3.D)

Die Berechnung der Emissionen von N-Spezies mit GAS-EM erfolgt auf Grundlage des N-Fluss-Konzeptes (Dämmgen & Hutchings, 2005), siehe dazu Kap. 3.3.4.3.1 in Rösemann et al. (2021).

Wesentliche Voraussetzung für die Anwendung des Konzeptes ist die Bestimmung der tierischen N-Ausscheidung (siehe dazu Kapitel 5.1.3.4). Bei Milchkühen, Milch- und Schlachtfärsen, Mastbullen, Schweinen, Legehennen, Junghennen, Masthähnchen und -hühnchen, Enten sowie Putenhähnen und Putenhennen wird die N-Ausscheidung als Differenz zwischen aufgenommener N-Menge und erhaltungs- und leistungsbedingtem N-Bedarf (Tiergewicht, Gewichtszuwachs, jährliche Milchmenge oder Anzahl an Eiern, gegebenenfalls Anzahl der Nachkommen) berechnet. Die mit dem Futter aufgenommene N-Menge wird anhand des tierischen Energiebedarfs sowie des Energie- und N-Gehalts im Futter ermittelt. Für die übrigen Tiere werden N-Ausscheidungswerte aus der deutschen Fachliteratur entnommen oder abgeleitet.

Bei der N-Ausscheidung wird zwischen den beiden Anteilen „organisches N“ und „leicht in NH_3 umsetzbares N (TAN, total ammoniacal nitrogen)“ unterschieden. TAN ist im Harn von Säugetieren vorhanden; im GAS-EM-Modell wird TAN mit dem N-Gehalt im Harn gleichgesetzt.

Geflügel scheidet UAN (uric acid nitrogen) aus, das im Inventar TAN gleichgesetzt wird. Aufgrund der Definitionen der Emissionsfaktoren werden prinzipiell die NH_3 -Emissionen proportional zur verfügbaren TAN-Menge und die N_2O -, NO -, und N_2 -Emissionen proportional zur verfügbaren N-Gesamtmenge berechnet. Daher werden zwei N-Pools parallel in den Rechnungen mitgeführt: Dies sind (1) die gesamte im jeweiligen Stadium zur Verfügung stehende N-Menge, d. h. die Summe aus organischem N und TAN, sowie (2) TAN allein.

Die für eine Tierkategorie ermittelten N-Ausscheidungen werden auf Stall und Weide aufgeteilt. Diese Aufteilung erfolgt entsprechend den im Stall und auf der Weide verbrachten Zeitanteilen.

Bei Festmistsystemen wird zusätzlich zu den N-Ausscheidungen der N-Eintrag durch Einstreumaterial berücksichtigt.

Für jede Tierkategorie werden die im Stall anfallenden N-Mengen im Verhältnis der relativen Anteile der in Deutschland üblichen Haltungsverfahren aufgeteilt. N-Verluste durch NH_3 -Emission werden von TAN-Pool und Gesamt-N-Pool subtrahiert. Die verbleibenden N- und TAN-Mengen aller Ställe werden für güllebasierte Systeme einerseits und strohbasierte Systeme andererseits zusammengefasst und ins Lager transferiert.

Das Inventar berücksichtigt Abluftreinigungsanlagen in der Schweine- und Geflügelhaltung, siehe Kap. 3.3.4.3.3 und 3.4.5.2 in Rösemann et al. (2021). Das in Abluftreinigungsanlagen abgeschiedene N wird als TAN angesehen und direkt mit dem Wirtschaftsdünger ausgebracht (s. u.).

Die dem Lager zufließenden Gesamt-N- und TAN-Mengen (bei Festmistsystemen einschließlich des N-Eintrages durch Einstreu) werden getrennt nach festen und flüssigen Wirtschaftsdüngern zwischen den verschiedenen in Deutschland gängigen Lagerverfahren entsprechend ihren prozentualen Anteilen aufgeteilt. Die anaerobe Vergärung von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen wird berücksichtigt (siehe Kapitel 5.1.3.6.5). Aus dem Lager erfolgen Emissionen von NH_3 aus TAN- und Gesamt-N-Pool. Die N-Verluste durch die Emissionen von N_2O , NO und N_2 werden für Stall und Lager gemeinsam berechnet und aus dem Gesamt-N-Pool subtrahiert; parallel werden diese N-Verluste im Verhältnis von TAN- zu N-Gesamt-Menge auch dem TAN-Pool entzogen. Die verbleibenden N- bzw. TAN-Mengen werden ausgebracht, wobei noch das in Abluftreinigungsanlagen abgeschiedene N zugeschlagen wird.

Die zur Ausbringung kommende N-Menge wird auf die in Deutschland üblichen verschiedenen Ausbringungsverfahren und Einarbeitungszeiten von Wirtschaftsdüngern aufgeteilt. Dies geschieht im Verhältnis der relativen Anteile der verschiedenen Ausbringungsvarianten an der Gesamtmenge des auszubringenden Wirtschaftsdüngers, differenziert nach Tierkategorie und festen und flüssigen Wirtschaftsdüngern. Die N_2O -Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden infolge der Ausbringung von Wirtschaftsdünger und Gärresten aus Wirtschaftsdünger werden proportional zur ausgebrachten N-Menge berechnet.

Aus der beim Weidegang ausgeschiedenen Gesamt-N-Menge werden die N_2O -Emissionen infolge von Weidegang berechnet. Die N-Ströme, die im Zusammenhang mit der Vergärung von Energiepflanzen und der Lagerung und Ausbringung der resultierenden Gärreste entstehen, werden getrennt von den N-Strömen der Tierhaltung behandelt. Ihre Berechnung erfolgt, ausgehend von der N-Menge in den zu vergärenden Energiepflanzen (siehe Kapitel 5.1.4.2), sinngemäß wie oben für die tierischen N-Ausscheidungen beschrieben.

Wie beim Wirtschaftsdünger werden die durch die Ausbringung von Mineraldünger verursachten N_2O -Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden proportional zur ausgebrachten N-Menge berechnet.

5.1.3 Charakterisierung der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung

5.1.3.1 Tierkategorien (3.A, 3.B)

Für die Berechnung der Emissionen aus der Tierhaltung in der deutschen Landwirtschaft werden die Tierbestände in Unterkategorien unterteilt, um die erforderliche Beschreibung leistungs- und haltungsmäßig homogener Teil-Tierbestände zu ermöglichen. Tabelle 226 zeigt eine Gegenüberstellung der in den CRF-Tabellen zu berichtenden Tierkategorien und der im deutschen Inventar verwendeten Tierkategorien.

Die CRF-Kategorien „Esel und Maultiere“ und „Büffel“ werden als „IE“ berichtet, da die Tierzahlen dieser Kategorien in den Tierzahlen der „Pferde“ bzw. „übrigen Rinder“ enthalten sind (siehe Kapitel 5.1.3.2.2).

Über die Kategorien Gehegewild, Kaninchen, Strauße und Pelztiere wird in den CRF-Tabellen unter IPCC (IPCC (2006): Vol. 4) nicht berichtet, da ihr Beitrag zu den Gesamtemissionen unter 0,05 % des Gesamtinventars und unter 500 kt CO_{2eq} liegt (gemäß United Nations (2014), para 37) und die zur Emissionsberechnung benötigten Tierzahlen in Deutschland nicht offiziell erfasst werden. In Kapitel 19.3.1 wird der Emissionsbeitrag dieser Kategorien abgeschätzt. In Kapitel 21 werden alle Quellen zusammengestellt, für die keine Emissionen berichtet werden (Eintrag NE).

Tabelle 226: CRF-Tierkategorien und die für die deutsche Emissionsberichterstattung verwendete Unterteilung (3.A, 3.B)

CRF-Tierkategorien		Tierkategorien im deutschen Inventar
	Milchkühe	„Milchkühe“ ^a
		„Kälber“ (bis 4 Monate) ^a
1	Übrige Rinder	„Milchfärsen“ ^b
		„Schlachtfärsen“ ^b (weibliche Jungrinder ab 4 Monaten) ^a
		„Mastbullen“ (männliche Jungrinder ab 4 Monaten) ^a
		„Mutterkühe“ ^a
		„männliche Rinder ab 2 Jahren“ ^a
2	Schafe	„Erwachsene Schafe“
		„Lämmer“
3	Schweine	„Sauen“ (incl. Saugferkel bis 8 kg)
		„Aufzuchtferkel“
		„Mastschweine“
		„Eber“

CRF-Tierkategorien	Tierkategorien im deutschen Inventar
Büffel	--- ^a
Kamele	--- ^c
Gehegewild	--- ^d
Ziegen	„Ziegen“
Pferde	„Großpferde“ ^e „Kleinpferde und Ponys“ ^e
Esel und Maultiere	--- ^e
4 Geflügel	„Legehennen“
	„Masthähnchen und –hähnchen“
	„Junghennen“
	„Gänse“
	„Enten“
	„Puten, männlich“ „Puten, weiblich“
Kaninchen	--- ^d
Rentiere	--- ^c
Strauße	--- ^d
Pelztiere	--- ^d

den amtlichen Tierzahlen der übrigen Rinder und Milchkühe enthalten. Für Details siehe Kapitel 4.1.1.2 in (Rösemann et al., 2021).

^b Zur Definition von Milch- und Schlachtfärsen siehe Rösemann et al. (2021), Kapitel 4.5.

^c Diese Tiere kommen in Deutschland nicht vor.

^d Über diese Tiere wird nicht berichtet, da ihr Beitrag zu den Emissionen nicht relevant ist, siehe Kapitel 19.3.1.

^e Im deutschen Inventar wurden Esel und Maultiere bis 2009 den Kleinpferden und Ponys zugeschlagen, ab 2010 sind sie nicht separierbar in den amtlichen Tierzahlen der Pferde enthalten.

5.1.3.2 Tierplatzzahlen (3.A, 3.B)

Das Inventarmodell GAS-EM rechnet in jährlichen Zeitschritten. Mögliche interanuelle Schwankungen u. a. der Tierpopulationen können nicht abgebildet werden. Das deutsche Inventar beruht daher auf der Annahme, dass die durch die Officialstatistik an einem bestimmten Stichtag (siehe Kapitel 5.1.3.2.1) vorgefundenen Anzahlen besetzter und unbesetzter Tierplätze während eines Jahres Jahr konstant sind. Es lässt sich zeigen, dass mit diesem Konzept bei Tierkategorien mit Lebensdauern unter einem Jahr der zwischen zwei Produktionszyklen vorkommende Leerstand korrekt berücksichtigt ist, siehe Kap. 3.1.2.2 in Rösemann et al. (2021).

Die am Stichtag vorgefundenen Anzahlen besetzter Tierplätze werden für die Inventarberechnungen als Tierzahlen interpretiert. Dies entspricht der AAP-Definition („average annual population“) in IPCC (2006): Vol. 4, Section 10.2.2., welche auch von EMEP übernommen wurde (s. EMEP/EEA (2019)-3B-14).

5.1.3.2.1 Erhebungen durch die statistischen Ämter des Bundes und der Länder

Das Statistische Bundesamt und die statistischen Landesämter führen Agrarstruktur-erhebungen⁸⁸ durch, bei denen zusammen mit anderen Daten die Tierzahlen für Rinder, Schweine, Schafe, Pferde (ab 2010: Equiden) und Geflügel erfasst werden. Diese Agrarstruktur-erhebungen fanden 1990 - 1996 und 1999 - 2007 jedes zweite Jahr statt, 2010 im Rahmen der umfangreicheren Landwirtschaftszählung 2010 (Statistikportal (Statistische Ämter

⁸⁸

<https://www.destatis.de/Migration/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Agrarstruktur-erhebung2016/Agrarstruktur-erhebung2016.html;jsessionid=EAB8F1AF6D6DD78AC06FA516B912A52D.internet741>

des Bundes und der Länder), 2010) sowie in den Jahren 2013 und 2016. Die Erhebungen 1990, 1992, 1994 und 1996 erfolgten am 3. Dezember, während der Stichtag in den Jahren 1999 - 2007 am 3. Mai und in den Jahren 2010, 2013 und 2016 am 1. März war.

Neben den Agrarstrukturerhebungen finden jährlich Viehbestandserhebungen statt (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 4.1). Bis 1998 einschließlich erfolgten diese Erhebungen halbjährlich für Rinder und Schafe (Juni, Dezember), viermonatlich für Schweine (April, August, Dezember), sowie alle zwei Jahre im Dezember der geraden Jahre für alle Tierarten, d. h. auch für Pferde und Geflügel. Stichtag war jeweils der dritte Kalendertag im Monat. Seit 1999 erfolgt die Viehbestandserhebung für Rinder und Schweine zweimal jährlich zum Stichtag 3. Mai und 3. November. Für Schafe gilt 1999 bis 2009 der Stichtag 3. Mai und ab 2011 der 3. November, während 2010 die Erhebung am 1. März erfolgte.

Für Rinder, Schweine und Schafe liegen somit für alle Jahre seit 1990 Tierzahlen aus offiziellen Erhebungen vor. Dabei wurden im Inventar bis 1998 einschließlich die Daten von Dezember (für Schafe im Juni) und danach bis 2010 einschließlich die Daten von Mai verwendet (Schafe 2010: 1. März, da weder Mai- noch November-Daten verfügbar waren), während in Absprache mit dem Statistischen Bundesamt ab 2011 der November-Stichtag zu verwenden ist (European Parliament and Council of the European Union, 2008), Article 4). Diese Zahlen entsprechen den vom Statistischen Bundesamt an EUROSTAT übermittelten Zahlen. Der Wechsel des Stichtages zum 3. November hat bei Rindern und Schweinen keinen signifikanten Einfluss auf die Tierzahlen. Bei den Schafzahlen erwies sich dagegen eine Tierzahlkorrektur als erforderlich, siehe Kapitel 5.1.3.2.2.

Die Anzahl der Ziegen in Deutschland wurde zwischen den Jahren 1977 und 2010 nicht erfasst. Bis 2004 schätzte das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) die Ziegenzahlen auf nationaler Ebene. Diese Zeitreihe wurde ab 2005 durch Schätzungen des Statistischen Bundesamtes ergänzt. Die 2010 im Rahmen der Landwirtschaftszählung 2010 (Statistikportal (Statistische Ämter des Bundes und der Länder), 2010) erstmalig wieder offiziell erfasste Gesamtzahl der Ziegen (Stichtag 1. März) liegt deutlich unter den Schätzungen der Vorjahre. Diese Schätzungen, die auch an EUROSTAT berichtet wurden, werden nach Abstimmung mit dem Statistischen Bundesamt weiter im Inventar verwendet. Für 2013 und 2016 liegen offiziell erhobene Ziegenzahlen des Statistischen Bundesamtes vor (Stichtag 1. März).

Für Pferde bzw. Equiden und Geflügel sind Tierzahlen nur alle zwei bis drei Jahre aus den Agrarstrukturerhebungen verfügbar (Stichtage: bis 1998 einschließlich 3. Dezember, 1999 – 2007 der 3. Mai, sowie der 1. März in den Jahren 2010, 2013 und 2016. Es erfolgten in Absprache mit dem Statistischen Bundesamt keine Tierzahlkorrekturen wegen der variierenden Stichtage.

Der Erhebung der Geflügelzahlen 2013 durch das Statistische Bundesamt und die Statistischen Landesämter lag eine Berichtskreisrevision zugrunde. Diese war erforderlich geworden, da in den Erhebungen zuvor (letztmalig 2010) aufgrund der seinerzeitigen Regeln zur Auswahl der zu befragenden Betriebe größere Geflügelbestände nicht erfasst wurden. Die 2013 erhobenen Geflügelzahlen sind damit deutlich höher, als dies aufgrund der Erhebungen in den Jahren zuvor zu erwarten war. Da das Statistische Bundesamt die offiziellen Geflügelzahlen der Vorjahre bis 2010 nicht korrigiert, weisen die im Inventar verwendeten Geflügelzahlen zwischen 2010 und 2013 einen markanten Anstieg auf. Dieser Trend spiegelt wegen der für 2010 und 2013 unterschiedlich erhobenen Tierzahlen keine reale Entwicklung der Geflügelzahlen wieder. Der Anstieg der Geflügelzahlen von 2013 bis 2016 ist erheblich flacher.

Für die Inventarberechnung mussten die Datenlücken geschlossen und die verfügbaren Tierplatzzahlen teilweise modifiziert werden, um den Erfordernissen der Emissionsberichterstattung zu entsprechen. Hierauf sowie auf die Berücksichtigung von Büffeln, Eseln und Maultieren geht Kapitel 5.1.3.2.2 ein.

5.1.3.2.2 Besonderheiten der Tierplatzzahlen im Inventar

Die Rinderbestände werden seit dem Jahr 2008 aus der Datenbank HIT (StMELF, diverse Jahrgänge) des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) entnommen, in der jedes Rind registriert ist. Als Folge der neuen Erhebungsmethode ergeben sich für die Jahre ab 2008 allerdings systematisch höhere Tierzahlen als in den Jahren zuvor, in denen aufgrund von Erfassungsgrenzen nicht alle Tiere berücksichtigt wurden. Ein Vergleich des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2007 zeigt, dass die Rinderzahlen aus HIT 2,9 % höher als nach der herkömmlichen Erhebungsmethode sind (für Milchkühe allein 2,8 %). Laut Statistischem Bundesamt werden die Rinderzeitreihen vor 2008 nicht nachträglich angepasst. Als Folge werden die Emissionen aus der Rinderhaltung in den Jahren 1990 bis 2007 leicht unterschätzt. Die Zahlen der Milchkühe und männlichen Rinder > 2 Jahre werden direkt aus der Statistik entnommen. Die Zahl der Mutterkühe enthält bis 2007 auch die Zahl der Schlacht- und Mastkühe (danach wurde diese Kategorie nicht mehr separat erhoben). Die Kälber umfassen im Inventar nur Kälber bis zum Alter von 4 Monaten. In der Statistik werden Kälber aber bis zum Alter von 8 Monaten erfasst (vor 2008 bis zum Alter von 6 Monaten). Daher mussten hier Tierzahlen aus den restlichen Kategorien aus der amtlichen Statistik umgerechnet werden, was auch Auswirkungen auf die Anzahl der Mastbullen, Schlachtfärsen und der dieses Jahr neu eingeführten Milchfärsen im Inventar hat (zur Definition von Milch- und Schlachtfärsen siehe Rösemann et al. (2021), Kap. 4.5). Die Gesamtzahl der übrigen Rinder im Inventar entspricht dabei aber immer der Gesamtzahl der erhobenen übrigen Rinder. Zu Details dazu siehe Kap. 4.4.1.1, 4.5.1.1, 4.6.1.1 und 4.7.1.1 in Rösemann et al. (2021).

Ab Zeitreihenjahr 2013 umfassen die vom Statistischen Bundesamt nach verschiedenen Kategorien (Kalb, Färse, Kuh, etc.) berichteten Rinderzahlen zusätzlich auch eine Aufteilung der Gesamtrinderzahl in Rassen. Darin wird auch die Summe der Bisons und Büffel genannt. Es ist aber nicht möglich, diese Summe so aufzulösen, dass sie auf die verschiedenen Kategorien (Kalb, Färse, Kuh, etc.) aufgeteilt werden könnte (Spielmanns, 2020). Somit gibt es keine Möglichkeit, die Büffel aus den o. g. Rinderzahlen herauszurechnen. Aus diesem Grund werden die Büffel im Inventar seit Submission 2015 nicht mehr als eigenständige Kategorie geführt (included elsewhere, IE); ihre Emissionen sind in den Emissionen der Rinder enthalten. Dazu war es allerdings erforderlich, auch für die Jahre vor 2013 eine Zuordnung der Büffel zu den Rindern zu finden. Zwar hat das Statistische Bundesamt für diesen Zeitraum keine Büffelzahlen veröffentlicht; die Lücke 2000 bis 2012 konnte aber durch Angaben des Deutschen Büffelverbandes geschlossen werden, siehe Rösemann et al. (2021), Kapitel 4.1.1.2). Aufgrund der Empfehlung im Abschlussbericht zum „Initial Review under the Kyoto Protocol and Annual 2006 Review under the Convention“ wurde die Zeitreihe der Büffel-Population auf nationaler Ebene für die Jahre vor 2000 durch lineare Extrapolation der Daten der Jahre 2000 bis 2012 vervollständigt. (Für die Jahre 1990 bis 1995 ergaben sich rechnerisch negative Büffelzahlen, die durch Nullen ersetzt wurden.) Da für alle Jahre bis 2012 Informationen über die Struktur der Büffelpopulation fehlen, wurden für diesen Zeitraum alle Büffel der Rinderkategorie „Mutterkühe“ zugeschlagen. Die Berechtigung dieses Vorgehens wird in Rösemann et al. (2021), Kapitel 4.1.1.2, nachgewiesen. Die Fehler, die mit der vorstehend beschriebenen Berücksichtigung der Büffel bei den Rindern möglicherweise verbundenen sind, werden als vernachlässigbar eingeschätzt, da das Verhältnis von Büffel- zu Rinderzahlen für die gesamte

Zeitreihe ab 1990 zwischen null und einer Größenordnung von kleiner 0,1 % liegt (siehe Rösemann et al. (2021), Kapitel 4.1.1.2).

Auch bei den Schweinen wurden einige der in den amtlichen Erhebungen verwendeten Kategorien modifiziert, um möglichst homogene Tierkategorien zu bilden. Die offiziellen Tierzahlen für Ferkel bis 20 kg Tier⁻¹ sowie Jung- und Mastschweine ab 20 kg Tier⁻¹ werden nach dem in Haenel et al. (2011) beschriebenen Verfahren zu Tierzahlen für die Inventarkategorien „Aufzuchtferkel“ und „Mastschweine“ umgerechnet. Diese Umrechnung bleibt ohne Auswirkung auf die Gesamtzahl der Schweine. Letztere wird für die Emissionsberechnung allerdings um die Zahl der Ferkel verringert, die bis 8 kg wiegen. Dieses Vorgehen beruht auf dem Inventarkonzept, dass Ferkel bis 8 kg als Saugferkel zu werten sind, deren Emissionen in den Emissionen der Sauen enthalten sind.

Bei den Schafen werden für alle Jahre ab 2010 die amtlichen Schafzahlen korrigiert, siehe Kap. 6.1.1.1 in Rösemann et al. (2021). Grund ist der Wechsel des Erhebungstermins vom Frühjahr (bis 2009 Mai bzw. Juni) zum 1. März (2010) bzw. zum 3. November (seit 2011). Die mit diesem Wechsel verbundene scheinbare Abnahme der Lämmer (und damit der Schafe-Gesamtzahl) wird durch die Korrektur ausgeglichen.

Die amtlichen Ziegenzahlen für 2010, 2013 und 2016 wurden dazu verwendet, die nicht verfügbaren Zahlen von 2011, 2012, 2014 und 2015 durch lineare Interpolation zu schätzen. Die Tierzahlen für 2017 bis 2019 wurden durch Extrapolation des Trends zwischen 2013 und 2016 geschätzt.

Die Pferdezahlen werden im Inventar zur Berücksichtigung unterschiedlichen Emissionsverhaltens in „Großpferde“ und „Kleinpferde und Ponys“ unterteilt. In der Landwirtschaftszählung 2010 sowie den Zählungen 2013 und 2016 wurden statt Pferdezahlen Equidenzahlen erhoben. Deren Zahl schließt in nicht separierbarer Weise Esel und Maultiere ein (included elsewhere, IE). Seit Submission 2015 entfällt daher im Inventar die separate Kategorie „Esel und Maultiere“. Die Zahl der Esel- und Maultiere wurde bis zum Jahr 2009 zu der Zahl der Kleinpferde und Ponys addiert. Diese Zahl wurde nach Daten der IGEM (Schmutz, 2009) auf 8.500 Esel und Maultiere pro Jahr geschätzt. Datenlücken innerhalb der Pferdezeitreihe wurden durch lineare Interpolation geschlossen. Die Tierzahlen für 2017 bis 2019 wurden durch Extrapolation des Trends zwischen 2013 und 2016 geschätzt.

Junghennen wurden bis 2007 entgegen der Haltingspraxis (Aufstallung als Legehennen bereits nach der 18. Woche, wie es im Inventar auch berücksichtigt ist) offiziell bis zu einem Alter von 6 Monaten gezählt. Daher wurde für das Inventar ein Teil der Junghennen in die Legehennen-Kategorie verschoben, wobei die Gesamtsumme aus Jung- und Legehennen nicht verändert wurde, siehe Kap. 8.3.1 und 8.5.1 in Rösemann et al. (2021). Die nächste Geflügelzählung nach 2007 fand 2010 statt. Ab dieser Zählung entfällt die Umrechnung zwischen Junghennen und Legehennen, da die Tierzahlen entsprechend der Haltingspraxis erhoben wurden.

Für alle Geflügelkategorien wurden die Lücken in den Tierzahlzeitreihen durch lineare Interpolation geschlossen. Außer bei den Legehennen wurden für 2017 bis 2019 die Werte von 2016 beibehalten, da eine Extrapolation der Trends zwischen 2013 und 2016 in manchen Fällen zu unplausibel hohen oder niedrigen (teilweise negativen) Tierzahlen ab 2017 geführt hätte. Bei Legehennen wurden die Zahlen für 2017 bis 2019 auf Grundlage der 2016er Zahlen und der Trends der vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten Zahlen der Haltingsplätze geschätzt (Rösemann et al., 2021), Kapitel 3.4.2.2).

Die offiziell erhobenen Putenzahlen wurden im Inventar zur Berücksichtigung unterschiedlichen Wachstums für alle Jahre seit 1990 in Hähne und Hennen aufgeteilt.

5.1.3.2.3 Im Inventar verwendete Tierplatzzahlen (3.A, 3.B)

zusammengestellt. Die aufgelisteten Jahre entsprechen den Jahren, die in nachfolgenden Kapiteln bei Zeitreihendarstellungen verwendet werden. Die vollständige Zeitreihe der Tierzahlen findet sich in Rösemann et al. (2021), Kapitel 3.4.2.2.

Innerhalb der Schweine-Kategorie gab es 2018 eine Tierzahlverschiebung zwischen Aufzuchtferkeln und Mastschweinen, wobei die Gesamtzahl der Schweine in Tabelle 227 gegenüber dem NIR 2020 unverändert blieb. Grund für diese Verschiebung ist eine Gewichtsaktualisierung bei den Mastschweinen 2018 (siehe Kapitel 5.1.3.3), die die Tierzahlberechnung für Aufzuchtferkel und Mastschweine beeinflusste. (Zur Tierzahlberechnung siehe Kapitel 5.4.1.1 und 5.5.1.1 in Rösemann et al. (2021)).

Aus Tabelle 227 wird ersichtlich, dass die Zahlen der Milchkühe und der übrigen Rinder seit 2017 deutlich abgenommen haben. Die Milchkuhzahlen liegen damit nach einigen Jahren mit höheren Werten noch etwas unterhalb des bislang niedrigsten Niveaus (2006 und 2007 mit 4,082 bzw. 4,071 Millionen Tieren). Bei den übrigen Rindern setzt die Abnahme den Trend der vorhergehenden Jahre fort. Auch bei den Schweinen ist eine merkliche Abnahme seit 2017 festzustellen nachdem es in den Jahren zuvor keinen einheitlichen Trend gab. Die Ursache für diesen Rückgang kann nicht eindeutig ermittelt werden. Mögliche Gründe sind z.B. der Futtermangel aufgrund der extremen Trockenheit in Deutschland in den Jahren 2018 und 2019 oder eine Reaktion der Landwirte auf die Verschärfungen der Vorschriften in der neuen Düngeverordnung (DüV, 2017). Die Schafzahlen zeigen seit 2014 einen leicht abnehmenden Trend, der sich auch 2019 fortsetzte. Für Ziegen, Pferde und Geflügel ist die tatsächliche Veränderung ab 2017 nicht bekannt, da die Tierzahlen durch Extrapolation des Trends zwischen 2013 und 2016 geschätzt werden mussten (siehe Kapitel 5.1.3.2.2).

Zu den Unsicherheiten der Tierzahlen siehe Tabelle 271 in Kapitel 5.1.6.

Tabelle 227: Zahl der in die deutsche Berichterstattung eingehenden Tierplätze (3.A, 3.B) in 1.000

[in 1000]	Milchkühe	übrige Rinder	Schweine	Schafe	Ziegen	Pferde	Geflügel
1990	6.355	13.133	26.502	3.266	90	499	113.879
1995	5.229	10.661	20.387	2.991	100	634	111.228
2000	4.570	9.969	21.768	2.743	140	500	120.180
2005	4.236	8.800	22.743	2.643	170	508	120.560
2010	4.183	8.629	22.244	2.245	150	462	128.900
2011	4.190	8.340	22.788	1.980	143	462	145.044
2012	4.190	8.319	23.648	1.966	137	461	161.189
2013	4.268	8.418	23.391	1.877	130	461	177.333
2014	4.296	8.447	23.667	1.892	133	455	176.080
2015	4.285	8.351	22.979	1.867	136	448	174.827
2016	4.218	8.249	22.761	1.851	139	442	173.574
2017	4.199	8.082	22.921	1.863	142	436	174.163
2018	4.101	7.848	22.019	1.846	145	429	175.200
2019	4.012	7.628	21.596	1.814	147	423	175.540

5.1.3.2.4 Vergleich mit Tierzahlen der FAO (3.A, 3.B)

Die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) veröffentlicht weltweite Tierzahlen in ihrer Internetdatenbank FAOSTAT (FAO, 2020a). Die deutschen Angaben in FAOSTAT stammen grundsätzlich vom Statistischen Bundesamt in Deutschland, der Datenquelle, die auch Grundlage für das deutsche Inventar ist. Dennoch ergibt für Rinder, Schweine, Schafe, Ziegen, Pferde und Geflügel der Vergleich der Daten von FAOSTAT (Stand 28.08.2020: Zeitreihe bis 2018) und der in Submission 2021 verwendeten Daten zahlreiche Abweichungen: Zwischen 1990 und 2018 stimmen nur rund 14 % der FAOSTAT-Angaben mit den

deutschen Daten überein (wenn dabei auch auf ganze 100 Tiere gerundete Zahlen berücksichtigt werden).

Hauptgründe für die zum Teil großen Unterschiede zwischen FAOSTAT und den deutschen Daten sind vor allem Einträge in FAOSTAT unter falschen Jahren und eine unsystematisch erscheinende Vorgehensweise bei der Schließung von Datenlücken in FAOSTAT.

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse des Datenvergleichs aufgelistet.

Rinder (incl. Büffel): Die FAOSTAT-Tierzahlen stimmen nur in den Jahren 2014 – 2018 mit den offiziellen deutschen Daten überein. Vor dem Jahr 2000 sind die FAOSTAT-Zahlen um ein Jahr verschoben gegenüber den deutschen Zahlen. So steht z. B. in FAOSTAT unter 1999 die deutsche Rinderzahl von 1998. In den Jahren 2011 – 2013 enthält FAOSTAT die Daten der Mai-Zählung, während das Inventar aufgrund einer EU-Vorgabe (siehe Kapitel 5.1.3.2.1) die Daten der November-Zählung verwendet.

Schweine: Die FAOSTAT-Schweinezahlen sind generell nicht mit den Schweinezahlen im Inventar zu vergleichen, da im Inventar aus methodischen Gründen die Zahl der Ferkel mit einem Gewicht kleiner als 8 kg abgezogen wird (siehe Kapitel 5.1.3.2.2). Vergleicht man die FAOSTAT-Zahlen daher mit den Schweinezahlen des Statistischen Bundesamtes *vor Abzug* der Saugferkel, so findet sich wie bei den Rindern in den FAOSTAT-Zahlen vor 2000 eine fehlerhafte Verschiebung um ein Jahr. Mit Ausnahme der Jahre 2011 – 2013, in denen die FAOSTAT-Zahlen der Mai-Zählung entsprechen, während das Inventar aufgrund einer EU-Vorgabe (siehe Kapitel 5.1.3.2.1) mit den Daten der November-Zählung rechnet, besteht eine große Ähnlichkeit zwischen den Tierzahlzeitreihen; eine Übereinstimmung (unter Berücksichtigung der Rundung auf 100 Tierplätze) liegt aber nur für die Jahre 2001 – 2003 und 2007 – 2009 vor.

Schafe: In den Jahren 1991, 1993 – 2000 und 2005 - 2009 sind die FAOSTAT-Zahlen den Daten des Statistischen Bundesamtes sehr ähnlich; eine Übereinstimmung (unter Berücksichtigung der Rundung auf 100 Tierplätze) liegt aber nur für die Jahre 2007 – 2009 vor. In den Jahren 1990, 1992, 1993 sowie 2001 – 2004 gibt es z. T. größere Abweichungen, die mit vorliegenden Informationen nicht erklärbar sind. Ab 2010 ist ein Vergleich der beiden Zeitreihen nicht möglich, da im Inventar die offiziell erhobenen Schafzahlen korrigiert werden (siehe Kapitel 5.1.3.2.2).

Ziegen: Die FAOSTAT-Ziegenzahlen sind für die Jahre 1991 - 2002 einschließlich gegenüber den deutschen Zahlen um ein Jahr versetzt. So gibt z. B. die FAOSTAT-Ziegenzahl 1991 die deutsche Ziegenzahl von 1990 wieder. Für die Jahre 1990, 2003, 2005, 2007, 2008, 2013 und 2016 stimmen die FAOSTAT-Zahlen mit den deutschen Zahlen überein. In den Jahren dazwischen, in denen Deutschland keine Daten erhoben bzw. geschätzt hat, gibt FAOSTAT Daten an, die ihrerseits geschätzt sein müssen, obwohl es sich laut FAOSTAT um offizielle Daten handeln soll. Diese Schätzungen sind insbesondere ab dem Jahr 2011 unplausibel, da sie den durch lineare Interpolation zwischen den Stützjahren geschätzten Trends zuwider laufen.

Pferde (incl. Esel und Maultiere): Die FAOSTAT-Zahlen vor 2010 geben nur die reinen Pferdezahlen ohne Esel und Maultiere wieder. Zieht man daher für einen Vergleich bei den Inventarzahlen die hinzuaddierten Esel und Maultiere (siehe Kapitel 5.1.3.2.2) ab, so ergibt sich, dass die FAOSTAT-Zahlen den deutschen Zahlen bis zum Jahr 2004 um ein Jahr hinterherlaufen, wobei sich allerdings häufig auch die Höhe der Tierzahlen zwischen FAOSTAT und offizieller deutscher Statistik unterscheidet. Ab 2005 gibt es eine Übereinstimmung zwischen FAOSTAT und den deutschen Daten nur für die Jahre 2013 und 2016. In denjenigen Jahren zwischen 2005 und 2016, in denen Deutschland keine Daten erhoben hat, zeigen die FAOSTAT-Schätzungen wie bei den Ziegen einen unplausiblen zeitlichen Verlauf.

Geflügel: In fast allen Jahren mit Tierzählungen stimmen die Geflügelzahlen weitgehend überein (1994, 1999, 2003, 2005, 2007, 2010, 2013 und 2016). Die Ergebnisse der Zählungen der Jahre 1990, 1996 und 2001 sind in FAOSTAT fälschlich im darauffolgenden Jahr eingetragen. Die Schließung der Datenlücken ab 2010 in FAOSTAT ist ähnlich unplausibel wie bei Ziegen und Pferden, woraus sich ein erratischer Zeitverlauf ab 2010 ergibt.

5.1.3.3 Leistungs-, Energie- und Futterdaten (3.A, 3.B)

Die Berechnung von Emissionen nach einem Tier-2-Verfahren erfordert Angaben zur tierischen Leistung (Tiergewicht, Gewichtszunahme, Milchleistung, Milcheiweißgehalt, Milchfettgehalt, Geburtenzahl, ggf. Weidegang, Eizahl und -gewicht) und zum Futter (Phasenfütterung, Futterbestandteile, Protein- und Energiegehalt, Umsetzbarkeit von Energie, Verdaulichkeit von organischer Substanz). Zur Aufteilung der vom Statistischen Bundesamt berichteten Puten-Gesamtzahl in Hähne und Hennen wird das Geschlechterverhältnis benötigt. Die benötigten Daten sind zum großen Teil nicht aus der amtlichen Statistik erhältlich. Sie wurden der allgemein verfügbaren Fachliteratur, Veröffentlichungen von Verbänden oder Regelwerken für die landwirtschaftliche Beratung in Deutschland entnommen oder durch Expertenbefragung gewonnen.

Aufgrund von Qualitätssicherungsmaßnahmen und der Verfügbarkeit aktualisierter Eingangsdaten wurden gegenüber Submission 2020 zahlreiche Änderungen vorgenommen, die die Leistung, den Energiebedarf und die Futteraufnahme betreffen. Die bzgl. Ihrer Auswirkung relevanten Änderungen finden sich in der nachfolgenden Übersicht. (Für eine vollständige Liste der Änderungen siehe Kapitel 3.5.2 in Rösemann et al. (2021).

- **Milchkühe:** Das im bisherigen Modell zu hohe Milchkuh-Anfangsgewicht wurde abgesenkt (KTBL, 2020a). Die Milchleistung 2018 wurde für alle Bundesländer in der offiziellen Statistik geringfügig korrigiert. Energiebedarf, Rationsgestaltung und Futterkennwerte sind nun in vollem Umfang an die Empfehlungen deutscher Expertengremien angepasst, was mit einer Verminderung von Energiebedarf und Futteraufnahme verbunden war. Eine detaillierte Beschreibung des aktualisierten Modelles findet sich in Rösemann et al. (2021), Kapitel 4.3.
- **Kälber:** Das Geburtsgewicht und die Daten zu Energiebedarf und Fütterung wurden auf Grundlage deutscher Expertenempfehlungen aktualisiert. Dabei wurde im Vergleich zur Submission 2020 das Geburtsgewicht von 41 kg auf 45 kg angehoben; für den Energiebedarf ergaben sich für alle Jahre niedrigere Werte als in Submission 2020. Eine detaillierte Beschreibung des aktualisierten Modelles findet sich in Rösemann et al. (2021), Kapitel 4.4.
- **Färsen:** Ab der vorliegenden Submission wird zwischen Milchfärsen und Schlachtfärsen unterschieden. Das niedrigere Endgewicht der Milchfärsen entspricht dem Anfangsgewicht der Milchkühe, während für die Schlachtfärsen höhere Endgewichte angesetzt wurden, die aus Daten des Statistischen Bundesamtes abgeleitet wurden. Energiebedarf und Fütterung wurden an die Empfehlungen deutscher Expertengremien angepasst. Im Vergleich mit Submission 2020 ergaben sich so im Mittel über alle Färsen ein niedrigeres Tiergewicht und ein niedrigerer Energiebedarf. Für eine detaillierte Beschreibung der aktualisierten Methodik siehe Rösemann et al. (2021), Kapitel 4.5.
- **Mastbullen:** In einigen Jahren wurden Schlachalter und Schlachtgewichte aus Angaben der HIT-Datenbank (siehe Kapitel 5.1.3.2.2) aktualisiert. Die Futterkennwerte wurden an deutsche Standardwerte angepasst. Die für Submission 2021 verwendeten Futterkennwerte finden sich in Rösemann et al. (2021), Kapitel 4.6.
- **Sauen:** Für Sachsen-Anhalt ergab sich im Jahr 2018 aufgrund neuerer Fachverbandsdaten eine etwas niedrigere Anzahl der Ferkel pro Sau und Jahr.

- **Mastschweine und Aufzuchtferkel:** Die Anfangs- und Endgewichte der Mastschweine wurden für das Jahr 2018 auf Grundlage von Informationen aus Fachverbänden geringfügig aktualisiert. Daraus folgte auch eine geringfügige Aktualisierung des Endgewichts der Aufzuchtferkel.
- **Masthähnchen:** Die Extrapolation der Eingangsgröße „Gesamt-Bruttoschlachtfleischmenge“ für 2018 wurde mithilfe von Daten des Statistischen Bundesamtes ersetzt.
- **Puten:** Die Endgewichte von Hähnen und Hennen wurden für die Jahre 1990 bis 2001 neu berechnet (leicht angehoben).
- Tabelle 228 zeigt die mittleren Tiergewichte für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel. Das mittlere Tiergewicht der Milchkühe ergibt sich aus Anfangs- und Endgewichten (mit der Tierzahl gewichtet gemittelt über die Bundesländer), siehe Kap. 4.3.1.2 in Rösemann et al. (2021). Zur Berechnung der mittleren Tiergewichte von übrigen Rindern, Schweinen und Geflügel siehe Kap. 4.9.2.1, 5.7.2 und 8.9.1.2 in Rösemann et al. (2021).

Tabelle 228: Mittlere Tiergewichte (3.A, 3.B)

[kg Tier ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	566,9	581,9	591,1	592,3	592,6	592,3	589,0	586,5	585,0	587,7	584,4	587,3	588,4	595,5
übrige Rinder	318,5	333,1	343,9	340,8	342,9	340,1	339,0	340,0	339,4	340,9	341,2	341,8	343,4	346,3
Schweine	66,7	69,0	67,3	67,0	65,3	64,1	63,7	63,6	63,7	63,3	63,3	63,2	63,6	63,2
Geflügel	1,63	1,61	1,69	1,78	1,78	1,74	1,72	1,69	1,69	1,69	1,68	1,68	1,68	1,68

Die Tiergewichte von Schafen, Ziegen und Pferden gehen nicht in die Emissionsberechnungen ein, wurden aber für CRF-3.B geschätzt: Schafe 50 kg Tier⁻¹, Ziegen 40 kg Tier⁻¹ und Pferde 490 kg Tier⁻¹, siehe Kap. 6.5.1, 6.6.1 und 7.5.1 in Rösemann et al. (2021).

Tabelle 229 zeigt die für Deutschland gemittelte tägliche Milchleistung bei Milchkühen, die der jährlichen Milchleistung dividiert durch 365 Tage entspricht. Die geringfügige Abweichung im Jahr 2018 gegenüber dem NIR 2020 ist eine Folge der oben erwähnten Aktualisierung der Milchleistungsdaten.

Tabelle 229: Mittlere tägliche Milchleistung bei Milchkühen (3.A)

[kg d ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchleistung	12,88	14,78	16,60	18,40	19,41	19,84	20,06	20,12	20,66	20,90	21,22	21,27	22,10	22,60

Bei Milchkühen, Milch- und Schlachtfärsen, Mastbullen, Sauen, Aufzuchtferkeln und Mastschweinen wird die Aufnahme der Gesamtenergie (GE) leistungsabhängig berechnet. Siehe dazu folgende Kapitel in Rösemann et al. (2021): Milchkühe 4.3.3; Milch- und Schlachtfärsen 4.5.3; Mastbullen 4.6.3; Sauen 5.3.3; Aufzuchtferkel 5.4.3; Mastschweine 5.5.3. Die Berechnung beruht auf dem IPCC-Konzept (IPCC (2006): Vol. 4, Chapter 10.2.2), dass die Fütterung den tierischen Energiebedarf genau deckt. Der Energiebedarf wird bei der Milchkuh in der Einheit „Netto Energie Laktation (NEL)“ angegeben (siehe Kirchgessner et al. (2008)), während bei den anderen Tieren mit Energiebedarfsberechnung im deutschen Inventar die Einheit „Umsetzbare Energie (ME, metabolic energy)“ verwendet wird (siehe z. B. (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, 2006)).

Der NEL- bzw. ME-Bedarf umfasst alle erforderlichen Teilbedarfe (Erhaltung, Wachstum, Nachkommen und Produkte, Weidegang), soweit sie für die jeweilige Tierkategorie relevant sind. Aus dem Energiebedarf und dem mittleren NEL- bzw. ME-Energiegehalt des Futters wird ermittelt, welche Menge Futter bei gegebener Futterzusammensetzung zur Deckung des NEL- bzw. ME-Energiebedarfs aufgenommen wird. Aus der aufgenommenen Futtermenge und dem mittleren GE-Gehalt des Futters wird die vom Tier aufgenommene Gesamtenergie GE berechnet.

Bei der GE-Aufnahme von Ebern handelt es sich um einen Standardwert, bei Kälbern, Mutterkühen und männlichen Rindern ab 2 Jahren wird die GE-Aufnahme aus Standardwerten der ME-Aufnahme abgeleitet. Siehe dazu folgende Kapitel in Rösemann et al. (2021): Kälber 4.4.2; Mutterkühe 4.7.2; männliche Rinder ab 2 Jahren 4.8.2; Eber 5.6.3). Für die übrigen Tierkategorien (Schafe, Ziegen, Pferde, Geflügel) wird keine GE-Aufnahme ermittelt.

Tabelle 230 zeigt für Milchkühe, übrige Rinder sowie Schweine die tägliche Gesamtenergie-Aufnahme GE. Die Abweichungen gegenüber Tabelle 240 im NIR 2020 gehen auf die beschriebenen Änderungen bei der Berechnung von Tierleistung und Fütterung zurück.

Tabelle 230: Mittlere tägliche Gesamtenergie-Aufnahme (GE) (3.A)

[MJ Platz ⁻¹ d ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	241,3	264,0	283,0	298,8	307,5	310,5	312,5	312,0	315,9	318,8	322,3	322,5	329,4	337,0
übrige Rinder	99,7	103,1	105,7	105,5	107,0	106,6	106,5	106,7	106,6	107,2	107,1	107,6	108,0	109,0
Schweine	30,2	31,8	32,6	33,0	33,8	34,0	34,3	34,5	34,8	35,0	35,2	35,5	35,8	35,8

Tabelle 232 bis Tabelle 234 zeigen für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine die Eingangsdaten für die VS-Berechnung, die der Berechnung der CH₄-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (siehe Kapitel 5.3.2.2.1) zugrunde liegt. Es handelt sich um Trockenmasseaufnahme, Verdaulichkeit organischer Substanz und Aschegehalt des Futters. Zu Details der Trockenmasseaufnahme wird auf die tierspezifischen Kapitel in Rösemann et al. (2021) verwiesen, siehe Tabelle 231. Für Schafe, Ziegen, Pferde und Gänse erfolgt mangels Daten zur Fütterung keine Bestimmung der Trockenmasseaufnahme. Es sind auch keine Standardwerte verfügbar, so dass die VS-Ausscheidungswerte auf andere Weise gewonnen werden, siehe Kapitel 5.1.3.5. Abweichungen gegenüber Submission 2020 sind eine Folge der weiter oben genannten leistungs- und fütterungsbezogenen Änderungen.

Tabelle 231: Beschreibung der Trockenmasse- Aufnahme in Rösemann et al. (2021)

Tierkategorie	Kapitel	Tierkategorie	Kapitel
Milchkühe	4.3.3	erwachsene Schafe	---
Kälber	4.4.2	Lämmer	---
Färsen	4.5.3	Ziegen	---
Männliche Mastrinder	4.6.3	Großpferde	---
Mutterkühe	4.7.2	Kleinpferde/Ponys	---
Männliche Rinder > 2 Jahre	4.8.2	Legehennen	8.3.4
Sauen	5.3.3	Masthähnchen	8.4.3
Aufzuchtferkel	5.4.3	Junghennen	8.5.4
Mastschweine	5.5.3	Gänse	---
Eber	5.6.3	Enten	8.7.4
		Puten	8.8.2.3

Tabelle 232: Tägliche Trockenmasseaufnahme

[kg ⁻¹ Platz ⁻¹ d ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	13,20	14,44	15,47	16,32	16,75	16,90	17,00	16,97	17,17	17,33	17,51	17,52	17,89	18,30
übrige Rinder	5,46	5,65	5,80	5,79	5,86	5,84	5,84	5,85	5,84	5,87	5,87	5,89	5,92	5,97
Schweine	1,83	1,93	1,98	2,00	2,05	2,06	2,08	2,10	2,11	2,12	2,14	2,15	2,17	2,17

Die Ermittlung von mittlerer Verdaulichkeit und mittlerem Aschegehalt des Futters beruht zum überwiegenden Teil auf deutschen Standardwerten für die einzelnen Futterkomponenten (DLG, 2005, 2014), ergänzt um Experteninformationen (Spiekers, 2019). Fehlende Daten wurden anhand anderer Quellen geschätzt (u. a. Beyer et al. (2004); Herstellerangaben). Abweichungen der in Tabelle 233 und Tabelle 234 angegebenen Werte von den entsprechenden Tabellen im NIR 2020 sind eine Folge der weiter oben genannten leistungs- und fütterungsbedingten Änderungen.

Tabelle 233: Verdaulichkeit von organischer Substanz im Futter (3.A)

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	75,6	75,5	75,6	75,9	75,8	75,9	75,8	75,8	75,8	75,9	75,9	75,9	76,0	76,1
übrige Rinder	74,6	74,4	74,2	74,4	74,2	74,2	74,2	74,2	74,1	74,1	74,1	74,1	74,0	74,0
Schweine	84,7	84,7	84,7	84,8	84,8	84,8	84,9	84,9	84,9	84,9	84,9	84,9	84,9	84,9

Tabelle 234: Aschegehalt des Futters

[kg kg ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	0,084	0,084	0,083	0,082	0,078	0,078	0,077	0,076	0,075	0,076	0,076	0,076	0,075	0,075
übrige Rinder	0,090	0,091	0,091	0,091	0,091	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
Schweine	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056

Weitere Angaben zur Tierhaltung, z. B. zu Ausscheidungen (N, VS), finden sich in den nachfolgenden Kapiteln.

In keinem der verwendeten Tiermodelle wird die mittlere prozentuale Trächtigkeit als Eingangsgröße verwendet. Sie wird der Vollständigkeit halber für Rinder in CRF-Tabelle 3.A berichtet.

5.1.3.4 N-Ausscheidungen (3.B)

Die Ermittlung der N-Ausscheidungen wird in den tierspezifischen Kapiteln in Hanel et al. (2020a) beschrieben, siehe Tabelle 235.

Tabelle 235: Beschreibung der N-Ausscheidung in Rösemann et al. (2021)

Tierkategorie	Kapitel	Tierkategorie	Kapitel
Milchkühe	4.3.7.1	erwachsene Schafe	6.3.5
Kälber	4.4.6.1	Lämmer	6.4.5
Milch- und Schlachtfärsen	4.5.7.1	Ziegen	6.6.5
Männliche Mastrinder	4.6.7.1	Großpferde	7.3.5
Mutterkühe	4.7.6.1	Kleinpferde/Ponys	7.4.5
Männliche Rinder > 2 Jahre	4.8.6.1	Legehennen	8.3.8.1
Sauen	5.3.7.1	Masthähnchen	8.4.7.1
Aufzuchtferkel	5.4.7.1	Junghennen	8.5.8.1
Mastschweine	5.5.7.1	Gänse	8.6.6
Eber	5.6.7.1	Enten	8.7.8.1
		Puten	8.8.6.1

Bei Milchkühen, Milch- und Schlachtfärsen, Mastbullen, Schweinen (außer den Ebern), Legehennen, Junghennen, Masthähnchen und -hühnchen, Enten sowie Putenhähnen und Putenhennen werden die N-Ausscheidungen leistungsabhängig berechnet, während für die übrigen Tiere die N-Ausscheidungswerte aus der deutschen Fachliteratur entnommen oder abgeleitet werden.

Die leistungsabhängige Berechnung der N-Ausscheidung basiert auf der Annahme einer Fütterung, die genau den Energiebedarf deckt (siehe Kapitel 5.1.3.3). Die vom Tier aufgenommene N-Menge ergibt sich aus der aufgenommenen Futtermenge und dem mittleren N-Gehalt der Futtermischung, der den nationalen Fütterungsempfehlungen entspricht. Von der aufgenommenen N-Menge werden die wachstumsbedingte N-Retention, die N-Abgabe über Produkte (Milch/Eier) sowie die N-Verluste durch Trächtigkeit/Nachwuchs abgezogen. Die verbleibende N-Menge ist die N-Ausscheidung:

In die Berechnung der N-Ausscheidung gehen folgende Parameter ein:

- Milchkühe: Milchleistung, Milcheiweiß-Gehalt, Milchfett-Gehalt, Tiergewicht, Gewichtszunahme, Zahl der Geburten pro Jahr, Futtereigenschaften;
- Milchfärsen, Schlachtfärsen und Mastbullen: Gewichtszunahme, Endgewicht und Futtereigenschaften;
- Schweine: Tiergewicht; bei Sauen auch Zahl der Ferkel pro Jahr; bei Aufzuchtferkeln und Mastschweinen auch Gewichtszunahme und Futtereigenschaften;

- Legehennen, Junghennen, Enten, Puten: Gewichtszunahme, Endgewicht, Futtereigenschaften; bei Legehennen auch Legeleistung und Eigewicht;
- Masthähnchen und -hühnchen: Brutto-Schlachtfleischmenge, Futtereigenschaften.

Bei Tierkategorien mit Weidegang werden die pro Tierplatz und Jahr berechneten N-Ausscheidungen auf Weide und Stall aufgeteilt, da nur die Ausscheidungen im Stall in die Berechnung der N₂O-Emissionen unter 3.B einfließen. Die N-Ausscheidungen auf der Weide werden in der Berechnung der N₂O-Emissionen unter 3.D berücksichtigt. Die Aufteilung der N-Ausscheidungen zwischen Stall und Weide erfolgt proportional zu den relativen Zeitanteilen, die auf die Haltung im Stall und auf der Weide entfallen (siehe dazu Kapitel 19.3.2, Tabelle 582). Mit der vorliegenden Submission 2021 wurde bei den Milchkühen die relativen Zeitanteile von Stall und Weide korrigiert, wodurch sich in allem Jahren bis 1999 das Verhältnis der im Stall und auf der Weide ausgeschiedenen N-Mengen zur Weide hin verschiebt.

Tabelle 236 zeigt die Zeitreihen der N-Ausscheidungen. Die nicht angegebene N-Ausscheidung der Ziegen ist zeitlich konstant (11,0 kg Platz⁻¹ a⁻¹). Bei den Rindern zeigen sich, bedingt durch die in Kapitel 5.1.3.3 erwähnten Anpassungen von Methodik und Fütterungsdaten an deutsche Standardempfehlungen, deutlich niedrigere N-Ausscheidungen als im NIR 2020. Die Änderungen bei den mittleren N-Ausscheidungen der Schweine und des Geflügels sind so gering, dass sie in der gewählten Zahlendarstellung nicht erkennbar sind.

Tabelle 236: N-Ausscheidungen pro Tierplatz und Jahr (3.B(b))

[kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	92,0	97,9	103,8	108,9	110,3	111,0	111,3	110,7	111,8	113,1	114,5	114,3	116,8	120,0
übrige Rinder	38,1	40,4	41,9	41,8	42,6	42,4	42,4	42,5	42,5	42,8	42,7	42,9	43,1	43,5
Schweine	12,1	12,6	12,7	12,8	12,9	12,9	12,9	13,0	13,0	13,0	13,1	13,2	13,3	13,3
Schafe	7,7	7,7	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
Pferde	48,2	48,1	49,0	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8	48,8
Geflügel	0,69	0,66	0,69	0,74	0,77	0,75	0,72	0,69	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74

Tabelle 237 zeigt die jährlichen N-Ausscheidungen für die vier Wirtschaftsdünger-Managementsysteme „güllebasiert (ohne Vergärung)“, „strohbasierend (ohne Tiefstreu und ohne Vergärung)“, „Tiefstreu (ohne Vergärung)“ und „Vergärung“ sowie für „Weidegang“.

Tabelle 237: Jährliche N-Ausscheidungen, aufgeteilt nach Wirtschaftsdünger-Managementsystemen (3.B(b)) und Weidegang (3.D)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
insgesamt	1534,9	1328,1	1298,8	1256,1	1255,3	1259,9	1279,4	1294,3	1310,1	1305,3	1297,6	1293,2	1275,1	1265,1
güllebasiert ^a	849,3	806,9	794,4	740,7	636,6	615,5	616,6	602,8	605,7	597,6	597,4	594,9	586,8	580,7
strohbasierend ^b	421,9	293,6	284,7	275,5	281,0	283,8	289,5	293,9	297,1	297,2	295,1	294,4	294,1	292,4
Tiefstreu ^a	49,5	52,4	57,1	67,3	70,6	67,7	67,4	68,0	68,0	66,6	65,9	64,7	62,9	61,5
Vergärung	0,04	0,56	4,8	32,4	132,7	161,6	175,3	197,7	206,1	209,6	206,2	207,3	201,2	201,2
Weidegang	214,2	174,7	157,8	140,2	134,3	131,2	130,6	131,9	133,3	134,3	133,0	132,0	130,0	129,2

^a ohne Vergärung

^b ohne Tiefstreu und ohne Vergärung

5.1.3.5 VS-Ausscheidungen (3.B)

Die Berechnung der VS-Ausscheidungen erfolgt für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel (Ausnahme: Gänse) mit dem nationalen Verfahren von Dämmgen et al. (2011), siehe Kap. 3.3.3.1 in Rösemann et al. (2021).

Gleichung 5: Berechnung der VS-Ausscheidungen

$$VS_i = m_{\text{feed, DM}, i} \cdot (1 - X_{\text{DOM}, i}) \cdot (1 - x_{\text{ash, feed}})$$

VS_i

VS-Ausscheidung von Tierkategorie i (in kg Platz⁻¹ d⁻¹)

$m_{\text{feed, DM, } i}$	Trockenmasse-Aufnahme, Tierkategorie i (in kg Platz ⁻¹ d ⁻¹)
$X_{\text{DOM, } i}$	Verdaulichkeit organischer Substanz, Tierkategorie i (in kg kg ⁻¹)
$X_{\text{ash, } i}$	Aschegehalt des Futters, Tierkategorie i (in kg kg ⁻¹)

Für Gänse wird die VS-Ausscheidung in Anlehnung an die VS-Ausscheidung von Enten geschätzt, siehe Kap. 8.6.4 in Rösemann et al. (2021): 0,023 kg pl⁻¹ d⁻¹.

Die Eingangsdaten für die VS-Berechnung sind: Trockenmasse-Aufnahme, Verdaulichkeit organischer Substanz und Aschegehalt des Futters; für eine Übersicht für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine siehe Kapitel 5.1.3.3.

Die mit nationalen Eingangsdaten berechneten VS-Ausscheidungen für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel sind in Tabelle 238 dargestellt. Bei den Rindern zeigen sich, bedingt durch die in Kapitel 5.1.3.3 erwähnten Anpassungen von Methodik und Fütterungsdaten an deutsche Standardempfehlungen, deutlich niedrigere VS-Ausscheidungen als im NIR 2020. Die Änderungen bei den mittleren VS-Ausscheidungen der Schweine und des Geflügels sind so gering, dass sie in der gewählten Zahlendarstellung nicht erkennbar sind.

Tabelle 238: Tägliche VS-Ausscheidung für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel (3.B(a))

[kg Platz ⁻¹ d ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	2,95	3,24	3,46	3,62	3,73	3,77	3,79	3,79	3,84	3,87	3,90	3,90	3,97	4,04
übrige Rinder	1,26	1,31	1,36	1,35	1,38	1,37	1,37	1,37	1,38	1,38	1,38	1,39	1,40	1,41
Schweine	0,26	0,28	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31
Geflügel	0,023	0,022	0,023	0,026	0,027	0,026	0,025	0,024	0,025	0,025	0,025	0,026	0,026	0,026

Tabelle 239 zeigt die täglichen VS-Ausscheidungen für Schafe, Ziegen und Pferde. Siehe dazu Rösemann et al. (2021), Kapitel 6.3.3, 6.4.3, 6.6.3, 7.3.3 und 7.4.3. Wegen der von Jahr zu Jahr variierenden Populationsanteile der jeweiligen Groß- und Kleintiere ist die mittlere VS-Ausscheidung für Schafe und Pferde zeitlich nicht konstant; die jährliche Variation ist aber sehr gering.

Tabelle 239: Tägliche VS-Ausscheidungen für Schafe, Ziegen und Pferde (3.B(a))

[kg Platz ⁻¹ d ⁻¹]	VS	Mittelwert 2018
erwachsene Schafe	0,53	0,41
Lämmer	0,21	
Ziegen	0,30	0,30
Großpferde	2,59	
Kleinpferde und Ponys	1,73	2,39

5.1.3.6 Haltungs-, Lager- und Ausbringungsverfahren (CRF 3.B, 3.D)

5.1.3.6.1 Häufigkeitsverteilungen (3.B, 3.D)

Das deutsche Inventar verwendet, getrennt nach Tier-Unterkategorien, jährliche Häufigkeitsverteilungen von Haltungsformen (Anteile Weidehaltung/Stallhaltung; Anteile von Aufstallungsformen), Wirtschaftsdünger-Lagerungsformen und -Ausbringungstechniken sowie Weidezeiten. Auf Daten zu Wirtschaftsdünger-Vergärung und Gärrestlagerung wird in Kapitel 5.1.3.6.5 eingegangen. Die Datengewinnung und -aufarbeitung für das Inventar auf Ebene der Bundesländer wird in Kap. 3.4.3 in Rösemann et al. (2021) detailliert beschrieben. Für die Darstellung der Häufigkeitsverteilungen auf Deutschland-Ebene wird auf Kapitel 19.3.2 im vorliegenden NIR verwiesen.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen für die wichtigen Tierkategorien „Milchkühe“, „übrige Rinder“, „Schweine“ und „Geflügel“ die Aufteilung der Tierpopulation auf die verschiedenen Kategorien von Wirtschaftsdünger-Managementsystemen in Prozent des ausgeschiedenen VS. Im Vergleich

mit dem NIR 2020 ist bei den Milchkühen vor 2000 der prozentuale Anteil des Systems „Weide“ auf Kosten der übrigen Systeme angestiegen. Dies ist eine direkte Folge der in Kapitel 5.1.3.4 im Zusammenhang mit den N-Ausscheidungen erwähnten Korrektur bei den relativen Zeitanteilen von Stall und Weide. Bei den übrigen Rindern gab es ebenfalls Verschiebungen zwischen den verschiedenen Systemen, was daran liegt, dass sich bei Kälbern, Färsen und Mastbullen die Ausscheidungen in unterschiedlichem Maße geändert haben und diese Änderungen über die kategorie-spezifischen Tierzahlen und Weideanteile mit unterschiedlichem Gewicht in das Gesamtergebnis der übrigen Rinder eingehen. Weitere Änderungen gegenüber dem NIR 2020 gehen auf Aktualisierungen der Eingangsdaten für die Wirtschaftsdünger-Vergärung zurück.

Tabelle 240: Güllebasierte Systeme ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	53,1	69,5	72,2	70,1	59,2	56,0	54,8	52,7	52,0	51,9	52,4	52,1	52,4	52,4
übrige Rinder	58,4	55,9	52,4	46,4	36,7	35,3	34,9	34,1	33,7	33,7	33,8	33,6	33,9	33,8
Schweine	80,6	87,2	89,1	88,5	82,8	81,3	80,8	79,1	78,8	77,9	78,1	78,1	78,2	78,0

Tabelle 241: Stroh-basierte Systeme ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	26,8	15,1	14,7	15,3	15,5	15,4	15,3	15,3	15,2	15,2	15,1	15,0	15,0	15,0
übrige Rinder	19,9	18,6	18,9	19,0	21,1	21,0	20,9	20,8	20,9	21,0	21,0	21,0	21,0	21,1
Schweine	17,3	10,9	9,0	7,7	6,4	6,2	5,9	5,9	5,8	5,8	5,7	5,7	5,7	5,6
Geflügel	100,0	99,9	99,6	96,8	90,2	89,0	88,7	87,1	86,9	86,4	86,5	86,9	87,5	87,5

Tabelle 242: Tiefstreu ohne Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
übrige Rinder	6,9	8,9	10,3	14,6	16,3	16,1	16,1	16,0	15,9	15,7	15,7	15,6	15,6	15,5
Schweine	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3

Tabelle 243: Alle Systeme mit Vergärung, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	0,003	0,053	0,51	3,3	15,1	18,4	19,7	21,7	22,4	22,4	22,1	22,4	22,1	22,1
übrige Rinder	0,003	0,034	0,28	2,0	7,4	9,2	9,9	10,9	11,2	11,2	11,1	11,4	11,1	11,1
Schweine	0,003	0,042	0,33	2,4	9,5	11,2	12,0	13,7	14,1	15,1	14,9	14,9	14,8	15,1
Geflügel	0,004	0,057	0,44	3,2	9,8	11,0	11,3	12,9	13,1	13,6	13,5	13,1	12,5	12,5

Tabelle 244: Weide, in % des ausgeschiedenen VS (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	20,0	15,2	12,5	11,1	10,1	10,2	10,2	10,3	10,3	10,4	10,4	10,5	10,5	10,5
übrige Rinder	14,8	16,6	18,1	18,0	18,5	18,4	18,3	18,2	18,3	18,5	18,4	18,5	18,5	18,5

5.1.3.6.2 Einstreu bei Festmistsystemen

Bei Festmistsystemen gelangt mit der Einstreu zusätzlicher Stickstoff ins System, der im Inventar bei der Berechnung der Emissionen von N₂O und NO aus dem Wirtschaftsdünger-Management berücksichtigt wird. Tabelle 582 in Kapitel 19.3.2 zeigt die vom Tierhaltungsverfahren abhängigen Einstreumengen in Frischmasse. Mit einem Trockenmassegehalt von 86 % und einem N-Gehalt der Trockenmasse von 0,58 % (siehe Kapitel 3.3.4.3.2 in Rösemann et al. (2021)) ergeben sich die in Tabelle 245 nach Tierkategorien angegebenen Einstreu-N-Mengen.

Abweichungen vom NIR 2020 bestehen bei den übrigen Rindern (alle Jahre) und den Schweinen (2018). Bei den übrigen Rindern ist dies eine Folge der für die männlichen Rinder älter als 2 Jahre aufgrund eines Expertenurteils angehobenen Einstreumengen. Bei den Schweinen wirkt sich die in Kapitel 5.1.3.2.3 erwähnte Tierzahlverschiebung zwischen Aufzuchtferkeln und Mastschweinen aus, da diese beiden Schweine-kategorien unterschiedliche Einstreumengen erhalten. Allerdings ist die dadurch verursachte Änderung der Gesamteinstreumenge der

Schweine so gering, dass sie wegen der in Tabelle 245 gewählten Zahlendarstellung nicht erkennbar ist.

Tabelle 245: Jahressummen des N-Eintrags durch Einstreu in strohbasierten Systemen

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
gesamt	52,6	40,5	38,4	37,1	37,5	36,8	36,8	37,2	37,3	36,9	36,3	35,8	34,9	34,2
Milchkühe	17,2	7,6	7,1	6,7	6,7	6,7	6,7	6,8	6,9	6,9	6,7	6,7	6,5	6,4
übrige Rinder	24,0	21,1	21,2	20,3	21,3	20,6	20,5	20,7	20,8	20,6	20,3	19,9	19,4	18,9
Schweine	3,18	1,78	1,57	1,40	1,18	1,18	1,19	1,17	1,18	1,13	1,12	1,13	1,08	1,05
Schafe	0,83	0,75	0,70	0,68	0,58	0,51	0,50	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46
Ziegen	0,04	0,05	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Pferde	6,54	8,30	6,65	6,75	6,12	6,12	6,12	6,12	6,03	5,95	5,86	5,78	5,69	5,61
Geflügel	0,80	0,91	1,10	1,27	1,52	1,62	1,72	1,83	1,79	1,74	1,70	1,70	1,71	1,71

5.1.3.6.3 Maximale Methan-Bildungsrate B_0 (3.B(b))

Die mit der Lagerung von Wirtschaftsdünger verbundene Methanbildung wird für die Emissionsberechnung (siehe Kapitel 5.3.2.2.1) durch die tierspezifische maximale Methan-Bildungsrate B_0 und den lagerspezifischen Methan-Umwandlungsfaktor MCF charakterisiert. Zum MCF siehe Kapitel 5.1.3.6.4.

Tabelle 246 zeigt die verwendeten B_0 -Werte und die Datenherkunft. Bei Rindern und Schweinen handelt es sich um nationale Daten. Für die übrigen Tiere außer Junghennen und Gänsen wurden IPCC-Default-Werte verwendet. Für Junghennen und Gänse existieren keine IPCC-Default-Werte. Für Junghennen wurde konservativ der (IPCC (2006): Vol. 4)-Default-Wert der Legehennen angenommen. Für B_0 bei Gänsen wird nach Kap. 8.6.4 in Rösemann et al. (2021) ein Wert von $0,36 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ angesetzt. Das mittlere B_0 für Geflügel ist wegen variierender Populationsanteile der verschiedenen Geflügelkategorien keine Konstante, wie Tabelle 247 zeigt.

Tabelle 246: Maximale Methan-Bildungskapazität B_0 (3.B(b))

[m ³ kg ⁻¹]	B_0	Quelle
Rinder	0,23	(Dämmgen et al., 2012a)
Schweine	0,30	(Dämmgen et al., 2012a)
Schafe	0,19	(IPCC, 2006): Vol. 4, 10.82
Ziegen	0,18	(IPCC, 2006): Vol. 4, 10.82
Pferde	0,30	(IPCC, 2006): Vol. 4, 10.82
Legehennen	0,39	(IPCC, 2006): Vol. 4, 10.82
Masthähnchen	0,36	(IPCC, 2006): Vol. 4, 10.82
Enten	0,36	(IPCC, 2006): Vol. 4, 10.82
Puten	0,36	(IPCC, 2006): Vol. 4, 10.82
Junghennen	0,39	Annahme (siehe Text)
Gänse	0,36	Kap. 8.6.4 in Rösemann et al. (2021)

Tabelle 247: Maximale Methan-Bildungskapazität B_0 für Geflügel (3.B(b))

[m ³ kg ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Geflügel	0,380	0,377	0,375	0,372	0,370	0,370	0,371	0,371	0,371	0,371	0,372	0,372	0,372	0,372

5.1.3.6.4 Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (3.B)

In CRF 3.B(a) sind unter „Additional Information“ die MCF -Werte der nationalen Wirtschaftsdünger-Managementkategorien zu berichten. In Deutschland sind dies „güllebasiert ohne Vergärung“, „strohbasierend ohne Vergärung“ (Festmistlager), „Tiefstreu ohne Vergärung“, „Vergärung“ und „Weide“. Es handelt sich dabei um gewichtete Mittelwerte über alle Tierkategorien, die auf den nachfolgend beschriebenen MCF -Werten beruhen. Dabei umfasst die Kategorie „güllebasiert ohne Vergärung“ alle güllebasiert gehaltenen Tiere, deren Wirtschaftsdünger nicht vergoren wird. Entsprechendes gilt für die Kategorien „strohbasierend

ohne Vergärung (Festmistlager)“ und „Tiefstreu ohne Vergärung“. Die Kategorie „Vergärung“ fasst alle Tiere zusammen, deren Wirtschaftsdünger vergoren wird.

In Tabelle 248 sind die MCF-Werte für Rinder nach den in Deutschland gebräuchlichen Lagerungsverfahren dargestellt. Die von Dämmgen et al. (2012a) vorgeschlagenen nationalen Werte sind fettgedruckt. Mangels IPCC-Defaultwerten oder nationalen Werten wurde für „Flüssigmist mit fester Abdeckung“ (incl. Zeltstrukturen), „Flüssigmist mit Schwimmdecke aus Strohhäckseln“ und „Flüssigmist mit schwimmender Abdeckfolie“ konservativ der MCF von „Flüssigmist ohne Schwimmdecke“ übernommen. Die Werte für Tiefstreu und Weide wurden aus (IPCC (2006): Vol. 4, 10.44ff) übernommen.

Tabelle 248: Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_0) für Rinder (3.B(a))

	MCF [%]	
Flüssigmist	Außenlager ohne Abdeckung, ohne Schwimmdecke	17
	feste Abdeckung	17
	natürliche Schwimmdecke	10
	Schwimmdecke aus Strohhäckseln	17
	schwimmende Abdeckfolie	17
	Lager unter Spaltenboden > 1 Monat	17
Festmist	Tiefstreu	17
	Festmistlager	2
Weide	1	

Tabelle 249 zeigt die Methan-Umwandlungsfaktoren MCF für die Wirtschaftsdüngerlagerung in der Schweinehaltung. Wie bei den Rindern handelt es sich um nationale Werte (Dämmgen et al., 2012a), Defaultwerte aus (IPCC (2006): Vol. 4, 10.44ff) sowie konservative Annahmen in Fällen, in denen kein MCF bekannt ist. Da bei den Rindern der MCF für „Tiefstreu“ gleich dem für Flüssigmist ohne Schwimmdecke ist, wurde dies auch für die Schweine angenommen. Freilandhaltung von Schweinen („Weide“) ist in Deutschland von sehr geringer Bedeutung und wird daher im Inventar nicht berücksichtigt (not occurring, NO).

Tabelle 249: Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_0) für Schweine (3.B(a))

	MCF [%]	
Flüssigmist	Außenlager ohne Abdeckung, ohne Schwimmdecke	25
	feste Abdeckung	25
	natürliche Schwimmdecke	15
	Schwimmdecke aus Strohhäckseln	25
	schwimmende Abdeckfolie	25
	Lager unter Spaltenboden > 1 Monat	25
Festmist	Tiefstreu	25
	Festmistlager	3

Die mittleren Methan-Umwandlungsfaktoren für güllebasierte Systeme ohne Vergärung bei Milchkühen, übrigen Rindern und Schweinen sind von der Häufigkeit der verschiedenen Haltungsverfahren abhängig und damit nicht konstant, wie Tabelle 250 zeigt.

Tabelle 250: Mittlere Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_0) für güllebasierte Systeme ohne Vergärung (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	14,3	14,0	14,0	14,4	15,1	15,2	15,2	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
übrige Rinder	14,6	14,4	14,6	14,9	15,3	15,3	15,3	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
Schweine	24,7	23,7	23,6	22,8	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2

Für die Wirtschaftsdüngerlagerung der übrigen Tiere (Ziegen, Schafe, Pferde und Geflügel) werden Defaultwerte aus IPCC (2006):Vol. 4, 10.44ff) verwendet (siehe Tabelle 251).

Tabelle 251: Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_0) für Ziegen, Schafe, Pferde und Geflügel (3.B(a))

MCF [%] ^a	
Festmistlager	2
Geflügelmist	1,5
Weide	1

Bei Systemen, deren Wirtschaftsdünger vergoren wird, ergibt sich unter Berücksichtigung von Teilbeiträgen von Vorlager, Fermenter und Gärrestlager ein variabler MCF, siehe Kapitel 5.1.3.6.5.

5.1.3.6.5 Wirtschaftsdünger-Vergärung und Gärreste-Management (3.B)

Nach IPCC (2006): Vol. 4, Tab. 10.17, gilt die anaerobe Vergärung von Wirtschaftsdünger und die Lagerung der daraus resultierenden Gärreste insgesamt als eigenständiger Lager-Typ. Dieser wird der deutschen Situation entsprechend für Rinder, Schweine und Geflügel berücksichtigt. (Haenel and Wulf (2016); Kap. 3.3.4.4 und 3.4.4 in Rösemann et al. (2021)). Die Zeitreihen der Aktivitätsdaten wurden durch KTBL (2020b) insbesondere auf Grundlage von Daten des DBFZ bereitgestellt, aber auch unter Verwendung der für das Inventar berechneten tierischen N-Ausscheidungen.

Gleichung 6 beschreibt am Beispiel von Gülle das von KTBL (2020b) verwendete Konzept zur Ermittlung der relativen Anteile des in die Vergärung gehenden Wirtschaftsdüngers. Gleichung 6 wird analog auch für Mist (einschließlich N aus Einstreu) angewendet. Die Aggregation zu „Wirtschaftsdünger insgesamt“ erfolgt mithilfe von Tierzahl und tierspezifischer Produktion von Wirtschaftsdünger.

Gleichung 6: Konzept zur Berechnung der prozentualen Anteile vergorenen Wirtschaftsdüngers an der Gesamtproduktion an Wirtschaftsdünger

$$pct_{SL, dig, i}(y) = 100 \cdot \frac{SL_{dig, i}(y)}{SL_{total, i}(y)} = 100 \cdot \frac{W_{el, dig}(y) \cdot s_i}{SL_{total, i}(y)}$$

mit

$pct_{SL, dig, i}$	Anteil vergorener Gülle an der Gesamtgülleproduktion der Tierkategorie i (in %)
i	Index der Tierkategorie
y	Jahr (1990, 1991, ...)
$SL_{dig, i}$	Stickstoffmenge in vergorener Gülle der Tierkategorie i (in kg a ⁻¹)
$SL_{total, i}$	Gesamtgülleproduktion (Stickstoffmenge) der Tierkategorie i (in kg a ⁻¹)
$W_{el, dig}$	jährliche elektrische Arbeit deutscher Biogasanlagen (in GWh _{el} a ⁻¹)
s_i	arbeitsspezifischer Substratinput (Stickstoffmenge) der Tierkategorie i (in kg GWh _{el} ⁻¹)

KTBL (2020b) leitete die jährliche elektrische Arbeit $W_{el, dig}$ differenziert nach Bundesländern und Anlagen-Leistungsklassen aus Daten des Biogasanlagenregisters ab. Dabei werden über eine äquivalente elektrische Arbeit auch die Biogasanlagen berücksichtigt, die keinen Strom erzeugen, sondern Biomethan in das Gasnetz einspeisen. Der arbeitsspezifische Substratinput s_i wurde anhand der Daten von 1664 Biogasanlagen getrennt für Rindergülle, Rindermist, Schweinegülle und Geflügelmist berechnet. Die Stickstoffmengen $SL_{total, i}$ wurden aus den Tierzahlen und der tierspezifischen Gülle- und Mistproduktion (einschließlich Einstreu) abgeleitet. Die Zeitreihen wurden gegenüber Submission 2020 aktualisiert.

Tabelle 252 zeigt die sich daraus ergebenden aktualisierten Anteile der Vergärung von Rindergülle, Rindermist, Schweinegülle und Geflügelmist sowie des gesamten Wirtschaftsdüngers aus der Tierhaltung in Prozent der ins Lager gehenden N-Mengen. Für Schweinemist wird keine Vergärung berücksichtigt, da wegen des geringen Aufkommens die Datenlage unsicher ist. Die Abweichungen gegenüber Tabelle 262 im NIR 2020 sind im Wesentlichen eine Folge der Änderungen der mit dem Inventar berechneten N-Ausscheidungen.

Tabelle 252: Relative Anteile des in die Vergärung gehenden Wirtschaftsdüngers (in % der ins Lager gehenden N-Mengen) für die Tierkategorien mit Wirtschaftsdüngervergärung sowie im gewichteten Mittel für die gesamte Nutztierhaltung

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
insgesamt	0,003	0,048	0,42	2,9	11,8	14,3	15,3	17,0	17,5	17,9	17,7	17,8	17,6	17,7
Rindergülle	0,005	0,066	0,60	4,1	18,2	22,4	24,1	26,8	27,8	28,3	28,2	28,8	28,2	28,3
Rindermist	0,001	0,015	0,13	0,9	3,2	4,0	4,4	4,7	4,9	5,0	5,1	5,2	5,1	5,1
Schweinegülle	0,003	0,048	0,38	2,7	10,3	12,2	13,0	14,8	15,2	16,2	16,1	16,1	16,0	16,2
Geflügelmist	0,004	0,056	0,43	3,2	9,8	10,9	11,3	12,8	13,0	13,5	13,4	13,1	12,4	12,4

Die Daten aus Tabelle 252 werden auch dafür verwendet, den Anteil der dem Lager zugeführten VS-Mengen zu berechnen, der in die Vergärung geht.

Die Berechnung des Gesamt-MCF für die Vergärung von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen einschließlich Substrat-Vorlager und Gärrestelagerung erfolgt nach einer nationalen Methodik, siehe Gleichung 7. Zur Ableitung dieser Gleichung siehe Kap. 3.3.4.4.1 in Rösemann et al. (2021).

Gleichung 7: Berechnung des Gesamt- MCF für die Vergärung von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen einschließlich Vorlagerung des Substrats und Lagerung der Gärreste

$$MCF\% = MCF\%_{ps} + (100\% - MCF\%_{ps}) \cdot \left((1 - \mu_{rg}) \cdot L_{dig} + \mu_{rg} \cdot \frac{MCF\%_{residues}}{100\%} \right)$$

mit

$MCF\%$	Gesamt-MCF für das System "Vorlager + Fermenter + Gärrestelager" (in %)
$MCF\%_{ps}$	MCF für das Vorlager (in %)
μ_{rg}	Restgaspotential bezogen auf B_0 (with $0 \leq \mu_{rg} \leq 1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$)
L_{dig}	relative Leckagerate des Fermenters, bezogen auf die im Fermenter produzierte CH_4 -Menge (mit $0 \leq L_{dig} \leq 1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$)
$MCF\%_{residues}$	MCF für das Gärrestelager (in %)

Tabelle 253 zeigt die Methan-Umwandlungsfaktoren $MCF\%_{ps}$ für das Vorlager. Zur Ableitung siehe Kap. 3.4.4.2.2 in Rösemann et al. (2021).

Tabelle 253: Methan-Umwandlungsfaktoren für das Vorlager (in Prozent von B_0)

$MCF\%_{ps}$ [%]		
	Rindergülle	1,7
	Rindermist	0,2
	Schweinegülle	2,5
	Geflügelkot	0,15

Basierend auf KTBL (2020b) wurde die auf B_0 bezogene potentielle CH_4 -Restgasmenge μ_{rg} mit 4,6 % (bzw. $0,046 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) angesetzt, siehe Kap. 3.4.4.2.2 in Rösemann et al. (2021).

Die Leckagerate des Fermenters L_{dig} wird in Anlehnung an Bachmaier and Gronauer (2007), Börjesson and Berglund (2007), Gärtner et al. (2008) und Roth et al. (2011) mit 1 % bzw.

0,01 m³ m⁻³ angesetzt (KTBL, 2020b). Das Umweltbundesamt geht in einer Studie von 2016 ebenfalls von einer Leckagerate von 1 % aus Fehrenbach et al. (2016).

Auch beim gasdichten Gärrestelager wird eine Leckagerate unterstellt; es wird angenommen, dass sie der Leckagerate des Fermenters entspricht. Unter Berücksichtigung des relativen Anteils der gasdichten Lager an der gesamten Gärrestelagerung, ergibt sich Gleichung 8.

Gleichung 8: Berechnung des MCF für das Gärrestelager

$$MCF\%_{\text{residues}} = x_{\text{gts}} \cdot (100 \cdot L_{\text{sto,gt}}) + (1 - x_{\text{gts}}) \cdot MCF\%_{\text{ngts}}$$

mit

$MCF\%_{\text{residues}}$	MCF für das Gärrestelager (in %)
x_{gts}	relativer Anteil der gasdichten Gärrestelagerung (in kg kg ⁻¹)
$L_{\text{sto,gt}}$	relative Leckagerate bei der gasdichten Gärrestelagerung ($L_{\text{sto,gt}} = L_{\text{dig}}$)
$MCF\%_{\text{ngts}}$	MCF für das nicht gasdichte Gärrestelager (in %)

Gärreste sind im Allgemeinen flüssig. Dabei wird angenommen, dass sich bei der nicht gasdichten Gärrestelagerung aufgrund der Ko-Fermentierung von Energiepflanzen und des damit erhöhten Trockensubstanzgehaltes der Gärreste eine natürliche Schwimmdecke bildet. Die Lagerung ähnelt dabei der offenen Lagerung von unvergorener Rindergülle mit Schwimmdecke. Daher wird für $MCF\%_{\text{ngts}}$ der entsprechende MCF für unvergorene Rindergülle verwendet: 10 % (siehe Kapitel 5.1.3.6.4).

Tabelle 254 zeigt den Anteil gasdichter Lagerung von Wirtschaftsdünger-Gärresten der gesamten Wirtschaftsdünger-Gärrestelagerung in Prozent des eingesetzten N. Diese Daten wurden durch KTBL (2020b) aus den Gärsubstratinputmengen nach Ländern und Anlagenleistungsklassen und dem Anteil der Biogasanlagen mit gasdicht abgedeckten Gärrestlagern nach Leistungsklassen in Deutschland abgeleitet. Der starke Anstieg in der Verbreitung der gasdichten Gärrestelagerung von 2011 zu 2012 wird auf das Energieeinspeisegesetz 2012 zurückgeführt, das für alle Gärrestlager, die ab 1. Januar 2012 in Betrieb genommen wurden, eine gasdichte Abdeckung vorschreibt. Die Prozentwerte für die gasdichte Abdeckung im Jahr 2018 wurden gegenüber Submission 2020 aktualisiert; dadurch ergibt sich eine um rund 0,3 Prozentpunkte höhere Verbreitung der gasdichten Abdeckung. Für 2019 wurden mangels Daten die Werte von 2018 beibehalten.

Tabelle 254: Anteile der Lagerung von Wirtschaftsdünger-Gärresten in gasdichten und nicht gasdichten Lagern (in Prozent der in Biogasanlagen eingesetzten N-Mengen)

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
gasdicht	0,0	4,5	9,1	15,2	40,6	45,6	57,0	59,1	60,9	61,6	61,9	61,8	62,2	62,2
nicht gasdicht	100,0	95,5	90,9	84,8	59,4	54,4	43,0	40,9	39,1	38,4	38,1	38,2	37,8	37,8

Die sich aus Gleichung 7 ergebenden Gesamt-MCF-Werte der Systeme "Vorlager + Fermenter + Gärrestelager" bei Milchkühen, übrigen Rindern, Schweinen und Geflügel sind in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben.

Tabelle 255: Mittlere Methan-Umwandlungsfaktoren MCF (in Prozent von B_0) für Wirtschaftsdüngersysteme mit Vergärung (3.B(a))

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	2,99	3,01	3,00	2,97	2,87	2,85	2,80	2,80	2,79	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78
übrige Rinder	2,98	2,90	2,85	2,80	2,68	2,66	2,61	2,60	2,59	2,58	2,58	2,58	2,58	2,57
Schweine	3,88	3,86	3,84	3,82	3,71	3,69	3,65	3,64	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63	3,63
Geflügel	1,56	1,54	1,53	1,50	1,40	1,38	1,33	1,33	1,32	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31

Die mit der Vergärung verbundene Minderung der CH₄-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management hängt vom Anteil des Wirtschaftsdüngers, der vergoren wird, und von der relativen Häufigkeit gasdichter Gärrestelager ab. Die sich in Deutschland ergebenden Minderungen sind in Kapitel 5.3.2.2.3, wiedergegeben.

Tabelle 256 zeigt, welche N₂O-Emissionen für die verschiedenen Teilsysteme und Wirtschaftsdünger im Inventar berücksichtigt werden. Zu Details siehe Kap. 3.3.4.4.2 in Rösemann et al. (2021).

N₂O-, und NO-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden als Folge der Ausbringung der Gärreste werden in Kapitel 5.5 beschrieben.

Tabelle 256: Berechnung der N₂O-Emissionen aus der Vergärung

	Gülle	Mist/Geflügelkot
Vorlager	0	Gleichung 9
Fermenter	0	0
Gärrestelager	gasdicht	0
	nicht gasdicht	Gleichung 10

Gleichung 9: Berechnung der N₂O-Emissionen aus dem Vorlager für Mist und Geflügelkot

$$E_{N_{2}O-N, \text{dig, ps}} = (N_{\text{excr, dig}} + N_{\text{straw, dig}}) \cdot EF_{N_{2}O-N, \text{dig, ps}}$$

mit

$E_{N_{2}O-N, \text{dig, ps}}$	N-Verlust durch N ₂ O-Emissionen aus dem Vorlager von Mist oder Geflügelkot (in kg N ₂ O-N a ⁻¹)
$N_{\text{excr, dig}}$	Anteil der jährlichen N-Ausscheidung im Stall, der in die Vergärung geht (in kg a ⁻¹)
$N_{\text{straw, dig}}$	Anteil des jährlichen N-Eintrags durch Einstreu, der in die Vergärung geht (in kg a ⁻¹)
$EF_{N_{2}O-N, \text{dig, ps}}$	N ₂ O-N-Emissionsfaktor für die Vorlagerung von Mist oder Geflügelkot (in kg N ₂ O-N pro kg N)

Gleichung 10: Berechnung der N₂O-Emissionen aus dem nicht gasdichten Gärrestelager

$$E_{N_{2}O-N, \text{dig, ngts}} = (1 - x_{\text{gts}}) \cdot N_{\text{tot, dig, ferm}} \cdot EF_{N_{2}O-N, \text{dig, ngts}}$$

mit

$E_{N_{2}O-N, \text{dig, ngts}}$	N-Verlust durch N ₂ O-Emissionen aus dem nicht gasdichten Gärrestelager (in kg N ₂ O-N a ⁻¹)
x_{gts}	relativer Anteil der gasdichten Gärrestelagerung (in kg kg ⁻¹)
$N_{\text{tot, dig, ferm}}$	Gesamte Gärreste-N-Menge beim Verlassen des Fermenters (in kg a ⁻¹)
$EF_{N_{2}O-N, \text{dig, ngts}}$	N ₂ O-N-Emissionsfaktor für das nicht gasdichte Gärrestelager (in kg N ₂ O-N pro kg N)

Die im Inventar verwendeten N₂O-Emissionsfaktoren gehen aus Tabelle 257 hervor. Zu ihrer Ableitung wird auf Kap. 3.4.4.2.3 in Rösemann et al. (2021) verwiesen.

Tabelle 257: N₂O-N-Emissionsfaktoren für Vorlager und Gärrestelager

	[kg kg ⁻¹]	Mist	Geflügelkot
Vorlager	$EF_{N_{2}O-N, \text{dig, ps}}$	0,001	0,0001
Gärrestelager, nicht gasdicht	$EF_{N_{2}O-N, \text{dig, ngts}}$	0,005	0,005

Die N-Menge in den Gärresten zu Beginn der Lagerung ($N_{\text{tot, dig, ferm}}$) berechnet sich unter Berücksichtigung der N-Verluste aus dem Vorlager. Für den Fermenter wird davon ausgegangen, dass keine N-Verluste auftreten.

Die im Zusammenhang mit der Wirtschaftsdünger-Vergärung entstehenden NO-Emissionen werden analog zu den N₂O-Emissionen berechnet. Wie im deutschen Inventar im Bereich Wirtschaftsdünger-Management üblich (siehe Kap. 3.3.4.3.5 in Rösemann et al. (2021) Gleichung (3.57)) wird angenommen, dass der NO-N-Emissionsfaktor ein Zehntel des N₂O-N-Emissionsfaktors beträgt.

Für die Berechnung der indirekten N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden infolge der Deposition reaktiven Stickstoffs (siehe Kapitel 5.5.2.1.2) ist auch die Berechnung der NH₃-Emissionen erforderlich, die im Zusammenhang mit der Wirtschaftsdünger-Vergärung entstehen. Für die Vorlagerung von Mist und Geflügelkot, das nicht gasdichte Gärrestelager und die Ausbringung der Gärreste werden NH₃-Emissionen berechnet. Dagegen wird für die Vorlagerung von Gülle, den Fermenter sowie die gasdichte Lagerung der Gärreste davon ausgegangen, dass keine NH₃-Emissionen entstehen oder dass sie vernachlässigbar sind. Zu Details der umfangreichen NH₃-Berechnungsmethodik wird auf Kap. 3.3.4.4.3 und 3.4.4.2.4 in Rösemann et al. (2021) verwiesen.

5.1.4 Vergärung von Energiepflanzen: Konzept und Aktivitätsdaten

5.1.4.1 Konzept und Berücksichtigung in den CRF-Tabellen

Das Inventar berücksichtigt die in Deutschland mengenmäßig relevanten sechs Energiepflanzen-Kategorien Maissilage, Grassilage, Ganzpflanzensilage, Weizenkorn, Roggenkorn und Corn-Cob-Mix (CCM). Sie unterscheiden sich nur wenig in ihren wesentlichen Eigenschaften (N- und VS-Gehalt der Trockenmasse, maximales Methanausbeute-Potenzial B_0 , siehe KTBL (2020b)). Dies erlaubt die Behandlung der Gesamttrockenmasse aller berücksichtigten Energiepflanzen als eine einzige Energiepflanzenkategorie. Die Emissionsberechnung erfolgt analog zur Vergärung von Mist (siehe Kapitel 5.1.3.6.5), allerdings ohne Vorlager.

Trotz der in der Praxis als Regelfall vorkommenden gemeinsamen Vergärung von Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen werden die Emissionen, die im Zusammenhang mit der Vergärung dieser beiden Substratkategorien stehen, getrennt berechnet, um den Beitrag der Energiepflanzenvergärung zur Treibhausgasbilanz besser sichtbar werden zu lassen.

Zu weiteren Details der Emissionsberechnung im Zusammenhang mit der Vergärung von Energiepflanzen siehe Kap. 3.3.5, 3.4.4.1 und insbesondere Kap. 10 in Rösemann et al. (2021).

Berichtet werden folgende Emissionen, die sich als direkte oder indirekte Folge aus der Vergärung von Energiepflanzen sowie der Gärrestelagerung und -ausbringung ergeben:

Fermenter (in 3.J)

- CH₄ (durch Leckage)

Lagerung(in 3.J)

- CH₄ (durch Leckage)
- direktes N₂O
- indirektes N₂O als Folge der Deposition von NH₃ und NO aus der Lagerung
- NO

Ausbringung(in 3.D)

- direktes N₂O
- indirektes N₂O als Folge der Deposition von NH₃ und NO aus der Ausbringung
- indirektes N₂O durch Auswaschung/Oberflächenabfluss des mit den Gärresten ausgebrachten Stickstoffs

- NO

Die Emissionen aus Fermenter und Gärrestelager (CH_4 , N_2O , indirektes N_2O aus der Deposition von NH_3 und NO aus der Lagerung) werden in Kapitel 5.9 beschrieben und unter 3.J in CRF-Tabelle 3s2 berichtet. Die direkten und indirekten N_2O -Emissionen als Folge der Gärreste-Ausbringung werden in Kapitel 5.5 beschrieben und unter 3.D berichtet (CRF 3.D: a.2.c, b.1 und b.2). Die als Folge der Gärreste-Ausbringung entstehenden NO -Emissionen werden als NO_x -Emissionen ebenfalls unter 3.D berichtet.

5.1.4.2 Aktivitätsdaten und Parameter

Als Aktivitätsdaten für die Berechnung der Emissionen werden die der Vergärung zugeführten Trockenmasse-Gesamt mengen der Energiepflanzen verwendet, siehe Tabelle 258. Die zugrunde liegenden Substratmengen wurden im Zusammenhang mit der Wirtschaftsdünger-Vergärung abgeleitet und bereitgestellt (siehe Kapitel 5.1.3.6.5). Die Daten für 2018 wurden gegenüber dem NIR 2020 durch KTBL (2020b) aktualisiert. Dabei ergab sich eine leichte Absenkung. Mangels Daten für 2019 wurden die Werte von 2018 beibehalten.

Tabelle 258: Gesamte Trockenmasse der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	3,4	43,9	380,8	3.216	11.619	14.492	15.870	19.194	20.089	20.865	20.750	20.410	20.111	20.111

Aus den B_o -Werten der sechs Energiepflanzen-Kategorien (siehe Kapitel 5.1.4.1) wurde unter Berücksichtigung des IPCC-Defaultwertes für die Dichte von Methan ($0,67 \text{ kg m}^{-3}$) ein gewichtet gemittelter B_o -Wert von $0,36 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ abgeleitet. Als gewichtete Mittelwerte der VS- und N-Gehalte ergaben sich (bezogen auf die Trockenmasse): VS-Gehalt $0,947 \text{ kg kg}^{-1}$, N-Gehalt $0,0148 \text{ kg kg}^{-1}$.

Aus der Multiplikation der Trockenmasse mit dem mittleren VS-Gehalt ergibt sich die für die Berechnung der CH_4 -Emissionen benötigte VS-Menge, siehe Tabelle 259.

Tabelle 259: Gesamte VS-Menge der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	3,2	41,6	360,6	3.045	11.003	13.724	15.029	18.176	19.025	19.759	19.650	19.329	19.045	19.045

Mithilfe des mittleren N-Gehaltes erhält man die für die Berechnung von N-Emissionen benötigten N-Mengen, siehe Tabelle 260.

Tabelle 260: Gesamte N-Menge der in Biogasanlagen eingesetzten Energiepflanzen

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	0,05	0,65	5,6	47,6	172,0	214,5	234,9	284,1	297,3	308,8	307,1	302,1	297,6	297,6

Die Leckageraten für Fermenter und gasdichtes Gärrestelager werden nach KTBL (2020b) wie bei der Vergärung von Wirtschaftsdünger angesetzt (siehe Kapitel 5.1.3.6.5).

Tabelle 261 zeigt den Anteil der gasdichten Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten in Prozent der eingesetzten Frischmasse (KTBL, 2020b). Gegenüber Submission 2020 wurden die Daten für 2018 aktualisiert. Da für 2019 keine Daten für die Häufigkeit einer gasdichten Abdeckung verfügbar waren, wurde der Wert von 2018 beibehalten. Der starke Anstieg in der Verbreitung der gasdichten Gärrestlagerung von 2011 zu 2012 wird auf das Energieeinspeisegesetz 2012 zurückgeführt, das für alle Gärrestlager, die ab 1. Januar 2012 in Betrieb genommen wurden, eine gasdichte Abdeckung vorschreibt. Die Daten unterscheiden sich etwas von denen bei der Lagerung von Wirtschaftsdünger-Gärresten (siehe Tabelle 254). Dies ist darauf zurück zu führen, dass der Gesamtanteil von Energiepflanzen am Substratmix von Wirtschaftsdünger und

Energiepflanzen mit der Anlagengröße zunimmt, was auch für den Abdeckungsgrad der Gärrestelager gilt.

Tabelle 261: Anteil der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten in gasdichten und nicht gasdichten Lagern (in Prozent der zur Vergärung eingesetzten Frischmasse)

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
gasdicht	0.0	4.7	9.4	15.8	42.2	47.5	59.4	61.9	63.9	64.6	64.8	64.5	64.8	64.8
nicht gasdicht	100.0	95.3	90.6	84.2	57.8	52.5	40.6	38.1	36.1	35.4	35.2	35.5	35.2	35.2

Die Ausbringung erfolgt mit verschiedenen Techniken und unterschiedlichen Einarbeitungszeiten auf Ackerland und Grünland, verbunden mit unterschiedlichen NH₃-Emissionsfaktoren. Für die Berechnung der direkten N₂O-Emissionen aus der Gärrestausrückführung ist lediglich die zur Ausbringung kommende N-Menge relevant; die indirekten N₂O-Emissionen aus der ausbringungsbedingten Deposition reaktiven Stickstoffs hängen dagegen von der Gesamt-NH₃-Emission aus der Gärrestausrückführung und damit von den relativen Häufigkeiten der Ausbringungstechniken und Einarbeitungszeiten ab. Diese relativen Häufigkeiten stammen aus Erhebungen des Statistischen Bundesamtes im Jahr 2011 (für das Jahr 2010) und 2016 (für das Jahr 2015), siehe Kapitel 19.3.2, Tabelle 584.

5.1.5 Aktivitätsdaten für Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und Kulturen

5.1.5.1 N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden (3.D)

5.1.5.1.1 Den direkten N₂O-Emissionen zugrunde liegende N-Mengen (3.D)

Tabelle 263 gibt die aus verschiedenen Quellen stammenden N-Mengen an, die der Berechnung der direkten N₂O-Emissionen nach (IPCC (2006): Vol. 4, 11.7) (siehe Kapitel 5.5.2.1.1) zugrunde gelegt werden.

Da keine Daten zur Minereraldüngerausbringung erhoben werden, setzt das Inventar die N-Mengen der Mineraldüngerausbringung den offiziell erfassten N-Mengen des Mineraldüngerverkaufs gleich. Diese Erfassung erfolgt um ein halbes Jahr versetzt gegenüber dem Kalenderjahr. Für das Inventar wird zunächst die gesamte im zweiten Halbjahr des Jahres j-1 und im ersten Halbjahr des Jahres j verkaufte Mineraldüngermenge dem Jahr j zugeordnet. Um im Inventar bislang nicht berücksichtigte Lagereffekte zu approximieren, erfolgt danach ab der vorliegenden Submission 2021 eine jahresübergreifende Mittelung der Mineraldüngerdaten (gleitendes zentriertes Dreijahresmittel für 1990 bis 2018; für 2019 Mittel aus 2018 und 2019). Dieses Vorgehen folgt dem Beispiel von Österreich (Mittelung über zwei Jahre) und Frankreich (Mittelung über drei Jahre).

Die N-Menge im gesamten ausgebrachten Wirtschaftsdünger wird mit Hilfe des N-Fluss-Konzepts (siehe Kapitel 3.3.4.3.1 in Rösemann et al. (2021)) berechnet: Wie Tabelle 262 zeigt, entspricht die mit Wirtschaftsdünger und Wirtschaftsdünger-Gärresten ausgebrachte N-Menge der Summe aus tierischen N Ausscheidungen im Stall und den in Festmistsystemen durch Einstreu eingebrachten N-Menge abzüglich der Verluste durch N-Emissionen aus Stall und Lager (Wirtschaftsdünger: Kapitel 5.1.2.4; Gärreste aus Wirtschaftsdünger-Vergärung: Kapitel 5.1.3.6.5). Änderungen gegenüber dem NIR 2020 sind eine Folge der Aktualisierung von Eingangsdaten, siehe Kapitel 5.1.3.2.3, 5.1.3.3 und 5.1.3.6.5.

Tabelle 262: Berechnung der N-Mengen im gesamten ausgebrachten Wirtschaftsdünger (einschließlich Wirtschaftsdünger-Gärreste) (3.D)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
N-Ausscheidungen ^a	1320,8	1153,4	1141,0	1115,9	1120,9	1128,7	1148,9	1162,4	1176,9	1171,0	1164,6	1161,2	1145,0	1135,9
+ Einstreu-N ^b	52,6	40,5	38,4	37,1	37,5	36,8	36,8	37,2	37,3	36,9	36,3	35,8	34,9	34,2
- (NH ₃ -N + NO-N) ^c	-250,3	-211,4	-212,0	-212,4	-208,7	-208,9	-212,3	-213,3	-214,6	-211,6	-209,4	-208,7	-204,0	-200,8
- N ₂ O-N ^d	-5,2	-4,7	-4,6	-4,7	-4,7	-4,6	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5	-4,4	-4,4	-4,3	-4,3
- N ₂ ^e	-15,7	-14,2	-13,9	-14,0	-14,0	-13,7	-13,5	-13,5	-13,5	-13,4	-13,3	-13,2	-12,9	-12,8
Ergebnis	1102,2	963,6	948,8	922,0	931,1	938,3	955,4	968,4	981,5	978,4	973,8	970,7	958,7	952,2

^a Gesamt-N-Ausscheidungen nach Abzug der Ausscheidungen beim Weidegang, siehe Tabelle 237 im vorliegenden NIR (entspricht der Summe der Zeile 38 in CRF Table 3.B(b))

^b siehe Tabelle 245 im vorliegenden NIR

^c siehe Zelle O37 in CRF Table 3.B(b)

^d siehe Tabelle 305 im vorliegenden NIR (entspricht Zelle T40 in CRF Table 3.B(b), multipliziert mit Molgewichtsverhältnis 28/44)

^e N₂-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Mangement werden als das Dreifache der N₂O-N-Emissionen berechnet (siehe Rösemann et al. (2021), Kapitel 3.3.4.3.5, Gleichung (3.58))

Die N-Menge, die mit Energiepflanzen-Gärresten ausgebracht wird, ergibt sich aus der N-Menge in den zur Vergärung eingesetzten Energiepflanzen abzüglich der N-Verluste durch Emissionen aus dem Gärrestelager.

Die N-Menge der Klärschlammasubstanz wird für jedes Bundesland aus Aufstellungen des Umweltbundesamtes (Fachgebiet III 3.3) bzw. seit 2009 des Statistischen Bundesamtes (Referat G 202) entnommen. Da für 2019 keine Daten verfügbar waren, wurde der Wert von 2018 beibehalten.

Die Berechnung direkter N₂O-Emissionen infolge von N-Ausscheidungen beim Weidegang erfolgt proportional zu der auf der Weide ausgeschiedenen N-Menge (siehe Kapitel 5.1.3.4).

Die durch Ernterückstände im Boden verbleibenden N-Mengen ergeben sich aus den Anbauflächen, den Erträgen und den kulturspezifischen N-Gehalten. Daten zu Anbauflächen und Frischmasseerträgen berichtet (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3a). Die Umrechnung in Trockenmasseerträge erfolgt mithilfe von Trockenmassegehalten aus der Düngeverordnung (DüV, 2017). Die Werte der in den Ernterückständen enthaltenen relativen N-Gehalte werden der Düngeverordnung (DüV, 2007, 2017) sowie einer Aufstellung des Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (Feller et al., 2011) entnommen. Die mit Stroh als Einstreu für die Tierhaltung von der Fläche entfernten N-Mengen werden abgezogen. Zu Eingangsdaten und Berechnungsmethodik siehe Kap. 11.7 in Rösemann et al. (2021)

Die Ermittlung der N-Mineralisierung in mineralischen Ackerböden ist im vorliegenden NIR in Kapitel 6 beschrieben (siehe Kapitel 6.1.2.7, 6.1.2.8 und 6.5.2.3.2).

Bei folgenden N-Mengen, die der Berechnung der direkten N₂O-Emissionen zugrunde liegen, ergaben sich Änderungen im Vergleich zur Submission 2020:

- **Mineraldünger:** Die weiter oben bereits erwähnte gleitende Mittelung der Mineraldüngerdaten führte zu einer Glättung des zeitlichen Verlaufs der N-Mengen einschließlich der Abschwächung relativer Extremwerte. Die Abweichung der Daten für 1990 gegenüber Submission 2020 geht auch auf die Einbeziehung der Daten von 1989 in das übergreifende Mittel zurück.
- **Wirtschaftsdünger incl. Wirtschaftsdünger-Gärreste:** Die N-Mengen sind in allen Jahren niedriger als im NIR 2020. Dies resultiert vor allem aus den berechneten niedrigeren N-Ausscheidungen der Milchkühe, Kälber und Färsen. Von geringerer Auswirkung sind die übrigen in den Kapiteln 5.1.3.2.3, 5.1.3.3, 5.1.3.6.1, 5.1.3.6.2, 5.1.3.6.5 genannten Aktualisierungen.

- **Energiepflanzen-Gärreste:** Für das Jahr 2018 wurde die Gesamtmasse der vergorenen Energiepflanzen gegenüber dem NIR 2020 aktualisiert, siehe Kapitel 5.1.4.2. Dabei ergab sich eine leichte Absenkung.
- **Klärschlämme:** Die im NIR 2020 für das Jahr 2018 extrapolierte Klärschlammmenge wurde durch Werte der offiziellen Statistik ersetzt.
- **Weidegang:** Die N-Mengen sind in allen Jahren niedriger als im NIR 2020. Dies resultiert vor allem aus den berechneten niedrigeren N-Ausscheidungen der Milchkühe und Färsen. Von geringerer Auswirkung sind die übrigen in den Kapiteln 5.1.3.2.3, 5.1.3.3, 5.1.3.6.1, 5.1.3.6.2, 5.1.3.6.5 genannten Aktualisierungen.
- **Ernterückstände:** In allen Jahren ist eine Absenkung der N-Menge zu verzeichnen. Der Hauptgrund hierfür ist der vergrößerte Abzug von Stroh wegen der Anhebung der Einstreumenge bei den männlichen Rindern älter als 2 Jahre (siehe Kapitel 5.1.3.6.2). Eine weitere Absenkung der N-Menge der Ernterückstände ergab sich für das Jahr 1999 aus einer Korrektur der Anbaufläche von Sommergetreide im Saarland. Eine Teilkompensation der N-Abnahme erfolgte im Jahr 2010 durch die Aktualisierung (Anhebung) des Zuckerrübenetrags für Schleswig-Holstein. Von untergeordneter Bedeutung ist die Aktualisierung von Anbauflächen ab 2010 bei den Stadtstaaten und 2018 für alle Bundesländer und Stadtstaaten.
- **N-Mineralisierung in Mineralböden:** Die vom LULUCF-Sektor berechneten und dem Sektor Landwirtschaft bereitgestellten N-Mengen wurden durch den LULUCF-Sektor aktualisiert. Die aktualisierten Werte sind in allen Zeitreihenjahren niedriger als in Submission 2020
- Bemerkenswert ist in der Zeitreihe der N-Mengen aus Ernterückständen der starke Anstieg von 2013 zu 2014 und der im Jahr 2015 zu beobachtende Rückgang auf das Niveau von 2013. Dies ist eine direkte Folge der sehr guten Ernte im Jahr 2014. Auffällig ist auch die signifikante Abnahme der N-Mengen bei Ernterückständen und Mineraldünger von 2017 zu 2018. Für erstere wird dies vor allem auf die erschwerten Anbaubedingungen und teilweise sehr geringen Erntemengen aufgrund der extrem heißen und trockenen Witterung im Jahr 2018 sowie die in einigen Regionen Deutschlands sehr nassen Bedingungen zur Saatzeit der Winterfrüchte Ende 2017 zurückgeführt. Das Jahr 2019 war ebenfalls ein heißes und regional trockenes Jahr; die durchschnittliche Ernte fiel aber besser aus als 2018. Die Mineraldünger-N-Menge nahm dagegen weiter ab. Für die Mineraldünger ist unsicher, wie stark jeweils die Wetterbedingungen und die rechtlichen Änderungen zum Rückgang beigetragen haben.

Tabelle 263: N-Mengen, die der Berechnung der direkten N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden zugrunde liegen (3.D)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Mineraldünger	2195,5	1723,0	1921,7	1796,7	1635,4	1665,3	1691,9	1654,8	1715,6	1736,2	1730,7	1622,0	1499,3	1419,5
Wirtschaftsdünger incl. W.- Gärreste	1102,2	963,6	948,8	922,0	931,1	938,3	955,4	968,4	981,5	978,4	973,8	970,7	958,7	952,2
Energiepflanzen- Gärreste	0,0	0,6	5,4	45,8	167,4	209,3	230,5	279,1	292,4	303,8	302,2	297,2	292,9	292,9
Klärschlämme	27,4	35,3	33,0	27,4	26,0	25,1	25,0	21,5	21,3	18,7	18,7	14,1	12,9	12,9
Weidegang	214,2	174,7	157,8	140,2	134,3	131,2	130,6	131,9	133,3	134,3	133,0	132,0	130,0	129,2
Ernterückstände	485,3	498,3	560,6	588,0	574,4	562,2	607,0	607,3	691,8	608,9	591,9	624,2	503,0	562,9
Mineralisierung	2,5	2,4	2,4	2,3	2,1	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8

5.1.5.1.2 Flächen bewirtschafteter organischer Böden (3.D)

Tabelle 264 zeigt die Flächen der bewirtschafteten organischen Böden, gegliedert nach Acker und Grünland im engeren Sinne. Die Daten wurden durch den LULUCF-Sektor bereitgestellt und entsprechen den im LULUCF-Sektor zugrunde gelegten Flächen (siehe Kapitel 6.1.2.2.2). Die

Gesamtfläche der bewirtschafteten organischen Böden liegt für alle Zeitreihenjahre um rund 5,7 % über den entsprechenden Werten des NIR 2020 (1990: 1314,5 ha statt 1244,2 ha; 2018: 1288,0 ha statt 1218,9 ha). Dies liegt neben einer veränderten Berechnungsmethode des LULUCF-Sektors ganz überwiegend daran, dass die aktualisierten Flächen von Grünland im engeren Sinne im Gegensatz zu Tabelle 274 in Submission 2020 alle Teilflächen unabhängig vom Grundwasserflurabstand umfassen. Der Umstand, dass bei sehr geringem Grundwasserflurabstand kein N₂O emittiert wird, kommt ab Submission 2021 in den effektiven Emissionsfaktoren (IEF) zum Ausdruck, siehe Kapitel 5.5.2.1.1.

Tabelle 264: Flächen der bewirtschafteten organischen Böden (3.D)

[1000 ha]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
insgesamt	1314,5	1316,3	1318,2	1316,7	1306,2	1304,3	1302,3	1300,4	1298,5	1296,6	1293,7	1290,9	1288,0	1285,1
Acker	335,7	329,0	322,4	333,7	335,8	339,0	342,3	345,5	348,8	352,0	347,7	343,3	339,0	334,7
Grünland	978,9	987,4	995,8	983,0	970,4	965,2	960,1	954,9	949,8	944,6	946,1	947,5	949,0	950,4

5.1.5.1.3 Deposition reaktiven Stickstoffs (3.B, 3.D, 3.J)

Die Deposition reaktiven Stickstoffs wird aus den im Inventar berechneten NH₃- und NO-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft abgeleitet. Dies erfolgt getrennt für die NH₃- und NO-Quellbereiche „Stall & Lager“ (3.B), „Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten“ (3.J) sowie „Ausbringung & Weide“ (3.D). „Ausbringung“ umfasst neben Wirtschaftsdünger und Wirtschaftsdünger-Gärresten auch die Ausbringung von Mineraldünger und Energiepflanzen-Gärresten.

Tabelle 265 zeigt für die Sektoren 3.B und 3.J die Mengen an reaktivem Stickstoff, die der Berechnung von indirektem N₂O aus der N-Deposition zugrunde liegen. Entsprechende Daten für den Sektor 3.D sind Tabelle 266 zu entnehmen. Unterschiede in beiden Tabellen gegenüber Submission 2020 sind eine Folge der weiter oben im Zusammenhang mit Tabelle 263 beschriebenen Aktualisierungen von Eingangsdaten.

Tabelle 265: Sektoren 3.B und 3.J: Mengen an reaktivem Stickstoff aus der Deposition von NH₃ und NO

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
3.B, Wirtschaftsdünger incl. W.- Gärreste	250,3	211,4	212,0	212,4	208,7	208,9	212,3	213,3	214,6	211,6	209,4	208,7	204,0	200,8
3.J, Energiepflanzen- Gärreste	0,0	0,0	0,1	1,0	2,6	2,9	2,5	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7

Tabelle 266: Sektor 3.D: Mengen an reaktivem Stickstoff aus der Deposition von NH₃ und NO

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
3.D, insgesamt	354,0	292,8	297,1	285,9	304,9	310,4	314,3	319,2	326,0	326,6	326,8	314,7	299,7	290,1
3.D, Wirtschaftsdünger, W.- Gärreste, Mineraldünger, Weide	354,0	292,6	296,0	277,0	272,2	269,4	271,4	269,5	275,9	276,5	277,0	265,5	251,2	241,6
3.D, Energiepflanzen- Gärreste	0,0	0,1	1,1	8,9	32,7	41,0	43,0	49,7	50,1	50,1	49,8	49,2	48,5	48,5

5.1.5.1.4 Auswaschung und Oberflächenabfluss (3.D)

Für die Berechnung der N₂O-Emissionen aus Auswaschung und Oberflächenabfluss wird im Einklang mit IPCC (2006): Vol. 4 die Summe des Stickstoffs in den ausgebrachten Mengen von Mineraldünger, Wirtschaftsdünger, Gärresten (incl. Energiepflanzen-Gärresten) und Klärschlämmen sowie die N-Mengen in Ernterückständen, durch Mineralisierung sowie durch Weidegang als Gesamtaktivitätswert verwendet. Zu Details siehe Kap. 12.2 in Rösemann et al. (2021).

Nur ein Teil der verfügbaren N-Menge wird ausgewaschen. Das Verhältnis zur verfügbaren N-Menge wird durch die Größe $Frac_{LEACH}$ beschrieben (siehe IPCC (2006): Vol. 4, 11.21). Deutschland verwendet für $Frac_{LEACH}$ den IPCC-Defaultwert 0,30 $kg\ kg^{-1}$ (IPCC (2006): Vol. 4, 11.24, Tabelle 11.3). Das Kriterium für die Anwendung dieses Defaultwertes ist die Überschreitung der Bodenwasserhaltekapazität, siehe (IPCC (2006): Vol. 4, 11.24, Tabelle 11.3). Von einer solchen Überschreitung ist grundsätzlich im Jahresmittel für ganz Deutschland auszugehen, da überall in Deutschland Grundwasserneubildung stattfindet (Neumann & Wycisk, 2002). Eine differenziertere Betrachtung würde Angaben zur regionalen Verteilung der N-Einträge erfordern, die insbesondere für die Ausbringung der Mineraldünger nicht verfügbar sind (siehe Rösemann et al. (2021): Kapitel 11.1.1). Die berechnete Menge an ausgewaschenem Stickstoff ist in Tabelle 267 wiedergegeben. Unterschiede gegenüber Submission 2020 sind eine Folge der in Kapitel 5.1.5.1.1 im Zusammenhang mit Tabelle 263 beschriebenen Aktualisierungen von Eingangsdaten.

Tabelle 267: Ausgewaschene N-Menge (incl. Oberflächenabfluss) (3.D)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	1208,1	1019,4	1088,9	1056,7	1041,2	1060,0	1092,7	1099,5	1151,4	1134,7	1125,6	1098,6	1019,6	1011,4

5.1.5.2 CO₂-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I)

Aufgrund des unterschiedlichen Carbonat-Kohlenstoffgehalts und den daraus resultierenden unterschiedlichen CO₂-Emissionsfaktoren wird in der Berichterstattung zwischen Dolomit und den übrigen Kalkdüngern unterschieden. Bei den übrigen Kalkdüngern wird die Ausbringung von Kalkammonsalpeter gesondert betrachtet. Die daraus resultierenden CO₂-Emissionen werden unter CRF 3.I („Andere kalkhaltige Dünger“) berichtet. Die CO₂-Emissionen aus der Ausbringung der anderen Kalkdünger und Dolomit werden unter CRF 3.G berichtet. Die berichteten CO₂-Emissionen umfassen entsprechend den Anforderungen in IPCC (2006): Vol. 4, Chapter 11.3 und CRF-Tabelle 3.G-I neben den Emissionen aus der Landwirtschaft auch die aus der Kalkung im Forstbereich.

Daten zu ausgebrachten Düngerkalkmengen sind nicht verfügbar. Daher wird die Ausbringung den im Inland verkauften und statistisch erfassten Produktmengen (Statistisches Bundesamt, FS 4, R 8.2) gleichgesetzt. Diese Erfassung erfolgt um ein halbes Jahr versetzt gegenüber dem Kalenderjahr. Für das Inventar wird zunächst angenommen, dass der gesamte im zweiten Halbjahr des Jahres j-1 und im ersten Halbjahr des Jahres j verkaufte Düngerkalk im Jahr j ausgebracht wurde. Danach erfolgt analog zum Mineraldünger (siehe Kapitel 5.1.5.1.1) eine jahresübergreifende Mittelung.

Es werden kohlen saure, Misch-, Carbo- und Rückstandskalke sowie Kalkammonsalpeter berücksichtigt. Die in CaO- oder N-Einheiten berichteten Produktmengen werden für die Emissionsberechnungen in Einheiten von CaCO₃ für Kalkstein und CaMg(CO₃)₂ für Dolomit umgerechnet.

Der Anteil von Dolomit an der Düngerkalk-Gesamtmenge wird statistisch nicht erfasst. Er wird für das Inventar anhand eines Expertenurteils (Müller, 2016) berechnet, nach dem der im Forstbereich eingesetzte Düngerkalk zu einem Drittel aus MgCO₃ besteht und die Anwendung von Dolomit in der Landwirtschaft vernachlässigt werden kann.

Tabelle 268 zeigt die den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Kalkdüngermengen für Landwirtschaft und Forst zusammen, siehe Kap. 11.10 in Rösemann et al. (2021). Gegenüber Submission 2020 zeigt sich ein geglätteter zeitlicher Verlauf einschließlich der Abschwächung relativer Extremwerte. Die Abweichung der Daten für 1990 gegenüber Submission 2020 geht auch auf die Einbeziehung der Daten von 1989 in das übergreifende Mittel zurück.

Tabelle 268: Düngekalkmengen (3.G & 3.I)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Kalkstein [in CaCO ₃]	4204,1	2435,3	3468,0	3018,4	3325,0	3431,3	3644,6	3944,8	4159,2	4156,4	4126,2	4269,1	4528,3	4653,2
Dolomit [in CaMg(CO ₃) ₂]	735,8	437,5	356,3	211,5	180,4	175,1	185,6	186,3	182,9	161,5	139,0	124,2	115,3	113,7
Kalkammonsalpeter [in CaCO ₃]	1160,1	885,2	833,2	698,9	584,6	600,2	577,1	546,1	536,9	524,3	513,0	484,2	460,7	445,5

Die Berechnung von CO₂-Emissionen aus der Harnstoffanwendung erfolgt proportional zu den in Tabelle 269 angegebenen Mengen an ausgebrachtem Harnstoff (einschließlich Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung). Diese Mengen wurden auf stöchiometrischem Wege (Multiplikation mit dem Molgewichtsverhältnis 60/28) aus den in der Officialstatistik berichteten Harnstoff-N-Mengen abgeleitet und ebenfalls der oben im Zusammenhang mit der Kalkung erwähnten gleitenden zeitlichen Mittelung unterzogen.

Tabelle 269: Ausgebrachte Harnstoffmengen einschließlich Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (3.H)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	656,0	625,3	808,8	874,2	969,2	891,9	940,8	917,1	1022,3	1079,3	1111,6	981,2	825,3	713,9

5.1.5.3 NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen

Tabelle 270 zeigt exemplarisch für erstes und letztes Zeitreihenjahr die Eingangsdaten, die für die NMVOC-Emissionsberechnung für landwirtschaftliche Kulturen nach EMEP/EEA (2019)-3D-16 und EMEP/EEA (2019)-3D-30 berechnet werden (siehe Kapitel 5.5.2.1.5). Daten zu Anbauflächen und Frischmasseerträgen berichtet (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3a). Die Umrechnung in Trockenmasseerträge erfolgt über die Trockenmassegehalte aus der Düngeverordnung (DüV, 2007, 2017). Die relative Emissionsdauer wurde für Weizen, Roggen, Raps und Gras aus EMEP/EEA (2019)-3D-16, Tabelle 3.3, entnommen und sinngemäß auf die übrigen Kulturen übertragen.

Tabelle 270: Eingangsdaten für die Berechnung von NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen (Übersicht)

Kultur	Anbaufläche [1000 ha]		Frischmasseertrag [Mg ha ⁻¹]		Trockenmassegehalt [kg kg ⁻¹]	relative Emissionsdauer [a a ⁻¹]
	1990	2019	1990	2019		
Weizen	2419,9	3086,4	6,3	7,4	0,86	0,3
Roggen	1067,1	636,5	3,8	5,1	0,86	0,3
Gerste	2612,5	1708,9	5,4	6,8	0,86	0,3
Hafer	533,5	135,5	4,4	4,0	0,86	0,3
Triticale	77,4	358	5,1	6,1	0,86	0,3
Getreide zur Ganzpflanzenernte	0,0	116,6	0,0	28,6	0,35	0,3
Körnermais	228,4	416	6,8	8,8	0,86	0,3
Silomais	1365,4	2222,7	40,4	39,0	0,28	0,3
Raps	557,5	852,6	3,0	3,3	0,91	0,3
Hackfrüchte	1249,6	680,4	40,6	59,3	0,22	0,3
Kleegras, Alfalfa, Futtergras	856,6	622,4	34,0	32,3	0,20	0,5
Hülsenfrüchte	121,2	195,6	3,4	3,1	0,86	0,3
Wiesen und Mähweiden	5417,2	4531	31,6	28,7	0,20	0,5

5.1.6 Gesamtunsicherheit aller THG-Emissionen des Sektors 3

Ergänzend zu den Emissionsberechnungen wurde die Gesamtunsicherheit aller THG-Emissionen des Sektors 3 berechnet. Grundlage war das in IPCC (2006): Vol. 1, Chapter 3, als "Approach 1" beschriebene Verfahren, das auf der Anwendung der Gaußschen Fehlerrechnung beruht. Dabei bleibt per Konvention unberücksichtigt, dass diese Fehlerrechnung Normalverteilung voraussetzt, eine Annahme, die von einigen der eingehenden Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren nicht erfüllt wird oder deren Einhaltung nicht geprüft werden kann. Für das vorliegende

Treibhausgasinventar der Landwirtschaft wurde von der in IPCC (2006): Vol. 1, Chapter 3 beschriebenen Standardversion des „Approach 1“ ausgegangen: Korrelation zwischen den Emissionsfaktoren der verschiedenen Zeitreihenjahre, aber von Jahr zu Jahr unkorrelierte Aktivitätsdaten. Für asymmetrische Verteilungen wurde, wie von IPCC (2006): Vol. 1, Chapter 3, für das „Approach 1“-Verfahren gefordert, von den beiden Intervallen [2,5 %-Perzentil; Mittelwert] und [Mittelwert; 97,5 %-Perzentil] das größere verwendet. (Für die Unsicherheitsberechnung mit dem „Approach 2“-Verfahren für die gesamte Treibhausgasberichterstattung durch das Umweltbundesamt wurden im ZSE für alle Unsicherheiten landwirtschaftlicher Größen die untere und die obere Schranke des 95 %-Konfidenzintervalles sowie der Typ der Verteilung bereitgestellt.) Weitere Details zur Unsicherheitsberechnung für das deutsche Inventar finden sich in Kap. 14 in Rösemann et al. (2021).

Tabelle 271 zeigt für das Zeitreihenjahr 2019 die mit dem „Approach 1“-Verfahren berechnete Gesamtunsicherheit aller Emissionen des Sektors „Landwirtschaft“ (Sektor 3) einschließlich der Vergärung von Energiepflanzen und Lagerung und Ausbringung der Energiepflanzen-Gärreste. Die Unsicherheit des Gesamttrends seit 1990 ist ebenfalls aus Tabelle 271 zu entnehmen. Alle Emissionswerte sind in CO₂-Äquivalenten angegeben, wobei gemäß IPCC (2006): Vol. 4 die Umrechnungsfaktoren (GWP) von 25 kg kg⁻¹ für CH₄ und 298 kg kg⁻¹ für N₂O zugrunde gelegt wurden.

Der besseren Übersichtlichkeit wegen erfolgt die Darstellung in Tabelle 271 unter Verwendung der IPCC-Tiersammelkategorien „Übrige Rinder“, „Schweine“, „Pferde“ und „Geflügel“. Die für diese Sammelkategorien angegebenen Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren wurden mittels Fehlerfortpflanzungsrechnung aus den Unsicherheiten der im GAS-EM-Modell verwendeten Tierunterkategorien abgeleitet. Eine Darstellung ähnlich Tabelle 271, aber mit allen einzelnen Tierunterkategorien, findet sich in Rösemann et al. (2021), Kapitel 14.6.

Auch die Unsicherheiten der Aktivitätsdaten und der Emissionsfaktoren der verschiedenen Mineraldüngerarten wurden mittels Fehlerfortpflanzungsrechnung aggregiert. Für die Ausbringung von Wirtschaftsdünger und Wirtschaftsdünger-Gärresten wurden die in Tabelle 271 angegebenen aggregierten Unsicherheiten unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Ausbringungsbeiträge der einzelnen Tierkategorien mithilfe der Fehlerfortpflanzungsrechnung aggregiert.

Zu den verwendeten Unsicherheitswerten siehe Kapitel 5.2.3, 5.3.2.3, 5.3.4.3, 5.3.5.3, 5.5.4, 5.8.4 und 5.9.7. Deutlich zu erkennen ist, dass die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren in der Regel deutlich über denen der Aktivitätsdaten liegen, so dass sie die kombinierte Unsicherheit in Spalte „Combined uncertainty as % of total national emissions“ dominieren.

Die Gesamtunsicherheit der Emissionen des Quellsektors 3 (Tierhaltung, Nutzung landwirtschaftlicher Böden, Energiepflanzen-Vergärung) beträgt 29,0 % (gültig für das Jahr 2019). Sie geht zum großen Teil auf die Unsicherheiten der N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden zurück, wie der Spalte „Combined uncertainty as % of total national emissions“ zu entnehmen ist. Der Anstieg der Gesamtunsicherheit gegenüber dem Wert von 26,4 % im NIR 2020 ist vor allem eine Folge der aktualisierten N₂O-Emissionsfaktoren für bewirtschaftete organische Böden. Die aktualisierten Emissionsfaktoren sind größer als die für den NIR 2020 verwendeten Werte und weisen überdies eine größere Unsicherheit auf. Die Unsicherheit des Trends 1990 – 2019 liegt bei 12,1 %.

Tabelle 271: Gesamtunsicherheitsberechnung für die Emissionen des Sektors 3 (Tierhaltung, Nutzung landwirtschaftlicher Böden) incl. Energiepflanzen-Vergärung

Source category EntFer = Enteric Fermentation MM = Manure Management DEC = Digestion of Energy Crops	Gas	Base year emissions, in CO ₂ equivalents	Year 2019 emissions, in CO ₂ equivalents	Activity data uncertainty (half the 95 % confidence interval)	Emission factor uncertainty (half the 95 % confidence interval)	Combined uncertainty (half the 95 % confidence interval)	Auxiliary calculations ^A	Type A sensitivity	Type B sensitivity	Uncertainty in trend in national emissions introduced by emission factor uncertainty	Uncertainty in trend in national emissions introduced by activity data uncertainty	Square of "Uncertainty introduced into the trend in total national emissions" ^B
		(GWP _{CH4} = 25, GWP _{N2O} = 298)										
EntFer, dairy cows	CH ₄	17,718.2	13,902.8	4	20	20.4	21.0	0.01	0.18	0.11	1.03	1.07
EntFer, other cattle	CH ₄	13,685.1	8,696.1	2.2	11.2	11.4	2.6	0.03	0.11	0.34	0.35	0.24
EntFer, pigs	CH ₄	677.7	628.8	2.9	14.8	15.1	0.0	0.00	0.01	0.02	0.03	0.00
EntFer, sheep	CH ₄	518.2	288.5	10	30	31.6	0.0	0.00	0.00	0.05	0.05	0.01
EntFer, goats	CH ₄	11.3	18.4	20	30	36.1	0.0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
EntFer, horses	CH ₄	204.6	175.2	10	30	31.6	0.0	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
MM, dairy cows	CH ₄	2,195.7	2,065.1	4	20	20.4	0.5	0.00	0.03	0.08	0.15	0.03
MM, other cattle	CH ₄	2,384.3	1,321.7	2.2	10.9	11.2	0.1	0.01	0.02	0.09	0.05	0.01
MM, pigs	CH ₄	2,684.7	2,248.9	2.9	16.1	16.3	0.4	0.00	0.03	0.02	0.12	0.02
MM, sheep	CH ₄	22.5	12.5	10	30	31.6	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MM, goats	CH ₄	0.5	0.8	20	30	36.1	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MM, horses	CH ₄	38.8	33.2	10	30	31.6	0.0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
MM, poultry	CH ₄	89.5	151.5	6.2	9.6	11.5	0.0	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
MM, direct N ₂ O, dairy cows	N ₂ O	955.8	697.3	4	100	100.1	1.3	0.00	0.01	0.10	0.05	0.01
MM, direct N ₂ O, other cattle	N ₂ O	991.7	693.4	2.2	49.7	49.7	0.3	0.00	0.01	0.07	0.03	0.01
MM, direct N ₂ O, pigs	N ₂ O	376.4	466.9	2.9	78.0	78.0	0.3	0.00	0.01	0.17	0.03	0.03
MM, direct N ₂ O, sheep	N ₂ O	28.5	15.8	10	100	100.5	0.0	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
MM, direct N ₂ O, goats	N ₂ O	1.6	2.7	20	100	102.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MM, direct N ₂ O, horses	N ₂ O	60.1	51.5	10	100	100.5	0.0	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
MM, direct N ₂ O, poultry	N ₂ O	37.0	69.3	6.2	52.1	52.4	0.0	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00
MM, indirect N ₂ O, all animals	N ₂ O	1,172.0	940.3	40	400	402.0	37.4	0.00	0.01	0.04	0.70	0.48
Soils, mineral fertilizers	N ₂ O	10,281.3	6,647.2	0.5	101.1	101.1	118.1	0.02	0.09	2.19	0.06	4.82
Soils, spreading of manure	N ₂ O	5,161.2	4,458.8	9.3	93.3	93.8	45.8	0.00	0.06	0.35	0.77	0.71
Soils, sewage sludge	N ₂ O	128.4	60.3	20	200	201.0	0.0	0.00	0.00	0.11	0.02	0.01
Soils, crop residues	N ₂ O	2,272.8	2,635.9	50	200	206.2	77.2	0.01	0.03	2.09	2.44	10.29
Soils, organic soils	N ₂ O	3,790.8	3,719.5	0.13	245	245.0	217.2	0.01	0.05	2.10	0.01	4.40
Soils, mineralization	N ₂ O	11.6	8.5	13.6	200	200.5	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Soils, grazing	N ₂ O	1,915.6	1,151.5	20	200	201.0	14.0	0.01	0.02	1.04	0.43	1.26
Soils, indirect N ₂ O (deposition)	N ₂ O	1,657.8	1,131.2	50	400	403.1	54.4	0.00	0.01	1.09	1.05	2.28
Soils, indirect N ₂ O (leaching, run-off)	N ₂ O	4,243.1	3,243.6	170	230	286.0	225.1	0.00	0.04	0.56	10.19	104.20

Source category	Gas	Base year emissions, in CO ₂ equivalents	Year 2019 emissions, in CO ₂ equivalents	Activity data uncertainty (half the 95 % confidence interval)	Emission factor uncertainty (half the 95 % confidence interval)	Combined uncertainty (half the 95 % confidence interval)	Auxiliary calculations ^A	Type A sensitivity	Type B sensitivity	Uncertainty in trend in national emissions introduced by emission factor uncertainty	Uncertainty in trend in national emissions introduced by activity data uncertainty	Square of "Uncertainty introduced into the trend in total national emissions" ^B
		(GWP _{CH4} = 25, GWP _{N2O} = 298)										
		kt a ⁻¹	kt a ⁻¹	%	%	%		%	%	%	%	
DEC, digester and storage	CH ₄	0.3	1,315.5	10	20	22.4	0.2	0.02	0.02	0.34	0.24	0.18
DEC, storage, direct N ₂ O	N ₂ O	0.1	245.0	10	100	100.5	0.2	0.00	0.00	0.32	0.05	0.10
DEC, storage, indirect N ₂ O (deposition)	N ₂ O	0.0	12.6	10	400	400.1	0.0	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
DEC, soils, direct N ₂ O	N ₂ O	0.2	1,371.4	10	200	200.2	19.7	0.02	0.02	3.58	0.25	12.91
DEC, soils, indirect N ₂ O (deposition)	N ₂ O	0.0	227.1	10	400	400.1	2.2	0.00	0.00	1.19	0.04	1.41
DEC, soils, indirect N ₂ O (leaching, run-off)	N ₂ O	0.1	308.6	10	230	230.2	1.3	0.00	0.00	0.93	0.06	0.86
Liming, without Dolomite	CO ₂	1,849.8	2,047.4	3	3	4.2	0.0	0.01	0.03	0.02	0.11	0.01
Liming, Dolomite	CO ₂	350.7	54.2	100	3	100.0	0.0	0.00	0.00	0.01	0.10	0.01
Liming, Calcium Ammonium Nitrate	CO ₂	510.4	196.0	3	3	4.2	0.0	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Application of urea	CO ₂	481.0	523.5	1	1	1.4	0.0	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Total		76,509.5	61,838.6									
					percentage uncertainty in total inventory:		29.0			trend uncertainty (percentage):		12.1

^A The data in this column describes auxiliary data needed to derive the percentage uncertainty in total inventory in the bottommost cell of this column. In order to calculate the data the calculation procedure provided by IPCC (2006): Vol. 1, 3.31, Table 3.2, column H, has been used. Note, however, that the head of column as prescribed by IPCC (2006): Vol. 1, 3.31, Table 3.2, column H („Contribution to Variance by Category“) does not correctly describe the data in column H. Hence the head of column had been modified.

^B The head of this column as prescribed by IPCC (2006): Vol. 1, 3.31, Table 3.2, column M („Uncertainty introduced into the trend in total national emissions“), has been modified in order to match the formula provided by IPCC (2006): Vol. 1 and applied in the table above to calculate the data in this column.

5.1.7 Qualitätssicherung und -kontrolle

Eine allgemeine und für 3.D & 3.J zusätzlich auch eine categoriespezifische Qualitätskontrolle sowie eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

5.1.7.1 Qualitätsmanagement Emissionsinventare des Thünen-Instituts

Das Qualitätsmanagement der Emissionsinventarerstellung am Thünen-Institut wurde konform zu den IPCC-Richtlinien und dem QSE (Kapitel 1.6.1) entwickelt. Rahmenbedingungen und Durchführung des Qualitätsmanagements sind im Konzept (BMELV, 2016) und in der Ausführungsbestimmung des Konzepts (Thünen-Institut, 2016) ausführlich beschrieben. Für die Qualitätskontrolle wichtige Dokumente werden in der Inventarbeschreibung abgelegt, die von der Nationalen Koordinierungsstelle archiviert wird. Die Vorgaben und Abläufe der Ausführungsbestimmung wurden vollständig eingehalten. Die nachfolgenden Abschnitte gehen auf wichtige Aspekte der Qualitätskontrolle für diese Submission ein.

5.1.7.2 Eingangsdaten, Berechnungsverfahren und Emissionsergebnisse

Parallel zur EXCEL-basierten Version wurde das Inventar-Modell GAS-EM in der Programmiersprache Python neu implementiert. Der Abgleich beider Versionen im Zuge von Qualitätssicherung und -kontrolle führte zu folgenden Korrekturen bei den Berechnungsverfahren:

- Milchkühe: Korrektur der Berechnung der TAN-Ausscheidung;
- Mastbullen: Korrektur der Berechnung der TAN-Menge, die ins Lager gelangt.

Beide Korrekturen sind relevant für depositionsbedingtes indirektes N₂O aus 3.B und 3.D.

Darüber hinaus umfasste die Prüfung der Emissionsberechnungen und des NIR die folgenden Elemente:

- Im Rahmen der Inventarverbesserung wurden im Vorfeld der Emissionsberichterstattung 2021 folgende Änderungen vorgenommen (siehe Kapitel 3.5.2 in Rösemann et al. (2021)):
 - Untergliederung der weiblichen Jungrinder in Milchfärsen und Schlachtfärsen;
 - Aktualisierung der Modellierung von Energiebedarf und Fütterung bei Milchkühen, Kälbern und Färsen sowie der Daten zur Mastbullenfütterung auf Grundlage deutscher Standardwerte;
 - Mineraldünger, Kalkung, Anwendung von Harnstoff: Jahresübergreifende Mittelung der Aktivitätsdaten (gleitendes zentriertes Dreijahresmittel für 1990 bis 2018; für 2019 Mittel aus 2018 und 2019).
- Die übrigen Berechnungsverfahren stimmen mit denen der Emissionsberichterstattung 2020 formal überein.
- Die Aktivitätsdaten wurden auf Plausibilität und Konsistenz geprüft und gegebenenfalls anhand neuerer Daten aktualisiert.
- Indirektes N₂O aus 3.B und 3.D betreffend: Aktualisierung von NH₃-Emissionsfaktoren nach EMEP (2019) für Weidegang (Rinder), Wirtschaftsdüngerlager (Schafe, Legehennen, Masthähnchen, Junghennen) und Vergärung von Wirtschaftsdünger (Vorlager von Rindermist und Geflügelkot).

- Es wurde sichergestellt, dass die Flächen der organischen Böden unter Acker und Nutzgrünland konsistent zwischen LULUCF (Kapitel 4.B, 4.C) und Landwirtschaft (3.D) sind.
- Jede einzelne Zeitreihe der Emissionsergebnisse für Submission 2021 wurde auf Konsistenz mit der entsprechenden Zeitreihe der Submission 2020 geprüft. Alle Abweichungen lassen sich durch Aktualisierungen von Eingangsdaten und/oder Berechnungsverfahren erklären.
- Fluktuationen und Trends in den Zeitreihen sind erklärbar und die wichtigen sind im NIR beschrieben.
- Aktivitätsdaten und Emissionsergebnisse wurden mit entsprechenden Daten mitteleuropäischer Länder verglichen, die direkt benachbart oder in ihrer landwirtschaftlichen Praxis vergleichbar sind. Die deutschen Daten liegen dabei meist im mittleren Bereich oder auf dem Niveau eines oder mehrerer Vergleichsländer bzw. einem IPCC (2006)-Standardwert. Relevante Abweichungen von diesen Kriterien lassen sich in jedem Einzelfall begründen.
- Eingangsdaten und Berechnungsergebnisse aller in der landwirtschaftlichen Emissionsberichterstattung relevanten Emissionsquellen sind als Hintergrund für die im NIR 2021 und in den CRF-Tabellen gezeigten Ergebnisse in einer EXCEL-Datei dokumentiert, die als Ergänzung zu Rösemann et al. (2021) erhältlich ist (siehe Kap. 2.4 in Rösemann et al. (2021)).
- Die Daten im NIR-Text wurden mit den Berechnungsergebnissen auf Konsistenz überprüft.
- Die korrekte Übertragung der Aktivitätsdaten und der Emissionsfaktoren (IEF) in die ZSE-Datenbank (Zentrales System Emissionen), die den CRF-Tabellen zugrunde liegt, wurde durch Vergleich der mit dem ZSE berechneten Emissionen mit den Ergebnissen des Inventarmodells GAS-EM sicher gestellt.

5.1.7.3 Verifizierung

Die mit dem Inventarmodell GAS-EM berechneten nationalen Emissionsergebnisse können nicht mit anderen Daten aus Deutschland verglichen werden, da solche Daten nicht vorliegen. Stattdessen wurde (siehe Kapitel 5.1.7.2) ein Vergleich von Eingangsdaten und Emissionsergebnissen mit entsprechenden Daten anderer Staaten sowie IPCC (2006)-Standardwerten durchgeführt. Hierauf wird im vorliegenden NIR in entsprechenden Unterkapiteln eingegangen.

Eine für den NIR 2014 im Rahmen eines Verifizierungsprojektes durchgeführte Verifizierung der deutschen Emissionsberechnungen durch einen externen Experten (Zsolt Lengyel, Verico SCE) erbrachte, dass die Eingangsdaten konsistent sind, und dass die durchgeführten Berechnungen konsistent und korrekt nach den methodischen Anforderungen der IPCC Guidelines durchgeführt wurden.

Zusätzlich wird das GAS-EM-Modell im Rahmen der EAGER-Gruppe und durch Prüfung von Modulen durch das KTBL kontinuierlich validiert und verifiziert.

5.1.7.4 Reviews und Reports

Die ERT-Empfehlungen aus den Reviews bis einschließlich Submission 2016 wurden bis Submission 2018 umgesetzt und werden hier nicht näher aufgeführt.

Der für September 2017 geplante Individual Review der Submission 2017 fand nicht statt. Submission 2017 wurde allerdings im Frühjahr 2017 gemäß Artikel 19(2) der EU-Verordnung 525/2013 in einem EU-Review überprüft. Dabei konnten alle Fragen des Technical Expert

Review Team zufriedenstellend beantwortet werden (EEA, 2017). Es waren keinerlei Änderungen an der Inventarmethodik oder an Eingangsdaten erforderlich.

Das ERT des Submission-2018-Reviews empfahl⁸⁹ eine Verbesserung der Transparenz im NIR oder in einer ergänzenden Dokumentation hinsichtlich

- der Ableitung des deutschen N₂O-EF für drainiertes Grünland,
- der Berücksichtigung der Büffel, sowie
- der Methodiken und Eingangsdaten für die Ermittlung von Energiebedarf, Futtermittelaufnahme und Ausscheidungen bei Färsen und Mutterkühen.

Im Falle des N₂O-EF für drainiertes Grünland wurde die zusätzliche Erläuterung bereits in den NIR 2019 aufgenommen. In den beiden anderen Fällen (Büffel; Färsen und Mutterkühe) wurde die den NIR 2020 ergänzende Dokumentation (Haenel et al., 2020b) um ausführliche Angaben erweitert, siehe dort Kapitel 4.1.1.2, 4.5.2, 4.7.2, 4.7.6.1.

Für Submission 2019 fand kein Review statt. Submission 2019 wurde allerdings im Frühjahr 2019 gemäß Artikel 19(2) der EU-Verordnung 525/2013 in einem EU-Review überprüft. Im Ergebnis waren keinerlei Änderungen an der Inventarmethodik oder an Eingangsdaten erforderlich (EEA, 2019). Dies gilt auch für den EU-Review der Submission 2020 im Frühjahr 2020 (EEA, 2020).

Das nationale Qualitätsaudit durch die Firma Verico SCE (Auditor für den Sektor Landwirtschaft: Markus Helm) im April 2016 bestätigte die Konformität des QSE (Qualitätssystem Emissionsberichterstattung) und damit u. a. auch der landwirtschaftlichen Emissionsberichterstattung mit den Anforderungen der IPCC (2006) Guidelines (Betzenbichler et al., 2016b)

5.2 Fermentation bei der Verdauung (3.A)

5.2.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.A)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	3 A, Enteric Fermentation	dairy cows	CH ₄	17.718,2	1,4	13.902,8	1,8	-21,5 %
L/-	3 A, Enteric Fermentation	non-dairy cattle	CH ₄	13.685,1	1,1	8.696,1	1,1	-36,5 %
-/-	3 A, Enteric Fermentation	other animals	CH ₄	1.411,8	0,1	1.110,9	0,1	-21,3 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	Tier1/Tier2/Tier3	M/Q/AS/RS/NS	CS/D

Innerhalb der Quellgruppe *Fermentation bei der Verdauung* ist die Kategorie *Milchkühe* die wichtigste Emissionsquelle. Sie stellt für Methan nach der Emissionshöhe und dem Trend eine Hauptkategorie dar. Dies liegt an den hohen Tierzahlen und der hohen Leistung. Die Kategorie der übrigen Rinder ist ebenfalls eine Hauptkategorie, aber nur nach der Emissionshöhe.

CH₄ aus der Fermentation entsteht durch mikrobielle Umsetzungen im Verdauungstrakt. Die je Tier und Zeiteinheit abgegebenen Mengen sind von der Tierart, der individuellen Leistung der Tiere und der Nahrungszusammensetzung abhängig.

Deutschland berichtet über die Emissionen von CH₄ aus der Fermentation bei der Verdauung von Milchkühen, übrigen Rindern (Kälbern, Milchkuh- und Schlachtfärsen, Bullen, Mutterkühe,

⁸⁹ siehe Review Report, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/arr2018_DEU.pdf

männliche Rinder ab 2 Jahren), Schweinen (Sauen incl. Saugferkel mit einem Gewicht bis 8 kg pro Tier, Aufzuchtferkel, Mastschweine und Eber), Schafen, Ziegen und Pferden.

Der Trend der CH₄-Emissionen wird bestimmt durch abnehmende Tierzahlen, v. a. der Rinder im Gesamtzeitraum und aller Tierkategorien Anfang der 1990er Jahre, und durch bessere Verdaulichkeit des Futters, teilweise kompensiert durch steigende GE-Aufnahme infolge von Anstiegen bei Milchleistung und Tiergewichten.

Tabelle 272 zeigt die Veränderung der CH₄-Emissionen aus der Verdauung des Gesamt-tierbestandes seit 1990 sowie den prozentualen Anteil dieser Emissionen an den Gesamtemissionen der deutschen Landwirtschaft, getrennt nach CH₄ und Treibhausgasen (THG, in CO₂-Einheiten). Die prozentualen Anteile an der Gesamtemission unterscheiden sich, da die THG auch die N₂O- und CO₂-Emissionen umfassen.

Tabelle 272: CH₄-Emissionen aus der Verdauung in der gesamten landwirtschaftlichen Tierhaltung (3.A): Veränderung seit 1990 und Anteile an den Gesamtemissionen der deutschen Landwirtschaft (getrennt nach CH₄ und THG (CO₂)) (3.A)

[%]	Veränderung seit 1990	Anteil an landwirtschaftlicher Gesamtemission (CH ₄ bzw. THG)	
		1990	2018
CH ₄	-27,7	81,6	76,8
THG (CO ₂ eq)		42,9	38,3

5.2.2 Methodische Aspekte (3.A)

5.2.2.1 Methodik (3.A)

Die CH₄-Emissionen aus der Verdauung der Milchkühe werden mit einem nationalen Verfahren berechnet (Tier 3). Für sonstige Rinder und Schweine erfolgt die Berechnung mit einem Tier-2-Verfahren (IPCC (2006): Vol. 4, 10.24 ff). Schafe, Ziegen und Pferde werden mit dem Tier-1-Verfahren gerechnet, das Default-Emissionsfaktoren verwendet (siehe Kapitel 5.2.2.2).

Im nationalen Verfahren zur Berechnung der CH₄-Emissionen aus der Verdauung bei Milchkühen Dämmgen et al. (2012b) Kap. 4.3.4) wird der Emissionsfaktor nach Kirchgessner et al. (1994) als Funktion der Aufnahme von Rohfasern, N-freien Extrakten, Rohprotein und Fett berechnet:

Gleichung 11: Berechnung des CH₄-Emissionsfaktors für Milchkühe (nationales Verfahren)

$$EF_{\text{CH}_4, \text{ent}} = a \cdot M_{\text{XFi}} + b \cdot M_{\text{NFE}} + c \cdot M_{\text{XP}} + d \cdot M_{\text{XF}} + e$$

mit

$EF_{\text{CH}_4, \text{ent}}$	Emissionsfaktor für CH ₄ aus der Verdauung (in kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄)
a	Koeffizient ($a = 0,079 \text{ kg kg}^{-1}$)
M_{XFi}	Rohfaser-Aufnahme (in kg Platz ⁻¹ a ⁻¹)
b	Koeffizient ($b = 0,010 \text{ kg kg}^{-1}$)
M_{NFE}	Aufnahme von N-freien Extrakten (in kg Platz ⁻¹ a ⁻¹)
c	Koeffizient ($c = 0,026 \text{ kg kg}^{-1}$)
M_{XP}	Aufnahme an Rohprotein (in kg Platz ⁻¹ a ⁻¹)
d	Koeffizient ($d = -0,212 \text{ kg kg}^{-1}$)
M_{XF}	Aufnahme an Fett (in kg Platz ⁻¹ a ⁻¹)
e	Konstante ($e = 365 \cdot 0,063 \text{ kg Platz}^{-1} \text{ a}^{-1}$)

Die Aufnahme von Rohfaser, N-freien Extrakten, Rohprotein und Fett ergibt sich aus den Kennwerten der Futterzusammensetzung und der Menge des aufgenommenen Futters (siehe Kapitel 5.1.3.3).

Daraus wird mit Hilfe der Gesamtenergie-Aufnahme (siehe Kapitel 5.1.3.3) der Methanumwandlungsfaktor berechnet:

Gleichung 12:

$$x_{\text{CH}_4, \text{GE}} = \frac{\eta_{\text{CH}_4} \cdot EF_{\text{CH}_4, \text{ent}}}{GE}$$

mit

$x_{\text{CH}_4, \text{GE}}$	Methan-Umwandlungsfaktor für Milchkühe (in MJ MJ ⁻¹)
η_{CH_4}	Energiegehalt von Methan ($\eta_{\text{CH}_4} = 55.65 \text{ MJ (kg CH}_4\text{)}^{-1}$)
$EF_{\text{CH}_4, \text{ent}}$	Emissionsfaktor für CH ₄ aus der Verdauung (in kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄)
GE	Gesamtenergie-Aufnahme (in MJ Platz ⁻¹ a ⁻¹ GE)

Infolge zunehmender Milchleistung steigen die Futteraufnahme und damit die GE-Aufnahme der Milchkühe über die Jahre an, wobei der relative Anteil leichter verdaulichen Kraftfutters an der Ration auf Kosten des Grundfutters wächst, siehe Kap. 4.3.3 in Rösemann et al. (2021). Letzteres führt dazu, dass die mithilfe von Gleichung 11 berechneten CH₄-Emissionen aus der Verdauung in geringerem Maße als die GE-Aufnahme ansteigen. Daraus resultiert wiederum ein mit der Milchleistung und damit mit den Jahren abnehmender Methanumwandlungsfaktor, siehe Tabelle 273 und Kapitel 5.2.2.3.

Tabelle 273: Milchkühe: Milchleistung, GE-Aufnahme, verdaunungsbedingte CH₄-Emission und Methanumwandlungsfaktor (3.A)

	1990	2019
mittlere tägliche Milchleistung [kg Tierplatz ⁻¹ d ⁻¹]	12,9	22,6
jährliche GE-Aufnahme [GJ Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹]	88,1	123,0
jährliche CH ₄ -Emission aus der Verdauung [kg Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹]	111,5	138,6
Methanumwandlungsfaktor [MJ MJ ⁻¹]	0,071	0,063

Das für die übrigen Rinder und Schweine verwendete Tier-2-Verfahren berechnet den Emissionsfaktor aus der Gesamtenergie-Aufnahme (siehe Kapitel 5.1.3.3) und dem Methan-Umwandlungsfaktor nach folgender Formel:

Gleichung 13: Berechnung des CH₄-Emissionsfaktors (Tier-2-Verfahren, IPCC (2006): Vol. 4, S. 10.31)

$$EF_{\text{CH}_4, \text{ent}} = GE \cdot \frac{x_{\text{CH}_4, \text{GE}}}{\eta_{\text{CH}_4}}$$

mit

$EF_{\text{CH}_4, \text{ent}}$	Emissionsfaktor für CH ₄ aus der Verdauung (in kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄)
GE	Gesamtenergie-Aufnahme (in MJ Platz ⁻¹ a ⁻¹ GE)
$x_{\text{CH}_4, \text{GE}}$	Methan-Umwandlungsfaktor (in MJ MJ ⁻¹)
η_{CH_4}	Energiegehalt von Methan ($\eta_{\text{CH}_4} = 55.65 \text{ MJ (kg CH}_4\text{)}^{-1}$)

Die kategoriespezifischen Methanumwandlungsfaktoren für die verschiedenen Unterkategorien der übrigen Rinder sind in Tabelle 274 angegeben. Der Wert für Kälber wurde im Zusammenhang mit der Modellüberarbeitung (siehe Kapitel 5.1.3.3) von 0,041 MJ MJ⁻¹ auf 0,043 MJ MJ⁻¹ angehoben. Aufgrund wechselnder Zusammensetzung der Gesamtpopulation variiert der gewichtete Mittelwert für alle übrigen Rinder zusammen geringfügig mit den Jahren. Tabelle 274 zeigt die Mittelwerte aller übrigen Rinder für das erste und das letzte Zeitreihenjahr.

Tabelle 274: Methan-Umwandlungsfaktoren für übrige Rinder (3.A)

	MJ MJ ⁻¹	Quelle
Milch- und Schlachtfärsen, Mastbullen, Mutterkühe, Zuchtbullen	0,065	IPCC (2006): Vol. 4, Tab. 10.12
Kälber	0,043	Rösemann et al. (2021)
Mittelwert aller übrigen Rinder 1990	0,0637	Berechnung
Mittelwert aller übrigen Rinder 2019	0,0638	Berechnung

Tabelle 275 zeigt die nationalen categoriespezifischen Methanumwandlungsfaktoren für die verschiedenen Schweinekategorien (Dämmgen et al., 2012c) sowie die gewichteten Mittelwerte für alle Schweine im ersten und letzten Jahr der Zeitreihe. Die Mittelwerte unterscheiden sich als Folge der sich ändernden Zusammensetzung der Schweine-Gesamtpopulation.

Tabelle 275: Methan-Umwandlungsfaktoren für Schweine (Dämmgen et al., 2012c) (3.A)

	MJ MJ ⁻¹
Sauen	0,0071
Aufzuchtferkel	0,0044
Mastschweine	0,0046
Eber	0,0071
Mittelwert aller Schweine 1990	0,0052
Mittelwert aller Schweine 2019	0,0050

Zu den mit Gleichung 13 berechneten Emissionsfaktoren siehe Kapitel 5.2.2.2.

Eine allgemeine Beschreibung der Berechnung von CH₄-Emissionen aus der Verdauung erfolgt in Kap. 3.3.2 in Rösemann et al. (2021). Tierspezifische Details finden sich in den in Tabelle 276 genannten Kapiteln in Rösemann et al. (2021).

Tabelle 276: Beschreibung der CH₄-Berechnung für Verdauung in Rösemann et al. (2021)

Tierkategorie	Kapitel	Tierkategorie	Kapitel
Milchkühe	4.3.4	erwachsene Schafe	6.3.2
Kälber	4.4.3	Lämmer	6.4.2
Milch- und Schlachtfärsen	4.5.4	Ziegen	6.6.2
Männliche Mastrinder	4.6.4	Großpferde	7.3.2
Mutterkühe	4.7.3	Kleinpferde/Ponys	7.4.2
Männliche Rinder > 2 Jahre	4.8.3	Legehennen	---
Sauen	5.3.4	Masthähnchen	---
Aufzuchtferkel	5.4.4	Junghennen	---
Mastschweine	5.5.4	Gänse	---
Eber	5.6.4	Enten	---
		Puten	---

5.2.2.2 Emissionsfaktoren (3.A)

Tabelle 277 zeigt die berechneten CH₄-Emissionsfaktoren pro Tierplatz für die Verdauung bei Milchkühen, übrigen Rindern und Schweinen.

Tabelle 277: Tierplatzbezogene CH₄-Emissionsfaktoren, Verdauung (3.A)

[kg ⁻¹ Platz ⁻¹ a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	111,5	120,2	126,5	131,3	131,7	132,1	132,3	131,7	132,5	133,4	134,4	134,5	136,4	138,6
übrige Rinder	41,7	43,1	44,2	44,1	44,7	44,5	44,5	44,6	44,6	44,8	44,8	45,0	45,2	45,6
Schweine	1,02	1,07	1,09	1,10	1,12	1,12	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15	1,15	1,16	1,16

Die Änderungen gegenüber der Submission 2020 sind eine Folge der in Kapitel 5.1.3.3 genannten Änderungen bei der Modellierung von Energiebedarf und Fütterung der Milchkühe, Kälber, Färsen und Mastbullen, die der Anpassung an deutsche Standards dienen.

Tabelle 278 zeigt die im Inventar verwendeten Tier-1-Emissionsfaktoren für Schafe, Ziegen und Pferde; diese Werte wurden für die gesamte Zeitreihe verwendet. Der Emissionsfaktor für Ziegen wurde aus IPCC (2006): Vol. 4, Tab. 10.10, entnommen. Die in IPCC (2006): Vol. 4, Tab. 10.10 angegebenen Emissionsfaktoren für Schafe und Pferde wurden für erwachsene Schafe bzw. Großpferde übernommen, siehe Kap. 6.3.2 und 7.3.2 in Rösemann et al. (2021)). Die Emissionsfaktoren für Lämmer und Kleinpferde/Ponys wurden aus den Tier-1-Emissionsfaktoren erwachsener Schafe bzw. der Großpferde abgeleitet, siehe Kap. 6.4.2 und 7.4.2 in Rösemann et al. (2021). Als Folge der zeitlich nicht konstanten Populationszusammensetzung aus Groß- und Kleintieren variieren die in den CRF-Tabellen berichteten

Emissionsfaktoren für Schafe insgesamt und Pferde insgesamt leicht von Jahr zu Jahr. Tabelle 278 zeigt den Mittelwert für 2019.

Tabelle 278: Tier-1-Emissionsfaktoren für CH₄ aus der Verdauung bei Schafen, Ziegen und Pferden (3.A)

[kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	EF	Mittelwert für 2019
Erwachsene Schafe	8,0	6,4
Lämmer	3,6	
Ziegen	5,0	5,0
Großpferde	18,0	16,6
Kleinpferde/Ponys	12,0	

5.2.2.3 Emissionen (3.A)

Die berechneten CH₄-Emissionen aus der Verdauung für die gesamte deutsche Tierhaltung zeigt Tabelle 279.

Tabelle 279: CH₄-Emissionen aus der Verdauung (3.A)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
insgesamt	1312,6	1139,8	1069,2	995,4	984,5	971,7	972,1	984,4	992,9	992,0	982,3	974,5	959,2	948,4
in % von 1990	100,0	86,8	81,5	75,8	75,0	74,0	74,1	75,0	75,6	75,6	74,8	74,2	73,1	72,3
Milchkühe	708,7	628,4	578,1	556,2	550,9	553,7	554,3	562,1	569,4	571,6	566,9	564,7	559,4	556,1
übrige Rinder	547,4	459,6	440,8	388,1	386,1	371,5	370,4	375,7	376,4	374,2	369,6	363,6	354,6	347,8
Schweine	27,1	21,9	23,8	25,0	24,8	25,5	26,5	26,4	26,9	26,2	26,1	26,4	25,6	25,2
Schafe	20,7	18,9	17,6	16,9	14,3	12,6	12,5	11,9	12,0	11,9	11,8	11,9	11,7	11,5
Ziegen und Pferde	8,6	10,9	9,0	9,3	8,4	8,4	8,3	8,3	8,2	8,1	8,0	7,9	7,8	7,7

Der Trend der Emissionen seit 1990 und insbesondere der Rückgang ab 2015 ist im Wesentlichen geprägt durch:

- den Trend der Tierzahlen (siehe Kapitel 0), insbesondere bei den für die Verdauungsemissionen relevanten Rindern (Milchkuhzahlen 2019 um rund 37 % niedriger als 1990; bei den übrigen Rindern sind es rund 42 % weniger Tiere als 1990);
- beständige Leistungszunahme (Milchleistung, Tiergewichte, Gewichtszunahmen), siehe Kapitel 5.1.3.3;
- den mit den Jahren deutlich abnehmenden Methanumwandlungsfaktor bei den Milchkühen (siehe Kapitel 5.2.2.1).

5.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.A)

Tabelle 271 in Kapitel 5.1.6 gibt die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren an, die für die Schätzung der Gesamt-Unsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzt wurden.

Bei den Unsicherheit der Emissionsfaktoren für CH₄ aus der Verdauung handelt es sich um Default-Angaben aus IPCC (2006): Vol. 4, 10.33. Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (Tierzahlen) siehe Kap. 4.1.2, 5.1.2, 6.1.2, 7.1.2 und 8.1.2 in Rösemann et al. (2021).

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.2.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.A)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

Im Rahmen der Verifizierung erfolgte für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine eine Gegenüberstellung der Daten aus der deutschen Tierhaltung mit IPCC-Defaultwerten sowie mit

Daten benachbarter Staaten incl. des Vereinigten Königreiches, siehe Tabelle 280 und Tabelle 281. Zum Zeitpunkt der Erstellung der deutschen Emissionsberichterstattung 2021 waren die Ergebnisse der Emissionsberichterstattung 2021 der anderen Länder noch nicht bekannt. Daher wurde für diese Länder auf Daten der Berichterstattung 2020 zurückgegriffen, während die deutschen Daten der aktuellen Berichterstattung 2021 entstammen. Der internationale Vergleich wird für 2018 durchgeführt (letztes Zeitreihenjahr in Berichterstattung 2020).

Tabelle 280 zeigt für Milchkühe den nationalen Mittelwert des auf den Tierplatz bezogenen Emissionsfaktors (impliziter Emissionsfaktor, IEF), die Aufnahme von Bruttoenergie (GE) sowie für die Emissionshöhe die maßgeblich bestimmende Milchleistung. Ergänzend wird der CH₄-Umwandlungsfaktor aufgeführt. Mit seiner Hilfe wird berechnet, welcher Anteil von GE in Methanenergie umgewandelt wird, die mit dem emittierten Methan verloren geht (siehe Methodenbeschreibung in Kapitel 5.2.2.1).

Von den zehn Vergleichsländern hat Dänemark den höchsten und das Vereinigte Königreich den niedrigsten IEF. Deutschland liegt mit seinem IEF im mittleren Bereich. Dies gilt auch für GE-Aufnahme und Milchleistung. Im Hinblick auf die Methanumwandlungsfaktoren ist festzustellen, dass drei Länder (Österreich, Tschechien, Polen) den IPCC-Defaultwert von 6,5 % verwendet haben. Der Schweizer Wert ist deutlich höher als der IPCC-Defaultwert. Bei Belgien, Dänemark, Frankreich, Deutschland, den Niederlanden und dem Vereinigtem Königreich liegt der Methanumwandlungsfaktor unter dem IPCC-Defaultwert, wobei der britische Wert dem IPCC-Defaultwert am nächsten kommt.

Tabelle 280: Methan-Emissionen aus der Verdauung bei Milchkühen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) für das Zeitreihenjahr 2017

	IEF _{CH₄} [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	CH ₄ -Umwand- lungsfaktor Y _m [MJ MJ ⁻¹]	GE- Aufnahme [MJ Platz ⁻¹ d ⁻¹]	Milchleistung [kg Platz ⁻¹ d ⁻¹]
Österreich	135,74	0,0650	318,4	19,46
Belgien	148,50	0,0610	371,2	23,09
Tschechische Republik	153,11	0,0650	359,1	23,36
Dänemark	160,59	0,0600	408,1	27,57
Frankreich	123,05	0,0613	306,0	19,33
Deutschland	136,42	0,0632	329,4	22,10
Niederlande	134,63	0,0573	297,0	NA
Polen	126,61	0,0650	297,0	16,22
Schweiz	137,56	0,0690	304,0	23,18
Vereinigtes Königreich	122,71	0,0647	288,9	21,61
IPCC (2006): Vol. 4, 10.15 bis 10.21, 10.29, 10.72	117	0,065	Gleichung 10.3-10.16	16,44 ^a

Quelle: Deutschland: Submission 2021; andere Länder: UNFCCC (2020a)

NE, NA, n/a: keine Daten verfügbar

^a berechnet aus der von IPCC (2006): Vol. 4 angenommenen jährlichen Milchleistung von 6000 kg Platz⁻¹ a⁻¹

Tabelle 281 zeigt für die Gruppe der übrigen Rinder sowie für alle Schweine zusammengefasst den IEF sowie die GE-Aufnahme.

Bei den übrigen Rindern reicht die Spanne der IEF-Werte von 35,5 kg Platz⁻¹ a⁻¹ (Niederlande) bis 59,1 kg Platz⁻¹ a⁻¹ (Österreich), wobei letzteres nur wenig über dem IPCC-Defaultwert von 57 kg Platz⁻¹ a⁻¹ liegt. Beim IEF liegt Deutschland rund 10 % und bei der GE-Aufnahme rund 11 % unter dem Median.

Bei den Schweinen verwenden alle Länder außer Dänemark, Deutschland, Frankreich und der Schweiz den IPCC-Defaultwert für den IEF. Die vier Länder, die den IEF berechnen, kommen zu Ergebnissen, die niedriger sind als der IPCC-Defaultwert, was möglicherweise darauf hindeutet,

dass der IPCC-Defaultwert für mitteleuropäische Verhältnisse zu hoch ist. Der französische IEF erscheint im internationalen Vergleich unrealistisch niedrig. Der deutsche IEF liegt in der gleichen Größenordnung wie die Werte von Dänemark und der Schweiz. Die GE-Aufnahme wird nur von Dänemark, Deutschland und der Schweiz berichtet. Der deutsche Wert liegt näher am dänischen Wert.

Tabelle 281: Methan-Emissionen aus der Verdauung bei übrigen Rindern und Schweinen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) für das Zeitreihenjahr 2018

	Übrige Rinder		Schweine	
	IEF _{CH4} [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	GE- Aufnahme [MJ Platz ⁻¹ d ⁻¹]	IEF _{CH4} [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	GE- Aufnahme [MJ Platz ⁻¹ d ⁻¹]
Österreich	59,06	138,54	1,50	NA
Belgien	50,25	131,10	1,50	NE
Tschechische Republik	57,84	148,14	1,50	NA
Dänemark	40,47	130,21	1,08	38,84
Frankreich	53,03	125,04	0,74	NE
Deutschland	45,18	108,02	1,16	35,75
Niederlande ^a	35,51	91,35	1,50	NA
Polen	50,70	118,93	1,50	n/a
Schweiz ^a	46,53	118,07	1,04	26,50
Vereinigtes Königreich ^b	55,10	104,71	1,50	NE
IPCC (2006): Vol. 4, 10.15 bis 10.21, 10.28/29	57	Gleichung 10.3-10.16	1,5	Gleichung 10.3-10.16

Quelle: Deutschland: Submission 2021; andere Länder: andere Länder: UNFCCC (2020a)

NE, NA, n/a: keine Daten verfügbar

^a Übrige Rinder: berechnet aus CRF-Daten

^b Vereinigtes Königreich, übrige Rinder: Rinder ohne Milchkühe und ohne Milchkuh-Nachzucht (incl. Kälber)

5.2.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.A)

Tabelle 282 zeigt für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine die Gesamtenergie-Aufnahme im Vergleich mit den entsprechenden Daten der Submission 2020. Hauptgründe für die Differenzen bei den Milchkühen und den übrigen Rindern sind in Kapitel 5.1.3.3 genannten Änderungen bei der Modellierung von Energiebedarf und Fütterung der Milchkühe, Kälber, Färsen und Mastbullen. Bei den Schweinen zeigt sich lediglich für 2018 eine Differenz. Diese geht auf die die Verschiebung der Tierzahlen zwischen Aufzuchtferkeln und Mastschweinen (siehe Kapitel 5.1.3.2.3) sowie die Änderung der Ferkelzahlen pro Sau (siehe Kapitel 5.1.3.3) zurück. Bei den übrigen Säugetieren, d. h. Schafen, Ziegen und Pferden, geht die Gesamtenergie-Aufnahme nicht in die Emissionsberechnungen ein. Sie sind deshalb in Tabelle 282 nicht aufgeführt.

Tabelle 282: Vergleich der in Submission 2020 und 2019 berichteten mittleren täglichen Gesamtenergie-Aufnahme für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A)

[MJ/Tier]	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Milchkühe 2020	259,4	278,2	295,0	308,8	312,9	317,0	319,7	321,3	321,2	324,6	327,2	330,1	330,4
Milchkühe 2019	259,4	278,2	295,0	308,8	312,9	317,0	319,7	321,3	321,2	324,6	327,2	330,1	330,8
übrige Rinder 2020	108,3	111,7	116,6	116,4	116,6	117,3	117,0	117,1	117,6	117,6	118,4	118,6	118,7
übrige Rinder 2019	108,3	111,7	116,6	116,4	116,6	117,3	117,0	117,1	117,6	117,6	118,4	118,6	118,7
Schweine 2020	30,2	31,8	32,6	33,0	33,8	33,8	34,0	34,3	34,5	34,8	35,0	35,2	35,49
Schweine 2019	30,2	31,8	32,6	33,0	33,8	33,8	34,0	34,3	34,5	34,8	35,0	35,2	35,49

Wie bei Tabelle 282 sind auch in Tabelle 283 (Emissionsfaktoren) und Die in Tabelle 283 (Emissionsfaktoren) und Tabelle 284 (Emissionen) zu erkennenden Abweichungen gegenüber

Submission 2020 gehen ebenfalls auf die im Zusammenhang mit Tabelle 282 genannten Gründe zurück.

Tabelle 284 (Emissionen) die einzigen sichtbaren Änderungen gegenüber Submission 2019 bei den Milchkühen feststellbar. Für Schafe, Ziegen und Pferde gibt es keine Unterschiede zwischen den beiden Submissionen.

Tabelle 283: Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berichteten tierplatzbezogenen CH₄-Emissionsfaktoren (Verdauung) für Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A)

[MJ/Tier]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Milchkühe 2021	241,3	264,0	283,0	298,8	307,5	310,5	312,5	312,0	315,9	318,8	322,3	322,5	329,4
Milchkühe 2020	259,4	278,2	295,0	308,8	317,0	319,7	321,3	321,2	324,6	327,2	330,1	330,4	336,4
übrige Rinder 2021	99,7	103,1	105,7	105,5	107,0	106,6	106,5	106,7	106,6	107,2	107,1	107,6	108,0
übrige Rinder 2020	108,3	111,7	116,6	116,4	117,3	117,0	117,1	117,6	117,6	118,4	118,6	118,7	119,5
Schweine 2021	30,2	31,8	32,6	33,0	33,8	34,0	34,3	34,5	34,8	35,0	35,2	35,5	35,8
Schweine 2020	30,2	31,8	32,6	33,0	33,8	34,0	34,3	34,5	34,8	35,0	35,2	35,5	35,7

Die in Tabelle 283 (Emissionsfaktoren) und Tabelle 284 (Emissionen) zu erkennenden Abweichungen gegenüber Submission 2020 gehen ebenfalls auf die im Zusammenhang mit Tabelle 282 genannten Gründe zurück.

Tabelle 284: Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berichteten CH₄-Emissionen (Verdauung) für alle Säugetiere, Milchkühe, übrige Rinder und Schweine (3.A)

[Tg a ⁻¹ CH ₄]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Säugetiere 2021	1,313	1,140	1,069	0,995	0,985	0,972	0,972	0,984	0,993	0,992	0,982	0,975	0,959
Säugetiere 2020	1,414	1,201	1,124	1,037	1,030	1,018	1,019	1,036	1,044	1,042	1,031	1,021	1,003
Milchkühe 2021	0,709	0,628	0,578	0,556	0,551	0,554	0,554	0,562	0,569	0,572	0,567	0,565	0,559
Milchkühe 2020	0,763	0,652	0,587	0,557	0,559	0,563	0,564	0,575	0,582	0,582	0,575	0,573	0,565
übrige Rinder 2021	0,547	0,460	0,441	0,388	0,386	0,372	0,370	0,376	0,376	0,374	0,370	0,364	0,355
übrige Rinder 2020	0,595	0,498	0,486	0,429	0,424	0,408	0,408	0,414	0,415	0,414	0,410	0,402	0,393
Schweine 2021	0,0271	0,0219	0,0238	0,0250	0,0248	0,0255	0,0265	0,0264	0,0269	0,0262	0,0261	0,0264	0,0256
Schweine 2020	0,0271	0,0219	0,0238	0,0250	0,0248	0,0255	0,0265	0,0264	0,0269	0,0262	0,0261	0,0264	0,0256

5.2.6 Geplante Verbesserungen (3.A)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

5.3 Wirtschaftsdünger-Management (3.B)

5.3.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/-	3 B, Manure Management	swine	CH ₄	2.684,7	0,2	2.248,9	0,3	-16,2 %
-/-	3 B, Manure Management	swine	N ₂ O	376,4	0,0	466,9	0,1	24,0 %
-/T	3 B, Manure Management	dairy cows	CH ₄	2.195,7	0,2	2.065,1	0,3	-6,0 %
L2/-	3 B, Manure Management	dairy cows	N ₂ O	955,8	0,1	697,3	0,1	-27,0 %
-/-	3 B, Manure Management	non-dairy cattle	CH ₄	2.384,3	0,2	1.321,7	0,2	-44,6 %
-/-	3 B, Manure Management	non-dairy cattle	N ₂ O	991,7	0,1	693,4	0,1	-30,1 %
-/-	3 B, Manure Management	other animals	CH ₄	151,3	0,0	198,1	0,0	31,0 %
-/-	3 B, Manure Management	other animals	N ₂ O	127,2	0,0	139,3	0,0	9,5 %
L2/T2	3 B, Manure Management	deposition	N ₂ O	1.172,0	0,1	940,3	0,1	-19,8 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	Tier 2	M/Q/AS/RS/NS	CS/D
N ₂ O direct	Tier 2	M/Q/AS/RS/NS	CS/D
N ₂ O indirect	Tier 1	M/Q/AS/RS/NS	D
NO _x	Tier 2	M/Q/AS/RS/NS	CS
NMVOC	Tier 2/Tier 1	RS/NS	D

Wirtschaftsdünger-Management ist für CH₄ der Schweine eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe. Die 3.B.-Kategorien Wirtschaftsdünger-Management der Milchkühe ist für CH₄ eine Hauptkategorie nach dem Trend und für N₂O der Approach-2-Level-Analyse. Indirektes N₂O aus Deposition ist ebenfalls zusätzlich nach der Approach-2-Level- & Trend-Analyse als Hauptkategorien identifiziert worden.

Deutschland berichtet im Sektor 3.B über CH₄, N₂O, NO und NMVOC aus dem Wirtschaftsdünger-Management.

CH₄ entsteht durch die Aktivität von methanogenen Bakterien bei der Zersetzung organischer Substanz in anaerober Umgebung. Direkte N₂O-Emissionen entstehen bei Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen während der Lagerung von Wirtschaftsdünger und Gärresten. NO entsteht durch Nitrifikation in den Oberflächenschichten im Lager. NMVOC-Emissionen werden aus Silage-Futter und Wirtschaftsdüngerlager freigesetzt.

In der Berichterstattung werden dem Wirtschaftsdünger-Management auch indirekte N₂O-Emissionen zugeordnet. Diese können bei Umsetzungsprozessen in Böden aus reaktivem Stickstoff, der aus der Deposition von NH₃ und NO aus dem Wirtschaftsdünger- und Gärreste-Management stammt, sowie infolge von Stickstoff-Auswaschung oder -Oberflächenabfluss aus dem Wirtschaftsdünger- und Gärreste-Management entstehen. Da allerdings Versickerung oder unkontrollierter oberirdischer Abfluss aus dem Wirtschaftsdünger- und Gärreste-Management aus Gründen des Gewässerschutzes zu vermeiden sind ((Council of the European Union, 1991)), wurden keine indirekten N₂O-Emissionen aus Auswaschung/Oberflächenabfluss berechnet. Dies erfolgte für alle Jahre ab 1990. Dies stellt hinsichtlich der Gesamt-N₂O-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft eine konservative Annahme dar, denn der nicht durch N₂O aus Auswaschung/Oberflächenabfluss verloren gegangene Stickstoff wird ausgebracht und verursacht dadurch rechnerisch höhere N₂O-Emissionen.

Die Berechnung der Emissionen erfolgt in Abhängigkeit von der Tierkategorie, den Ausscheidungen der Tiere (welche eine Funktion der Tierleistung und der Ernährung sind), den in bestimmten Aufenthaltsbereichen (Weide, Stall) verbrachten Zeiten, sowie von Stalltyp, Stickstoffeintrag durch Einstreu (Stroh) und Lagerungstyp.

Tabelle 285 zeigt die zeitlichen Veränderungen der Emissionen aus dem gesamten Wirtschaftsdünger-Management seit 1990 sowie für Anfangs- und Endjahr der Zeitreihe den Anteil dieser Emissionen an den jeweiligen Gesamtemissionen aus der deutschen Landwirtschaft. Zu den absoluten Emissionshöhen siehe Kapitel 5.3.2.2.3, 5.3.3.2.3 und 5.3.4.2.3. Die Abnahme der Emissionen seit 1990 ist im Wesentlichen auf Veränderungen in den Tierbeständen zurück zu führen. Bei CH₄ und N₂O wirken sich auch Emissionseinsparungen durch die Wirtschaftsdünger-Vergärung aus. Der bei NMVOC noch stärkere prozentuale Rückgang seit 1990 ist fast ausschließlich eine Folge der zurück gegangenen Rinderzahlen.

Tabelle 285: Prozentuale Veränderung der Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (Index: MM) seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von CH₄, N₂O, THG und NMVOC

[%]	Veränderung seit 1990	Anteil an landwirtschaftlicher Gesamtemission (CH ₄ , N ₂ O, THG, NMVOC)	
		1990	2019
CH ₄ , MM	-21,3	18,4	18,9
N ₂ O _{MM} , direkt	-18,5	7,4	7,1
N ₂ O _{MM} , indirekt	-19,8	3,5	3,3
CH ₄ , MM + N ₂ O _{MM} (als THG in CO _{2eq})	-20,5	14,4	14,2
NMVOC _{MM}	-24,3	98,1	97,2

5.3.2 Methan-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B, CH₄)

5.3.2.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B, CH₄)

Siehe Kapitel 5.3.1.

5.3.2.2 Methodische Aspekte (3.B, CH₄)

5.3.2.2.1 Methodik (3.B, CH₄)

Die CH₄-Emissionen werden für alle Tierkategorien nach der Tier-2-Methode berechnet:

Gleichung 14: Berechnung der CH₄-Gesamtemission aus dem Wirtschaftsdünger-Management

$$E_{\text{CH}_4, \text{MM}} = \sum_{i,j} n_i \cdot EF_{i,j} = \sum_{i,j} n_i \cdot \alpha \cdot \rho_{\text{CH}_4} \cdot VS_i \cdot B_{o,i} \cdot MS_{i,j} \cdot MCF_{i,j}$$

mit

$E_{\text{CH}_4, \text{MM}}$	Methan-Gesamtemission aus dem Wirtschaftsdünger-Management (in kg a ⁻¹ CH ₄)
n_i	Anzahl der Tierplätze in Tierkategorie i (in Platz)
$EF_{i,j}$	Methan-Emissionsfaktor für Tierkategorie i in Wirtschaftsdünger-Management-System j (in kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄)
α	Faktor zur Umwandlung der Zeiteinheiten ($\alpha = 365 \text{ d a}^{-1}$)
ρ_{CH_4}	Dichte von Methan ($\rho_{\text{CH}_4} = 0,67 \text{ kg m}^{-3}$)
VS_i	VS-Ausscheidung von Tierkategorie i (in kg Platz ⁻¹ d ⁻¹)
$B_{o,i}$	Maximale Methanproduktionskapazität von Tierkategorie i (in m ³ kg ⁻¹ CH ₄)
$MS_{i,j}$	relativer Anteil der Anzahl der Haltungplätze von Tierkategorie i, deren Exkremete in Wirtschaftsdünger-Management-System j anfallen (in Platz Platz ⁻¹)

$MCF_{i,j}$ Methan-Umwandlungsfaktor für Wirtschaftsdünger-Management-System j (in $m^3 m^{-3}$)⁹⁰

Für die Tierplatzzahlen n_i wird auf Kapitel 5.3.2.2.1 verwiesen. Die VS-Ausscheidungen werden in Kapitel 5.1.3.5 beschrieben. Zu den Häufigkeiten von Lagerverfahren für Festmist, Flüssigmist und Gärreste sowie der Weidedauer siehe Kapitel 5.1.3.6.1 und 19.3.2. Auf maximale Methan-Bildungsrate B_0 und Methan-Umwandlungsfaktoren MCF gehen Kapitel 5.1.3.6.3 und 5.1.3.6.4 ein. Die Vergärung von Wirtschaftsdünger einschließlich Gärrestelagerung wird von IPCC als eigenständiger Lagertyp angesehen, zu dessen B_0 und MCF auf Kapitel 5.1.3.6.5 verwiesen wird.

5.3.2.2.2 Emissionsfaktoren (3.B,CH₄)

Tabelle 286 zeigt die Zeitreihen der auf den Tierplatz bezogenen Emissionsfaktoren. Sie wurden nach Gleichung 14 in Kapitel 5.3.2.2.1 berechnet. Der Effekt der Emissionsminderung durch die Vergärung von Wirtschaftsdünger ist in den Emissionsfaktoren enthalten.

Tabelle 286: Tierplatzbezogene CH₄-Emissionsfaktoren, Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a))

[kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	13,8	18,6	20,5	21,6	20,5	20,0	19,8	19,3	19,4	19,6	19,8	19,8	20,2	20,6
übrige Rinder	7,3	7,4	7,6	7,6	7,1	6,9	6,9	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,9	6,9
Schweine	4,1	4,4	4,5	4,4	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2
Schafe	0,28	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Ziegen	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Pferde	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Geflügel	0,031	0,030	0,032	0,035	0,037	0,035	0,034	0,033	0,033	0,034	0,034	0,034	0,035	0,035

5.3.2.2.3 Emissionen (CRF 3.B, CH₄)

Tabelle 287 zeigt die berechneten CH₄-Gesamtemissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management in absoluten sowie relativen, auf 1990 bezogenen prozentualen Werten.

Tabelle 287: CH₄-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management(3.B(a))

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
[kt a ⁻¹]	296,64	272,15	274,26	264,76	245,69	241,94	244,71	242,87	245,15	241,78	241,20	240,76	236,56	233,35
[% von 1990]	100,0	91,7	92,5	89,3	82,8	81,6	82,5	81,9	82,6	81,5	81,3	81,2	79,7	78,7

Der zeitliche Verlauf, insbesondere die starke Abnahme von 2017 bis 2019, ist im Wesentlichen eine Folge der Entwicklung der Tierzahlen (siehe Kapitel 5.1.3.2), modifiziert durch emissionssteigernden Leistungszuwachs (siehe Kapitel 5.1.3.3).

Tabelle 288 zeigt die Emissionsbeiträge von Milchkühen, übrigen Rindern und Schweinen sowie den hohen prozentualen Anteil dieser drei Tierkategorien zusammen an der Gesamtemission aller Tiere, ergänzt um das Verhältnis der Emissionen von Rindern und Schweinen.

Tabelle 288: CH₄ aus Wirtschaftsdünger-Management (Milchkühe, übrige Rinder, Schweine), prozentuale Beiträge zu CH₄ insgesamt aus Wirtschaftsdünger-Management, und Emissionsverhältnis Rinder : Schweine

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	87,8	97,3	93,8	91,5	85,8	83,7	82,9	82,5	83,4	83,8	83,7	83,1	82,9	82,6
übrige Rinder	95,4	79,3	75,8	66,7	61,3	57,8	57,2	57,5	57,3	56,8	56,2	55,1	54,0	52,9
Schweine	107,4	89,3	98,4	99,9	91,7	93,3	97,0	95,0	96,6	93,4	93,4	94,7	91,7	90,0
Summe	290,6	266,0	268,0	258,2	238,9	234,8	237,2	235,1	237,3	233,9	233,4	232,9	228,6	225,4
%-Anteil	98,0	97,7	97,7	97,5	97,2	97,0	96,9	96,8	96,8	96,8	96,8	96,7	96,6	96,6
Rinder : Schweine	1,7	2,0	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Die durch Wirtschaftsdünger-Vergärung eingesparten CH₄-Emissionen gehen aus Tabelle 289 hervor. Ohne Vergärung wären sie zusätzlich zu den in Tabelle 287 angegebenen Mengen emittiert

⁹⁰ IPCC gibt den MCF in Prozent (von B_0) an; im deutschen Inventar wird die eindeutigere Einheit $m^3 m^{-3}$ verwendet.

worden. Die prozentualen Minderungen beziehen sich auf die Emissionen, die ohne Vergärung entstanden wären.

Tabelle 289: Durch Wirtschaftsdünger-Vergärung verursachte absolute und prozentuale Veränderung der CH₄-Emissionen gegenüber einer Situation ohne Vergärung und Gärrestelagerung (negatives Vorzeichen: Emissionsminderung)

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
[kt a ⁻¹]	-0,01	-0,08	-0,7	-6,4	-26,5	-32,6	-35,7	-40,2	-42,0	-42,4	-41,7	-42,2	-40,9	-40,7
[%]	-0,003	-0,03	-0,2	-2,4	-9,7	-11,9	-12,7	-14,2	-14,6	-14,9	-14,7	-14,9	-14,7	-14,9

5.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, CH₄)

Tabelle 271 in Kapitel 5.1.6 gibt die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren an, die für die Schätzung der Gesamt-Unsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzt wurden.

Bei den Unsicherheit der Emissionsfaktoren für CH₄ im Bereich Wirtschaftsdünger-Management handelt es sich um Default-Angaben aus IPCC (2006): Vol. 4, Tabelle 10.48. Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (Tierzahlen), siehe Kap. 4.1.2, 5.1.2, 6.1.2, 7.1.2 und 8.1.2 in Haenel et al. (2020a).

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit dergleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.3.2.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, CH₄)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

Im Rahmen der Verifizierung wurden analog zur Vorgehensweise in Kapitel 5.2.4 die für 2018 erhaltenen Ergebnisse und Eingangsdaten mit denen benachbarter Staaten sowie des Vereinigten Königreiches von 2018 (Submission 2020 für 2018, (UNFCCC, 2020a)) verglichen.

Tabelle 290 zeigt für Milchkühe den IEF für CH₄ aus dem Wirtschaftsdünger-Management und wichtige Einflussgrößen. Entsprechend der CRF-Vorgabe beziehen sich die prozentualen Anteile von Flüssigmistsystemen und die entsprechenden MCF-Werte nur auf Flüssigmistsysteme, deren Gülle nicht in einer Biogasanlage vergoren wird.

Die IEF-Werte der verglichenen Länder zeigen eine relativ große Streuung. Der Median (23,4 kg Platz⁻¹ a⁻¹) liegt etwas oberhalb der IPCC-Defaultwertspanne für den IEF, während der deutsche IEF etwas darunter liegt. Die für Deutschland berechnete tägliche VS-Ausscheidung markiert (ungefähr gleichauf mit Frankreich) das untere Ende der Skala. Der deutsche MCF von Flüssigmistsystemen liegt bei 90 % des Medians der verglichenen Länder, während die Verbreitung von Flüssigmistsystemen in Deutschland praktisch auf dem Niveau des Medians liegt.

Tabelle 290: CH₄-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Milchkühen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Zeitreihenjahr 2018

	IEF _{CH₄}	VS-Ausscheidungen	Flüssigmistsysteme (ohne Vergärung)	
	[kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	[kg Platz ⁻¹ d ⁻¹]	Häufigkeit [%]	mittlerer MCF [%]
Österreich	17,16	5,02	54,41	8,77
Belgien	30,31	5,32	47,45	19,00
Tschechische Republik	14,23	6,63	16,00	17,00
Dänemark	26,49	7,03	71,08	4,98
Frankreich	10,64	4,18	17,19	17,50
Deutschland	20,21	3,97	52,37	15,33
Niederlande	38,80	4,85	82,70	17,00
Polen	11,13	6,03	10,53	17,00
Schweiz	27,75	4,82	69,03	13,51
Vereinigtes Königreich	37,26	5,51	61,00	17,00
IPCC (2006): Vol. 4, 10.38, 10.77, Western Europe, cool region 10°C/11°C	21 bis 23	5,1	35,7	17 bis 19

Quelle: Deutschland: Submission2021; andere Länder: UNFCCC (2020a)

Tabelle 291 zeigt für die übrigen Rinder den IEF für CH₄ aus dem Wirtschaftsdünger-Management und wichtige Einflussgrößen. Der deutsche IEF liegt knapp über dem Median. Die große Schwankungsbreite der IEF-Werte kann, außer auf unterschiedliche VS-Ausscheidungen und MCF-Werte, vor allem darauf zurückgeführt werden, dass es eine sehr unterschiedliche Verbreitung von Flüssigmist-Systemen gibt. Deutschland liegt hier mittig zwischen Median und drittem Quartil. Wie bei den Milchkühen liegt die deutsche VS-Ausscheidung unterhalb des Medians und dabei zwischen den Niederlanden und Belgien.

Aus Tabelle 292 geht hervor, dass auch bei den Schweinen der deutsche IEF für CH₄ aus dem Wirtschaftsdünger-Management im mittleren Bereich liegt: Er liegt auf gleichem Niveau wie der Median.

Tabelle 291: CH₄-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei übrigen Rindern verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Jahr 2018

	IEF _{CH₄}	VS-Ausscheidungen	Flüssigmistsysteme (ohne Vergärung)	
	[kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄]	[kg Platz ⁻¹ d ⁻¹]	Häufigkeit [%]	mittlerer MCF [%]
Österreich	6,18	2,13	34,85	8,26
Belgien	2,97	1,60	16,16	19,00
Tschechische Republik	3,56	2,95	9,00	17,00
Dänemark	12,60	3,22	31,58	4,98
Frankreich	3,23	1,91	2,64	18,91
Deutschland	6,88	1,40	31,91	15,39
Niederlande ^a	7,82	1,20	52,54	17,00
Polen	2,06	1,93	5,06	17,00
Schweiz ^a	6,83	2,48	33,17	13,51
Vereinigtes Königreich ^b	7,90	1,98	18,41	17,00
IPCC (2006): Vol. 4, 10.38, 10.77, Western Europe, cool region 10°C/11°C	6 bis 7	2,6	25,2	17 bis 19

Quelle: Deutschland: Submission2021; andere Länder: UNFCCC (2020a)

^a berechnet aus CRF-Daten^b Vereinigtes Königreich: Rinder ohne Milchkühe und ohne Milchkuh-Nachzucht (incl. Kälber)**Tabelle 292: CH₄-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Schweinen verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Jahr 2017**

	IEF _{CH₄}	VS-Ausscheidungen	Flüssigmistsysteme (ohne Vergärung)	
	[kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄]	[kg Platz ⁻¹ d ⁻¹]	Häufigkeit [%]	mittlerer MCF [%]
Österreich	1,15	0,30	85,88	3,39
Belgien	4,46	0,22	96,92	19,00
Tschechische Republik	6,30	NA	45,00	NO
Dänemark	3,47	0,18	85,82	13,37
Frankreich	4,20	0,19	87,90	22,00
Deutschland	4,17	0,31	77,79	22,18
Niederlande	5,52	0,40	57,80	36,00
Polen	1,58	0,31	24,87	17,00
Schweiz	4,10	0,31	84,55	13,51
Vereinigtes Königreich	5,20	0,25	35,02	17,00
IPCC (2006): Vol. 4, 10.80, 10.81, Western Europe, cool region 10°C/11°C	Sau, Eber: 9 bis 10 übrige: 6	Sau, Eber: 0,46 übrige: 0,30		17 bis 19

Quelle: Deutschland: Submission2021; andere Länder: UNFCCC (2020a)

Tabelle 293 zeigt für Geflügel den mittleren IEF, die mittlere VS-Ausscheidung sowie das mittlere Tiergewicht als Indikator für Energiebedarf und damit Futteraufnahme und Ausscheidungen. Sieht man beim IEF vom vergleichsweise sehr hohen tschechischen Wert ab, ergibt sich eine Spanne von 0,017 bis 0,035 kg Platz⁻¹a⁻¹. Der höchste IEF wird dabei von Deutschland berichtet, was daran liegt, dass die deutsche VS-Ausscheidung höher als bei den anderen Ländern ist (zumindest bei den sieben Ländern, die die VS-Ausscheidung berichten). Die deutsche VS-Ausscheidung markiert zwar die Obergrenze der Skala, bildet aber mit Dänemark, Frankreich

und den Niederlanden eine Gruppe, deren VS-Ausscheidungen in der Größenordnung von Faktor 2 bis 2,5 über der Untergrenze des IPCC-Defaultbereiches liegen. Mittlere Geflügelgewichte werden nur von Belgien, Tschechien, Dänemark und Deutschland berichtet. Diese Werte sind in einer vergleichbaren Größenordnung, wobei das mittlere deutsche Geflügelgewicht näher an dem belgischen Wert liegt.

Tabelle 293: CH₄-Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei Geflügel verschiedener Länder im Vergleich des impliziten Emissionsfaktors (IEF) und wichtiger emissionsrelevanter Parameter für das Jahr 2018

	IEF _{CH₄} [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	VS-Ausscheidungen [kg Platz ⁻¹ d ⁻¹]	mittleres Tiergewicht [kg Tier ⁻¹]
Österreich	0,024	0,02	NA
Belgien	0,023	NE	1,55
Tschechische Republik	0,105	NA	1,32
Dänemark	0,027	0,019	2,00
Frankreich	0,025	0,019	NE
Deutschland	0,035	0,026	1,68
Niederlande	0,029	0,020	NA
Polen	0,027	NA	NA
Schweiz	0,017	0,013	NA
Vereinigtes Königreich	0,021	0,013	NE
IPCC (2006): Vol. 4, 10.82, W-Europe, cool region, developed countries	0,02 bis 0,09 ^a	0,01 bis 0,07 ^a	0,9 bis 6,8 ^a

Quelle: Deutschland: Submission2021; andere Länder: UNFCCC (2020a)

^a niedriger Wert: Legehennen; hoher Wert: Puten

5.3.2.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, CH₄)

Tabelle 294 bis Tabelle 296 zeigen für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel einen Vergleich der VS-Ausscheidungen, Emissionsfaktoren und Emissionen zwischen der aktuellen Submission und Submission 2020.

Bei den VS-Ausscheidungen der Rinder sind deutliche Unterschiede zwischen beiden Submissionen festzustellen. Sie sind eine direkte Folge der energiebedarfs- und fütterungsbedingten Änderungen bei Milchkühen, Kälbern, Färsen und Mastbullen sowie der Unterteilung der weiblichen Jungrinder in zwei leistungsmäßig unterschiedliche Teilkategorien, siehe Kapitel 5.1.3.3. Diese Änderungen in den Tiermodellen dienen der Anpassung an deutsche Standards. Bei den Schweinen gibt es nur 2018 einen geringfügigen Unterschied zu Submission 2020. Dieser geht auf die in Kapitel 5.1.3.3 und Kapitel 5.1.3.2.3 genannten Änderungen bei den Eingangsdaten für Sauen, Aufzuchtferkel und Mastschweine zurück und ist in der in Tabelle 294 gewählten Zahlendarstellung nicht erkennbar. Auch die Unterschiede beim Geflügel, die in den Jahren 1990 bis 2001 und 2018 auftreten und auf die Änderungen von Eingangsdaten bei Puten und Masthähnchen zurück gehen, sind so gering, dass sie in Tabelle 294 nicht erkennbar sind.

Die oben genannten deutlichen Unterschiede der VS-Ausscheidungen der Rinder zwischen der aktuellen Submission und Submission 2020 äußern sich in ebenso markanten Unterschieden bei Emissionsfaktoren und Emissionen, siehe Tabelle 295 und Tabelle 296. Auch die Änderungen bei den Schweine-Eingangsdaten für 2018 zeigen sich in diesen beiden Tabellen. Beim Geflügel machen sich nur die Änderungen der Eingangsdaten von 2018 geringfügig bemerkbar.

Tabelle 294: Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berichteten VS-Ausscheidungen (3.B(a))

[kg Platz ⁻¹ d ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Milchkühe 2021	2,95	3,24	3,46	3,62	3,73	3,77	3,79	3,79	3,84	3,87	3,90	3,90	3,97
Milchkühe 2020	3,47	3,64	3,78	3,89	3,97	3,99	4,01	4,01	4,03	4,05	4,07	4,07	4,12
übrige Rinder 2021	1,26	1,31	1,36	1,35	1,38	1,37	1,37	1,37	1,38	1,38	1,38	1,39	1,40
übrige Rinder 2020	1,40	1,45	1,52	1,51	1,52	1,51	1,51	1,51	1,51	1,53	1,53	1,53	1,54
Schweine 2021	0,264	0,278	0,284	0,287	0,294	0,295	0,297	0,299	0,302	0,302	0,305	0,307	0,309
Schweine 2020	0,264	0,278	0,284	0,287	0,294	0,295	0,297	0,299	0,302	0,302	0,305	0,307	0,309
Geflügel 2021	0,0225	0,0218	0,0234	0,0255	0,0271	0,0263	0,0254	0,0242	0,0248	0,0252	0,0254	0,0255	0,0258
Geflügel 2020	0,0225	0,0218	0,0233	0,0255	0,0271	0,0263	0,0254	0,0242	0,0248	0,0252	0,0254	0,0255	0,0257

Tabelle 295: Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berichteten tierplatzbezogenen CH₄-Emissionsfaktoren für das Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a))

[kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Milchkühe 2021	13,8	18,6	20,5	21,6	20,5	20,0	19,8	19,3	19,4	19,6	19,8	19,8	20,2
Milchkühe 2020	16,6	21,3	22,5	23,3	22,1	21,5	21,3	20,8	20,8	20,9	21,1	21,0	21,2
übrige Rinder 2021	7,26	7,44	7,60	7,58	7,11	6,93	6,88	6,84	6,79	6,80	6,82	6,82	6,88
übrige Rinder 2020	7,99	8,14	8,44	8,41	7,81	7,62	7,58	7,53	7,47	7,49	7,52	7,49	7,54
Schweine 2021	4,05	4,38	4,52	4,39	4,12	4,09	4,10	4,06	4,08	4,06	4,10	4,13	4,17
Schweine 2020	4,05	4,38	4,52	4,39	4,12	4,09	4,10	4,06	4,08	4,06	4,10	4,13	4,14
Geflügel 2021	0,0314	0,0302	0,0321	0,0348	0,0366	0,0354	0,0341	0,0325	0,0332	0,0337	0,0340	0,0342	0,0346
Geflügel 2020	0,0314	0,0302	0,0321	0,0348	0,0366	0,0354	0,0341	0,0325	0,0332	0,0337	0,0340	0,0342	0,0345

Tabelle 296: Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berichteten CH₄-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B(a))

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
alle Tiere 2021	296,6	272,1	274,3	264,8	245,7	241,9	244,7	242,9	245,1	241,8	241,2	240,8	236,6
alle Tiere 2020	324,0	293,6	291,6	279,4	258,5	254,2	256,8	255,2	256,9	253,3	252,3	251,4	245,3
Milchkühe 2021	87,8	97,3	93,8	91,5	85,8	83,7	82,9	82,5	83,4	83,8	83,7	83,1	82,9
Milchkühe 2020	105,6	111,4	102,8	98,9	92,6	90,2	89,2	89,0	89,3	89,6	89,0	88,3	87,1
übrige Rinder 2021	95,4	79,3	75,8	66,7	61,3	57,8	57,2	57,5	57,3	56,8	56,2	55,1	54,0
übrige Rinder 2020	105,0	86,7	84,2	74,0	67,4	63,6	63,0	63,4	63,1	62,6	62,0	60,5	59,2
Schweine 2021	107,4	89,3	98,4	99,9	91,7	93,3	97,0	95,0	96,6	93,4	93,4	94,7	91,7
Schweine 2020	107,4	89,3	98,4	99,9	91,7	93,3	97,0	95,0	96,6	93,4	93,4	94,7	91,1
Geflügel 2021	3,58	3,36	3,86	4,20	4,71	5,13	5,49	5,77	5,84	5,89	5,91	5,96	6,06
Geflügel 2020	3,58	3,36	3,86	4,20	4,71	5,13	5,49	5,77	5,84	5,89	5,91	5,96	6,05

5.3.2.6 Geplante Verbesserungen (3.B, CH₄)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

5.3.3 NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

5.3.3.1 Beschreibung der Quellgruppe (NMVOC)

Siehe Kapitel 5.3.1.

5.3.3.2 Methodische Aspekte (NMVOC)

5.3.3.2.1 Methodik (NMVOC)

IPCC (2006) gibt keine Methode zur Berechnung von NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management an. EMEP/EEA (2019) stellt Methoden und die dazugehörigen Parameter bereit. Deutschland berechnet die NMVOC-Emissionen getrennt nach Tierkategorien, wobei für Milchkühe und übrige Rinder die Tier-2-Methodik (EMEP/EEA (2019)-3B-28) und für die übrigen Tiere die Tier-1-Methodik (EMEP/EEA (2019)-3B-18) verwendet wird. Bei der einfachen Tier-1-Methodik wird die Tierzahl mit einem tierplatzbezogenen Emissionsfaktor

multipliziert. Die Stufe-2-Methodik berechnet die tierbezogenen NMVOC-Emissionen als Summe der Emissionen aus dem Silagelager, aus der Fütterung mit Silage, aus dem Stall, aus dem Wirtschaftsdünger-Management, aus der Ausbringung und aus dem Weidegang. Zur Ermittlung der Verhältnisse dieser Teil-Emissionen zueinander greift die Methodik auf die entsprechenden Verhältnisse der NH₃-Emissionen zurück. Diese NH₃-Emissionen werden im deutschen Inventarmodell GAS-EM für die Berichterstattung unter der Genfer Luftreinhaltekonvention (United Nations Economic Commission for Europe, 1979) konsistent zu den Treibhausgasemissionen berechnet.

Zu weiteren Details der NMVOC-Emissionsberechnungen siehe Rösemann et al. (2021), Kapitel 3.3.4.2. Für den Gleichungssatz der Tier-2-Methode wird auf EMEP/EEA (2019)-3B-29 verwiesen.

5.3.3.2.2 Emissionsfaktoren (NMVOC)

Für die Tier-1-Methodik gibt EMEP/EEA (2019)-3B-18 unterschiedliche Emissionsfaktoren für Fütterung mit und ohne Silage an. Für Pferde werden davon im deutschen Inventar die Emissionsfaktoren für Silagefütterung angenommen, für die übrigen Tiere, für die eine Tier-1-Berechnung erfolgt, die Faktoren für eine Fütterung ohne Silage. Tabelle 297 zeigt die Liste der im Inventar verwendeten Emissionsfaktoren. Dazu wurde, wegen fehlender oder nicht den Inventar-Tierkategorien entsprechender Emissionsfaktoren, für Aufzuchtferkel, Eber, Schafe, Pferde und Junghennen Folgendes festgelegt, siehe Kapitel 3.3.4.2.1 in Rösemann et al. (2021):

- In konservativer Weise wird für Eber der Emissionsfaktor von Sauen und für Aufzuchtferkel der von Mastschweinen übernommen.
- Der in EMEP/EEA (2019) angegebene Emissionsfaktor für Schafe wird als Emissionsfaktor für erwachsene Schafe interpretiert. Der Emissionsfaktor für Lämmer wird mit 40 % des Emissionsfaktors für erwachsene Schafe angesetzt.
- Der in EMEP/EEA (2019) angegebene Emissionsfaktor für Pferde wird als Emissionsfaktor für Großpferde interpretiert. Für Kleinpferde und Ponys wird der in EMEP/EEA (2019) angegebene Emissionsfaktor für Esel und Maultiere verwendet.
- Wegen der Ähnlichkeit des Haltungsverfahrens wird für Junghennen der Emissionsfaktor von Masthähnchen übernommen.

Tabelle 297: NMVOC: Im Inventar verwendete Tier-1- Emissionsfaktoren nach EMEP/EEA (2019)

[kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	Tier-1-EF _{NMVOC}
Sauen, Eber	1,704
Mastschweine, Aufzuchtferkel	0,551
erwachsene Schafe	0,169
Lämmer	0,068
Ziegen	0,542
Großpferde	7,781
Kleinpferde und Ponys	3,018
Legehennen	0,165
Masthähnchen, Junghennen	0,108
Gänse, Enten und Puten	0,489

Tabelle 298 zeigt für ausgewählte Jahre die berechneten Tier-2-Gesamtemissionsfaktoren (IEF) der Milchkühe und der übrigen Rinder. Sie sind deutlich niedriger als die in Submission 2020 berechneten Emissionsfaktoren, worauf in Kapitel 5.3.3.5 eingegangen wird.

Tabelle 298: NMVOC: Im Inventar berechneten Tier-2- Emissionsfaktoren (IEF)

[kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	1990	2005	2019
Milchkühe	30,94	36,71	40,09
übrige Rinder	11,70	11,65	11,82

Der ansteigende Trend des IEF der Milchkühen seit 1990 ist eine direkte Folge des Leistungsanstiegs, der über die GE-Aufnahme Eingang in die Berechnung findet. Die zeitliche Entwicklung des IEF der übrigen Rinder unterliegt dem Einfluss der Leistungssteigerung bei den Masttieren und der zeitlich variierenden Zusammensetzung der Population (da der IEF der verschiedenen Unterkategorien der übrigen Rinder unterschiedlich hoch ist).

Auffällig ist der große Unterschied zwischen den Tier-2-Emissionsfaktoren und den Tier-1-Emissionsfaktoren für Milchkühe und übrige Rinder (mit Silagefütterung). Letztere liegen nach EMEP/EEA (2019)-3B-18, Table 3.4, bei 17,937 kg pl⁻¹ a⁻¹ (Milchkühe) bzw. 8,902 kg pl⁻¹ a⁻¹ (übrige Rinder). Diese großen Unterschiede können nur damit erklärt werden, dass die beiden Methoden nicht konsistent sind.

5.3.3.2.3 Emissionen (NMVOC)

Die unter CRF 3s1 zu berichtenden NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management gehen aus Tabelle 299 hervor. Die Emissionen der Rinder und damit auch die Gesamtemissionen aller Tiere sind erheblich niedriger als im NIR 2020, siehe dazu Kapitel 5.3.3.5.

Tabelle 299: NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
insgesamt	390,8	332,2	318,0	297,6	296,8	297,1	299,2	304,4	306,7	305,4	303,1	300,9	297,9	295,8
in % von 1990	100,0	85,0	81,4	76,2	75,9	76,0	76,6	77,9	78,5	78,1	77,6	77,0	76,2	75,7
Milchkühe	196,6	171,0	162,1	155,5	155,8	157,5	157,4	159,4	162,0	162,4	161,8	161,2	160,8	160,8
übrige Rinder	153,7	124,3	117,3	102,5	101,1	97,4	96,9	98,1	98,0	97,0	95,8	94,2	91,9	90,1
Schweine	18,4	14,2	15,0	15,5	14,9	15,1	15,5	15,3	15,4	15,0	14,8	14,9	14,3	14,0
Schafe	0,43	0,39	0,36	0,35	0,30	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24
Ziegen	0,05	0,05	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
Pferde	3,2	4,1	3,3	3,4	3,1	3,1	3,1	3,1	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,8
Geflügel	18,3	18,1	19,8	20,3	21,6	23,8	26,0	28,2	27,9	27,7	27,4	27,5	27,7	27,7

Tabelle 300 verdeutlicht, dass die Emissionen zum weitaus größten Anteil auf die Rinderhaltung zurückgehen. Die Abnahme der NMVOC-Emissionen seit 1990 ist somit fast ausschließlich mit dem Rückgang der Rinderzahlen zu erklären ($R^2 = 93,8\%$). Der relative Emissionsbeitrag der Geflügelhaltung ist gegenüber 1990 aufgrund steigender Geflügelzahlen stark angestiegen und liegt am Ende der Zeitreihe deutlich über dem Gesamtbeitrag der übrigen Tiere.

Tabelle 300: Prozentuale Beiträge zu den NMVOC-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Rinder	89,6	88,9	87,9	86,7	86,6	85,8	85,0	84,6	84,8	85,0	85,0	84,9	84,9	84,8
Geflügel	4,7	5,5	6,2	6,8	7,3	8,0	8,7	9,3	9,1	9,1	9,0	9,1	9,3	9,4
übrige Tiere	5,7	5,7	5,9	6,5	6,2	6,2	6,3	6,1	6,1	6,0	5,9	6,0	5,9	5,8

5.3.3.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (NMVOC)

EMEP/EEA (2019)-3B-37 betont die sehr große Unsicherheit der Emissionsfaktoren, macht aber keine quantitativen Angaben dazu. Das deutsche Inventar geht von einem 95 % - Konfidenzintervall von [-79 %, +200 %] aus, siehe dazu Kap. 3.3.4.2.3 in Rösemann et al. (2021). Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (Tierzahlen) siehe Kap. 4.1.2, 5.1.2, 6.1.2, 7.1.2 und 8.1.2 in Rösemann et al. (2021).

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.3.3.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (NMVOC)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

5.3.3.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (NMVOC)

Bei den Rindern gibt es Abweichungen der NMVOC-Emissionsfaktoren und damit der NMVOC-Emissionen gegenüber dem NIR 2020, während bei den übrigen Tierkategorien die NMVOC-Emissionen mit dem NIR 2020 übereinstimmen. Tabelle 301 zeigt die in Submission 2021 und 2020 unterschiedlichen Emissionswerte; auf eine Darstellung der unterschiedlichen Emissionsfaktoren wird verzichtet, da die Emissionen direkt proportional zu den Emissionsfaktoren sind. Die Differenzen in Tabelle 301 zwischen beiden Submissionen sind ganz überwiegend eine Folge der in Kapitel 5.1.3.3 für die Rinder genannten Änderungen bei der Berechnung von Energiebedarf und Fütterung, die die Anpassung der Tiermodelle an deutsche Expertenempfehlungen zum Ziel hatten. Von untergeordneter Bedeutung ist die bei den Milchkühen vorgenommene Korrektur in der TAN-Ausscheidungsrechnung, die zusätzliche Veränderungen bei den in der NMVOC-Tier-2-Methode (siehe Kapitel 5.3.3.2.1) verwendeten NH_3 -Emissionsverhältnissen bewirkt.

Tabelle 301: Vergleich der NMVOC-Emissionen zwischen NIR 2021 und NIR 2020 für Milchkühe und übrige Rinder

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Milchkühe 2021	196,6	171,0	162,1	155,5	155,8	157,5	157,4	159,4	162,0	162,4	161,8	161,2	160,8
Milchkühe 2020	231,9	194,0	177,1	167,5	166,6	168,1	167,7	170,0	172,4	172,6	171,6	170,9	170,0
übrige Rinder 2021	153,7	124,3	117,3	102,5	101,1	97,4	96,9	98,1	98,0	97,0	95,8	94,2	91,9
übrige Rinder 2020	167,1	134,8	129,2	113,1	110,8	106,8	106,4	107,9	107,8	106,9	105,8	103,8	101,4

5.3.3.6 Geplante Verbesserungen (NMVOC)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

5.3.4 Direkte N_2O - und NO -Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (3.B, N_2O & NO)

5.3.4.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B, $\text{N}_2\text{O}_{\text{direkt}}$ & NO)

Siehe Kapitel 5.3.1.

5.3.4.2 Methodische Aspekte (3.B, $\text{N}_2\text{O}_{\text{direkt}}$ & NO)

5.3.4.2.1 Methodik (3.B, $\text{N}_2\text{O}_{\text{direkt}}$ & NO)

Die Berechnung der N_2O -Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management erfolgt für alle Tierkategorien getrennt unter Berücksichtigung der gegebenen Managementsysteme (einschließlich der Wirtschaftsdünger-Vergärung, siehe Kapitel 5.1.3.6.5):

Gleichung 15: Berechnung der N_2O -Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

$$E_{\text{N}_2\text{O}-\text{N}} = \sum_{i,j} [(N_{\text{excr},i} + N_{\text{straw},i,j}) \cdot MS_{i,j}] \cdot EF_{\text{N}_2\text{O}-\text{N},j}$$

mit:

$E_{N_{2O-N}}$	Gesamte N_{2O-N} -Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management ($kg\ a^{-1}\ N_{2O-N}$)
$N_{excr, i}$	Gesamte N-Ausscheidung der Tierkategorie i ($kg\ a^{-1}\ N$)
$N_{straw, i, j}$	N-Eintrag durch Einstreu für Tierkategorie i und Wirtschaftsdünger-Managementsystem j ($kg\ a^{-1}\ N$)
$MS_{i, j}$	relativer Anteil des Wirtschaftsdünger-Managementsystems j in Tierkategorie i (Platz Platz ⁻¹)
$EF_{N_{2O-N, j}}$	N_{2O-N} -Emissionsfaktor für Wirtschaftsdünger-Managementsystem j ($kg\ kg^{-1}\ N_{2O-N}$)

Zu Gesamt-N-Ausscheidungen und Gesamt-N-Einträgen durch Einstreu siehe Kapitel 5.1.3.4 und 5.1.3.6.2. Zu den relativen Häufigkeiten der Wirtschaftsdünger-Managementsysteme siehe Kapitel 5.1.3.6.1 und 19.3.2.

Die NO -Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management werden analog zu den N_{2O} -Emissionen berechnet.

N_{2O} - und NO -Emissionen infolge von Wirtschaftsdüngerausbringung und Weidegang werden unter 3.D berichtet.

5.3.4.2.2 Emissionsfaktoren (3.B, N_{2O} direkt & NO)

Für die Güllelagerung werden, soweit vorhanden, die in IPCC (2006): Vol. 4, 10.62 angegebenen Default-Emissionsfaktoren verwendet: Außenlager ohne natürliche Schwimmdecke (entspricht „Außenlager ohne Abdeckung“ in Tabelle 302), Außenlager mit natürlicher Schwimmdecke, Lagerung unterhalb Spaltenboden. Für die in IPCC (2006): Vol. 4 nicht genannte Güllelagerung mit fester Abdeckung oder mit künstlicher Schwimmdecke (Häcksel) wird konservativ der Emissionsfaktor der Außenlagerung mit natürlicher Schwimmdecke übernommen. Für die in IPCC (2006): Vol. 4 ebenfalls nicht genannte Güllelagerung unter Folienabdeckung wird angenommen, dass der Emissionsfaktor der Außenlagerung ohne natürliche Schwimmdecke übernommen werden kann.

Bei Festmistsystemen wird nach Anbindehaltung/Laufstall (mit Lagerung im Misthaufen) und Tiefstreu differenziert. Bei der Tiefstreu-Haltung kennt die landwirtschaftliche Praxis in Deutschland keine aktive Durchmischung (Expertenurteil, Brigitte Eurich-Menden et al. siehe Kap. 3.4.3.2.1 und 3.4.3.2.3 in Rösemann et al. (2021)). Für Tiefstreu wird daher der IPCC (2006)-Defaultwert von $0,010\ kg\ N_{2O-N}\ (kg\ N)^{-1}$ (IPCC (2006): Vol 4, -10.63) verwendet. Für die Lagerung von Festmist aus Anbindehaltung/Laufstall bzw. für Geflügelkot werden die IPCC (2006)-Defaultwerte von $0,005$ bzw. $0,001\ kg\ N_{2O-N}\ (kg\ N)^{-1}$ (IPCC (2006): Vol 4, 10.63) verwendet.

Die Vergärung von Wirtschaftsdünger einschließlich Gärrestlagerung wird von IPCC (2006): Vol 4, 10.63 als eigenständiger Lagertyp angesehen, aus dem keine N_{2O} -Emissionen erfolgen ($EF = 0\ kg\ kg^{-1}$). Dieser IPCC-Defaultansatz berücksichtigt u. a. nicht, dass aus offenen Gärrestlagern N_{2O} emittiert wird. Das deutsche Inventar berechnet daher von Null verschiedene N_{2O} -Emissionen aus der Vergärung von Wirtschaftsdünger, differenziert nach verschiedenen Wirtschaftsdünger- und Gärrestlagerarten, siehe Kapitel 5.1.3.6.5.

Tabelle 302 zeigt die für die vorliegende Submission 2018 verwendeten N_{2O-N} -Emissionsfaktoren.

Tabelle 302: Emissionsfaktoren für Emissionen von N₂O-N aus dem Wirtschaftsdünger-Management, ohne Vergärung (bezogen auf die Summe von ausgeschiedenem N und Einstreu-N) (3.B(b))

Wirtschaftsdünger	Emissionsfaktor [kg kg ⁻¹]	
Gülle	Außenlager ohne Abdeckung ^a	0,000
	feste Abdeckung ^b	0,005
	natürliche Schwimmdecke ^a	0,005
	Schwimmdecke (Häcksel) ^b	0,005
	Schwimmdecke (Folie) ^c	0,000
	unterhalb Spaltenboden ^a	0,002
Jauche^d	feste Abdeckung	0,005
Festmist		0,005
Tiefstreu^a		0,010
Geflügelfestmist bzw. –kot^a		0,001

^a Quelle: IPCC (2006): Vol. 4

^b Worst-Case-Annahme: Wie natürliche Schwimmdecke, da keine Angaben verfügbar.

^c Annahme: Bei Folienschwimmdecken tritt keine N₂O-Bildung auf.

^d Annahme: Vergleichbar mit Lagerung von Gülle unter fester Abdeckung

IPCC (2006): Vol. 4 gibt keine Emissionsfaktoren für NO an. Die in EMEP/EEA (2019) -3B-17 angegebenen Tier-1-Emissionsfaktoren beziehen sich auf den Tierplatz. Sie können nicht im Inventarmodell GAS-EM verwendet werden, da GAS-EM im Rahmen des N-Fluss-Konzeptes (siehe Kapitel 5.1.2.4) Emissionsfaktoren benötigt, die sich auf die emissionsrelevante N-Menge beziehen. Vergleichsrechnungen haben aber gezeigt, dass die mit den Tier-1-Emissionsfaktoren berechneten deutschen NO-Gesamtemissionen des Sektors 3.B mit dem N-Fluss-Konzept von GAS-EM reproduziert werden können, wenn der auf N bezogene NO-N-Emissionsfaktor um eine Größenordnung kleiner als der N₂O-N-Emissionsfaktor ist. Daher wurde im Inventar der NO-N-Emissionsfaktor mit 10 % des N₂O-N-Emissionsfaktors angesetzt. Dieser Ansatz führt zu NO-Emissionen, die den N₂O-Emissionen direkt proportional sind.

Emissionsfaktoren zu N₂ (im N-Fluss-Konzept ebenfalls zu berücksichtigen, siehe Kapitel 5.1.2.4) werden weder von IPCC noch von EMEP angegeben. Jarvis and Pain (1994) fanden für das Verhältnis von N₂-Emissionen zu N₂O-N-Emissionen einen Wert von 3:1. Daher wurde im Inventar angenommen, dass der N₂-Emissionsfaktor das Dreifache des N₂O-N-Emissionsfaktors beträgt.

Tabelle 303 zeigt die Zeitreihen der mittleren N₂O-N-Emissionsfaktoren für die vier berichterstattungsrelevanten übergreifenden Wirtschaftsdünger-Managementkategorien „güllebasiert (ohne Vergärung)“, „strohbasierend (ohne Tiefstreu und ohne Vergärung)“, „Tiefstreu (ohne Vergärung)“ und „Vergärung (von Wirtschaftsdünger)“. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wird in Abweichung von der sonst für die Emissionsfaktoren üblichen Einheit (kg kg⁻¹, siehe Tabelle 302) die Einheit g kg⁻¹ verwendet. Diese Emissionsfaktoren sind definiert als das Verhältnis der gesamten N₂O-N-Emissionen aus einer Managementkategorie zur Summe der tierischen N-Ausscheidungen in dieser Managementkategorie. Dabei umfassen die Gesamt-N₂O-Emissionen bei den Kategorien mit Einstreu auch Emissionsanteile, die auf Einstreu-N zurückgehen. Aus diesem Grund ist in Tabelle 303 der resultierende Emissionsfaktor für Tiefstreu höher als der in Tabelle 302 angegebene. Gleiches gilt prinzipiell auch für strohbasierte Systeme ohne Tiefstreu und Vergärung, wobei der Effekt nicht auffällt, weil in die entsprechenden Werte in Tabelle 303 auch der erheblich niedrigere Geflügel-Emissionsfaktor (siehe Tabelle 302) eingeht. Auffällig ist der negative Trend bei den N₂O-N-Emissionsfaktoren für strohbasierte Systeme und den Systemen mit Vergärung über die gesamte Zeitreihe. Bei den strohbasierten Systemen ist dies eine Folge der abnehmenden N₂O-Beiträge aus Festmistsystemen in der Rinder- und Schweinehaltung, was auf die veränderten Tierzahlen in

den jeweiligen Haltungsverfahren zurückzuführen ist. Bei der Vergärung ist der Grund in erster Linie in der zunehmenden Verbreitung gasdichter Gärrestelagerung zu finden (siehe Kapitel 5.1.3.6.5). Die Abweichungen der Daten in Tabelle 303 von der entsprechenden Tabelle im NIR 2020 sind eine Folge der Modell- und Aktivitätsdatenänderungen von Submission 2020 zur vorliegenden Submission 2021.

Tabelle 303: Mittlere N₂O-N-Emissionsfaktoren nach Wirtschaftsdünger-Managementsystemen (3.B(b))

[g kg ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
güllebasiert ^a	3,08	3,44	3,40	3,43	3,51	3,51	3,50	3,51	3,50	3,51	3,51	3,51	3,51	3,51
strohbasierend ^b	4,88	4,59	4,42	4,41	4,21	4,06	3,97	3,87	3,86	3,83	3,82	3,79	3,75	3,73
Tiefstreu ^a	11,28	11,40	11,38	11,31	11,30	11,30	11,30	11,31	11,31	11,30	11,30	11,29	11,28	11,27
Vergärung	5,45	5,11	4,87	4,56	3,32	3,06	2,48	2,38	2,29	2,25	2,23	2,24	2,21	2,21

^a ohne Vergärung

^b ohne Tiefstreu und ohne Vergärung

5.3.4.2.3 Emissionen (3.B, N₂O_{direkt} & NO)

Tabelle 304 zeigt die direkten N₂O-Gesamtemissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (einschließlich Lagerung der Wirtschaftsdünger-Gärreste) und ihre Aufschlüsselung nach Systemkategorien. Die starke Abnahme der Emissionen in der ersten Hälfte der 1990er Jahre ist im Wesentlichen eine Folge des Rückgangs der Tierbestände nach der deutschen Wiedervereinigung. Zusätzliche Einflussfaktoren sind die zeitliche Veränderung der Verteilung der Managementsysteme (siehe Kapitel 5.1.3.6.1 und 19.3.2) sowie die mit den Jahren zunehmende Emissionsminderung durch Vergärung von Wirtschaftsdünger (siehe Kapitel 5.1.3.6.5).

Tabelle 304: Direkte N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management (MM) insgesamt und nach Systemkategorien (3.B(b))

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
MM gesamt	8,23	7,42	7,29	7,34	7,31	7,18	7,08	7,06	7,09	7,01	6,96	6,90	6,78	6,70
in % von 1990	100,0	90,2	88,6	89,2	88,9	87,3	86,1	85,8	86,1	85,2	84,6	83,9	82,5	81,5
güllebasiert ^a	4,11	4,36	4,25	4,00	3,51	3,39	3,40	3,32	3,34	3,29	3,29	3,28	3,23	3,20
strohbasierend ^b	3,23	2,12	1,98	1,91	1,86	1,81	1,80	1,79	1,80	1,79	1,77	1,75	1,73	1,71
Tiefstreu ^a	0,88	0,94	1,02	1,20	1,25	1,20	1,20	1,21	1,21	1,18	1,17	1,15	1,12	1,09
Vergärung	0,00	0,00	0,04	0,23	0,69	0,78	0,68	0,74	0,74	0,74	0,72	0,73	0,70	0,70

^a ohne Vergärung

^b ohne Tiefstreu und ohne Vergärung

Aus Tabelle 305 gehen die entsprechenden Beiträge der drei wichtigsten Tierkategorien (Milchkühe, übrige Rinder und Schweine) hervor. Tabelle 306 zeigt die prozentualen Beiträge von Milchkühen, übrigen Rindern und Schweinen zu den gesamten direkten N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management. Absoluter und relativer Beitrag sind bei den Rindern wegen abnehmender Tierzahlen über die Jahre deutlich zurückgegangen, während sich bei den Schweinen wegen der gegenüber 1990 angestiegenen Tierzahlen ein gegenteiliger Effekt zeigt.

Tabelle 305: Direkte N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management von Milchkühen, übrigen Rindern und Schweinen (3.B(b))

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	3,21	2,86	2,73	2,64	2,49	2,45	2,37	2,35	2,36	2,37	2,36	2,34	2,33	2,34
übrige Rinder	3,33	2,94	2,87	2,70	2,69	2,57	2,53	2,55	2,54	2,52	2,48	2,44	2,37	2,33
Schweine	1,26	1,16	1,26	1,54	1,68	1,70	1,72	1,69	1,71	1,64	1,64	1,66	1,60	1,57

Tabelle 306: Prozentuale Beiträge von Milchkühen, übrigen Rindern und Schweinen zu den gesamten direkten N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

[%]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Milchkühe	39,0	38,5	37,4	36,0	34,1	34,1	33,4	33,3	33,3	33,8	34,0	33,9	34,4	34,9
übrige Rinder	40,5	39,6	39,4	36,9	36,8	35,8	35,7	36,1	35,9	35,9	35,7	35,3	35,0	34,7
Schweine	15,4	15,6	17,3	21,0	23,0	23,6	24,3	23,9	24,1	23,5	23,6	24,0	23,6	23,4
Summe	94,8	93,7	94,1	93,8	93,8	93,6	93,4	93,3	93,3	93,2	93,2	93,2	93,1	93,0

Die durch Wirtschaftsdünger-Vergärung erzielte absolute und prozentuale Einsparung von N₂O-Emissionen gegenüber einer Situation ohne Vergärung und Gärrestlagerung geht aus Tabelle 307 hervor. Positive Werte bedeuten eine Zunahme der Emissionen. Diese Zunahme ist im Wesentlichen darauf zurück zu führen, dass die Lagerung der Gärreste, wenn sie nicht gasdicht erfolgt, zu höheren N₂O-Emissionen als die herkömmliche Lagerung von Wirtschaftsdünger führt. Darüber hinaus erzeugt bei Geflügelkot die Gärrestlagerung generell höhere N₂O-Emissionen als die Lagerung unvergorenen Geflügelkots. Für die gesamte Wirtschaftsdünger-Vergärung führt erst der mit den Jahren ansteigende Anteil der gasdichten Lagerung (siehe Kapitel 5.1.3.6.5) ab 2006/2007 zur Einsparung von N₂O-Emissionen.

Tabelle 307: Durch Wirtschaftsdünger-Vergärung verursachte absolute und prozentuale Veränderung der direkten N₂O-Emissionen gegenüber einer Situation ohne Vergärung und Gärrestlagerung (negative Werte: Emissionsminderung)

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
[kt a ⁻¹]	0,0001	0,0008	0,005	0,03	-0,17	-0,26	-0,44	-0,52	-0,57	-0,59	-0,58	-0,59	-0,58	-0,58
[%]	0,001	0,011	0,08	0,5	-2,3	-3,5	-5,8	-6,8	-7,5	-7,8	-7,7	-7,8	-7,8	-7,9

Tabelle 308 zeigt die NO-Gesamtemissionen der Quellgruppe 3.B. Wegen der Proportionalität der Emissionsfaktoren von NO und N₂O sind die zeitlichen Trends für NO identisch mit denen für N₂O.

Tabelle 308: NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	1,122	1,012	0,993	1,000	0,997	0,979	0,965	0,962	0,966	0,955	0,949	0,941	0,925	0,914

5.3.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, N₂O_{direkt} & NO)

Tabelle 271 in Kapitel 5.1.6 gibt die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren an, die für die Schätzung der Gesamt-Unsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzt wurden.

Die Schätzung der Unsicherheit der N₂O-Emissionsfaktoren (95 % - Konfidenzintervall) beruht auf Defaultangaben in IPCC (2006): Vol. 4, Tabelle 10.21. Siehe dazu auch Kap. 4.2.2.4 und 14.4.1 in Rösemann et al. (2021). Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (Tierzahlen) siehe Kap. 4.1.2, 5.1.2, 6.1.2, 7.1.2 und 8.1.2 in Rösemann et al. (2021).

Mangels Daten zur Unsicherheit des NO-Emissionsfaktors wird die Unsicherheit des N₂O-Emissionsfaktors übernommen.

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.3.4.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, N₂O_{direkt} & NO)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

Im Rahmen der Verifizierung wurde analog zur Vorgehensweise in Kapitel 5.2.4 für 2018 ein Vergleich der N-Ausscheidungen und der N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-

Management in Deutschland und benachbarten Staaten inklusive des Vereinigten Königreiches durchgeführt, Tabelle 309 und Tabelle 310.

Bei den N-Ausscheidungen der Milchkühe liegt Deutschland rund 3 % über dem Median und in plausibler Nähe zu anderen Ländern. Bei der N-Ausscheidung der übrigen Rinder liegt der deutsche Wert auf dem Niveau des Medians. Die deutschen N-Ausscheidungen für die Schweine stellen den dritthöchsten Wert dar. Es erhebt sich dabei die Frage nach der Definition des Mittelwertes für die gesamte Schweinepopulation: Deutschland berechnet den Mittelwert regelkonform für einen AAP-Platz, der 365 Tage im Jahr besetzt ist, siehe Kap. 3.1.2.2 in Rösemann et al. (2021), während sich die niedrigeren N-Ausscheidungen der übrigen Länder möglicherweise zum Teil durch eine nicht AAP-konsistente Berücksichtigung von Leerstandszeiten erklären lassen.

Beim Geflügel liegt Deutschland am oberen Ende des Wertebereichs. Die Unkenntnis über die Zusammensetzung der Gesamtpopulation in den verschiedenen Ländern erschwert den direkten Vergleich, da die verschiedenen Geflügelarten sehr unterschiedliche Ausscheidungsniveaus aufweisen (siehe Spannbreite nach EMEP/EEA (2019)-3B-31).

Tabelle 309: N-Ausscheidung pro Tierplatz für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel verschiedener Länder im Zeitreihenjahr 2018

	Milchkühe [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	Übrige Rinder [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	Schweine [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	Geflügel [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]
Österreich	106,44	45,49	9,31	0,55
Belgien	120,76	54,59	9,22	0,57
Tschechische Republik	141,20	70,05	15,64	0,49
Dänemark	154,67	42,33	7,67	0,49
Frankreich	114,86	59,74	9,36	0,48
Deutschland	116,80	43,06	13,26	0,74
Niederlande ^a	84,10	41,46	14,33	0,57
Polen	90,00	34,98	10,75	0,51
Schweiz ^a	111,65	39,47	9,34	0,47
Vereinigtes Königreich ^b	109,88	44,74	10,27	0,57
IPCC (2006): Vol. 4, 10.59, 10.72, 10.78, 10.80, 10.81, 10.82	105,1 ^c	50,6 ^c	9,3 / 30,4 ^{c,d}	0,53 ^{c,e}
EMEP/EEA (2019)-3B-31	105	41	12,1 / 34,5 ^d	0,36 bis 1,64

Quelle: Deutschland: Submission 2021; andere Länder: UNFCCC (2020a)

^a Niederlande und Schweiz, übrige Rinder: berechnet aus CRF-Daten

^b Vereinigtes Königreich: Rinder-Daten unterscheiden zwischen Milchrindern (Milchkühe und Milchkuhnachzucht incl. Kälber) und den verbleibenden anderen Rindern

^c IPCC-Gewichte: berechnet nach IPCC (2006): Vol. 4 mit den IPCC-Standardwerten für Gewicht und N-Ausscheidung und im Falle von Geflügel mit den deutschen Tierzahlen der Geflügelunterkategorien (Submission2021)

^d IPCC (2006): Vol. 4: Sauen und Eber: 30,4, andere: 9,3; EMEP/EEA (2019): Sauen: 34,5, Mastschweine: 12,1

^e Geflügel: Annahmen für fehlende Werte: Gewicht Gänse = 1/2 Standardgewicht Puten IPCC (2006): Vol. 4, N-Ausscheidung Gänse = Standard-N-Ausscheidung Puten (IPCC (2006): Vol. 4), Gewicht Junghennen = 1/2 Standardgewicht Legehennen IPCC (2006): Vol. 4, N-Ausscheidung Junghennen = Standard-N-Ausscheidung Legehennen IPCC (2006): Vol. 4

Tabelle 310 zeigt eine Gegenüberstellung der IEFs der direkten N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel. Die von den verschiedenen Ländern angegebenen Daten variieren jeweils über einen großen Bereich. Eine Erklärung für die Schwankungsbreite ist mit den vorliegenden Daten nicht möglich. Für

Milchkühe liegt Deutschland knapp über dem Median, für die übrigen Rinder rund 10 % unter dem Median. Bei den Schweinen liegt der deutsche Wert bei rund 4/3 des Medians und damit ungefähr auf dem Niveau von Tschechien und Polen. Beim Geflügel weist Deutschland den drittgrößten Wert auf, und liegt damit deutlich über dem Großteil der Nachbarländer. Letzteres lässt sich dadurch erklären, dass der deutsche Geflügel-IEF auch die N₂O-Emissionen aus Vergärung von Geflügelmist und anschließender Gärrestlagerung einschließt, deren effektiver Emissionsfaktor deutlich höher ist als der Emissionsfaktor für die konventionelle Lagerung von Geflügelkot.

Tabelle 310: IEFs der direkten N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management für Milchkühe, übrige Rinder, Schweine und Geflügel verschiedener Länder im Jahr 2018

	Milchkühe [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	Übrige Rinder [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	Schweine [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]	Geflügel [kg Platz ⁻¹ a ⁻¹]
Österreich	0,664	0,380	0,046	0,00078
Belgien	0,706	0,562	0,031	0,00090
Tschechische Republik	0,699	0,369	0,071	0,00360
Dänemark	1,038	0,368	0,064	0,00077
Frankreich	0,415	0,187	0,004	0,00070
Deutschland	0,569	0,303	0,073	0,00133
Niederlande ^a	0,412	0,245	0,025	0,00092
Polen	0,593	0,234	0,078	0,00080
Schweiz ^a	0,334	0,144	0,022	0,00071
Vereinigtes Königreich ^b	0,507	0,583	0,176	0,00482

Quelle: Deutschland: Submission 2021; andere Länder: UNFCCC (2020a)

^a Niederlande und Schweiz, übrige Rinder: berechnet aus CRF-Daten

^b Vereinigtes Königreich: Rinder-Daten unterscheiden zwischen Milchrindern (Milchkühe und Milchkuhnachzucht incl. Kälber) und den verbleibenden anderen Rindern

5.3.4.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, N₂O_{direkt} & NO)

Tabelle 311 zeigt die direkten N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management im Vergleich mit Ergebnissen der Submission 2020. Die zugrunde liegenden Daten der N-Ausscheidung gehen aus Tabelle 312 hervor.

Bei den N-Ausscheidungen sind deutliche Unterschiede zwischen beiden Submissionen festzustellen. Sie sind nahezu vollständig ein Ergebnis der energiebedarfs- und fütterungsbedingten Änderungen bei Milchkühen, Kälbern, Färsen und Mastbullen sowie der Unterteilung der weiblichen Jungrinder in zwei leistungsmäßig unterschiedliche Teilkategorien, siehe Kapitel 5.1.3.3. Diese Änderungen in den Tiermodellen dienen der Anpassung an deutsche Fütterungsstandards.

Die Unterschiede der N-Ausscheidungen der Rinder zwischen der aktuellen Submission und Submission 2020 äußern sich in ebenso markanten Unterschieden bei den N₂O-Emissionen.

Tabelle 311: Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berechneten direkten Gesamt-N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
2021	8,225	7,419	7,286	7,336	7,314	7,182	7,080	7,056	7,086	7,006	6,957	6,904	6,782
2020	8,908	8,006	7,840	7,865	7,806	7,669	7,567	7,553	7,594	7,519	7,470	7,406	7,265

Tabelle 312: Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berechneten Gesamt-N-Ausscheidungen (siehe Kapitel 5.1.3.4)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
2021	1534,9	1328,1	1298,8	1256,1	1255,3	1259,9	1279,4	1294,3	1310,1	1305,3	1297,6	1293,2	1275,1
2020	1641,6	1417,1	1395,3	1343,1	1337,0	1341,4	1361,3	1378,7	1396,9	1393,4	1386,0	1379,9	1360,6

Die NO-Emissionen haben sich wegen der direkten Proportionalität zu den N₂O-Emissionen (siehe Kapitel 5.3.4.2.2) in gleicher Weise wie die N₂O-Emissionen verändert, siehe Tabelle 313.

Tabelle 313: Vergleich der in Submission 2021 und 2020 berechneten Gesamt-NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
2021	1,122	1,012	0,993	1,000	0,997	0,979	0,965	0,962	0,966	0,955	0,949	0,941	0,925
2020	1,215	1,092	1,069	1,072	1,064	1,046	1,032	1,030	1,036	1,025	1,019	1,010	0,991

5.3.4.6 Geplante Verbesserungen (3.B, N₂O_{direkt} & NO)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

5.3.5 Indirekte N₂O-Emissionen als Folge des Wirtschaftsdünger-Managements (3.B)

5.3.5.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.B, N₂O_{indirekt})

Siehe Kapitel 5.3.1.

5.3.5.2 Methodische Aspekte (3.B, N₂O_{indirekt})

5.3.5.2.1 Methodik (3.B, N₂O_{indirekt})

Indirekte N₂O-Emissionen aufgrund von Auswaschung aus dem Wirtschaftsdünger-Management werden für Deutschland nicht berichtet, siehe Kapitel 5.3.1.

Die indirekten N₂O-Emissionen als Folge der Deposition von NH₃ und NO aus Wirtschaftsdünger-Management (incl. Lagerung der Wirtschaftsdünger-Gärreste; ohne Ausbringung) werden nach IPCC (2006): Vol. 4, 11.21 proportional zur deponierten N-Menge berechnet:

Gleichung 16: indirekte N₂O-Emissionen als Folge des Wirtschaftsdünger- Managements

$$E_{N_2O_{indirect,MM}} = \frac{44}{28} \cdot (E_{NH_3-N,MM} + E_{NO-N,MM}) \cdot EF_4$$

mit:

$E_{N_2O, indirect, MM}$	indirekte N ₂ O-Emissionen aus der Deposition von NH ₃ -N und NO-N aus dem Wirtschaftsdünger -Management (kg a ⁻¹)
$E_{NH_3-N, MM}$	gesamte NH ₃ -N-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger - Management (kg a ⁻¹)
$E_{NO-N, MM}$	gesamte NO-N-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger- Management (kg a ⁻¹)
EF_4	N ₂ O-N-Emissionsfaktor, siehe Kapitel 5.3.5.2.2

Eine allgemeine Methodenbeschreibung zur Berechnung der NH₃- und NO-Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngerlager findet sich in Kap. 3.3.4.3 in Rösemann et al. (2021). Für Details wird auf die entsprechenden tierspezifischen Kapitel in Rösemann et al. (2021) verwiesen, siehe Tabelle 314.

Tabelle 314: Tierspezifische Details zu NH₃- und NO-Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngerlager in Rösemann et al. (2021)

Tierkategorie	Kapitel	Tierkategorie	Kapitel
Milchkühe	4.3.7	erwachsene Schafe	6.3.5
Kälber	4.4.6	Lämmer	6.4.5
Milch- und Schlachtfärsen	4.5.7	Ziegen	6.6.5
Männliche Mastrinder	4.6.7	Großpferde	7.3.5
Mutterkühe	4.7.6	Kleinpferde/Ponys	7.4.5
Männliche Rinder > 2 Jahre	4.8.6	Legehennen	8.3.8
Sauen	5.3.7	Masthähnchen	8.4.7
Aufzuchtferkel	5.4.7	Junghennen	8.5.8
Mastschweine	5.5.7	Gänse	8.6.6
Eber	5.6.7	Enten	8.7.8
		Puten	8.8.6

5.3.5.2.2 Emissionsfaktor (3.B, N₂O_{indirekt})

Der Emissionsfaktor EF_4 für indirekte N₂O-Emissionen als Folge der Deposition von NH₃ und NO aus dem Wirtschaftsdünger- und Gärreste-Management (ohne Ausbringung) beträgt 0,01 kg N₂O-N (kg N)⁻¹ (IPCC (2006): Vol. 4, 11.24, Tab. 11.3).

5.3.5.2.3 Emissionen (3.B, N₂O_{indirekt})

Tabelle 315 zeigt die indirekten N₂O-Emissionen aufgrund der Deposition von reaktivem Stickstoff durch NH₃- und NO-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management für die vorliegende Submission und im Vorgriff auf Kapitel 5.3.5.5 auch für die letztjährige Submission. Die Emissionen der gesamten Zeitreihe wurden mit der gegenüber der letztjährigen Submission unveränderten Methodik berechnet.

Der Trend der depositionsbedingten indirekten N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management folgt im Wesentlichen dem zeitlichen Verlauf der direkten N₂O-Emissionen, siehe Kapitel 5.3.4.2.3. Die Unterschiede zwischen Submission 2021 und 2020 gehen zum ganz überwiegenden Teil auf die gleichen Ursachen zurück, wie die Unterschiede bei den direkten N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management, siehe Kapitel 5.3.4.5. Zusätzlich wirkt sich eine Korrektur in der Berechnung der TAN-Ausscheidung der Milchkühe aus. Im Vergleich mit Submission 2020 führte diese Korrektur zu einer zusätzlichen Verringerung der NH₃-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management und damit auch der depositionsbedingten indirekten N₂O-Emissionen im Sektor 3.B. Von untergeordneter Bedeutung ist die Auswirkung der in Kapitel 5.1.7.2 genannten Aktualisierungen von NH₃-Emissionsfaktoren für Lagerung und Vergärung von Wirtschaftsdünger.

Tabelle 315: Indirekte N₂O-Emissionen als Folge der Deposition von NH₃ und NO aus dem Wirtschaftsdünger-Management (Submission 2020 und 2019)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2021	3,933	3,321	3,332	3,338	3,284	3,288	3,341	3,357	3,378	3,331	3,297	3,286	3,212	3,162
2020	4,222	3,571	3,582	3,586	3,516	3,520	3,575	3,596	3,626	3,583	3,553	3,538	3,463	

5.3.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.B, N₂O_{indirekt})

Tabelle 271 in Kapitel 5.1.6 gibt die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktor an, die für die Schätzung der Gesamt-Unsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzt wurden.

Es wurde die Emissionsfaktor-Unsicherheit (95 % - Konfidenzintervall) aus der Berechnung der depositionsbedingten indirekten N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (siehe Kapitel 0) übernommen. Zur Schätzung der Unsicherheit der Aktivitätsdaten (verfügbare Menge an reaktivem Stickstoff) siehe Kap. 3.3.4.3.6 in Rösemann et al. (2021).

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.3.5.4 Quellenspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.B, N₂O_{indirekt})

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

5.3.5.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.B, N₂O_{indirekt})

Zu den quellenspezifischen Rückrechnungen siehe Kapitel 5.3.5.2.3.

5.3.5.6 Geplante Verbesserungen (3.B, N₂O_{indirekt})

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

5.4 Reisanbau (3.C)

In Deutschland wird kein Reis angebaut (not occurring, NO).

5.5 Landwirtschaftliche Böden (3.D)

5.5.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.D)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	3 D, Agricultural Soils		N ₂ O	29.463,0	2,3	24.964,0	3,1	-15,3 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
N ₂ O	Tier 1/Tier 2	M/AS/RS/NS	D, CS
NO _x	Tier 1	RS/NS	D
NMVOG	Tier 1	RS/NS	D

Die Quellgruppe *Landwirtschaftliche Böden* ist hinsichtlich der N₂O-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Mikrobielle Umsetzungen (Nitrifikation und Denitrifikation) von N-Verbindungen führen zu N₂O-Emissionen aus Böden. Es wird zwischen direkten und indirekten N₂O-Emissionen unterschieden. Die berichteten direkten Emissionen des Sektors 3.D umfassen die N₂O-Emissionen infolge von:

- Mineraldüngerausbringung
- Wirtschaftsdüngerausbringung (incl. Ausbringung von Wirtschaftsdünger-Gärresten)
- Ausbringung von Gärresten aus Energiepflanzenvergärung
- Klärschlammausbringung
- Weidegang
- Ernterückständen
- Mineralisierung
- Bewirtschaftung organischer Böden

Emissionen infolge der Ausbringung von Kompost oder Gärresten aus der Vergärung von Bioabfällen außer Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen werden durch den Sektor „Bioabfallbehandlung“ (5.B) berechnet und berichtet, siehe Kapitel 7.3.1.2 und 7.3.2.2.

Die indirekten N₂O-Emissionen des Sektors 3.D ergeben sich als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs sowie von Auswaschung und Oberflächenfluss.

Tabelle 316 zeigt die zeitlichen Veränderungen der Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden seit 1990 sowie für Anfangs- und Endjahr der Zeitreihe die Anteile der Emissionen an den jeweiligen Gesamtemissionen aus der deutschen Landwirtschaft.

Tabelle 316: Prozentuale Veränderung der Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von N₂O und THG

[%]	Veränderung seit 1990	Anteil an landwirtschaftlicher Gesamtemission (N ₂ O, THG, NMVOC)	
		1990	2019
N ₂ O _{soils} , direkt	-14,9	71,2	71,2
N ₂ O _{soils} , indirekt	-16,8	17,8	17,4
Summe von N ₂ O _{soils}	-14,5	89,0	88,7
dito, als THG (in CO ₂ eq)	-14,5	38,5	40,4
NMVOC _{soils}	11,3	1,9	2,8

5.5.2 Methodische Aspekte und Emissionen(3.D)

5.5.2.1 Methodik und Emissionsfaktoren (3.D)

5.5.2.1.1 Direkte N₂O-Emissionen (3.D.a)

Direkte N₂O-Emissionen als Folge der Ausbringung von N-haltigen Substraten sowie aus Ernterückständen und Mineralisierung werden mit einem Tier-1-Verfahren nach IPCC (2006): Vol. 4, 11.7 proportional zu den ausgebrachten N-Mengen (siehe Kapitel 5.1.5.1) berechnet. Der Emissionsfaktor wird nach IPCC (2006): Vol. 4, 11.11, Tabelle 11.1, mit 0,01 kg N₂O-N je kg ausgebrachten Stickstoff angesetzt.

Die Berechnung der Emissionen aus N-Ausscheidungen beim Weidegang erfolgt nach IPCC (2006): Vol. 4, 11.7 proportional zur N-Menge, die auf der Weide ausgeschieden wurde (siehe Kapitel 5.1.5.1). Der Emissionsfaktor ist für Rinder EF = 0,02 kg N₂O-N je kg ausgeschiedenen Stickstoff. Für Schafe, Ziegen und Pferde beträgt der N₂O-N-Emissionsfaktor 0,01 kg kg⁻¹. (Für Schweine und Geflügel sieht das Inventar keine N-Ausscheidungen im Freien vor.)

Direkte N₂O-Emissionen aus bewirtschafteten organischen Böden werden durch Multiplikation der Fläche mit einem Emissionsfaktor berechnet, getrennt nach Ackerland und Grünland. Zu den Flächen siehe Kapitel 5.1.5.1.2. In einer neuen Studie (Tiemeyer et al., 2020) wurden aktuelle N₂O-N-Emissionsfaktoren für Deutschland abgeleitet: 11,1 kg ha⁻¹ a⁻¹ für Ackerland und 4,6 kg ha⁻¹ a⁻¹ für Grünland. Diese Werte unterscheiden sich von den bis Submission 2020 verwendeten Emissionsfaktoren (bei Grünland sogar um den Faktor 2), die bei 10,7 kg ha⁻¹ a⁻¹ für Ackerland (aus Daten von Leppelt et al. (2014)) und 2,3 kg ha⁻¹ a⁻¹ für Grünland (Tiemeyer et al., 2016) lagen. Die den bisherigen Emissionsfaktoren zugrunde liegenden Daten wurden von Tiemeyer et al. (2020) neu ausgewertet und durch neuere Daten ergänzt: Insgesamt basieren die aktualisierten Emissionsfaktoren für Ackerland und Grünland auf 206 ganzjährigen Messungen für 25 verschiedene Mooregebiete in Deutschland. Im LULUCF-Sektor wurden mit Hilfe der aktualisierten Emissionsfaktoren die N₂O-Gesamtemissionen für Ackerland und Grünland auf organischen Böden berechnet, wobei berücksichtigt wurde, dass Teilflächen mit einem Grundwasser-Flurabstand < 10 cm kein N₂O emittieren. Aus der Division dieser Emissionen durch die Gesamtflächen aus Kapitel 5.1.5.1.2 ergeben sich die effektiven Emissionsfaktoren (IEF): rund 11,0 kg ha⁻¹ a⁻¹ für Ackerland und rund 4,5 kg ha⁻¹ a⁻¹ für Grünland. Tabelle 317 zeigt

den daraus abgeleiteten flächengewichteten Mittelwert, der wegen des nicht konstanten Verhältnisses von Acker- zu Grünlandflächen zeitlich variabel ist.

Tabelle 317: Mittlere N₂O-N-Emissionsfaktoren für bewirtschaftete organische Böden

[kg ha ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
N ₂ O-N	6,16	6,12	6,09	6,14	6,16	6,18	6,20	6,22	6,23	6,25	6,24	6,22	6,20	6,18

5.5.2.1.2 Indirekte N₂O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden(3.D)

Indirekte N₂O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs werden nach IPCC (2006): Vol. 4, 11.21 proportional zur deponierten N-Menge berechnet. Die Methodik entspricht sinngemäß der in Kapitel 5.3.5.2.1 beschriebenen Vorgehensweise; zum Emissionsfaktor siehe Kapitel 5.3.5.2.2 (0,01 kg N₂O-N (kg N)⁻¹). Die für die Berechnungen im Sektor 3.D relevante deponierte N-Gesamtmenge umfasst die N-Mengen der NH₃- und NO-Emissionen (siehe Kapitel 5.1.5.1.3):

- Mineraldüngeranwendung,
- Ausbringung von Wirtschaftsdünger (inkl. Wirtschaftsdünger-Gärreste),
- Ausbringung von Gärresten der Energiepflanzen-Vergärung,
- Ausbringung von Klärschlämmen,
- Weidegang.

Eine Beschreibung der Berechnung der indirekten N₂O-Emissionen als Folge der Deposition von NH₃-N und NO-N findet sich in Kap. 12.1 in Rösemann et al. (2021). Das deutsche Inventar verwendet nicht die IPCC-Defaultwerte für Frac_{GASM} und Frac_{GASF}, sondern berechnet die NH₃- und NO-Emissionen, die zur Deposition von reaktivem Stickstoff führen, durch Multiplikation der ausgebrachten N-Menge bzw. der N-Ausscheidung auf der Weide mit den entsprechenden Emissionsfaktoren:

Für die Ausbringung der verschiedenen Mineraldüngerarten siehe Kapitel 11.1.2 in Rösemann et al. (2021). Die Berechnung der NH₃- und NO-Emissionen aus der Ausbringung von Wirtschaftsdünger (einschließlich der Gärreste aus Wirtschaftsdünger) und Weidegang wurde in den Kapiteln in Rösemann et al. (2021)) beschrieben, die in Tabelle Tabelle 314 in Kapitel 5.3.5.2.1 aufgeführt sind. Für die Ausbringung von Gärresten der Energiepflanzen-Vergärung und Klärschlämmen wird auf Kap. 10.2 bzw. 11.4.2 in Rösemann et al. (2021) verwiesen.

5.5.2.1.3 Indirekte N₂O-Emissionen als Folge von Auswaschung und Oberflächenabfluss (3.D)

Die indirekten N₂O-Emissionen als Folge von Auswaschung und Oberflächenabfluss werden nach dem Tier-1-Verfahren nach IPCC (2006): Vol. 4, 11.21, als Produkt aus N₂O-N-Umrechnungsfaktor 44/28, ausgewaschener N-Menge und Emissionsfaktor (0,0075 kg N₂O-N (kg N)⁻¹, siehe IPCC (2006): Vol. 4, 11.24, Tabelle 11.3) berechnet. Die ausgewaschene N-Menge beträgt 30 % von ausgebrachter N-Menge und N-Menge aus Ernterückständen und Mineralisierung, siehe Kapitel 5.1.5.1.4).

Eine ausführliche Beschreibung der Berechnung der indirekten N₂O-Emissionen als Folge von Auswaschung und Oberflächenabfluss findet sich in Kap. 12.2 in Rösemann et al. (2021).

5.5.2.1.4 NO-Emissionen

Die Berechnung der NO-Emissionen erfolgt methodisch analog zur Berechnung der N₂O-Emissionen (siehe Kapitel 5.5.2.1.2). EMEP/EEA (2019)-3D, Table3.1, gibt für die Ausbringung von Mineraldünger und Wirtschaftsdünger sowie für tierische Ausscheidungen auf der Weide einen einheitlichen NO-Emissionsfaktor von 0,04 kg NO₂ pro kg ausgebrachten Stickstoff an (siehe dazu auch EMEP/EEA (2019)-3D-13). Dieser Emissionsfaktor ist ein auf zwei

Dezimalstellen gerundeter Wert; er geht auf den Emissionsfaktor von Stehfest and Bouwman (2006) zurück, der in NO-N-Einheiten 0,012 kg kg⁻¹ beträgt. Das Inventar verwendet den Original-Emissionsfaktor von Stehfest and Bouwman (2006) und setzt ihn im Sinne von EMEP/EEA (2019)-3D, Table 3.1 und S. 13 sowie Anhang A2.3 auch für N-Ausscheidungen bei Weidegang und die Ausbringung von Klärschlämmen ein.

5.5.2.1.5 NMVOC-Emissionen

IPCC (2006) gibt keine Methode zur Berechnung der NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen an. Deutschland berechnet die NMVOC-Emissionen mit einer Tier-2-Methodik nach EMEP/EEA (2019)-3D-30 f, getrennt nach Kulturen:

Gleichung 17: Berechnung der jährlichen NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen nach EMEP/EEA (2019)

$$E_{\text{NMVOC, cult, } i} = A_i \cdot m_{\text{FM, } i} \cdot x_{\text{DM, } i} \cdot t_i \cdot EF_{\text{NMVOC, cult, } i}$$

mit

$E_{\text{NMVOC, cult, } i}$	NMVOC-Emissionen aus der landwirtschaftlichen Kultur i (in kg a ⁻¹)
A_i	Anbaufläche der Kultur i (in ha)
$m_{\text{FM, } i}$	mittlerer Frischmasseertrag von Kultur i (in kg ha ⁻¹ a ⁻¹)
$x_{\text{DM, } i}$	Trockenmassegehalt von Kultur i (in kg kg ⁻¹)
t_i	Anteil des Jahres, während dessen Kultur i NMVOCs emittiert (in a ⁻¹)
$EF_{\text{NMVOC, cult, } i}$	NMVOC-Emissionsfaktor für Kultur i (in kg kg ⁻¹)

Zu Anbauflächen, Frischmasseerträgen, Trockenmassegehalten und relativen Emissionsdauern siehe Kapitel 5.1.5.3. Die Emissionsfaktoren wurden für Weizen, Roggen, Raps und Gras aus EMEP/EEA (2019)-3D-16, Tabelle, entnommen, siehe Tabelle 318. Für die Kulturkategorien „Klee gras, Luzerne, Futter gras“ sowie „Wiesen und Mähweiden“ wurde der EMEP-Emissionsfaktor von Gras übernommen. Für die übrigen Kulturen wurde der EMEP-Emissionsfaktor von Weizen übernommen.

Tabelle 318: NMVOC-Emissionsfaktoren für landwirtschaftliche Kulturen

Kultur	Emissionsfaktor [kg kg ⁻¹ h ⁻¹]
Weizen	2,60·10 ⁻⁸
Roggen	1,41·10 ⁻⁷
Raps	2,02·10 ⁻⁷
Gras (15 °C)	1,03·10 ⁻⁸

5.5.2.2 Die *Frac*-Größen (3.D)

Deutschland berichtet über $Frac_{\text{GASF}}$, $Frac_{\text{GASM}}$ und $Frac_{\text{leach}}$.

$Frac_{\text{LEACH}}$ ist im deutschen Inventar eine Eingabegröße. Sie gibt den relativen Anteil des N-Eintrags in Böden an, der durch Auswaschung und Oberflächenabfluss verloren geht. Das deutsche Inventar verwendet den IPCC-Defaultwert $Frac_{\text{LEACH}} = 0,30 \text{ kg kg}^{-1}$ (IPCC (2006): Vol. 4, 11.24, Tab. 11.3), siehe Kapitel 5.1.5.1.4.

Die Größen $Frac_{\text{GASF}}$ und $Frac_{\text{GASM}}$ werden dagegen im Inventar nicht verwendet, sondern für die Berichterstattung nachträglich aus Ein- und Ausgabedaten der abgeschlossenen Emissionsberechnung ermittelt.

$Frac_{\text{GASF}}$ ist nach IPCC (2006): Vol. 4, 11.21, Gleichung 11.9, der Anteil der mit Mineraldüngern ausgebrachten N-Menge, der als NH₃-N und NO-N emittiert wird, siehe Tabelle 319. Dabei dominiert der Einfluss von NH₃. Wegen der unterschiedlichen NH₃-Emissionsfaktoren der verschiedenen Mineraldüngerarten hängt der $Frac_{\text{GASF}}$ -Wert vom Mineraldünger mix des

jeweiligen Jahres ab. Dabei ergibt sich wegen des vergleichsweise hohen Emissionsfaktors von Harnstoff (EMEP/EEA, 2019) eine sehr gute Korrelation von $Frac_{GASF}$ mit dem relativen Verhältnis von Harnstoff-N zu Gesamtmineraldünger-N (Rösemann et al., 2021).

Tabelle 319: $Frac_{GASF}$ -Zeitreihe und gewichteter Mittelwert über die gesamte Zeitreihe (3.D)

[kg kg ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Mittelwert
$Frac_{GASF}$	0,042	0,045	0,049	0,052	0,057	0,054	0,055	0,055	0,057	0,058	0,059	0,057	0,054	0,052	0,051

$Frac_{GASM}$ ist nach IPCC (2006): Vol. 4, 11.21, Gleichung 11.9, der Anteil der mit Wirtschaftsdünger (incl. Wirtschaftsdünger-Gärresten), Energiepflanzen-Gärresten, Klärschlämmen und beim Weidegang ausgebrachten N-Menge, der als NH_3 -N und NO-N emittiert wird, siehe Tabelle 320. (Die $Frac_{GASM}$ -Definition in CRF-Tabelle 3.D entspricht nicht dieser Definition.)

Tabelle 320: $Frac_{GASM}$ -Zeitreihe und gewichteter Mittelwert über die gesamte Zeitreihe (3.D)

[kg kg ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Mittelwert
$Frac_{GASM}$	0,196	0,183	0,178	0,170	0,169	0,170	0,165	0,163	0,160	0,157	0,157	0,157	0,157	0,156	0,173

5.5.2.3 Emissionen (3.D)

Tabelle 321 zeigt eine Übersicht über die Beiträge der einzelnen Teilquellen zu den N_2O -Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden. Die indirekten Emissionen umfassen auch die Beiträge als Folge der Ausbringung von Energiepflanzen-Gärresten.

Tabelle 321: Übersicht über die N_2O -Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (3.D)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Gesamtemissionen	98,9	85,1	89,4	86,9	86,1	87,4	89,6	90,1	93,6	92,6	91,9	89,9	84,5	83,8
Summe direkte Emissionen	79,1	68,5	71,9	70,0	69,1	70,0	71,8	72,2	74,9	74,1	73,5	72,0	67,8	67,3
Summe indir. Emissionen	19,8	16,6	17,5	16,9	17,1	17,4	17,8	18,0	18,7	18,5	18,4	17,9	16,7	16,5
Mineraldünger	34,5	27,1	30,2	28,2	25,7	26,2	26,6	26,0	27,0	27,3	27,2	25,5	23,6	22,3
Wirtschaftsdünger	17,3	15,1	14,9	14,5	14,6	14,7	15,0	15,2	15,4	15,4	15,3	15,3	15,1	15,0
Energiepflanzen-Gärreste	0,0	0,0	0,1	0,7	2,6	3,3	3,6	4,4	4,6	4,8	4,7	4,7	4,6	4,6
Klärschlamm	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Weidegang	6,4	5,2	4,7	4,1	4,0	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9
Ernterückstände	7,6	7,8	8,8	9,2	9,0	8,8	9,5	9,5	10,9	9,6	9,3	9,8	7,9	8,8
Mineralisierung	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Organische Böden	12,7	12,7	12,6	12,7	12,6	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,6	12,6	12,5
Indirekt, Deposition, ohne EC ^a	5,6	4,6	4,7	4,4	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,3	4,4	4,2	3,9	3,8
Indirekt, Deposition, EC ^a	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Indirekt, Auswaschung, ohne EC ^a	14,2	12,0	12,8	12,3	11,7	11,8	12,1	12,0	12,5	12,3	12,2	11,9	11,0	10,9
Indirekt, Auswaschung, EC ^a	0,0	0,0	0,0	0,2	0,6	0,7	0,8	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0

^a EC: Energiepflanzen-Gärreste

Die Gesamt- N_2O -Emissionen haben in der ersten Hälfte der 1990er Jahre abgenommen. In den anschließenden Jahren bis 2013 ist kein klarer Trend festzustellen. Von 2013 zu 2014 zeigt sich ein merklicher Anstieg. In den Jahren danach nimmt die Emission aber wieder deutlich ab; im Jahr 2019 ist sie um 10,5 % niedriger als 2014.

Trotz der in dieser Submission eingeführten jahresübergreifenden Mittelung der Mineraldüngermengen (siehe Kapitel 5.1.5.1.1) ist die Mineraldüngerausbringung weiterhin für einen Großteil der jährlichen Schwankungen der Gesamtemission verantwortlich. Zum markanten Anstieg der N_2O -Gesamtemissionen von 2013 zu 2014 trägt zusätzlich auch ein Anstieg der N_2O -Emissionen aus Ernterückständen bei, der auf die außergewöhnlich hohen Ernteerträge 2014 zurückgeht (siehe Tabelle 263 in Kapitel 5.1.5.1.1). Die in den Folgejahren zu beobachtende Abnahme der Gesamtemissionen ist vorrangig auf die Abnahme der Mineraldüngerausbringung zurück zu führen. Von 2017 zu 2018 wirkt sich überdies die geringere Ernte 2018 aus, die zu geringeren Ernterückständen als 2017 führte (siehe Kapitel 5.1.5.1.1). Die deutliche Abnahme der

Tierzahlen in den wichtigen Tierkategorien der Rinder und Schweine von 2017 zu 2019 (siehe Kapitel 5.1.3.2.3) wirkt sich relativ geringfügig auf die Emissionen aus, da die Tierzahlabnahme zum Teil durch Leistungssteigerungen kompensiert wurde. In den letzten zehn Jahren der Zeitreihe wirkt sich auch die Ausbringung zunehmender Mengen von Wirtschaftsdünger-Gärresten und Energiepflanzen-Gärresten aus.

Tabelle 322 zeigt für erstes und letztes Zeitreihenjahr die prozentualen Beiträge der verschiedenen Teilquellen zu den Gesamt-N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden

Tabelle 322: N₂O aus landwirtschaftlich genutzten Böden: Prozentuale Beiträge der Teilquellen

[%]	1990	2019
Mineraldünger	34,9	26,6
Wirtschaftsdünger (incl. Wirtschaftsdünger-Gärreste)	17,5	17,9
Energiepflanzen-Gärreste	0,0	5,5
Klärschlamm	0,4	0,2
Weidegang	6,5	4,6
Ernterückstände	7,7	10,6
Mineralisierung	0,04	0,03
Organische Böden	12,9	14,9
Summe indirektes N ₂ O	20,0	19,7

Die Ergebnisse der NO-Emissionsberechnungen sind in Tabelle 323 dargestellt. Zu den Quellen siehe Kapitel 5.5.2.1.2. Tabelle 323 weist die Emissionen infolge der Ausbringung von Energiepflanzen-Gärresten gesondert aus, um ihre relative Bedeutung hervorzuheben. Der zeitliche Verlauf der Gesamtemissionen folgt weitgehend dem Verlauf der N₂O-Emissionen. (Für die Berichterstattung in CRF 3s2 werden die NO-Werte durch Multiplikation mit dem Molgewichtsverhältnis 46/30 in NO₂ umgerechnet.)

Tabelle 323: NO-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
insgesamt	91,0	74,5	78,9	75,4	74,4	76,4	78,0	78,6	80,8	81,6	81,2	78,1	74,4	72,2
Energiepflanzen-Gärreste	0,0	0,0	0,1	1,2	4,3	5,4	5,9	7,2	7,5	7,8	7,8	7,6	7,5	7,5
übrige Quellen	91,0	74,5	78,7	74,2	70,1	71,0	72,1	71,4	73,3	73,7	73,4	70,4	66,9	64,6

Tabelle 324 zeigt den zeitlichen Verlauf der NMVOC-Emissionen. Die jährlichen Veränderungen und damit auch der bis 2014 ansteigende Trend sind im Wesentlichen eine Folge variierender Ernteerträge. 2014 wurden die bislang höchsten Ernteerträge beobachtet.

Tabelle 324: NMVOC-Emissionen aus landwirtschaftlichen Kulturen

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
[kt a ⁻¹]	7,69	8,19	8,79	9,17	9,53	9,03	10,05	10,36	11,40	9,91	9,69	9,74	7,82	8,56
in % von 1990	100,0	106,5	114,2	119,2	123,9	117,3	130,7	134,7	148,2	128,9	126,0	126,7	101,7	111,3

5.5.3 Quellspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.D)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

Zum Zweck der Verifizierung stellen Tabelle 325 und Tabelle 326 analog zur Vorgehensweise in Kapitel 5.2.4 die N₂O-N-Emissionsfaktoren und Frac-Größen Frac_{GASF}, Frac_{GASM} und Frac_{LEACH} des deutschen Inventars den entsprechenden Daten solcher Staaten gegenüber, die benachbart sind oder deren landwirtschaftliche Praxis mit der deutschen vergleichbar ist. Das Vergleichsjahr ist aus den in Kapitel 5.2.4 genannten Gründen das Zeitreihenjahr 2018.

Tabelle 325: Vergleich der deutschen N₂O-N-Emissionsfaktoren mit denen benachbarter Staaten für das Zeitreihenjahr 2018

N ₂ O-N	Mineral- dünger	Wirtschafts- dünger	Ernterück- stände	Minerali- sierung	organische Böden	Weidegang	Deposition	Auswa- schung
	[kg kg ⁻¹]	[kg kg ⁻¹]	[kg kg ⁻¹]	[kg kg ⁻¹]	[kg ha ⁻¹]	[kg kg ⁻¹]	[kg kg ⁻¹]	[kg kg ⁻¹]
Österreich	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,2000	0,0168	0,010	0,0075
Belgien	0,0100	0,0100	0,0100	0,0120	8,0000	0,0195	0,010	0,0075
Tschechische Republik	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	NO	0,0187	0,010	0,0023
Dänemark	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	7,7898	0,0178	0,010	0,0046
Frankreich	0,0100	0,0100	0,0100	NO	8,0183	0,0191	0,010	0,0075
Deutschland	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	6,2019	0,0190	0,010	0,0075
Niederlande	0,0130	0,0086	0,0139	NO	4,4463	0,0330	0,012	0,0075
Polen	0,0100	0,0100	0,0100	NO	8,0000	0,0192	0,010	0,0075
Schweiz	0,0098	0,0100	0,0100	0,0100	8,0000	0,0189	0,026	0,0075
Vereinigtes Königreich	0,0073	0,0046	0,0100	0,0100	8,0000	0,0047	0,010	0,0075
IPCC (2006): Vol. 4, 11.11, 11.24, IPCC (2014) ^a	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	8,00 (13 / 4,3 / 8,2 / 1,6) ^a	0,02 (Rinder, Schweine, Geflügel); 0,01 (andere Tiere)	0,0100	0,0075

Quelle: Deutschland: Submission2021; andere Länder: UNFCCC (2020a)

^a IPCC (2014) Wetlands Supplement, Tabelle 2.5 (Ackerland, drainiert / Grünland, drainiert, nährstoffarm / Grünland, tief-drainiert, nährstoffreich / Grünland, flach-drainiert, nährstoffreich)

Für die Ausbringung von Mineraldünger und Wirtschaftsdünger sowie für Ernterückstände verwendet Deutschland wie die Mehrzahl der anderen Länder den IPCC (2006)-Default-Emissionsfaktor von 0,01 kg kg⁻¹.

Für N₂O-N aus organischen Böden verwenden vier Länder den IPCC (2006)-Default-Emissionsfaktor von 8 kg ha⁻¹. Zwei Länder liegen über diesem Defaultwert, ein Land etwas unterhalb. Der deutsche Wert, der auf nationalen Emissionsfaktoren für Ackerland und Grünland beruht (siehe Kapitel 5.5.2.1.1) liegt deutlich unter dem IPCC (2006)-Default-Emissionsfaktor, aber etwa in der Mitte zwischen dem Emissionsfaktor der Niederlande und dem IPCC-Defaultwert.

Die meisten Emissionsfaktoren für N₂O-N als Folge von Weidegang basieren offensichtlich auf einer Kombination der beiden Defaultwerte von IPCC (2006), wobei der Anteil der „anderen Tiere“ mit dem niedrigeren Emissionsfaktor von Land zu Land variierend ins Gewicht fällt. Der deutsche Wert liegt nahe am Defaultwert für Rinder, Schweine und Geflügel, worin zum Ausdruck kommt, dass die Populationsanteile der übrigen Tiere vergleichsweise klein sind.

Bei den indirekten N₂O-N-Emissionen infolge Deposition reaktiven Stickstoffs sowie durch Auswaschung und Oberflächenabfluss rechnet Deutschland wie die meisten anderen Länder mit den jeweiligen IPCC (2006)-Defaultwerten.

Tabelle 326: Vergleich der deutschen Frac-Größen mit denen benachbarter Staaten, Zeitreihenjahr 2018

[kg kg ⁻¹]	Frac _{GASF}	Frac _{GASM}	Frac _{LEACH}
Österreich	0,05	0,16	0,15
Belgien	0,07	0,17	0,30
Tschechische Republik	0,10	0,20	0,30
Dänemark	0,05	0,09	0,25
Frankreich	0,07	0,10	0,30
Deutschland	0,05	0,16	0,30
Niederlande	0,05	NA	0,13
Polen	0,10	0,20	0,30
Schweiz	0,06	0,23	0,18
Vereinigtes Königreich	0,04	0,08	0,20
IPCC (2006): Vol. 4, 11.24	0,10	0,20	0,30

Quelle: Deutschland: Submission 2021; andere Länder: UNFCCC (2020a)

Die Streuung bei Frac_{GASF} wird auf die zwischen den Nachbarländern variierenden relativen Anteile verschiedener Düngerarten (mit ihren unterschiedlichen NH₃-Emissionsfaktoren) zurückgeführt. Der deutsche Wert liegt etwas unterhalb des Medians (IPCC (2006)). Dies trifft auch auf Frac_{GASM} zu. Für Frac_{LEACH} verwendet Deutschland wie einige andere Länder den IPCC (2006): Vol. 4-Defaultwert.

5.5.4 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.D)

Die für die Schätzung der Gesamt-Unsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzten Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren für die direkten und indirekten N₂O-Emissionen sind Tabelle 271 in Kapitel 5.1.6 zu entnehmen.

Bei den Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für direktes N₂O aus Mineraldünger, organischen Dünger (Wirtschaftsdünger, Gärreste, Klärschlamm), Ernterückständen und Weidegang handelt es sich dabei um Default-Angaben aus IPCC (2006): Vol. 4-11.11, Tabelle 11.1. Zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten (N-Mengen) siehe Kapitel 11.1.1, 11.2.1, 11.3.1, 11.4.1, 11.5.1 und 11.7.1.6 in Rösemann et al. (2021).

Die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktor für die direkten N₂O-Emissionen aus drainierten organischen Böden wurden aus nationalen Daten abgeleitet, siehe Kap. 11.6.1 und 11.6.2 in Rösemann et al. (2021). Gleiches gilt für die Mineralisierung organischer Bodensubstanz, siehe Kap. 11.8.1 und 11.8.2 in Rösemann et al. (2021).

Für NO aus der Ausbringung von Mineraldünger, Wirtschaftsdünger und Klärschlamm sowie aus den N-Ausscheidungen auf der Weide geht das deutsche Inventar von einem 95 %-Konfidenzintervall von -95 % bis +400 % aus, siehe Rösemann et al. (2021), Kap. 11.1.2.4, 11.2.2, 11.4.2.3 und 11.5.2. Für die Ausbringung von Gärresten wird, wie bei N₂O, die gleiche Emissionsfaktor-Unsicherheit verwendet wie bei der Ausbringung von Mineraldünger (Rösemann et al. (2021), Kap. 11.3.2.3). Zu den Unsicherheiten der Aktivitätsdaten (N-Mengen) siehe oben bei den N₂O-Emissionen.

Zu den Unsicherheiten im Zusammenhang mit den indirekten N₂O-Emissionen siehe Kapitel 12.1 und 12.2 in Rösemann et al. (2021).

EMEP/EEA (2019) macht für die Tier-2-NMVOC-Emissionsfaktoren keine Angaben zur Unsicherheit. Geht man für den Tier-1-Emissionsfaktor von der in EMEP/EEA (2019)-3D, Tabelle 3.1, angegebenen oberen Wertebereichsgrenze aus und passt eine Lognormal-Verteilung an, so ergibt sich ein 95 %-Konfidenzintervall von -89 % bis +300 % (Rösemann et al. (2021), Kap. 11.12.2). Angaben zur Unsicherheit der Aktivitätsdaten sind nicht verfügbar.

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.5.5 Quellspezifische Rückrechnungen (3.D)

Tabelle 327 vergleicht die N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden zwischen Submission 2021 und Submission 2020.

Tabelle 327: Gesamt-N₂O aus landwirtschaftlich genutzten Böden in Submission 2021 und 2020 (3.D)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
2021	98,8	85,1	89,3	86,9	86,1	87,4	89,5	90,1	93,6	92,5	91,9	89,9	84,5
2020	96,5	84,3	89,3	84,5	82,7	88,0	86,6	88,2	90,9	92,5	89,7	88,8	82,7

Aus Tabelle 328 gehen die Änderungen der N₂O-Emissionen gegenüber Submission 2020 hervor.

Tabelle 328: Veränderung von Submission 2020 zu Submission 2021 für die gesamten N₂O-Emissionen (direkt und indirekt) aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (negative Werte: Abnahme von Submission 2020 zu Submission 2021)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
insgesamt	2,375	0,847	0,016	2,407	3,428	-0,549	3,007	1,984	2,731	0,102	2,218	1,086	1,820
Mineraldünger	0,501	-1,013	-1,457	0,287	1,042	-1,904	0,809	0,095	0,634	-1,360	0,316	-0,578	0,041
Wirtschaftsdünger	-1,271	-1,066	-0,993	-0,885	-0,827	-0,823	-0,824	-0,848	-0,870	-0,882	-0,881	-0,865	-0,852
EC-Gärreste-Ausbringung ^a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,090
Klärschlamm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,019
Weidegang	-0,167	-0,112	-0,492	-0,421	-0,398	-0,398	-0,403	-0,422	-0,433	-0,442	-0,443	-0,433	-0,427
Ernterückstände	-0,006	-0,005	-0,005	-0,004	-0,002	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003
Mineralisierung	0,0000	-0,0029	-0,0015	-0,0008	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0003	-0,0003	-0,0003	-0,0001	-0,0002	-0,0003
Organische Böden	3,793	3,822	3,850	3,804	3,648	3,618	3,588	3,619	3,649	3,674	3,633	3,635	3,631
indir.: Deposition, ohne EC ^a	-0,280	-0,294	-0,278	-0,192	-0,039	-0,379	-0,110	-0,238	-0,142	-0,328	-0,226	-0,294	-0,189
indir.: Deposition, EC ^a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,014
indir.: Ausw., ohne EC ^a	-0,194	-0,482	-0,608	-0,183	0,003	-0,659	-0,049	-0,218	-0,103	-0,555	-0,178	-0,374	-0,236
indir.: Ausw., EC ^a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,020

^a EC: Energiepflanzen-Gärreste

^b Ausw.: Auswaschung und Oberflächenabfluss Energiepflanzen-Gärresten

Die Emissionen der Submission 2021 liegen in allen Jahren merklich über den entsprechenden Werten der Submission 2020. Die auffälligste und betragsmäßig größte Veränderung gegenüber Submission 2020 zeigt sich bei den organischen Böden: Die Emissionen liegen im Mittel um 42 % über den in Submission 2020 berichteten Werten. Dies ist vor allem eine Folge der angehobenen Emissionsfaktoren (insbesondere bei Grünland, siehe Kapitel 5.5.2.1.1), verstärkt durch die gegenüber Submission 2020 vergrößerten Flächenwerte (siehe Kapitel 5.1.5.1.2). Diesem Emissionsanstieg bei den organischen Böden entgegengesetzt sind die Veränderungen bei denjenigen Quellen, die direkt oder indirekt mit den N-Ausscheidungen in der Rinderhaltung verbunden sind: Wirtschaftsdüngerausbringung, Weidegang, sowie ausbringungsbedingte indirekte Emissionen aus der Deposition reaktiven Stickstoffs und aus der Auswaschung bzw. Oberflächenabfluss. Bei all diesen Quellen wirken sich die gegenüber Submission 2020 deutlich verringerten N-Ausscheidungen der Milchkühe und der übrigen Rinder aus. (Zu den N-Ausscheidungen siehe Kapitel 5.1.3.4). Von untergeordneter Bedeutung für depositionsbedingtes indirektes N₂O ist dagegen die Aktualisierungen der NH₃-Emissionsfaktoren für Weidegang bei den Rindern (siehe Kapitel 5.1.7.2). Beim Mineraldünger zeigen sich unterschiedliche Vorzeichen in den Veränderungen gegenüber Submission 2020: Diese Veränderungen sind eine unmittelbare Konsequenz der neu eingeführten übergreifenden zeitlichen Mittelung der Mineraldüngermengen (siehe Kapitel 5.1.5.1.1). Die in Tabelle 328 darüber hinaus noch zu

erkennenden Veränderungen gegenüber Submission 2020 (direkte und indirekte Emissionen aus der Ausbringung von Energiepflanzen-Gärresten sowie Emissionen aus Klärschlammausbringung und Mineralisierung) sind von untergeordneter Bedeutung oder nur im Jahr 2018 wirksam (aufgrund von Aktualisierungen der Eingangsdaten).

Tabelle 329 stellt die NO-Gesamtemissionen den entsprechenden Daten aus der Submission 2020 gegenüber. Die Differenzen zwischen den beiden Submissionen werden in Tabelle 330 nach Teilquellen aufgeschlüsselt. Auch hier bedeutet das Zahlzeichen „0“, dass es keine Änderungen gegeben hat. Die von Null verschiedenen Differenzen spiegeln, da die NO-Emissionen generell proportional zur verfügbaren N-Menge berechnet werden, die in Kapitel 5.1.5.1.1 beschriebenen Aktualisierungen der N-Mengen wider.

Tabelle 329: Vergleich der gesamten NO-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden (3.D)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
2021	91,0	74,5	78,9	75,4	74,4	76,4	78,0	78,6	80,8	81,6	81,2	78,1	74,4
2020	92,4	78,0	83,3	76,7	74,4	81,1	78,4	80,2	81,6	85,6	82,5	80,8	76,3

Tabelle 330: Veränderung von Submission 2020 zu Submission 2021 für die NO-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (negative Werte: Abnahme von Submission 2020 zu Submission 2021)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
insgesamt	-1,397	-3,493	-4,411	-1,322	0,027	-4,788	-0,353	-1,579	-0,741	-4,031	-1,287	-2,717	-1,855
Mineraldünger	0,819	-1,657	-2,384	0,470	1,706	-3,116	1,324	0,155	1,037	-2,226	0,518	-0,946	0,067
Wirtschaftsdünger	-2,080	-1,744	-1,625	-1,448	-1,353	-1,347	-1,348	-1,388	-1,424	-1,444	-1,442	-1,416	-1,395
EC-Gärreste-Ausbringung ^a	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,147
Klärschlamm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,031
Weidegang	-0,136	-0,092	-0,403	-0,344	-0,326	-0,326	-0,330	-0,345	-0,354	-0,362	-0,363	-0,354	-0,350

^a EC: Energiepflanzen-Gärreste

Bei den NMVOC-Emissionen gibt es nur geringfügige Veränderungen gegenüber Submission 2020; sie sind auf die Aktualisierung von Aktivitätsdaten zurück zu führen.

Tabelle 331: Vergleich der NMVOC-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (3.D)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
2020	7,692	8,190	8,788	9,171	9,530	9,025	10,053	10,361	11,402	9,913	9,694	9,744	7,820
2019	7,692	8,190	8,788	9,171	9,529	9,025	10,053	10,361	11,402	9,913	9,694	9,744	7,820

5.5.6 Geplante Verbesserungen (3.D)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

5.6 Brandrodung (3.E)

Brandrodung wird in Deutschland nicht praktiziert (NO).

5.7 Verbrennen von Ernterückständen auf der Fläche (3.F)

Schon zu Beginn des Emissionsberichtszeitraums ab 1990 ist das flächendeckende Verbrennen von landwirtschaftlichen Rückständen in Deutschland untersagt. Nur im besonderen Ausnahmefall (z.B. bei Insektenbefall) kann eine Genehmigung auf kommunaler Ebene erteilt

werden. Da hierüber keine offiziellen Daten vorliegen, berichtet Deutschland unter 3.F keine Emissionen (NO). Zu Details siehe Kap. 11.9 in (Rösemann et al., 2021).

5.8 CO₂ aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I)

5.8.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.G-I)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/T	3 G, Liming		CO ₂	2.200,5	0,2	2.101,6	0,3	-4,5 %
-/-	3 H, Urea Application		CO ₂	481,0	0,0	523,5	0,1	8,8 %
-/-	3 I, Other Carbon-containing Fertilizers		CO ₂	510,4	0,0	196,0	0,0	-61,6 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 1	NS	D

Die Kategorie *CO₂ aus Kalkung* ist für CO₂-Emissionen ist eine Hauptkategorie nach dem Trend.

Kalkdüngung, d. h. die Zuführung von Carbonaten, verringert den Säuregehalt des Bodens und verbessert das Pflanzenwachstum, wobei CO₂ frei gesetzt wird. Die Kalkdünger umfassen alle Carbonate von Calcium und Magnesium als reine Stoffe oder als Beimengungen. Aufgrund des unterschiedlichen Carbonat-Kohlenstoffgehalts und den daraus resultierenden unterschiedlichen CO₂-Emissionsfaktoren wird in der Berichterstattung zwischen Dolomit und den übrigen Kalkdüngern unterschieden. Bei Letzteren wird die Ausbringung von Kalkammonsalpeter gesondert betrachtet; die daraus resultierenden CO₂-Emissionen werden unter CRF 3.I („Andere kalkhaltige Dünger“) berichtet, während die CO₂-Emissionen aus der Ausbringung der anderen Kalkdünger und Dolomit unter CRF 3.G berichtet werden. Die berichteten CO₂-Emissionen umfassen entsprechend den Anforderung in IPCC (2006): Vol 4, Ch. 11.3, und CRF-Tabelle 3.G-I neben den Emissionen aus der Landwirtschaft auch die aus der Kalkung im Forstbereich.

Bei der Stickstoffdüngung mit Harnstoff entsteht unter Einwirkung von Urease und Wasser CO₂. Deutschland berichtet diese CO₂-Emissionen im Sektor 3.H ohne Abzug von CO₂, das bei der industriellen Herstellung von Harnstoffdünger gebunden wurde.

Die in diesem Kapitel berichteten CO₂-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffausbringung repräsentieren 100 % der CO₂-Emissionen des landwirtschaftlichen Sektors. Tabelle 332 zeigt als Ergänzung zur Tabelle oben die zeitliche Veränderung der Summe dieser CO₂-Emissionen seit 1990 sowie für Anfangs- und Endjahr der Zeitreihe die prozentualen Anteile an den gesamten THG-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft.

Tabelle 332: Prozentuale Veränderung der Summe der CO₂-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung seit 1990 sowie prozentuale Anteile an den THG-Gesamtemissionen der deutschen Landwirtschaft

[%]	Veränderung seit 1990	Anteil an landwirtschaftlicher THG-Gesamtemission 1990	2019
Summe von CO ₂ aus Kalkung und Harnstoffanwendung	-11,6	4,2	4,6

5.8.2 Methodik und Emissionen (3.G-I)

Der in IPCC (2006): Vol. 4, 11.27 angegebene Tier-2-Ansatz beruht auf Anwendung der Tier-1-Gleichung (Gleichung 11.12 in IPCC (2006): Vol. 4, 11.27), nach der die Düngermenge mit dem Emissionsfaktor zu multiplizieren ist. Zu den Düngermengen siehe Kapitel 5.1.5.2. Für Dolomit und Kalkstein sind keine spezifischen deutschen Emissionsfaktoren verfügbar; daher werden die in IPCC (2006): Vol. 4, 11.27 angegebenen Default-Emissionsfaktoren angewendet: 0,13 kg CO₂-C

pro kg Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) und 0,12 kg $\text{CO}_2\text{-C}$ pro kg Kalkstein (CaCO_3). Bei Kalkammonsalpeter entsteht CO_2 aus dem CaCO_3 -Anteil, wofür der Kalkstein-Emissionsfaktor 0,12 kg $\text{CO}_2\text{-C}$ pro kg CaCO_3 verwendet wurde. Davon ausgehend lässt sich ein auf die Kalkammonsalpeter-Gesamtmasse bezogener Emissionsfaktor von 0,02748 kg $\text{CO}_2\text{-C}$ pro kg ableiten, siehe Kap. 11.10.2 in Rösemann et al. (2021)).

Die so berechneten $\text{CO}_2\text{-C}$ -Emissionen werden für die Eintragung in die CRF-Tabellen durch Multiplikation mit dem Molgewichtsverhältnis 44/12 (IPCC (2006): Vol. 4, 11.27) in CO_2 -Einheiten umgerechnet. Diese CO_2 -Emissionen stellen die höchstmöglichen Emissionen dar, da die o. g. Emissionsfaktoren auf der konservativen Annahme beruhen, dass der gesamte in den Düngern enthaltene Kohlenstoff in CO_2 umgewandelt wird.

Tabelle 333 zeigt den zeitlichen Verlauf der CO_2 -Emissionen aus der Düngekalkung insgesamt sowie für die drei getrennt zu berichtenden Kalkdüngerkategorien.

Tabelle 333: CO_2 -Emissionen aus der Düngekalkung (3.G, 3.I)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
insgesamt	2711,0	1669,6	2062,4	1736,4	1806,2	1857,4	1946,0	2064,8	2153,5	2136,5	2107,5	2150,7	2250,1	2297,6
in % von 1990	100,0	61,6	76,1	64,1	66,6	68,5	71,8	76,2	79,4	78,8	77,7	79,3	83,0	84,8
Kalkstein	1849,8	1071,5	1525,9	1328,1	1463,0	1509,8	1603,6	1735,7	1830,1	1828,8	1815,5	1878,4	1992,5	2047,4
Dolomit	350,7	208,5	169,8	100,8	86,0	83,5	88,5	88,8	87,2	77,0	66,3	59,2	55,0	54,2
Kalkammonsalpeter	510,4	389,5	366,6	307,5	257,2	264,1	253,9	240,3	236,2	230,7	225,7	213,0	202,7	196,0

Die Tier-1-Methodik für $\text{CO}_2\text{-C}$ -Emissionen aus Harnstoffanwendung (IPCC (2006): Vol. 4, 11.32) berechnet die Emissionen proportional zu Harnstoffmenge (siehe Kapitel 5.1.5.2). Als Proportionalitätsfaktor dient der $\text{CO}_2\text{-C}$ -Emissionsfaktor, der stöchiometrisch abzuleiten ist und von IPCC (2006): Vol. 4, 11.32 mit 0,2 kg $\text{CO}_2\text{-C}$ pro kg Harnstoff angegeben wird. Die für die CRF-Tabellen erforderliche Umrechnung in CO_2 -Einheiten erfolgt analog zu CO_2 aus Kalkung, siehe oben. Tabelle 334 zeigt die resultierende Zeitreihe.

Tabelle 334: CO_2 -Emissionen aus der Harnstoffanwendung (3.H)

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
[kt a ⁻¹]	481,0	458,5	593,1	641,1	710,8	654,0	689,9	672,6	749,7	791,5	815,1	719,6	605,3	523,5
in % von 1990	100,0	95,3	123,3	133,3	147,8	136,0	143,4	139,8	155,8	164,5	169,5	149,6	125,8	108,8

5.8.3 Quellspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.G-I)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

Im Rahmen der Verifizierung wurde analog zur Vorgehensweise in Kapitel 5.2.4 für 2018 ein Vergleich der CO_2 -Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung in Deutschland (aktuelle Submission 2021) und benachbarten Staaten inklusive des Vereinigten Königreiches (Submission 2020, UNFCCC (2020a)) durchgeführt, siehe Tabelle 335.

Tabelle 335: Vergleich der deutschen CO₂-IEF-Werte mit denen benachbarter Staaten für das Zeitreihenjahr 2018

[kg CO ₂ -C per kg of fertilizer]	Kalkstein	Dolomit	andere kalkhaltige Dünger	Harnstoffanwendung
	[kg kg ⁻¹]	[kg kg ⁻¹]	[kg kg ⁻¹]	[kg ha ⁻¹]
Österreich	0,12	0,13	NA	0,20
Belgien	0,12	0,13	NO	0,20
Tschechische Republik	0,12	0,13	NO	0,20
Dänemark	0,12	IE	0,03000	0,20
Frankreich	0,12	0,13	NO	0,20
Deutschland	0,12	0,13	0,02748	0,20
Niederlande	0,12	0,13	NO	IE
Polen	0,12	0,13	NO	0,20
Schweiz	0,12	0,13	NO	0,20
Vereinigtes Königreich	0,12	0,13	n/a	0,20
IPCC (2006): Vol. 4, 11.27	0,12	0,13		0,20

Quelle: Deutschland: Submission 2021; andere Länder: UNFCCC (2020a)

IE, NO, n/a: Keine Daten verfügbar

Es zeigt sich, dass alle Länder, die CO₂-Emissionen aus der Kalkung von Kalkstein berichten, als Emissionsfaktoren die IPCC (2006): Vol. 4-Defaultwerte verwenden. Dies gilt mit Ausnahme von Dänemark auch für die Dolomitanwendung. Die Anwendung anderer kalkhaltiger Dünger wird nur von Dänemark und Deutschland berichtet; würde der deutsche IEF auf zwei Dezimalstellen gerundet, entspräche er dem dänischen Wert. Mit Ausnahme der Niederlande berechnen alle verglichenen Länder die CO₂-Emissionen aus der Harnstoffanwendung, wobei einheitlich der IPCC (2006): Vol. 4.-Defaultwert eingesetzt wurde.

5.8.4 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.G-I)

Tabelle 271 in Kapitel 5.1.6 gibt die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren für CO₂ aus Düngekalkung und Harnstoffanwendung an, die für die Schätzung der Gesamtunsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzt wurden. Zur Herleitung der Unsicherheiten siehe Kap. 11.10.1 und 11.10.2 in Rösemann et al. (2021).

Die Unsicherheit der Aktivitätsdaten umfasst dabei nicht die Unsicherheit, die daraus resultiert, dass i. d. R. nicht der gesamte ausgebrachte Kohlenstoff in CO₂ umgewandelt wird und die Umwandlungsrate nicht quantifizierbar ist. Die berechneten Emissionen stellen daher im Rahmen der in Tabelle 271 in Kapitel 5.1.6 angeführten Unsicherheiten maximal mögliche Emissionen dar.

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.8.5 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.G-I)

Die Emissionen unterscheiden sich von denen in Submission 2020. Dies ist eine direkte Folge der neu eingeführten jahresübergreifenden Mittelung der Aktivitätsdaten, siehe Kapitel 5.1.5.2.

Tabelle 336: CO₂-Emissionen aus Kalkung und Harnstoffanwendung (3.G-I)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
2021, insgesamt	2711,0	1669,6	2062,4	1736,4	1806,2	1857,4	1946,0	2064,8	2153,5	2136,5	2107,5	2150,7	2250,1
2020, insgesamt	2704,0	1744,9	2224,9	1727,4	1737,6	1885,7	1948,7	2003,5	2242,2	2214,7	1952,5	2155,2	2344,3
2021 - 2020	7,0	-75,3	-162,6	9,1	68,6	-28,3	-2,7	61,3	-88,7	-78,3	155,0	-4,6	-94,1
2021 - 2020, in %	0,3	-4,3	-7,3	0,5	3,9	-1,5	-0,1	3,1	-4,0	-3,5	7,9	-0,2	-4,0

5.8.6 Geplante Verbesserungen (3.G-I)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

5.9 CH₄ und N₂O aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) (3.J)

5.9.1 Beschreibung der Quellgruppe (3.J)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/T	3 J, Other		CH ₄	0,3	0,0	1.315,5	0,2	476.698,0 %
-/-	3 J, Other		N ₂ O	0,1	0,0	257,5	0,0	206.768,1 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	Tier 2	Q/RS/NS	CS/D
N ₂ O direct	Tier 2	Q/RS/NS	CS/D
N ₂ O indirect	Tier 1	Q/RS/NS	D
NO _x	Tier 2	Q/RS/NS	CS

Die Quellgruppe „CH₄ und N₂O aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager)“ ist eine Hauptkategorie für CH₄-Emissionen nach dem Trend.

Die Vergärung von Energiepflanzen dient vorrangig der Energiegewinnung. Daher werden die bei der Vergärung selbst (Fermenter) und der Lagerung der Gärreste entstehenden Emissionen (CH₄, N₂O und NO, siehe Kapitel 5.1.4.1) als separate Quellgruppe berichtet (CRF 3s2/J). Die Emissionen aus der Nutzung der Gärreste als Dünger werden zusammen mit den Emissionen aus der Ausbringung anderer Dünger unter 3.D.2.c berichtet.

Analog zum Wirtschaftsdünger werden auch für die Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten indirekte N₂O-Emissionen als Folge der Deposition von reaktivem Stickstoff berechnet. Es treten wie beim Wirtschaftsdünger keine indirekten N₂O-Emissionen aufgrund von Auswaschung/Oberflächenabfluss aus dem Lager auf.

Als Ergänzung zur Tabelle oben zeigt Tabelle 337 für das erste und das letzte Jahr der Zeitreihe die prozentualen Anteile der Emissionen von CH₄, N₂O und THG aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von CH₄, N₂O und THG. Tabelle 337 verzichtet auf die Angabe der prozentualen Veränderungen der Emissionen seit 1990; solche Angaben sind wegen der geringen Verbreitung der Energiepflanzenvergärung im Jahr 1990 nur begrenzt aussagekräftig, wie die Tabelle oben zeigt. Die zeitliche Zunahme der Emissionen ist eine direkte Folge der wachsenden Substratmengen.

Tabelle 337: Prozentuale Anteile der Emissionen aus der Energiepflanzenvergärung (Fermenter + Gärrestlager; Index: EC) an den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen von CH₄, N₂O und THG

[%]	Anteil an landwirtschaftlicher Gesamtemission (CH ₄ , N ₂ O, THG)	
	1990	2019
CH _{4,EC}	0,0	4,3
N ₂ O _{EC}	0,0	0,9
CH _{4,EC} + N ₂ O _{EC} als THG (in CO ₂ eq)	0,0	2,5

5.9.2 Methodische Aspekte (3.J)

Die Berechnung der CH₄-Emissionen und der direkten N₂O-Emissionen erfolgt analog zur Emissionsberechnung bei der Vergärung von Mist (siehe Kapitel 5.1.3.6.5), allerdings ohne Vorlager.

Wie beim Wirtschaftsdünger (siehe Kapitel 5.3.5) werden auch für die Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten indirekte N₂O-Emissionen als Folge der Deposition von reaktivem Stickstoff berechnet, der im Falle der Energiepflanzen aus NH₃- und NO-Emissionen aus dem Energiepflanzen-Gärrestelager stammt. Die NO-Emissionen aus dem Gärrestelager werden wie bei Wirtschaftsdünger analog zu den N₂O-Emissionen berechnet (siehe Kapitel 5.3.4.2). Zur Berechnung der NH₃-Emissionen aus dem Energiepflanzen-Gärrestelager wird auf Kap. 10 in Rösemann et al. (2021) verwiesen.

5.9.3 CH₄-Emissionsfaktor und -Emissionen (3.J, CH₄)

Tabelle 338 zeigt den zeitlichen Verlauf des CH₄-Emissionsfaktors für die Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager), bezogen auf die Trockenmasse-Mengen, die mit den Energiepflanzen in den Vergärungsprozess eingebracht wurden (siehe Kapitel 5.1.4.2). Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wird in Abweichung von der sonst für die Emissionsfaktoren üblichen Einheit (kg kg⁻¹) die Einheit g kg⁻¹ verwendet. Die Abnahme des Emissionsfaktors mit der Zeit beruht auf der zunehmenden Verbreitung der gasdichten Lagerung der Gärreste (siehe Kapitel 5.1.4.2), für die anstelle des höheren Emissionsfaktors der offenen Lagerung nur die CH₄-Leckagerate zu berücksichtigen ist.

Tabelle 338: CH₄-Emissionsfaktor für die Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager), bezogen auf die mit den Energiepflanzen eingebrachte Trockenmasse

[g kg ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	3,23	3,19	3,14	3,08	2,83	2,78	2,67	2,64	2,63	2,62	2,62	2,62	2,62	2,62

Die CH₄-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) gehen aus Tabelle 339 hervor. Der ansteigende Trend ist eine Folge der starken Zunahme der vergorenen Energiepflanzen-Menge insbesondere seit 2005; er wird durch die zunehmende Verbreitung gasdichter Gärrestelagerung abgeschwächt, speziell für den Übergang von 2010 zu 2011. Zu Details siehe Kapitel 5.1.4.2.

Tabelle 339: CH₄-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager)

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	0,01	0,14	1,20	9,91	32,89	40,31	42,35	50,74	52,74	54,64	54,29	53,46	52,62	52,62

5.9.4 N₂O-Emissionsfaktoren und -Emissionen (3.J, N₂O)

Die Emissionsfaktoren für direkte N₂O-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Gärrestelager) sind in Tabelle 340 dargestellt. Diese Daten repräsentieren den Mittelwert für gasdichte und offene Lagerung und spiegeln in ihrem abnehmenden Trend die mit den Jahren zunehmende Verbreitung der gasdichten Lagerung, die kein N₂O emittiert. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wird in Abweichung von der sonst für die Emissionsfaktoren üblichen Einheit (kg kg⁻¹) die Einheit g kg⁻¹ verwendet. Die Emissionsfaktoren in Tabelle 340 sind auf die N-Mengen anzuwenden, die mit den Energiepflanzen in den Vergärungsprozess eingebracht wurden (siehe Kapitel 5.1.4.2).

Tabelle 340: Effektiver N₂O-N-Emissionsfaktor für direkte N₂O-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Gärrestelager), bezogen auf die mit den Energiepflanzen eingebrachte N-Menge

[g kg ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	5,00	4,77	4,53	4,21	2,89	2,63	2,03	1,90	1,80	1,77	1,76	1,77	1,76	1,76

Als Emissionsfaktor für indirekte N₂O-Emissionen infolge der Deposition von NH₃ und NO aus der Lagerung der Energiepflanzen-Gärreste wird wie beim Wirtschaftsdünger EF = 0,01 kg kg⁻¹ angesetzt (IPCC (2006): Vol. 4, 11.24, Tab. 11.3). Dieser Emissionsfaktor ist mit den N-Depositionsmengen zu multiplizieren, die in Kapitel 5.1.5.1.3 angegeben sind, um die entsprechenden Emissionen zu erhalten.

Die berechneten direkten und indirekten N₂O-Emissionen zeigt Tabelle 341. Der zeitliche Verlauf spiegelt den starken Anstieg der vergorenen Energiepflanzen-Mengen (siehe Kapitel 5.1.4) insbesondere seit 2005 wider. Die deutliche Abnahme der Emissionen von 2011 zu 2012 ist die Folge einer überdurchschnittlichen Zunahme der Verbreitung der gasdichten Lagerung, siehe Kapitel 5.1.4.2.

Tabelle 341: N₂O-Emissionen aus der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
insgesamt	0,000	0,005	0,042	0,331	0,821	0,931	0,788	0,893	0,886	0,902	0,891	0,884	0,864	0,864
N ₂ O _{direkt}	0,000	0,005	0,040	0,315	0,781	0,886	0,750	0,849	0,843	0,858	0,847	0,841	0,822	0,822
N ₂ O _{indirekt}	0,000	0,000	0,002	0,016	0,040	0,046	0,039	0,044	0,043	0,044	0,044	0,043	0,042	0,042

5.9.5 NO-Emissionsfaktoren und -Emissionen (3.J, NO)

Wie beim Wirtschaftsdünger (siehe Kapitel 5.3.4.2.2) werden die NO-Emissionen proportional zu den direkten N₂O-Emissionen berechnet, indem der auf die eingebrachte N-Menge anzuwendende NO-N-Emissionsfaktor mit 10 % des N₂O-N-Emissionsfaktors angesetzt wird.

Tabelle 342 zeigt den zeitlichen Verlauf der NO-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Gärrestelager).

Tabelle 342: NO-Emissionen aus der Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten

[kt a ⁻¹]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	0,000	0,001	0,005	0,043	0,107	0,121	0,102	0,116	0,115	0,117	0,116	0,115	0,112	0,112

5.9.6 Quellspezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (3.J)

Zu Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung wird auf Kapitel 5.1.7 verwiesen.

Eine Verifizierung kann mangels anderer deutscher Datenquellen nicht durchgeführt werden. Ein internationaler Vergleich als Ersatz scheidet ebenfalls aus, da andere Länder keine vergleichbare Verbreitung der Vergärung von Energiepflanzen aufweisen.

5.9.7 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (3.J)

Tabelle 271 in Kapitel 5.1.6 gibt die Unsicherheiten von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren im Zusammenhang mit der Vergärung von Energiepflanzen an, die für die Schätzung der Gesamt-Unsicherheit des deutschen THG-Inventars eingesetzt wurden. Zur Herleitung der Unsicherheiten siehe Kap. 10.1 und 10.2.2 in Rösemann et al. (2021).

Die Emissionszeitreihen sind konsistent, da sie für alle Jahre des Berichtszeitraumes jeweils mit der gleichen Methode berechnet wurden und die Eingangsdaten ebenfalls konsistent und vollständig sind.

5.9.8 Quellenspezifische Rückrechnungen (3.J)

Die Emissionszeitreihen von CH₄ und N₂O (siehe Kapitel 5.1.4.2) wurden die gesamten Emissionszeitreihen von CH₄ und N₂O (siehe Kapitel 5.9.3 und 5.9.4) wurden mit der gegenüber Submission 2020 unveränderten Methodik neu berechnet. Tabelle 343 vergleicht die Ergebnisse von Submission 2021 mit denen von Submission 2020. Abweichungen gab es nur für das Jahr 2018 aufgrund der für dieses Jahr aktualisierten Aktivitätsdaten, siehe Kapitel 5.1.4.2.

Tabelle 343: Vergleich der THG-Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen (Fermenter und Gärrestelager) zwischen Submission 2021 und 2020 (3.J)

CO ₂ eq	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
2021[kt]	0,40	5,02	42,5	346,3	1067,1	1285,2	1293,7	1534,6	1582,5	1634,9	1622,7	1599,8	1573,1
2020 [kt]	0,40	5,02	42,5	346,3	1067,1	1285,2	1293,7	1534,6	1582,5	1634,9	1622,7	1599,8	1607,3
2021- 2020 [kt]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-34,2
2021- 2020 [%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2,1

5.9.9 Geplante Verbesserungen (3.J)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

6 Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (CRF Sektor 4)

6.1 Übersicht (CRF Sektor 4)

6.1.1 Kategorien und Gesamtemissionen und -senken 1990 - 2019

In der Unterkategorie „Forstwirtschaft und andere Landnutzung“ des LULUCF-Sektors (Common Reporting Framework Sektor 4) wird in Deutschland über positive (Quelle) und negative (Senke) CO₂-Emissionen der Kohlenstoffpools⁹¹

- ober- und unterirdische Biomasse
- Totholz, Streu
- organische und mineralische Böden
- Holzprodukte (4.G)

berichtet, für die Landnutzungskategorien

- Wald (4.A.1)
- Acker (4.B.1)
- Grünland (4.C.1)
- Feuchtgebiete (4.D.1)
- Siedlungen (4.E.1)

sowie die jeweiligen Landnutzungsänderungen zwischen diesen Nutzungskategorien (CRF 4.A.2 - 4.E.2). In der Kategorie Sonstiges Land (4.F) treten keine anthropogen bedingten Emissionen auf, da die Flächen nicht genutzt werden. Landnutzungsänderungen zu Sonstigem Land finden nicht statt, da einmal genutztes Land per Definition nicht wieder in ungenutztes überführt werden kann.

Des Weiteren werden inventarisiert:

- CO₂-Emissionen aus
 - dem industriellen Torfabbau (4.D.1)
 - Moorbrand (4.(V))
- N₂O-Emissionen aus
 - organischen Böden der Landnutzungskategorien 4.A, 4.C (nur Gehölze)4.D, 4.E (Emissionen aus den Kategorien 4.B Ackerland und 4.C Grünland im engeren Sinn werden unter Landwirtschaft CRF 3.D.a.6 berichtet)
 - direkte (CRF 4.(III)) und indirekte (CRF 4.(IV)) Emissionen aus der Humusmineralisation in Mineralböden infolge Landnutzungsänderung bzw. Landbewirtschaftung (Emissionen aus der Kategorie 4.B.1 werden unter Landwirtschaft CRF 3.D.a.5 berichtet)
 - dem industriellen Torfabbau (4.(II))
 - Waldbrand (4.(V))
- CH₄-Emissionen aus
 - organischen Böden (4.(II))
 - Entwässerungsgräben organischer Bodenflächen (4.(II))
 - dem industriellen Torfabbau (4.(II))
 - Waldbrand (4.(V))

⁹¹ CO₂-Emissionen aus Waldbränden werden über die Kohlenstoffänderung im Wald implizit berücksichtigt.

- Moorbrand (4.(V))

Bei der Berichterstattung über die Freisetzung/Einbindung der Treibhausgase in jeder Landnutzungskategorie wird unterschieden zwischen Flächen, die in der Berichtsperiode

- keiner Landnutzungsänderung unterliegen, somit unverändert in der Landnutzungskategorie verbleiben (Verbleibkategorie 4.A.1 - 4.F.1)
- eine Umnutzung erfahren: Diese werden vom Zeitpunkt der Umnutzung in der Kategorie berichtet, deren Nutzung sie zugeführt wurden. Die Änderungsflächen werden in diesen neuen Landnutzungskategorien für 20 Jahre in Übergangskategorien (4.A.2 - 4.F.2) berichtet. Nach 20 Jahren in einer Übergangskategorie werden diese Flächen dann in die Verbleibkategorie übernommen. Kommt es vor Ablauf der Übergangsfrist von 20 Jahren erneut zu Landnutzungsänderungen, werden die betroffenen Flächen vom Zeitpunkt der Nutzungsänderung an sofort der neuen Übergangskategorie zugeschlagen. Die Frist von 20 Jahren beginnt dann erneut (effektive Übergangszeit)

Abbildung 46, Abbildung 47 und Abbildung 48 geben für die vorliegende Submission 2021 eine Übersicht über die zeitliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen (Summe aus CO₂, CH₄ und N₂O als CO₂-Äquivalente) aus den Bereichen 4.A-4.E, aufgeteilt nach Unterkategorien, Pools und Treibhausgasen. Auf der X-Achse ist die Jahresleiste im Berichtszeitraum und auf der Y-Achse die Emissions- (positive Werte) und die Senkenwirkung (negative Werte) in Kilotonnen CO₂-Äquivalenten (kt CO₂-Eq.) dargestellt.

Die deutlichen Änderungen der Emissionen in den Jahren 1990, 2002 und 2008 sind auf stark veränderte Emissionsfaktoren für die Forstbiomasse und der Holznutzung zurückzuführen. Diese hat in der Inventurperiode 1991 bis 2001 gegenüber 1990 drastisch abgenommen (1990 verstärkte Aufarbeitung von Sturmschäden), zwischen 2002 - 2008 war eine Zunahme, 2008 eine leichte Abnahme zu verzeichnen (siehe Kapitel 6.4.2.2.1). Die Zeitreihen spiegeln neben den Veränderungen bei der Forstbiomasse die Trends der Landnutzungsänderungen wider (siehe Kapitel 6.3.5). Für die Erfassung von Landnutzungsänderungen wurden Datensätze der Stichjahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2019 verwendet (vergl. Kapitel 6.3). Die Landnutzungsänderungen wurden zwischen den Stichjahren linear interpoliert, so dass sich zwischen den Stichjahren jeweils konstante mittlere Landnutzungsänderungen ergeben (siehe Tabelle 380).

Der Verlauf der Nettoemissionen von 1990 bis 2019 zeigt, dass der Sektor in den meisten Jahren als Senke fungierte. Hauptursache hierfür ist die Landnutzungskategorie Wald. Als dominierende Pools tragen die Waldbiomasse sowie die Waldböden einen bedeutenden Teil zur Senke bei. Einen Anteil an der Senkenfunktion liefern ebenfalls die Holzprodukte durch ihre Funktion als Kohlenstoffspeicher. Dem gegenüber stehen hauptsächlich die Emissionen aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen der Landnutzungskategorien Acker- und Grünland. Diese beiden Kategorien weisen über die Jahre anhaltend hohe Emissionen aus entwässerten organischen Böden auf. Die Landnutzungskategorie Feuchtgebiete trägt hauptsächlich durch den industriellen Torfabbau zur Freisetzung von THG-Emissionen bei. In den Jahren 1990, 2002, 2003, 2004 und 2007 war der LULUCF-Sektor eine Quelle für Treibhausgase, im wesentlichen zurückzuführen auf verstärkte Holzeinschläge, hauptsächlich aufgrund der Aufarbeitung von Waldschäden infolge unterschiedlicher Kalamitäten.

Dominierendes Treibhausgas ist Kohlenstoffdioxid (CO₂), welches Netto als bedeutende Senke wirkt. Die Freisetzung von Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) ist demgegenüber gering. Detaillierte Beschreibungen der Emissionen und deren Zeitreihen finden sich in den jeweiligen

Kapiteln der Landnutzungskategorien (Kapitel 6.4.1, Kapitel 6.5.1, Kapitel 6.6.1, Kapitel 6.7.1, Kapitel 6.8.1 und Kapitel 6.10.1).

Abbildung 46: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und –senken (Summe aus CO₂, CH₄ und N₂O) [kt CO₂-Equivalents] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Unterkategorien

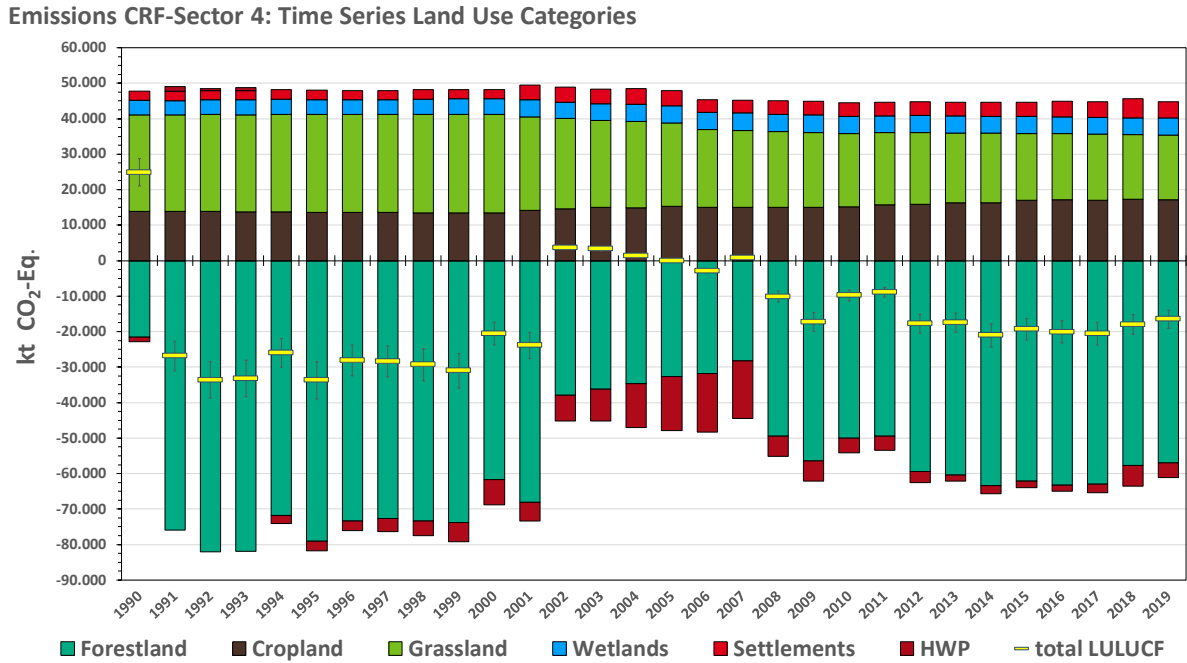


Abbildung 47: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und –senken (Summe aus CO₂, CH₄ und N₂O) [kt CO₂-Equivalents] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Pools

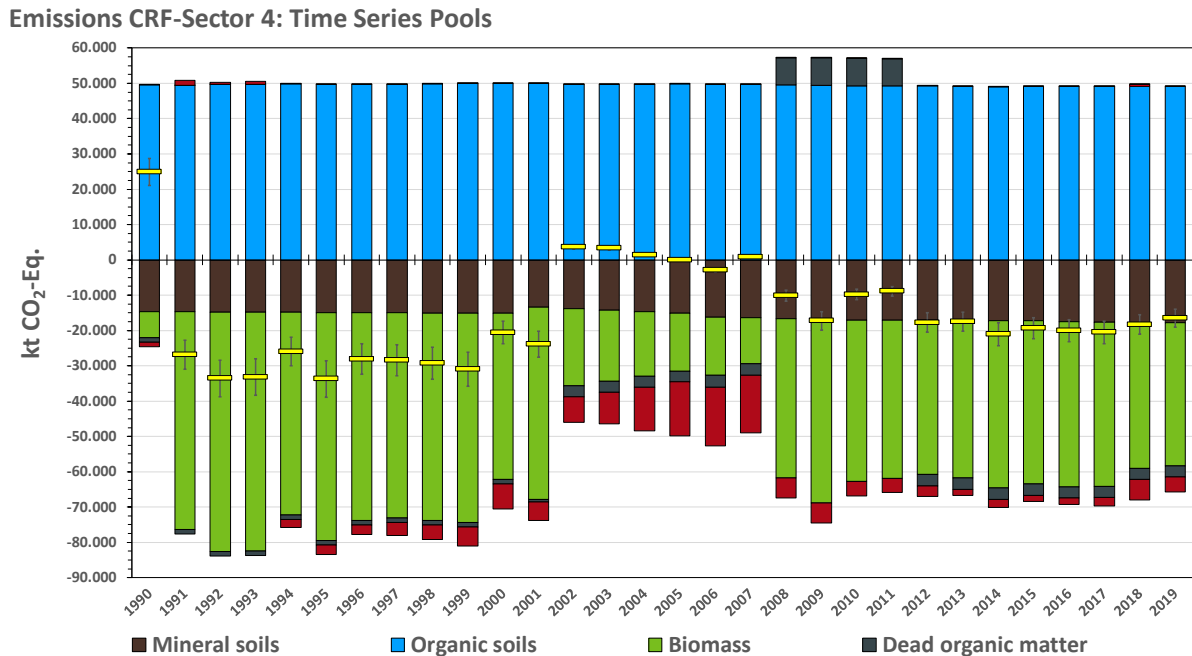
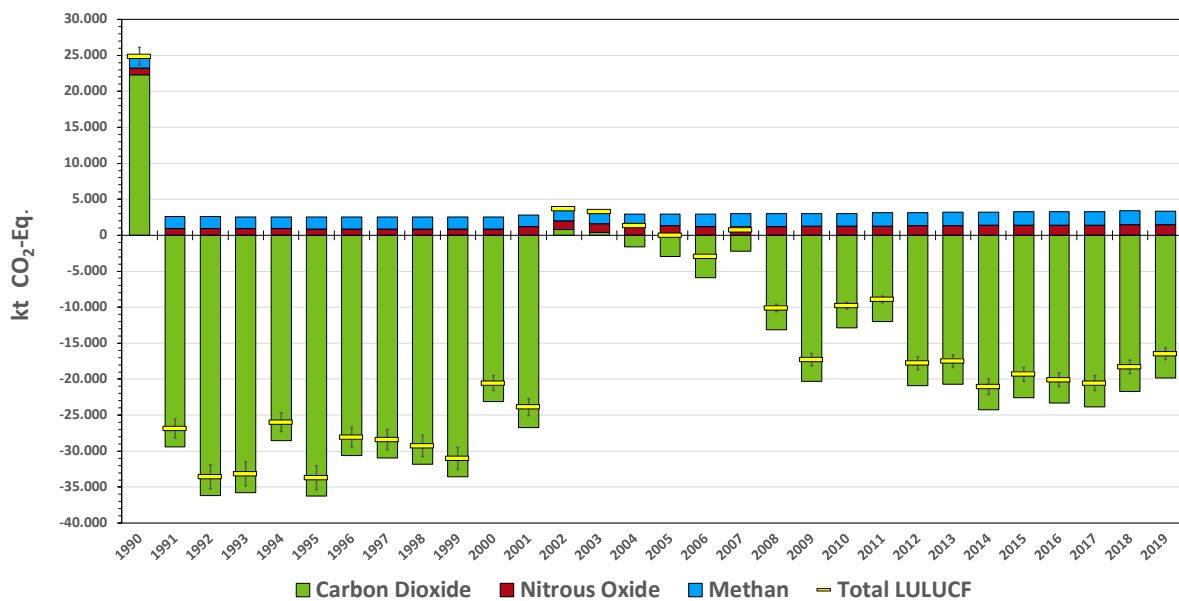


Abbildung 48: Zeitreihen der Treibhausgasemissionen und – senken (Summe aus CO₂, CH₄ und N₂O) [kt CO₂-Equivalents] im LULUCF-Sektor seit 1990, unterschieden nach Treibhausgasen (GHG)

Emissions CRF-Sector 4: Greenhouse Gases



Die Gesamtunsicherheit des deutschen LULUCF-Inventars (ohne Holzprodukte) beträgt 15,5 %. Ausführungen hierzu finden sich in den entsprechenden Kapiteln der einzelnen Landnutzungskategorien sowie im Kapitel 6.1.2.1.

6.1.2 Methodische Grundlagen

Das für den CRF-Sektor 4 in den 2006 IPCC Guidelines geforderte System der Landnutzungssysteme wurde von Deutschland übernommen; die Umsetzung ist in Tabelle 344 dargestellt, genaue Definitionen und Beschreibungen finden sich in Kapitel 6.2 (vergl. auch Kapitel 6.3).

Tabelle 344: Zuordnung der deutschen Berichtskategorien zu den IPCC-Landnutzungskategorien

IPCC-Kategorie	Deutsche LULUCF-Kategorien
4.A Wald	Wald
	Ackerland mit annuellen Kulturen
	Hopfenanbau
	Weinbau
4.B Ackerland	Obstbau
	Ackerland mit perennierenden Kulturen
	sonstige perennierende Ackerlandkulturen (Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen)
4.C Grünland	Grünland im engeren Sinne
	Gehölze
4.D Feuchtgebiete	Terrestrische Feuchtgebiete
	Gewässer
	Torfabbau
4.E Siedlungen	Siedlungen
4.F Sonstiges Land	Sonstiges Land
4.G Holzprodukte	Holzprodukte

Grundlegende Elemente und Schritte bei der Erstellung des LULUCF-Inventars

1. **Landnutzungsmatrix**_{jährlich} [*Area_{ann}*]: Jährliche Berechnung der Gesamtfläche für die Unterkategorien „verbleibende Landnutzung“ und „Landnutzungsänderung“ für die Kategorien Wald, Ackerland_{annuell}, Hopfen, Wein, Obst, sonstige perennierende Ackerlandkulturen, Grünland im engeren Sinn, Gehölze, terrestrische Feuchtgebiete, Gewässer, Torfabbau, Siedlungen und sonstiges Land, für alle Zeitreihen unterteilt nach mineralischen und organischen Böden. Die Landnutzung und deren Flächenausweisung wurden explizit bestimmt für die Jahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2019. Für die Zeiträume zwischen diesen Jahren wurden die ermittelten Flächen den IPCC-Guidelines folgend (2006 IPCC Guidelines IPCC (2006), Vol. 4 Ch. 3 Fig. 3.1) linear interpoliert (siehe Kapitel 6.3).
2. **Emissionsfaktoren für den gesamten Kohlenstoffvorrat im Jahr der Landnutzungsänderung** [*EF_{ann}*]: Die Emissionsfaktoren für die verschiedenen Pools sind differenziert nach Landnutzungskategorie in Tabelle 345 (Mineralböden), Tabelle 355 (Biomasse), Tabelle 356 (Waldbiomasse (Entwaldung), Totholz und Streu) und im Kapitel 6.1.2.2.2 (organische Böden) dargestellt. Außer in Wald und Acker sind die Kohlenstoffvorräte pro Flächeneinheit über die Zeit konstant. Damit ergeben sich auch konstante Änderungen der Kohlenstoffvorräte bei Landnutzungsänderung.
3. **Kohlenstoffvorratsänderungen für die jährlichen Landnutzungsänderungen** [*E_{ann}*] werden nach der Formel $E_{ann} [z.B. t C] = EF_{ann} [z.B. t C/ha] * Area_{ann} [ha]$ berechnet, unter der Annahme, dass die gesamte Kohlenstoffvorratsänderung im Jahr der Landnutzungsänderung auftritt.
4. **Einführung einer maximal zwanzigjährigen Übergangszeit** [*Area_{20y}*]: Die Berechnung der Landnutzungsmatrix beginnt 1970, um die Landnutzungsänderungsflächen vor dem eigentlichen Berichtszeitraum zu ermitteln (siehe Kapitel 6.3.4). Ermittelte Übergangsflächen werden der jeweiligen Landnutzungsänderungskategorie im Jahr des Übergangs zugeschlagen und verbleiben

für maximal 20 Jahre in dieser Kategorie. Nach 20 Jahren werden die Flächen in die Verbleibkategorie der Zielnutzung überführt. Folgerichtig sind ab dem zweiten Berichtsjahr die Flächen in den Verbleibkategorien kleiner, in den Übergangskategorien größer, als in einer jährlichen Landnutzungsmatrix. Die Flächen sind in den CRF-Tabellen, Tabelle 378 und Tabelle 379 dargestellt. Sind Flächen innerhalb der 20 Jahre Übergangszeit erneut von Landnutzungsänderungen betroffen, werden diese unmittelbar zum Zeitpunkt der Umnutzung in die neue Übergangskategorie überführt und die Frist von 20 Jahren beginnt erneut.

5. **Emissionsfaktoren [EF] und implizite Emissionsfaktoren [IEF] für die zwanzigjährige Übergangszeit [IEF_20y]:** Diese Faktoren sind in den CRF-Tabellen dargestellt. Es werden jährliche Emissionsfaktoren in Emissionsfaktoren bzw. implizite Emissionsfaktoren umgerechnet, die zu den Flächen der Landnutzungsmatrix mit zwanzigjähriger Übergangszeit passen. Die Berechnungen können mit den entsprechenden Arbeitsblättern der Tabellenkalkulation schrittweise nachvollzogen werden. Die Konversion von *EF_ann* zu *IEF_20y* führt nach der Verrechnung mit den mineralischen und organischen Bodenflächen für die Emissionen aus Pools zu angepassten, also impliziten, IEFs. Auch wenn die absoluten Emissionen unverändert bleiben, werden die IEF beeinflusst von den jährlichen Nettoänderungen der Flächen und den unterschiedlichen *IEF_20y* der Mineralböden in den Übergangskategorien infolge von erneuten Landnutzungsänderungen innerhalb der 20-jährigen Übergangszeit. Dabei kommen folgende Formeln zur Anwendung:

- **Mineralböden:** Die gesamte Kohlenstoffvorratsänderung infolge Landnutzungsänderung wird nach der Formel $IEF_{20y} = EF_{ann} / 20$ linear auf 20 Jahre Übergangszeit aufgeteilt; d.h. nur ein Zwanzigstel der Gesamtemission wird jährlich veranschlagt. Aufgrund der Einführung der effektiven Übergangszeit, muss der Kohlenstoffvorrat in den Mineralböden an jedem Aufnahmepunkt nachverfolgt und archiviert werden, da dieser, bei erneuter Landnutzungsänderung innerhalb der 20 Jahre Übergangsfrist, verrechnet mit dem neuen Zielwert, die Grundlage zur Berechnung des neuen *EF_ann* bildet (s. Kapitel 6.1.2.1.1)
- **Organische Böden:** In den Landnutzungskategorien Wald und Gehölze werden jedes Jahr die gleiche Menge CO₂, CH₄ und N₂O emittiert, in den Übergangskategorien genauso wie in der Verbleibkategorie der neuen Landnutzung. Dies gilt auch für die N₂O-Emissionen aller anderen Landnutzungskategorien; $IEF_{20y} = EF_{ann}$.
- **Organische Böden:** Für Flächen auf organischen Böden unter Ackerland (inkl. aller Subkategorien), Grünland i.e.S., Feuchtgebieten (inkl. aller Subkategorien) und Siedlungen werden die CO₂- und CH₄-Emissionen jährlich berechnet, mittels Responsefunktionen in Abhängigkeit vom Grundwasserspiegel.
- **Netto-Kohlenstoffvorratsänderung, Kohlenstoffzu- und -abnahme der Biomasse und toter organischer Substanz außer bei Landnutzungsänderung zu Wald:** Alle Emissionen werden vollständig im Jahr der Landnutzungsänderung veranschlagt, nach der Formel $IEF_{20y} = E_{ann} / [Area_{20y}]$.
- **Netto-Kohlenstoffvorratsänderung, Kohlenstoffzunahme der Biomasse und toter organischer Substanz bei Landnutzungsänderung zu Wald:** Die gesamte Kohlenstoffvorratsänderung infolge Landnutzungsänderung wird nach

der Formel $IEF_{20y} = EF_{ann}$ berechnet; d.h. jedes Jahr wird auf der gesamten Landnutzungsänderungsfläche die Kohlenstoffsенke veranschlagt.

- **N₂O aus dem Verlust von organischer Substanz in Mineralböden infolge von Landnutzungsänderung zu Acker:** Es wird dieselbe Methode wie bei Kohlenstoffvorratsverlusten in Mineralböden verwendet. Die gesamte Kohlenstoffvorratsänderung infolge Landnutzungsänderung wird linear auf die 20 Jahre Übergangszeit aufgeteilt, nach der Formel $IEF_{20y} = E_{ann} / Area_{20y}$; d.h. nur ein Zwanzigstel der Gesamtemission wird jährlich veranschlagt. In Bezug auf erneute Landnutzungsänderung innerhalb der 20-Jahresfrist gilt ebenfalls dasselbe.
6. **Berechnung der CO₂-Emissionen** aus den Kohlenstoffwerten für den NIR durch Multiplikation der Kohlenstoffvorratsänderungen mit dem Faktor -44/12.
 7. **Berechnung der N₂O-Emissionen** aus Stickstoffwerten durch Multiplikation der Stickstoffvorratsänderungen mit dem Faktor -44/28; die Umrechnung der N₂O-Werte in CO₂-Äquivalente erfolgt mit dem Faktor 298 (GWP 100 gemäß Decision 24/CP.1 (Annex III)).
 8. **Umrechnung von CH₄-Emissionen** in CO₂-Äquivalente erfolgt mit dem Faktor 25 (GWP 100 gemäß Decision 24/CP.1 (Annex III)).

Die Submission 2021 wurde nach den Regelwerken

- 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006)
- 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol (IPCC et al., 2014a)
- 2013 Supplement to the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands (IPCC et al., 2014b)

zusammengestellt. Maßgebliche Maßnahmen zur Inventarverbesserung, die in dieser Submission zur Anwendung kamen und zu Neuberechnungen führten sind:

- Implementierung eines Modells zur flächendeckenden Berechnung und Regionalisierung der Grundwasserstände in organischen Böden Deutschlands auf jährlicher Basis (s. Kapitel 6.1.2.2ff)
- Ermittlung der Emissionen aus organischen Böden in Abhängigkeit vom Grundwasserstand
- Neue Methodik zur Bestimmung der CO₂- und CH₄-Emissionen organischer Böden für die Landnutzungskategorien annuelles Ackerland, Hopfenanbau, Obstbau, Weinbau, Sonstige perennierende Ackerlandkulturen (Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen), Grünland i.e.S, Terrestrische Feuchtgebiete und Siedlungen (s. Kapitel 6.1.2.2ff)
- Modifikation der Methode zur Erhebung der Flächen von Entwässerungsgräben für organische Böden (Kapitel 6.1.2.2.1)
- Neue Methodik zur Bestimmung der THG-Emissionen aus Mineralböden bei Landnutzungsänderungen von/zu Siedlungen (Kapitel 6.1.2.1ff)
- Einführung neuer Emissionsfaktoren für die ober- und unterirdische Waldbiomasse (s. Kapitel 6.1.2.3.4ff und Kapitel 6.4.2.2)
- Einführung neuer Emissionsfaktoren für Totholz (s. Kapitel 6.4.2.3)

Abgesehen von diesen Änderungen kamen die Methoden, Datenquellen und Emissionsfaktoren des Vorjahres zur Anwendung. Mit der vorliegenden Submission wurden die

Berechnungsverfahren zur Ermittlung aller Emissionen und inventarrelevanten Größen für den LULUCF-Sektor Deutschlands in einem kombinierten Geoinformations-/Datenbanksystem vollständig automatisiert umgesetzt.

6.1.2.1 Kohlenstoffemissionen aus Mineralböden (4.A bis 4.F)

6.1.2.1.1 Übersicht Methodik

Die Fläche der Mineralböden wurde als Differenz der Gesamtflächen und der Flächen organischer Böden berechnet (Kapitel 6.1.2.2).

Die Veränderungen der Kohlenstoff- bzw. Stickstoffvorräte in Mineralböden werden, gemäß Gleichung 2.25 in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006), als Differenz zwischen den jeweiligen Vorräten vor und nach den entsprechenden Landnutzungsänderungen berechnet. Die Emissionsfaktoren wurden landesspezifisch abgeleitet. Die Werte für die Waldböden (CRF 4.A) entstammen aus den Bodenzustandserhebungen im Wald (s. Kapitel 6.4.2.5.3). Für die Kategorie 4.A.1 "Wald bleibt Wald" wurde im Rahmen der Bodenzustandserhebungen im Wald eine jährliche Kohlenstoffvorratsänderung von $0,41 \pm 0,11 \text{ t C ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ ermittelt (vergl. Kapitel 6.4.2.5.4). Diese wird jährlich dem Vorjahresvorrat zugeschlagen und als Einbindung berichtet.

Die landesspezifischen, repräsentativen Kohlenstoffvorräte für die Landnutzungskategorien 4.B (Ackerland_{annuell}, Hopfen, Obst, Wein, Sonstige Ackerlandkulturen_{perennierend} (Weihnachtsbaumkulturen, Baumschulen, Kurzumtriebsplantagen)), 4.C (Grünland i.e.S., Gehölze) und 4.D.1 (Terrestrische Feuchtgebiete) wurden anhand einer flächendeckenden Inventur landwirtschaftlich genutzter Böden ermittelt (Bodenzustandserhebung Landwirtschaft Jacobs et al. (2018)). Für die Landnutzungskategorien Sonstiges Land wurde ein repräsentativer, flächengewichteter Kohlenstoffvorrat für Mineralböden bis 30 cm Bodentiefe aus in Deutschland vorhandenen nutzungsdifferenzierten Profildaten bestimmt.

Für die Kategorie Siedlungen wurden landesspezifische Kohlenstoffvorräte basierend auf den Ergebnissen der Bodenzustandserhebungen Wald und Landwirtschaft abgeleitet, in Abhängigkeit von der Richtung der Landnutzungsänderung, der Vornutzung und dem Versiegelungsgrad der Flächen (Kapitel 6.1.2.1.6). Die Berichterstattung für Mineralböden erfolgt somit nach einem Tier-2-Ansatz.

Bei Mineralböden der Landnutzungskategorien 4.B, 4.C, 4.D, 4.E und 4.F wird bei gleichbleibender, gleichnamiger Nutzung unterstellt, dass die Kohlenstoffein- und -austräge in die Böden gleich groß, die Systeme somit im Gleichgewicht sind. Begründungen finden sich in Kapitel 6.5.2.3 und Kapitel 6.6.2.3.

Die Kategorien Ackerland (4.B), Grünland (4.C) und Feuchtgebiete (4.D) weisen jeweils mehrere Subkategorien auf (Kapitel 6.6.2.3). Flächenübergänge zwischen Subkategorien der gleichen übergeordneten Landnutzungskategorie werden wie Landnutzungsänderungen behandelt, in den CRF-Tabellen jedoch unter den entsprechenden Verbleibkategorien der übergeordneten Landnutzung subsummiert. Die Empfehlung der EU-Kommission, in den "Member State recommendations on reporting systems for cropland & grazing land management emissions & removals" (Ecofys & Environment Agency Austria, 2017), für Deutschland ein System zu entwickeln, mit dem künftig Veränderungen der Kohlenstoffvorräte von Böden infolge von Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verringerung der Emissionen bzw. Kohlenstoffsequestrierung in den Verbleibkategorien 4.B und 4.C bzw. Acker- (CM) und Weidelandbewirtschaftung (GM) erfasst und berichtet werden können, wurde damit aufgegriffen und teilweise umgesetzt; umfassende Lösungsmöglichkeiten werden derzeit erarbeitet und überprüft.

In der Kategorie Feuchtgebiete (4.D) kommen Mineralböden nur in den Subkategorien terrestrische Feuchtgebiete und Gewässer vor. Bei Landnutzungsänderungen zu Gewässern

werden keine Kohlenstoffvorratsänderungen angesetzt; bei Landnutzungsänderungen von Gewässern zu anderen Landnutzungsformen wird, wenn bekannt, die Differenz zwischen Vorgewässer- und Zielnutzung veranschlagt, andernfalls keine Änderungen unterstellt.

Die Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden infolge von Landnutzungsänderungen werden für jede Übergangskategorie als Differenz des Kohlenstoffvorrates der Zielnutzungskategorie und des Kohlenstoffvorrates der Ursprungskategorie berechnet. Da sich der Kohlenstoffvorrat von Waldböden (4.A) jährlich verändert, werden die jeweils jährlich gültigen Werte den Inventarberechnungen zugrunde gelegt. Die Gesamtänderung wird gemäß IPCC-Default (IPCC, 2006) auf einen Zeitraum von 20 Jahren linear verteilt. Die Summe der Kohlenstoffvorratsänderungen infolge von Landnutzungsänderungen in den Mineralböden Deutschlands errechnet sich für 20 Jahre dann wie folgt:

$$\Delta C = C_{final} - C_{initial} \Delta C: \text{Veränderung des Kohlenstoffvorrates infolge Landnutzungsänderung in Mineralböden einer Übergangskategorie [t C (20*a)}^{-1}]$$

C_{final} : Mineralbodenkohlenstoffvorrat [t C] der Zielkategorie

$C_{initial}$: Mineralbodenkohlenstoffvorrat [t C] der Ausgangskategorie

Ausnahme hiervon bilden Landnutzungsänderungen hin zu Siedlungen. In diesem Fall werden einmalig, nur im Jahr der Nutzungsänderung, 11 % des Kohlenstoffvorrates des Mineralbodens der Vornutzung als Emission veranschlagt (Kapitel 6.1.2.1.6). Die Kohlenstoffvorräte der Mineralböden der einzelnen Landnutzungskategorien, sowie die daraus abgeleiteten als Emissionsfaktoren genutzten Kohlenstoffvorratsdifferenzen, sind für das Jahr 2019 in Tabelle 345 dargestellt und deren Herleitung in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Tabelle 345: Mittlere Kohlenstoffvorräte in Mineralböden Deutschlands in Abhängigkeit von der Landnutzung [t C ha⁻¹] sowie daraus abgeleitete Kohlenstoffvorratsunterschiede nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2019

Mittlerer Kohlenstoffvorrat in Mineralböden Deutschlands im Jahre 2019													
	Wald	Acker _{annuell}	Hopfen	Obstanbau	Weinanbau	Sonstige Ackerkulturen _{perrenn}	Grünland i.e.S.	Gehölze	Terrestrische Feuchtgebiete	Gewässer	Torfabbau	Siedlungen [#]	Sonstiges Land
[t C ha ⁻¹]	67,13	61,18	62,89	71,69	49,30	62,89	89,41	62,89	109,31			36,81	55,60
Kohlenstoffvorratsänderung in 20 Jahren [t C ha ⁻¹ (20 a) ⁻¹]													
Initial\Final	Wald	Acker _{annuell}	Hopfen	Obstanbau	Weinanbau	Sonstige Ackerkulturen _{perrenn}	Grünland i.e.S.	Gehölze	Terrestrische Feuchtgebiete	Gewässer	Torfabbau	Siedlungen	Sonstiges Land
Wald		-5,95	-4,24	-17,83	4,56	-4,24	22,28	-4,24	42,18	0	NO	-7,38	NO
Acker _{annuell}	5,95		1,71	-11,88	10,51	1,71	28,23	1,71	48,13	0	NO	-6,73	NO
Hopfen	4,24	-1,71		-13,59	8,8	0	26,52	0	46,42	0	NO	-6,92	NO
Obstanbau	17,83	11,88	13,59		22,39	13,59	40,11	13,59	60,01	0	NO	-5,42	NO
Weinanbau	-4,56	-10,51	-8,8	-22,39		-8,8	17,72	-8,8	37,62	0	NO	-7,89	NO
Sonstige Ackerkulturen _{perrenn}	4,24	-1,71	0	-13,59	8,8		26,52	0	46,42	0	NO	-6,92	NO
Grünland i.e.S.	-22,28	-28,23	-26,52	-40,11	-17,72	-26,52		-26,52	19,9	0	NO	-9,84	NO
Gehölze	4,24	-1,71	0	-13,59	8,8	0	26,52		46,42	0	NO	-6,92	NO
Terrestr. Feuchtgebiete	-42,18	-48,13	-46,42	-60,01	-37,62	-46,42	-19,9	-46,42		0	NO	-12,02	NO
Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0		NO	0	NO
Torfabbau	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		NO	NO
Siedlungen	30,32	24,37	26,08	12,49	34,88	26,08	52,6	26,08	72,5	0	NO		NO
Sonstiges Land	11,53	5,58	7,29	-6,3	16,09	7,29	33,81	7,29	53,71	0	NO	-6,116	

Kursive Werte: von Jahr zu Jahr veränderlich

negativ: Kohlenstoffverluste; positiv: Kohlenstoffsequestrierung; NO: nicht vorkommend

#: einmalig nur im Jahr der Landnutzungsänderung

Für die Berücksichtigung der 20-jährigen Übergangszeit wird die für die jeweilige Übergangskategorie ermittelte gesamte Vorratsänderung (EF_{ann}, siehe Tabelle 345) durch 20 dividiert. So erhält man die impliziten Emissionsfaktoren für die Übergangskategorien für Landnutzungsänderungen aus einer Verbleibkategorie heraus (IEF_{20y}, siehe Tabelle 346). Im Falle von Landnutzungsänderungen von und zu Wald muss, aufgrund des sich jährlich ändernden Kohlenstoffvorrates in den mineralischen Waldböden, für jedes Berichtsjahr ein sich jährlich ändernder impliziter Emissionsfaktor (IEF) aus der Mineralbodenkohlenstoffvorratsänderung ΔC_i für jede Übergangskategorie hergeleitet werden. Diese ergibt sich aus:

$$\Delta C_i = \begin{cases} \frac{(C_{final,i} - C_{initial,i})}{20}, & i = 0 \\ \frac{(C_{final,i} + 0,41t - C_{initial,i})}{(20 - i)}, & i > 0 \end{cases}$$

ΔC_i: Veränderung des Kohlenstoffvorrates von Mineralböden im Jahr i nach einer Landnutzungsänderung [t C a⁻¹]

C_{final, i}: Finaler Bodenkohlenstoffvorrat der Zielkategorie im Jahr i nach Landnutzungsänderung [t C]

C_{initial, i}: Aktueller Bodenkohlenstoffvorrat der Ausgangskategorie [t C] im Jahr i nach Landnutzungsänderung

i: Jahr nach Landnutzungsänderung (0 - 19)

Der jeweils neue aktuelle Bodenkohlenstoffvorrat ergibt sich dann aus der Summe des aktuellen Kohlenstoffvorrats im Boden der Ausgangsnutzung und der berechneten Vorratsänderung (ΔC_i +

$C_{initial, i}$). Da der Kohlenstoffvorrat in Mineralböden unter Wald derzeit eine jährliche Änderungsrate von $0,41 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ aufweist, muss diese dem Zielvorrat jährlich zugeschlagen werden.

Von Landnutzung betroffene Flächen verbleiben längstens 20 Jahre in einer Übergangskategorie. Dann haben sie den Kohlenstoffvorrat der Zielkategorie erreicht und werden in die entsprechende Verbleibkategorie überführt. Die Einführung der effektiven Übergangszeit bedingt, dass eine von Landnutzungsänderung betroffene Fläche unmittelbar zum Zeitpunkt der jeweiligen Nutzungsänderung in die neue, entsprechende Übergangskategorie überführt wird, unabhängig davon, wie lange sie schon in einer Übergangskategorie geführt wurde. Da die Kohlenstoffvorratsänderung nach o.a. Gleichung vom Ausgangs- und Zielvorrat abhängig ist, muss der Kohlenstoffvorrat von Mineralböden deshalb an allen Punkten, zu jeder Zeit verfolgt und festgehalten werden. Während der Zielvorrat (C_{final}) vorgegeben ist, mit Ausnahme der Waldböden sogar eine fixe Größe darstellt, ist der Ausgangsvorrat variabel und stellt den Wert dar, der bis zur erneuten Landnutzungsänderung in der vorhergehenden Übergangskategorie erreicht wurde. Die Berechnung der Kohlenstoffvorratsänderung erfolgt auch für vorzeitig aus Übergangskategorien scheidenden Flächen nach den o.a. Algorithmen, wobei $C_{initial}$ dann der aktuelle, bis zur erneuten Landnutzungsänderung in der vorhergehenden Übergangskategorie erreichte Kohlenstoffvorrat im Mineralboden am Detektionspunkt ist. Die so berechnete Kohlenstoffvorratsänderung wird wiederum auf 20 Jahre verteilt: $\Delta C/20$ ergibt somit die jährliche Änderungsrate, die dem aktuellen initialen Bodenkohlenstoffvorrat dann bis zu einer erneuten Landnutzungsänderung bzw. dem Übergang in die Verbleibkategorie zugeschlagen wird. Die impliziten Emissionsfaktoren sind letztlich das Mittel aller IEF_20y einer Übergangskategorie in einem Berichtsjahr. Tabelle 346 zeigt diese Werte für das Jahr 2019. Die dort dargestellten Werte entsprechen folglich nicht dem Quotienten der in Tabelle 345 dargestellten Bodenkohlenstoffvorratsunterschiede dividiert durch 20.

Tabelle 346: Implizite Emissionsfaktoren [$\text{t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] zur Ermittlung jährlicher Kohlenstoffvorratsunterschiede in Mineralböden Deutschlands nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2019

Initial\Final	Emissionsfaktoren _{Mineralböden} [$\text{t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] für das Jahr 2019													
	Wald	Acker _{annuell}	Hopfen	Obstanbau	Weinanbau	Sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	Grünland i.e.S.	Gehölze	Terrestrische Feuchtgebiete	Gewässer	Torfabbau	Siedlungen	Sonstiges Land	
Wald	0,41	-0,084	0	0	0	0	1,275	-0,061	2,365	0	NO	-0,438	NO	
Acker _{annuell}	0,708		-0,002	-0,56	0,46	0,036	1,325	0,05	2,323	0	NO	-0,219	NO	
Hopfen	0,332	-0,09		0	0,394	0	1,301	0	0	0	NO	-0,546	NO	
Weinanbau	1,011	0,527	0,679		0,938	0,628	1,942	0,649	0	0	NO	-0,226	NO	
Obstanbau	-0,106	-0,448	-0,415	-1,076		-0,382	0,898	-0,412	0	0	NO	-0,207	NO	
Sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,332	-0,093	0,005	-0,679	0,433		1,285	-0,024	0	0	NO	-0,696	NO	
Grünland i.e.S.	-0,505	-1,163	-0,889	-1,335	-0,565	-1,034		-1,045	1,061	0	NO	-0,48	NO	
Gehölze	0,262	-0,097	-0,01	-0,549	0,362	-0,081	1,266		1,947	0	NO	-0,529	NO	
Terrestr. Feuchtgebiete	-1,766	-1,54	0	0	-1,881	-2,221	-0,746	-1,993		0	NO	-0,802	NO	
Gewässer	0,482	-0,062	0	-0,679	-0,026	-0,004	0,254	0	0,278		NO	0	NO	
Torf	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		NO	NO	
Siedlungen	1,812	1,234	1,257	0,755	1,743	1,296	2,559	1,277	3,45	0	NO		NO	
Sonstiges Land	0,936	0,279	0	-0,315	0	0	1,69	0,365	2,686	0	NO	-0,081		

negativ: Kohlenstoffverluste; positiv: Kohlenstoffsequestrierung; NO: nicht vorkommend

6.1.2.1.2 Datengrundlage und Verfahren

Grundlage zur Ermittlung der flächendeckend repräsentativen durchschnittlichen Kohlenstoffvorräte in Mineralböden, in Abhängigkeit von der Landnutzung, bilden folgende Datenquellen:

- Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK 1000; BGR 1995 & 1997, Düwel et al. (2007))
- Schätzprofile der BÜK 1000 n 2.3; FISBo BGR (BGR (2011))
- „Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands – Bericht über länderübergreifende Auswertung von Punktinformationen im FISBo BGR-“ (Düwel et al., 2007)
- Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II; Wellbrock et al. (2016))
- Ergebnisse der Bodenzustandserhebung auf landwirtschaftlichen Böden in Deutschland (BZE-LW; Jacobs et al. (2018))
- Datensätze des Basis-Digitalen Landschaftsmodells (B-DLM) des Amtlichen Topographisch- Kartographischen InformationsSystems (ATKIS®) der Jahre 2000, 2005, 2010, 2015 und 2019 (AdV 2000; 2005; 2010; 2015; 2019)
- IPCC-Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use (IPCC, 2006)

Der Ermittlung der Emissionsfaktoren für die einzelnen Landnutzungskategorien wurde ein Rückfallsystem zugrunde gelegt. Das bedeutet:

- Liegen spezifisch erhobene Bodendaten für eine Landnutzungskategorie vor (BZE II-Daten oder BZE-LW –Daten), so werden diese zur Bestimmung der Bodenkohlenstoffvorräte in der entsprechenden Kategorie herangezogen.
- Existieren solche Daten nicht, liegen der Bestimmung die Schätzwerte der BÜK 1000 zugrunde.

Aufgrund der unterschiedlichen Datenlage für die einzelnen Landnutzungskategorien wurden die flächengewichteten, nutzungs- und bodenspezifischen Mineralbodenkohlenstoffvorräte für unterschiedliche Landnutzungskategorien getrennt bestimmt. Die Werte für den Wald entstammen den Bodenzustandserhebungen im Wald (BZE I und BZE II; Wellbrock et al. (2016)), die für Ackerland_{annuell}, Hopfen, Obst, Wein, Sonstige Ackerlandkulturen_{perennierend} (Weihnachtsbaumkulturen, Baumschulen, Kurzumtriebsplantagen) sowie für die Kategorien Grünland, Gehölze und Terrestrische Feuchtgebiete der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018). Die Mineralbodenkohlenstoffvorräte für Siedlungsböden wurden aus den Ergebnissen dieser Bodenzustandserhebungen abgeleitet (Kapitel 6.1.2.1.6). Lediglich die Kohlenstoffvorräte in Mineralböden der Landnutzungskategorie Sonstiges Land mussten aus der Bodenübersichtskarte BÜK 1000 ((BGR, 1997)) abgeleitet werden.

In dieser Bodenkarte werden die Böden Deutschlands in 71 bodenkundlich charakterisierten Legendeneinheiten zusammengefasst. Diese sogenannten Leitbodenassoziationen (LBA) sind durch Leit- und Begleitbodentypen gekennzeichnet und werden durch einen flächenrepräsentativen Leitboden charakterisiert, dem ein ausgewähltes Bodenprofil zugewiesen ist. Diese Profilbeschreibungen enthalten neben deskriptiven Parametern auch Angaben zu Bodeneigenschaften, wie Humus- und Stickstoffgehalten sowie bodenphysikalischen Kennwerten. Der den vorliegenden Berechnungen zugrunde liegende Datensatz enthält u.a. abgeleitete Lagemaße für Kohlenstoff (C_t), anorganischen Kohlenstoff (C_i), Stickstoff (N_t),

Steingehalt und die Rohdichte_{trocken}, sowie die Spannweite dieser Werte durch Klassenangaben nach KA 4 (Arbeitsgruppe Boden, 1994).

Der mittlere Kohlenstoffvorrat einer LBA kann aus diesen Daten durch Multiplikation des Kohlenstoffgehaltes mit der Masse des Bodens, korrigiert um Skelett- und Carbonatgehalt, berechnet werden. Zur Bestimmung der mittleren Kohlenstoffvorräte in den Mineralböden der Kategorie Sonstiges Land wurde die BÜK 1000 mit dem Basis-DLM (Kapitel 6.3.2.1) verschnitten. Die nutzungsspezifischen Flächendaten und die Bodeneigenschaften der BÜK 1000 (Trockenrohddichte, Skelettgehalt) wurden mit den Gehalten an organischem Kohlenstoff der BGR-Studie „Gehalte organischer Substanz in Oberböden Deutschlands: Länderübergreifende Auswertung von Punktinformationen im FISBo BGR“ (Düwel et al., 2007) kombiniert.

Düwel et al. (2007) weisen typische Gehalte an organischer Substanz (C_{org}) bzw. Humus in Oberböden Deutschlands für 15 Bodenausgangsgesteinsgruppen und 4 Klimazonen aus. Grundlage hierfür bildete die flächendeckende Auswertung der Daten von ca. 14.000 Profilen, in Abhängigkeit von der Nutzung (Acker, Grünland und Wald) und nach Klimaregion.

Zudem werden die 71 Legendeneinheiten der BÜK nach ihren pedo-lithologischen Merkmalen diesen 15 Bodenausgangsgesteinsgruppen zugewiesen (Düwel et al., 2007), so dass diese die Verbindung zu den Angaben der Legendeneinheiten der BÜK 1000 bilden.

6.1.2.1.3 Wald

Allen Flächen, die durch die Bundeswaldinventur als Wald deklariert wurden (im Sinne der Definition nach Bundeswaldgesetz) bzw. unter die von Deutschland gewählte IPCC-Definition für Wald fallen, wurde der mittlere Kohlenstoffvorrat im Mineralboden bis 30 cm Bodentiefe zugeordnet, der mittels der Bodenzustandserhebungen (BZE) ermittelt wurde.

Nach Abschluss der Arbeiten konnten den LULUCF-Inventarberechnungen ab der Submission 2013 die Ergebnisse der Bodenzustandserhebungen (BZE) bezüglich des Bodenkohlenstoffvorrats sowie dessen Veränderungsrate zugrunde gelegt werden. Der im Rahmen dieser Erhebung ermittelte mittlere Kohlenstoffvorrat für Mineralböden, bis 30 cm Tiefe, beträgt $61,8 \pm 3,7 \text{ t ha}^{-1}$ für das Jahr 2006. Die mittlere jährliche Veränderungsrate, die für den Zeitraum zwischen den jeweiligen Erhebungen bestimmt wurde, beträgt $0,41 \pm 0,11 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (vergl. Kapitel 6.4.2.5). Um den Kohlenstoffvorrat der mineralischen Forstböden für die unterschiedlichen Berichtsjahre zu ermitteln, wurde die mittlere Veränderungsrate dem für das Jahr 2006 ermittelten durchschnittlichen Mineralbodenkohlenstoffvorrat aller Forstböden Deutschlands zu- bzw. abgeschlagen, so dass sich für den Berichtszeitraum seit 1990 folgende Zeitreihe ergibt (Tabelle 347):

Tabelle 347: Mittlerer Kohlenstoffvorrat [bis 30 cm Bodentiefe in $\text{tC ha}^{-1} \pm 1,96 \cdot \text{Standardfehler}$] in den mineralischen Waldböden

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
$C_{Vorrat_Waldboden}$ [tC ha ⁻¹]	$55,24 \pm 6,44$	$57,29 \pm 6,68$	$59,34 \pm 6,92$	$61,39 \pm 7,16$	$63,44 \pm 7,40$	$65,49 \pm 7,64$	$65,90 \pm 7,69$	$66,31 \pm 7,73$	$66,72 \pm 7,78$	$67,13 \pm 7,83$

Diese Werte bilden für das jeweilige Jahr die Grundlage für alle Berechnungen im Rahmen der Inventarerstellung.

6.1.2.1.4 Ackerland

Die Kohlenstoffvorräte von Mineralböden für Ackerflächen mit annuellen Kulturen, für Hopfen-, Wein- und Obstanbauflächen sowie für Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen, wurden aus den Ergebnissen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft abgeleitet (Jacobs et al., 2018). Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft ist

eine Stichprobeninventur mit systematischer Stichprobenverteilung. Flächendeckend wurden in einem Raster von 8 x 8 km systematisch alle landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands bis 1 m Bodentiefe beschrieben, beprobt und analysiert. Die Ergebnisse der BZE sind repräsentativ sowohl für die Verteilung bodenkundlicher Charakteristika und Kennwerte, als auch für die aktuelle landwirtschaftliche Landnutzung Deutschlands. Die Werte der mittleren Kohlenstoffvorräte für Mineralböden der einzelnen Ackerlandsunterkategorien sind in Tabelle 348 dargestellt.

Tabelle 348: Mittlerer flächenbezogener Mineralbodenkohlenstoffvorrat bis 30 cm Bodentiefe [t C ha⁻¹ 30cm⁻¹] und dessen Unsicherheiten (obere und untere Schranke in %) für Ackerflächen mit annuellen Kulturen

Mineralboden	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]	Unsicherheit [%]
Ackerland _{annuell}	61,18	1,74
Hopfenanbauflächen	62,89	11,09
Weinanbauflächen	49,30	16,07
Obstanbauflächen	71,69	12,54
Sonstiges Ackerland _{perennierend} ⁹²	62,89	11,09

Die im Rahmen der BZE-LW untersuchte Anzahl an Bodenprofilen auf Standorten mit Hopfenanbau war zu gering (n=4), um einen für Hopfenanbau spezifischen mittleren Mineralbodenkohlenstoffvorrat ableiten zu können, der sich statistisch signifikant von denen der anderen Ackerlandsunterkategorien unterscheidet. Daher wird für diese Flächen der Wert für „Sonstiges Ackerland_{perennierend}“ übernommen, welcher das Mittel aller Sonderkulturflächen Deutschlands darstellt. Nichtsdestotrotz werden die Hopfenanbauflächen extra dargestellt, da deren Flächen gesondert erfasst werden können, im Gegensatz zu Baumschulflächen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen. Diese werden im ATKIS® bisher nur summarisch ausgewiesen.

6.1.2.1.5 Grünland

Die Landnutzungskategorie Grünland setzt sich aus den Subkategorien „Grünland im engeren Sinne“ und „Gehölze“ zusammen (vergl. Kapitel 6.2.3). Die mittleren Kohlenstoffvorräte entstammen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018). Für Grünlandböden wurde das Mittel aller erfassten und ausgewiesenen Dauergrünlandstandorte zugrunde gelegt, für die Subkategorie Gehölze der Mittelwert aller perennierenden Ackerlandkulturen. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 349 dargestellt.

Tabelle 349: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha⁻¹ 30 cm⁻¹] und dessen Unsicherheiten (%) für Grünland- und Gehölzflächen bis 30 cm Bodentiefe

Mineralboden	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]	Unsicherheit [%]
Grünland i. e. S.	89,41	3,11
Gehölze	62,89	11,09

6.1.2.1.6 Siedlungen

Emissionen infolge aktiver Baumaßnahmen

Im Falle einer Landnutzungsänderung hin zu Siedlungen, wird der zu berichtende humose Oberboden (30 cm Bodentiefe) auf der betroffenen Fläche vollständig abgetragen. Nach der deutschen Gesetzgebung ist der Mutterboden jedoch besonders zu schützen (§ 202 BauGB (2015)) und muss im Falle von Baumaßnahmen unvermischt, geschützt und konservierend gelagert, im Falle einer Versiegelung lateral, unkontaminiert und unvermischt verbracht werden (BBodSchG, 1998; KrWG, 2012); sowie 16 Landesbauordnungen). So wird der Bodenanteil der

⁹² Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen

versiegelten Fläche i.d.R. auf den unversiegelten Flächen aufgetragen (nach Möglichkeit auf dem Baugrundstück oder Nachbarflächen), so dass in der Regel kein oder nur wenig Kohlenstoff verloren geht. Es findet lediglich eine laterale Translokation statt. Die Gesamtbilanz bezüglich des Kohlenstoffs bleibt nahezu gleich. Die IPCC Guidelines 2006 sehen diesen Fall ausdrücklich vor; es ist gute Praxis, die potentiellen Kohlenstoffverluste um den Anteil des lateral verbrachten Bodens zu reduzieren (IPCC (2006), Kapitel 8.3.3.1). Nichtsdestotrotz wird der Boden auf den betreffenden Flächen gestört (ausgebaggert, transportiert, wieder ausgebracht; u.U. mehrere Monate sachgerecht auf Halde gelagert), wodurch die Struktur gestört und der Boden verstärkt belüftet wird; zumindest kurzfristig. Dadurch wird i.d.R. eine verstärkte Umsetzung organischer Bodensubstanzen durch Mikroorganismen initialisiert. Die so freigesetzten Mengen an CO₂ müssen erfasst und in der Bilanz veranschlagt werden. Die Quantifizierung dieser Kohlenstoffverluste erfolgt auf Basis nachstehender Annahmen und Unterstellungen:

- Es liegen keine spezifisch erhobenen wissenschaftlichen Daten vor über infolge von Baumaßnahmen verursachte Kohlenstoffverluste der organischen Substanz von Oberböden; daher müssen diese geschätzt werden. Für die Schätzung dieses Anteils werden Response-Funktionen herangezogen, die die Kohlenstoffverluste der organischen Substanz von Mineralböden infolge der Umnutzung von Grünland bzw. Wald zu Ackerland beschreiben (Poeplau et al., 2011). Infolge derartiger Landnutzungsänderungen kommt es ebenfalls zu massiven, anhaltenden Störungen des Oberbodens und einer verstärkten Belüftung desselben.

Response-Funktionen (Poeplau et al., 2011) (s. Abbildung 49)

Grünland zu Ackerland: $\Delta C_{\text{soc_Ini_prev}} = 36,11 \cdot [1 - \exp(-t/2,74)]$

Wald zu Ackerland: $\Delta C_{\text{soc_Ini_prev}} = 32,19 \cdot [1 - \exp(-t/5,15)]$

$\Delta C_{\text{soc_Ini_prev}}$: Relative Kohlenstoffvorratsänderung [%]

t: Zeit nach Störung [a]

- Die Bauzeiten in Deutschland betragen i.d.R., je nach Vorhaben, 6 – 25 Monate (Schulz, 2012). Mittels statistischer Daten – Mittelwerte der Zeitreihen der Anzahl entsprechender vollzogener Baufertigstellungen seit 2010 (Statistisches Bundesamt, 2020a) – konnte für Deutschland ein gewichtetes Mittel für Bauzeiten errechnet werden. Dieser Wert beträgt 11,9 Monate. Konservativ werden 12 Monate angesetzt (t = 1 in den Response-Funktionen).

Setzt man die so berechnete mittlere Bauzeit in die Response-Funktionen ein, ergeben sich gegenüber dem Initialvorrat relative Kohlenstoffverluste von

- Grünland zu Ackerland: -11,0 %
- Wald zu Ackerland: -5,7 %

Abbildung 49: Relativer Kohlenstoffverlust ([%]; Unsicherheiten: 95 % - Konfidenzintervall [%]) humoser Oberbodenhorizonte infolge baubedingter Störungen, abgeleitet aus Response-Funktionen für Grünland bzw. Wald zu Ackerland (Poeplau et al., 2011) bei einer durchschnittlichen Bauzeit von 12 Monaten



Da Landnutzungsänderungen von Grünländern zu Siedlungen vier- bis fünfmal häufiger vorgenommen werden, als Nutzungsänderungen von Wald zu Siedlung, wird, in einem konservativen Ansatz, die Response - Funktion Grünland zu Ackerland herangezogen, um die Kohlenstoffverluste aus humosen Oberbodenhorizonten infolge baubedingter Störungen abzuschätzen. Für eine mittlere Bauzeit von 12 Monaten errechnen sich so Kohlenstoffverluste von $-11 \pm 1,4$ % C (Unsicherheit_{relativ}: 12,7 %) (s. Abbildung 49) vom aktuellen Mineralbodenkohlenstoffvorrat der betreffenden Fläche, zum Zeitpunkt der Landnutzungsänderung. Die so ermittelten Kohlenstoffverluste werden im Inventar einmalig, nur im Jahr der Landnutzungsänderung, verbucht.

Kohlenstoffvorräte in Siedlungsböden

Fakten und Annahmen

Innerstädtische, unversiegelte Böden zeigen mitunter vergleichbare Kohlenstoffvorräte, wie Wald- und Grünlandböden außerhalb des Siedlungsraumes (Klingenuß et al. (2020); Cambou et al. (2018); Edelmann (2013); Raciti et al. (2012); Pouyat et al. (2009)). Insbesondere in Hausgärten, Park- und Grünanlagen, Kleingartenkolonien und sonstigen mit Bäumen und Sträuchern bestandenen Flächen weisen Oberböden aber meist Kohlenstoffvorräte auf, die deutlich über denen von Vergleichsböden außerhalb des Siedlungsbereichs liegen, unabhängig von der Nutzung (Klingenuß et al. (2020); Cambou et al. (2018); Edmondson et al. (2012); Edelmann (2013); Pouyat et al. (2009)). Zurückzuführen ist dieser Umstand auf den Auftrag zusätzlichen humosen Bodens, die schleichende Degradation landwirtschaftlich genutzter Böden (Edmondson et al., 2014) sowie die intensive Bewirtschaftung der innerstädtischen Grünflächen (Input, Bewässerung) (Edmondson et al., 2014); Pouyat et al. (2009)). Vasenev et al. (2013) wiesen diesen Umstand in Stadtböden der Großregion Moskau für Kohlenstoffkonzentrationen in Oberböden, besonders aber auch in Unterbodenhorizonten nach. Sie bezeichnen diese Horizonte als „cultural layers“, da diese insbesondere durch das

menschliche Wirtschaften überprägt sind. Diese Kohlenstoffvorratsunterschiede zwischen innerstädtischen und angrenzenden außerstädtischen Böden wurden in allen o.a. Studien quantifiziert. Nichtsdestotrotz können aus diesen Daten keine allgemein gültigen, relativen Veränderungsdaten abgeleitet werden, die eine Abschätzung des Kohlenstoffvorrates von unversiegelten Siedlungsböden (nach Landnutzungsänderung), ausgehend von den Bodenkohlenstoffvorräten der Vornutzungen, ermöglichen, da

- die Spannweite der Vorratsunterschiede extrem groß ist, in Abhängigkeit von Standortseigenschaften, Landnutzung und Bewirtschaftung: Edmondson et al. (2014) ermittelten für Böden innerstädtischer Grünflächen der Stadt Leicester (England) 21 – 89 % höhere Kohlenstoffvorräte als im angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Grünland ($86 \text{ t ha}^{-1} 21 \text{ cm}^{-1}$; Ackerland: $73 \text{ t ha}^{-1} 21 \text{ cm}^{-1}$). Cambou et al. (2018) zeigen für Paris, dass die Kohlenstoffvorratsunterschiede innerstädtischer Böden, nutzungsabhängig (Parkanlagen > Gärten \geq Gehölzflächen) gegenüber Vergleichsböden der Region (Wald > Landwirtschaftsflächen) 30 – 110 % betragen.
- der Trend bezüglich der Nutzungsformen nicht einheitlich ist (Klingensfuß et al., 2020)

Aus diesen Gründen wird in einem konservativen Ansatz unterstellt, dass unversiegelte, innerstädtische Böden Kohlenstoffvorräte aufweisen, die denen der Böden entsprechen, aus denen sie sich nach einer Landnutzungsänderung entwickeln.

Des Weiteren wird angenommen, dass der Bereich, der von Gebäuden bestanden ist, beim Bau tiefgründig ausgekoffert wurde und somit keinen Kohlenstoff bzw. in absolut zu vernachlässigenden Mengen enthält. Der humose Oberboden dieser Flächen wird, gemäß der Gesetzeslage, lateral auf dem Baugrundstück und Nachbarflächen verbracht. Dies führt dazu, dass Verluste an Bodenkohlenstoff infolge baubedingter Störungen des Oberbodens auf den unversiegelten Flächen vollständig ausgeglichen werden. Sie entsprechen letztlich dem SOC-Vorrat des Mineralbodens unter der Vornutzung, der zum Zeitpunkt der Landnutzungsänderung für den betroffenen Punkt aktuell dokumentiert ist ($\text{SOC}_{\text{ini_prev}}$).

Cambou et al. (2018), Edmondson et al. (2012), Wei et al. (2014), Edelmann (2013) und Raciti et al. (2012) zeigen, dass erhebliche Mengen an Bodenkohlenstoff unter versiegelten, nicht mit Gebäuden bestanden Flächen zu finden sind. Nichtsdestotrotz weisen die Autoren für derartig versiegelte Flächen, im Vergleich zu unversiegelten Nachbarflächen, geringere Bodenkohlenstoffvorräte nach; je nach Studie sind diese zwischen 54 % - 74 % (Unsicherheiten 15 – 83 %) geringer, bei einem Mittelwert von -65 % (Unsicherheit 93 %), einem Median von -66 %. Aufgrund dieser Studien wird für das deutsche Inventar konservativ angenommen, dass unter versiegelten, nicht mit Gebäuden bestanden Flächen, i.d.R. Verkehrsflächen, der Kohlenstoffvorrat 1/3 des Ausgangsvorrates ($\text{SOC}_{\text{ini_prev}}$) beträgt.

Abschätzung der Emissionen aus Mineralböden bei Landnutzungsänderungen zu Siedlung

Das Vorgehen erfolgt gemäß den Annahmen und Ausführungen in den o.a. Abschnitten des Kapitels:

- Vom $\text{SOC}_{\text{ini_prev}}$ werden pauschal 11 % des Kohlenstoffvorrates abgezogen und einmalig im Jahr der Landnutzungsänderung als Emission ausgewiesen:
- $\text{Emission}_{\text{LUC_Siedlung}} = \text{SOC}_{\text{ini_prev}} \cdot -0,11$
- $\text{SOC}_{\text{ini_prev}}$ ist ebenfalls der Ausgangswert zur Abschätzung des mineralischen Bodenkohlenstoffvorrates für die von der Landnutzungsänderung betroffenen Fläche. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung 18, die den oben aufgeführten Unterstellungen Rechnung trägt.

Gleichung 18:

$$SOC_{\min_set} = SOC_{\text{Ini_prev}} * (AF_{\text{unversiegelt}} * CF_{\text{unversiegelt}} + AF_{\text{Verkehr}} * CF_{\text{Verkehr}} + AF_{\text{Gebäude}} * CF_{\text{Gebäude}})$$

SOC_{\min_set} : Organischer Mineralbodenkohlenstoffvorrat einer Siedlungsfläche nach Landnutzungsänderung [t C ha⁻¹ 30 cm⁻¹]

$SOC_{\text{Ini_prev}}$: Organischer Kohlenstoffvorrat des Mineralbodens der Vornutzung zum Zeitpunkt der Landnutzungsänderung [t C ha⁻¹ 30 cm⁻¹]

$AF_{\text{unversiegelt}}$: Flächenfaktor = 0,5; 50 % unversiegelte Fläche

$CF_{\text{unversiegelt}}$: Kohlenstofffaktor unversiegelte Fläche = 1; 100 % $SOC_{\text{Ini_prev}}$

AF_{Verkehr} : Flächenfaktor = 0,175; 17,5 % Verkehrsflächenversiegelt

CF_{Verkehr} : Kohlenstofffaktor Verkehrsflächeversiegelt = 0,333; 33,3 % $SOC_{\text{Ini_prev}}$

$AF_{\text{Gebäude}}$: Flächenfaktor = 0,325; 32,5 % Gebäudeflächeversiegelt

$CF_{\text{Gebäude}}$: Kohlenstofffaktor Gebäudeflächeversiegelt = 0; 0 % $SOC_{\text{Ini_prev}}$

Der so ermittelte Vorrat wird allen weiteren Berechnungen mit Stadtböden an diesem Punkte zugrunde gelegt. Er wird im Jahr der Landnutzungsänderung, ohne Übergangszeit, direkt dem Punkt zugewiesen. Abgesehen von den durch die Baustörung hervorgerufenen Emissionen fallen keine weiteren Verluste aus Mineralböden an, da der ausgekofferte Boden lateral ausgebracht wird.

Für alle Siedlungsflächen, deren Vornutzung nicht bekannt ist (das sind alle Flächen, die vor und seit dem Jahr 1990 in der Verbleibkategorie geführt werden), wird für die Mineralböden ein mittlerer flächen- und vornutzungsgewichteter Kohlenstoffvorrat zugrunde gelegt. Dafür wurde für jede Übergangskategorie der Mittelwert des Anteils an der gesamten Landnutzungsänderung zu Siedlung für den Zeitraum von 1990 – 2018 ermittelt. Dieser Anteil wurde mit dem für die entsprechende Landnutzungskategorie typischen Bodenkohlenstoffvorrat multipliziert. Die Summe dieser Werte ergibt dann den $SOC_{\text{Ini_prev}}$ für Mineralböden auf Siedlungsflächen; er beträgt 69,6 t C ha⁻¹ 30 cm⁻¹ (± 3,9 %) (Tabelle 350). Zur Abschätzung des tatsächlichen flächenbezogenen Vorrates kommt Gleichung 18 zur Anwendung. Die Unsicherheit der Abschätzung der Flächenzuteilung wird mit 10 % angenommen. So ergibt sich für die Siedlungsflächen, deren Vornutzung nicht bekannt ist, ein Kohlenstoffvorrat von 36,8 t C ha⁻¹ 30 cm⁻¹ (± 6,0 %) (Tab.). Der so ermittelte Vorrat wird allen weiteren Berechnungen mit Stadtböden an diesen Punkten zugrunde gelegt.

Tabelle 350: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoff- [t C ha⁻¹ 30 cm⁻¹] und Stickstoffvorrat [t N ha⁻¹ 30 cm⁻¹] von Mineralböden auf Siedlungsflächen ohne ($SOC_{\text{Ini_prev_1990}}$ bzw. $N_{\text{Ini_prev_1990}}$) und mit Versiegelungskorrektur ($SOC_{\min_set_1990}$ bzw. $N_{\min_set_1990}$) und deren Unsicherheiten [%]

Mineralboden	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹ 30 cm ⁻¹]	Unsicherheit [%]
$SOC_{\text{Ini_prev_1990}}$	69,6	3,9
$SOC_{\min_set_1990}$	36,8	6,0
Mineralboden	Stickstoffvorrat [t N ha ⁻¹ 30 cm ⁻¹]	Unsicherheit [%]
$N_{\text{Ini_prev_1990}}$	6,2	3,7
$N_{\min_set_1990}$	3,3	6,0

Abschätzung der Emissionen aus Mineralböden bei Landnutzungsänderungen von Siedlung

Das Vorgehen im Falle von Landnutzungsänderungen von Siedlungsflächen zu anderen Landnutzungskategorien folgt der allgemeinen Methodik (Kapitel 6.1.2.1). Ausgangspunkt der Berechnung ist der jeweils für den betroffenen Punkt aktuell dokumentierte SOC-Vorrat. Es gilt die effektive, maximal 20-jährige Übergangszeit.

6.1.2.1.7 Terrestrische Feuchtgebiete und Sonstiges Land

Die Ableitung der mittleren Kohlenstoffgehalte für Mineralböden in Terrestrischen Feuchtgebieten (für Gewässerflächen werden keine Bodenkohlenstoffvorräte ausgewiesen; Torfabbaufächen finden sich ausschließlich auf organischen Böden) erfolgte auf Grundlage des Basis-Digitalen Landschaftsmodells (B-DLM; ATKIS®), der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK 1000; BGR (1995);BGR (1997)) sowie der Ergebnisse der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW; Jacobs et al. (2018)). Hierfür wurden die im B-DLM ausgewiesenen nassen Flächen (Grundwasserflurabstand < 10 cm), die keine organischen Böden enthalten, mit den Leitbodenassoziationen der BÜK 1000 (vergl. Kapitel 6.1.2.1.2) verschnitten. Den so für die einzelnen Leitbodenassoziationen ermittelten Flächenanteilen an nassen Böden wurden dann die für diese Flächen in der BZE-LW erhobenen Bodenkohlenstoffvorräte für Grünland zugeordnet. So konnte für jede betroffene Leitbodenassoziation ein spezifischer Kohlenstoffvorrat für nasse Mineralböden abgeleitet werden. Aus diesen wurde ein flächengewichteter mittlerer Bodenkohlenstoffvorrat für Mineralböden in Terrestrischen Feuchtgebieten Deutschlands berechnet (Tabelle 351).

Tabelle 351: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha⁻¹] und dessen Unsicherheiten (%) in Mineralböden von Terrestrischen Feuchtgebieten bis 30 cm Bodentiefe

Mineralboden	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]	Unsicherheit [%]
Terrestrische Feuchtgebiete	109,31	13,25

Zur Ermittlung der mittleren Kohlenstoffvorräte von Mineralböden auf Sonstigem Land, konnte nicht auf Bodeninventuren zurückgegriffen werden. Diese Werte wurden aus der einzigen flächendeckend verfügbaren Bodenkarte für Deutschland BÜK 1000 (BGR 1997), der Karte der Bodenausgangsgesteine Deutschlands (BAG 5000 BGR (2008)), der BGR-Studie „Gehalte organischer Substanz in Oberböden Deutschlands: Länderübergreifende Auswertung von Punktinformationen im FISBo BGR“ (Düwel et al., 2007) und den in diesen hinterlegten bodenkundlichen Kennwerten abgeleitet (Kapitel 6.1.2.1.2).

Die der BÜK 1000 zugrunde liegende Datenbank weist keine Leitprofile für Böden auf sonstigem Land aus, lediglich für Wald-, Acker- und Grünlandstandorte; aber auch für diese Nutzungen liegen nicht für alle Leitbodenassoziationen Leitprofile vor. Daher wurden als stellvertretende Leitprofile, für Böden unter sonstigem Land, die Profile der Grünlandstandorte herangezogen (aufgrund der relativen Ähnlichkeit zu Gärten und Parkanlagen). Für die Leitbodenassoziationen, für die keine Grünlandleitprofile mit bodenkundlichen Kennwerten vorlagen, wurde auf die Horizontierung der Waldbodenprofile zurückgegriffen, da Böden unter sonstigem Land häufig im Initialstadium sind und im Oberboden nicht so tief entwickelte A-Horizonte aufweisen, wie landwirtschaftlich bewirtschaftetes Grün- oder Ackerland. Diese Vorgehensweise führte bei 42 der 71 Leitbodenprofile zu veränderten, i.d.R. geringeren, Kohlenstoffvorräten, verglichen mit dem Grünland. Zusätzlich hat die räumliche Verteilung von sonstigem Land in der Bodenlandschaft einen deutlichen Einfluss auf die mittleren Kohlenstoffvorräte der Mineralböden, so dass sich die so ermittelten Werte für Sonstiges Land deutlich von denen für Grünland und Wald unterscheiden. Die mittleren Kohlenstoffgehalte sind in Tabelle 352 aufgeführt.

Tabelle 352: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha⁻¹] und dessen Unsicherheiten (obere und untere Schranke [%]) in Mineralböden von Sonstigem Land bis 30 cm Bodentiefe

Mineralboden	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]	Schranken		Verteilungsfunktion
		untere [%]	obere [%]	
Sonstige Flächen	55,60	44,56	92,86	lognormal

Der aus diesen mittleren, nach Klimaregion, Landnutzung und Flächen gewichteten Kohlenstoffvorräten abgeleitete Emissionsfaktor ist in Tabelle 345 und Tabelle 346 in Kapitel 6.1.2.1 dargestellt, die Emissionsfaktoren mit statistischen Kennwerten zur Beschreibung der Unsicherheiten in Tabelle 442 bzw. Tabelle 451 in den Kapiteln 6.7.3 bzw. 6.8.3.

6.1.2.1.8 Unsicherheiten

Die Unsicherheiten für die Kohlenstoffvorräte der Mineralböden in Wäldern sowie deren Veränderungen in der Zeit, wurden mittels statistischer Methoden aus den Messwerten der Bodenzustandserhebung Wald berechnet (Wellbrock et al. (2016); siehe Kapitel 6.4.3.3); die für die Landnutzungskategorien Ackerland_{annuell}, Hopfen, Wein, Obst, Sonstiges perennierendes Ackerland (Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen), Grünland, Gehölze und Terrestrische Feuchtgebiete aus den Messwerten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft.

Falls nicht explizit ausgewiesen, wird immer die Hälfte des 95-% Konfidenzintervalls als Unsicherheit angegeben.

Die Unsicherheit für die Mineralböden der Landnutzungskategorie Sonstiges Land wurden aus der BGR-Studie (Düwel et al., 2007) der BÜK 1000 (BGR 1997) und der KA 4 (Arbeitsgruppe Boden, 1994) abgeleitet.

Die Kohlenstoffgehalte der BGR-Studie (Düwel et al., 2007) sind mit einer deskriptiven Statistik hinterlegt. Aus dieser wurden die Werte für das 25%- bzw. 75%-Perzentil als untere und obere Schwellenwerte für den Kohlenstoffgehalt abgeleitet. Die Werte für die Trockenraumdichte, den Skelettgehalt sowie die Kohlenstoffgehalte der Horizonte, für die keine Werte aus der Oberbodenstudie der BGR (Düwel et al., 2007) vorlagen, wurden nach entsprechenden Klassenangaben aus den Leitprofilbeschreibungen der BÜK 1000 (BGR 1997) mittels der KA 4 abgeleitet. Da mit Einzelprofilen (Leitprofile der BÜK 1000 (BGR 1995) keine Aussagen zur Heterogenität der Bodenparameter innerhalb der Legendeneinheiten getroffen werden können (Düwel et al., 2007), wurde zur Abschätzung der potentiellen Spannweite der Kohlenstoff- bzw. Stickstoffvorräte der Leitbodenassoziationen (LBA) der BÜK 1000 (BGR 1995), somit zur Bestimmung der Unsicherheit der LBA, eine jeweilige Extremkonstellation der Klassenwerte konstruiert:

- LBA-Kohlenstoffvorrat_{maximum}: C_{org}-Gehalt_{maximum}, Rohdichte_{maximum}, Skelettgehalt_{minimum}
- LBA-Kohlenstoffvorrat_{minimum}: C_{org}-Gehalt_{minimum}, Rohdichte_{minimum}, Skelettgehalt_{maximum}

Die so ermittelten mini- und maximalen Kohlenstoffvorräte bildeten die obere und untere Schranke und geben im Zusammenhang mit dem Lagemaß die für derartige Daten typische linkssteile Verteilung wieder.

6.1.2.1.9 Geplante Verbesserungen

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

6.1.2.2 Emissionen aus organischen Böden (3.D; 4.A bis 4.F; CRF-Tabelle 4(II))

Über die CO₂-, N₂O- und CH₄-Emissionen aus organischen Böden wird in den Landnutzungskategorien Wald, Ackerland, Grünland i.e.S., Gehölze, terrestrische Feuchtgebiete, industrieller Torfabbau und Siedlungen berichtet (N₂O aus gedrähten organischen Böden unter

Acker und Grünland in CRF-Sektor 3.D.a.6). Außerdem werden die Methanemissionen aus Entwässerungsgräben erfasst sowie die Kohlenstoffverluste mit der gelösten organischen Substanz (DOC). In Deutschland wird der Großteil der organischen Böden entwässert.

Die Emissionsberechnung erfolgt durch Multiplikation der Moorflächen pro Subkategorie mit einem nutzungsspezifischen Emissionsfaktor. Bei Landnutzungsänderungen wird sofort der Emissionsfaktor der Zielkategorie verwendet:

$$E_{orgsoil} = \sum_{i=1}^n (A_i * EF_i)$$

$E_{orgsoil}$:	CO ₂ -, N ₂ O- und CH ₄ -Emissionen aus organischen Böden einer Landnutzungskategorie [kt C]
A_i :	Moorfläche unter bestimmter Landnutzung [kha]
EF_i :	Landnutzungsspezifischer Emissionsfaktor [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
i :	Übergangs- bzw. Verbleibkategorien
n :	Anzahl der Übergangs- bzw. Verbleibkategorien

Dem vorliegenden Inventar liegen sehr detaillierte Karten zur Lage und Drainage der organischen Böden zugrunde (Kapitel 6.1.2.2.1). Ebenso konnten sehr umfangreiche Messdaten von Treibhausgasemissionen aus organischen Böden in Deutschland verwendet werden, die im Verbundprojekt „Organische Böden“ des Thünen-Instituts⁹³ und Vorgängerprojekten mit standardisierten Messprotokollen erhoben bzw. in geringerem Umfang der nationalen Literatur entnommen wurden.

Gegenüber der Vorjahressubmission wurde die Berechnung der Emissionen aus organischen Böden erneut modifiziert und verbessert. Die Berechnungen erfolgen nun alle in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand für jeden einzelnen der 1.822.109 Detektionspunkte auf organischen Böden. Der Grundwasserflurabstand entstammt einer digitalen, dynamischen Grundwasserkarte, die jährlich aktualisiert wird (s. Kapitel 6.1.2.2.2). Für die CO₂- und CH₄-Emissionen erfolgt die Berechnung der Emissionen anhand von Responsefunktionen in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand individuell für jeden einzelnen Erhebungspunkt (s. Kapitel 6.1.2.2.2). Die Responsefunktionen kommen für alle Landnutzungskategorien außer Wald und Gehölze zur Anwendung. Die Datenbasis und Ableitung der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren entspricht einem IPCC Tier-3-Ansatz. Um Transparenz und Konsistenz mit anderen Aktivitätsdaten, der Abschätzung der N₂O-Emissionen und anderer Pools (DOC, Grabenentwässerung) zu wahren, wurde daraus eine nationale Tier-2-Methodik für das Inventar entwickelt (Tiemeyer et al., 2020).

Mit der Implementierung dieser Systeme wurde die Empfehlung der EU-Kommission umgesetzt, für die Emissionen aus organischen Böden in Deutschland Systeme zu entwickeln, mit denen künftig Veränderungen der Kohlenstoffvorräte von Böden infolge von Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verringerung der Emissionen bzw. Kohlenstoffsequestrierung in den Verbleibkategorien 4.B und 4.C bzw. Acker- (CM) und Weidelandbewirtschaftung (GM) erfasst und berichtet werden können ("Member State recommendations on reporting systems for cropland & grazing land management emissions & removals" (Ecofys & Environment Agency Austria, 2017), gemäß der EU-Verordnung (EU) 2018/841. Zudem ermöglicht das System die in der EU-Verordnung ab 2026 verbindliche Berichterstattung über Emissionen aus "bewirtschafteten Feuchtgebieten".

⁹³ www.organische-boeden.de

6.1.2.2.1 Aktivitätsdaten

Im Auftrag des Thünen-Instituts wurde bis 2013 eine „Karte organischer Böden“ (Parametrisierter Flächendatensatz zu den organischen Böden in Deutschland) neu erstellt, die die IPCC-Definition organischer Böden vollständig abbildet (Roßkopf et al., 2015):

- Räumliche Auflösung / Maßstab: Verfahrensbedingt heterogen, ~1:10.000 – 1:200.000; Rasterweite 25 m.
- Zeitliche Auflösung: regional in Abhängigkeit von der jeweiligen Datengrundlage unterschiedlich (Anfang des 20. Jahrhunderts bis heute).
- Datensätze: in enger Zusammenarbeit mit den Behörden der Bundesländer wurden die vorhandenen Bodendaten, Moorkataster und Datensätze aus geologischen, forstlichen oder landwirtschaftlichen Kartierungen so umfassend und hochauflösend wie möglich einbezogen und harmonisiert.
- Datenselektion (Minimalkriterium): In Anlehnung an die Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5, Arbeitsgruppe Boden (2005)) und die Vorgaben für organische Böden gemäß IPCC (2006) wurden diejenigen Blattlegeneinheiten digital (vektoriell) vorliegender Ausgangsdaten herangezogen, die überwiegend Böden mit einem Mindestgehalt von 9 % organischem Kohlenstoff (15 % organische Bodensubstanz) in der Mischprobe der oberen 20 cm beschreiben.

Die neue Flächenkulisse organischer Böden umfasst 1,824 Mio ha. Die neue Karte organischer Böden löst die bisher verwendete grobe Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 (BGR 1995) ab, in der keine flachgründigen oder mit Mineralboden vermischten Torfe enthalten waren (alte Flächenkulisse: 1,725 Mio ha). Durch die sehr viel genauere Lagezuordnung in der neuen Karte organischer Böden haben sich die Flächenanteile der Landnutzungskategorien gegenüber den Submissionen vor 2015 verschoben. Grünland im engen Sinne dominiert die Nutzung bei weitem. Durch die starke Verdichtung des Punkterasters, beginnend mit der Submission 2020 (siehe Kapitel 6.3), können nun kleinräumige Strukturen erfasst und eine sehr genaue Zeitreihe der Landnutzungen und Landnutzungsänderungen auf organischen Böden berichtet werden.

Tabelle 353 zeigt die Flächen organischer Böden nach Landnutzungskategorien und den Anteil der drainierten Flächen für das Jahr 2019. Der drainierte Anteil organischer Böden nach Landnutzungskategorien wurde abgeleitet aus der regionalen Verteilung der Wasserstände in organischen Böden Deutschlands (Bechtold et al., 2014), die u.a. auf der Karte organischer Böden und langjährigen Messreihen von Wasserpegeln in organischen Böden beruht. Der drainierte Anteil organischer Böden entspricht den Flächen, die einen Jahresmittelwasserstand tiefer als 0,1 m unter Flur haben.

Die im Landwirtschaftssektor (CRF-Tabelle 3.D.a.6) berichtete Fläche für organische Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung unterscheidet sich nicht von der im LULUCF-Sektor. Die Anbauflächen für Ackerböden sind in den beiden berichtspflichtigen Sektoren identisch. Im LULUCF-Sektor werden die Gebiete der Unterkategorien „Grünland i.e.S.“ und „Gehölze“ unter Grünland subsumiert. Gehölzflächen sind kein Agrarland im engeren Sinn, daher werden sie unter 3.D.a.6 nicht aufgeführt; im LULUCF-Sektor müssen sie für die konsistente Darstellung der gesamten deutschen Fläche jedoch einbezogen werden.

Zur Erfassung der CH₄-Emissionen aus Entwässerungsgräben musste deren Fläche und die angrenzende Landnutzung ermittelt werden. Zu diesem Zwecke wurde um die linearen Elemente des ATKIS-Basis-DLM, die Entwässerungsgräben darstellen, Pufferzonen gebildet, in Abhängigkeit von den Legendenangaben. Unter Bezugnahme auf die Karte organischer Böden (Roßkopf et al., 2015) und das ATKIS-Basis-DLM konnte so die gesamte Fläche der Gräben zur

Entwässerung von organischen Böden für alle Landnutzungskategorien ermittelt werden (Tabelle 353).

Tabelle 353: Flächen organischer Böden nach Landnutzungskategorien, Anteil der drainierten Flächen sowie Flächen der Entwässerungsgräben nach Landnutzungskategorien für das Jahr 2019

	Fläche organischer Böden [ha]	Drainierter Anteil [%]	Fläche Entwässerungsgräben [ha]
Wald	277.066	99,5	3.164
Ackerland	334.657	100,0	3.152
Grünland i.e.S.	950.426	99,0	14.887
Gehölze	22.076	98,7	437
Terrestrische Feuchtgebiete	107.312	88,9	713
Gewässer	22.444	0	76
Torfabbau	17.848	100,0	66
Siedlungen	90.249	99,8	1.257
Sonstiges Land	31	0	0
Σ	1.822.109		23.755

6.1.2.2.2 Emissionsberechnung

Die Emissionsfaktoren wurden entsprechend den Richtlinien im 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC et al., 2014b) entwickelt. CO₂ aus dem Boden (CO₂-C on-site) und CH₄ aus dem Boden (CH₄Land) wurden für alle Landnutzungskategorien außer Wald mittels empirischer Modelle berechnet (Tier 3). Für Waldböden wurden die entsprechenden Emissionsfaktoren dem 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC et al., 2014b) entnommen. Für N₂O wurden Emissionsfaktoren aus nationalen jährlichen Messwerten entwickelt (Tier 2). Für CO₂ aus gelöstem organischen Kohlenstoff (CO₂-C_{DOC}) und CH₄ aus Gräben (CH₄Ditch) wurden die Standardwerte aus dem 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC et al., 2014b) übernommen.

CO₂ aus dem Boden (CO₂-C_{on-site}):

Die Datengrundlage sind repräsentativ erhobene, qualitätsgeprüfte, nationale jährliche Messwerte (261 Messjahre, 118 Standorte, 17 verschiedene Moorgebiete). Aus diesen Daten haben Tiemeyer et al. (2020) eine empirische (nichtlineare) Response-Funktion der Emission in Abhängigkeit vom Grundwasserstand abgeleitet. Diese wurde verwendet, um für die Jahre 2000, 2005, 2010, 2015 und 2019 an jedem Punkt auf organischen Böden die Emission zu berechnen. Zwischen diesen Jahren wurde linear interpoliert; vor 2000 wurden die Emissionen des Jahres 2000 übernommen, da die Eingangsdaten für diese Jahre nicht vorhanden sind. Die benötigten Wasserstände wurden mittels des Machine-Learning-Modells aus (Bechtold et al., 2014) separat für die entsprechenden Jahre berechnet. Da das Modell transformierte Wasserstände vorhersagt, wurde das Gesetz des bewussten Statistikers (law of the unconscious statistician) benutzt, um punktweise Erwartungswerte der Wasserstände und Emissionen zu berechnen. Die Modellunsicherheiten wurden mittels Bootstrapping ermittelt.

Der Response-Funktion aus Tiemeyer et al. (2020) liegen nur wenige, unsichere Messwerte aus Waldflächen zugrunde. Deshalb wurde für Punkte unter Waldnutzung der Standardemissionsfaktor aus dem 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC et al., 2014b) verwendet. Dieser kam auch für die Subkategorie Gehölze zur Anwendung.

CH₄ aus dem Boden (CH₄Land):

Die Datengrundlage sind repräsentativ erhobene, qualitätsgeprüfte, nationale jährliche Messwerte (296 Messjahre, 137 Standorte, 17 verschiedene Moorgebiete). Die Emissionsberechnung erfolgte analog zum Vorgehen bei CO₂ auf Basis von Tiemeyer et al. (2020) und Bechtold et al. (2014). Da die Responsefunktion für Wald auf sehr wenigen Datenpunkten basiert und stark von nur zwei Messwerten bestimmt wird, wurde für Punkte unter

Waldnutzung und die Kategorie Gehölze der Standardemissionsfaktor aus dem 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC et al., 2014b) verwendet.

N₂O:

Die Datengrundlage sind repräsentativ erhobene, qualitätsgeprüfte, nationale Messwerte, die mindestens ein Jahr umfassen (320 Standorte, 21 verschiedene Moorgebiete). Da keine funktionalen Zusammenhänge identifiziert werden konnten, wurden die Mittelwerte der Messwerte je Landnutzungskategorie als Emissionsfaktor herangezogen (Tiemeyer et al., 2020).

6.1.2.2.3 Implizite Emissionsfaktoren (IEF)

Im Rahmen der Inventarerstellung werden zur Berechnung der Emissionen aus organischen Böden, für jedes Treibhausgas und jede Landnutzungskategorie spezifische, implizite Emissionsfaktoren verwendet. Die im 2013 IPCC Wetlands Supplement (IPCC et al., 2014b) aufgeführten Emissionsfaktoren gelten für spezifische Zustände organischer Böden. Bei der Ermittlung der Emissionen aus einer Landnutzungskategorie, müssen die nicht drainierten, nassen Flächen jedoch ebenfalls berücksichtigt werden, als auch der Kohlenstoffaustrag mit dem Bodenwasser in Form von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC) sowie die Methanemissionen aus Entwässerungsgräben organischer Böden. Dadurch ergeben sich die in Tabelle 354 dargestellten impliziten Emissionsfaktoren (IEF) für CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus organischen Böden Deutschlands für das Jahr 2019.

Tabelle 354: Implizite Emissionsfaktoren (IEF) und deren Unsicherheiten (95%-Perzentile) für CO₂-onsite + DOC, CH₄_{land} + CH₄_{ditch} und N₂O-onsite aus organischen Böden Deutschlands (4.A - 4.E; 4(II)) für das Jahr 2019

Landnutzung	EF	CO ₂ -onsite + DOC 95%- Perzentile t CO ₂ -C ha ⁻¹ a ⁻¹	IEF	CH ₄ _{land} + CH ₄ _{ditch} 95%- Perzentile kg CH ₄ ha ⁻¹ a ⁻¹	IEF	N ₂ O-onsite 95%-Perzentile kg N ₂ O-N ha ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄
Wald	2,57	(2,0 - 3,2)	4,91	(1,3 - 10,3)	2,75	(-0,6 - 6,0)
Acker _{annuell}	9,20	(5,2 - 11,0)	16,13	(6,9 - 30,9)	11,00	(1,8 - 40,1)
Hopfen	8,76	(5,0 - 10,5)	25,09	(10,8 - 48,0)	10,93	(1,8 - 39,9)
Weinanbau	8,47	(4,8 - 10,1)	8,53	(3,7 - 16,3)	11,1	(1,8 - 40,5)
Obstanbau	8,23	(4,7 - 9,8)	18,53	(8,0 - 35,4)	11,01	(1,8 - 40,2)
Sonstiges Ackerland _{perennierend}	9,15	(5,2 - 10,9)	18,15	(7,8 - 34,7)	10,99	(1,8 - 40,1)
Grasland i.e.S	7,50	(0,8 - 10,6)	46,85	(18,8 - 254)	4,49	(0,3 - 21,6)
Gehölze	2,55	(2,0 - 3,2)	6,56	(2,1 - 13,5)	2,73	(-0,6 - 6,0)
Terrestrische Feuchtgebiete	5,06	(0,3 - 10,3)	163,71	(3,5 - 371,8)	0,69	(-0,1 - 2,8)
Torfabbau	1,30	(1,2 - 1,4)	6,19	(1,3 - 13,2)	0,90	(0,3 - 1,5)
Siedlung	7,19	(3,4 - 9,1)	30,83	(12,8 - 59,2)	2,26	(0,1 - 10,9)

6.1.2.3 Kohlenstoffemissionen aus der Biomasse (4.B bis 4.F)

6.1.2.3.1 Allgemeines

Im Rahmen der deutschen Inventarerstellung werden Emissionen aus dem Pool ober- und unterirdische pflanzliche Biomasse ausgewiesen für

- die Verbleibkategorie Ackerland (Nutzungsänderung zwischen annuellen, krautigen und perennierenden Gehölzkulturen sowie zwischen verschiedenen perennierenden Gehölzkulturklassen),
- die Übergangskategorien Wald, Ackerland, Grünland, Gehölze, Feuchtgebiete, Gewässer, Siedlungen und Sonstiges Land.

Für die Verbleibkategorien Acker, Grünland, Gehölze, Feuchtgebiete und Siedlungen werden bei gleichbleibender Kulturart (annuell oder perennierend) keine Kohlenstoffvorratsänderungen ausgewiesen, da

- gemäß der IPCC-Richtlinien (2006 IPCC Guidelines, IPCC (2006)), in diesen Subkategorien ein Gleichgewichtszustand für die Kohlenstoffflüsse des annualen Biomasse -Pools unterstellt wird. Nach der Gain-Loss Methode ist somit $\Delta C = 0$ (Equation 2.7 in den 2006 IPCC Guidelines, IPCC (2006)).
- Für die holzigen perennierenden Pflanzen auf diesen Flächen begründet sich dies in für Deutschland ermittelten repräsentativen „Gleichgewichtskohlenstoffvorräten“. Diese konnten für Hecken und Feldgehölze sowie alle ackerbaulich genutzten Gehölzpflanzen, namentlich Obst- und Weinanbauflächen, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen und Hopfenkulturen ermittelt werden, indem über alle unterschiedlichen Altersklassen, Ausprägungen und Zusammensetzungen der jeweiligen Gehölzformen und -arten summiert wurde (Kapitel 6.1.2.3.4 und Kapitel 0). So liegt z.B. der Berechnung des durchschnittlichen Kohlenstoffvorrates für Obstgehölze eine vollständige Baumzählung zugrunde, die die Gehölze unterschieden nach Art- und Altersklasse (< 1 - > 25 Jahre) erfasst (Kapitel 6.1.2.3.4.1). Auf die Fläche bezogen, in Abhängigkeit von der Umtriebszeit, ergibt sich so der mittlere Emissionsfaktor für die jeweilige Gehölzart. Der jährliche Zuwachs wird bei Gehölzpflanzen in Nutzung i.d.R. vollständig weggeschnitten. Die Umtriebszeiten für die Gehölzpflanzen sind relativ kurz (ca. 10-15 Jahre bei Obstgehölzen), so dass es zwar häufig zu einer Erneuerung der Bestände kommt, jedoch aus der bei der Herleitung der Emissionsfaktoren berücksichtigten Quellgruppe. Es besteht ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Pflanzung, Wachstum, Schnitt, Ernte und Erneuerung. Dies gilt auch für die Gehölzbiomasse von Weingärten, Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen, Hecken und Feldgehölzen. Daher werden die Kohlenstoffvorräte durch Anpflanzung von Gehölzbiomasse auch bei Landnutzungsänderungen vollständig im Jahr der Flächenumwandlung angerechnet.

Unterschieden nach Kulturart können annuelle Ackerlandkulturen mit dem bestehenden System zur Landnutzungsausweisung derzeit nicht räumlich explizit und umfänglich nachgewiesen werden. Dies hat zur Folge, dass ein nach Kultur und Anbaufläche gewichteter mittlerer Kohlenstoffvorrat als Mischwert für die Biomasse aller annualer Ackerlandkulturen aus Daten der Officialstatistik (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.2.1) abgeleitet werden muss (s. Kapitel 6.1.2.3.3). Dies ist die einzige konsistente (inhaltlich und zeitlich) Datenquelle, die nahezu flächendeckend (mit den Einschränkungen der Officialstatistik; z.B. Ausschlussgrenzen) eine ertrags- und flächengewichtete Ableitung repräsentativer Kohlenstoffvorräte für krautige Pflanzen aus landwirtschaftlicher Produktion in Deutschland ermöglicht. Im Falle von Landnutzungsänderungen von und zu annuellem Ackerland bilden diese die Grundlage aller Berechnungen der Emissionen aus der Biomasse.

Perennierende Ackerkulturen können mit dem neuen System zur Landnutzungsausweisung nunmehr erfasst werden, differenziert in vier Subkategorien: Obst, Wein, Hopfen und eine Sammelkategorie bestehend aus Baumschulflächen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen (sonstige Ackerkulturen_{perennierend}). Für jede dieser Subkategorien wurden kulturspezifische mittlere Kohlenstoffvorräte abgeleitet (Kap. 6.1.2.3.4). Nutzungsänderungen zwischen diesen perennierenden Ackerlandkulturen werden wie "normale Landnutzungsänderungen" berichtet.

Die Empfehlung der EU-Kommission in den „Member State recommendations on reporting systems for cropland & grazing land management emissions & removals“ (Ecofys & Environment

Agency Austria, 2017), für Deutschland Aktivitätsdatenquellen zu erschließen und ein System zu implementieren, welches dezidiert die georeferenzierte Erfassung perennierender Gehölzflächen in der Ackerlandkategorie und deren Flächenwanderung ermöglicht, sowie entsprechender Empfehlungen aus den UNFCCC-Reviews (z.B. UNFCCC 2019), wurden damit aufgegriffen und umgesetzt.

6.1.2.3.2 Berechnungsmethoden

Bei Landnutzungsänderungen werden die Kohlenstoffvorratsänderungen in der annualen und perennierenden Biomasse erfasst und berichtet. Die Einbindung bzw. die Emission von CO₂ wird über die Kohlenstoffvorratsänderungen, getrennt nach ober- und unterirdischer Biomasse, anhand nationaler Daten ermittelt. Die Kohlenstoffvorratsänderungen finden vollständig im Jahr der Landnutzungsänderung statt (siehe auch Kapitel 6.1.2)

Die Abschätzung der Kohlenstoffvorratsänderungen in der Biomasse erfolgt durch Subtraktion des Biomassekohlenstoffvorrats vor Nutzungsänderung vom Vorrat nach der Nutzungsänderung, bezogen auf die von der Änderung betroffene Fläche (n. Gleichung 2.16, 2006 IPCC Guidelines, IPCC (2006)):

$$\Delta C_{Bio} = \sum_{i=1}^n (A_i * EF_{final} - A_i * EF_{initial})$$

ΔC_{Bio} :	Veränderung des Kohlenstoffvorrates in der Biomasse einer Landnutzungskategorie [Mg]
A_i :	Fläche der Landnutzungsänderung [ha]
EF_{final} :	Pflanzenspezifischer Biomassekohlenstoffvorrat [t ha ⁻¹]
$EF_{initial}$:	Pflanzenspezifischer Biomassekohlenstoffvorrat [t ha ⁻¹]
n :	Anzahl der Übergangskategorien
i :	Übergangskategorien

Die Berechnung der Biomassevorratsänderungen erfolgt gemäß der Gain-Loss Methode (2006 IPCC Guidelines, IPCC (2006)). Die Ermittlung der Aktivitätsdaten ist in Kapitel 6.3, die Herleitung der landesspezifischen Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten in Kapitel 6.1.2.3.3, Kapitel 6.1.2.3.4, Kapitel 6.1.2.3.5 und in den Kapiteln der einzelnen Landnutzungskategorien beschrieben. Die Biomasseberichterstattung folgt einem Tier 2-Ansatz.

Die Kohlenstoffvorräte der annualen Biomasse werden für Acker- und Grünlandpflanzen basierend auf der Erntestatistik jährlich variabel berechnet, wobei die gleichen Datenquellen und Algorithmen wie für die Berechnung der Ernterückstände in CRF-Sektor 3.D verwendet werden. Durch oben beschriebene Bildung der Differenz ergeben sich die Emissionsfaktoren in Tabelle 355. Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren sind in den entsprechenden Kapiteln der Landnutzungskategorien aufgeführt (Kapitel 6.4.3, Kapitel 6.5.3, Kapitel 6.6.3, Kapitel 6.7.3, Kapitel 6.8.3 und Kapitel 6.1.2.3).

Tabelle 355: Emissionsfaktoren [t C ha⁻¹ a⁻¹] zur Ermittlung der Kohlenstoffvorratsunterschiede im Jahr einer Landnutzungsänderung in der ober- und unterirdischen Biomasse nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2019

Mittlerer Kohlenstoffvorrat in der Biomasse													
	Wald ⁹⁴	Acker _{annuell}	Hopfen	Wein	Obst	sonstige Ackerkulturen perennierend	Grünland i.e.S.	Gehölze	Terrestr. Feuchtgebiete	Gewässer	Torfabbau	Siedlungen	Sonstiges Land
[t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	40,88	6,12	5,38	6,77	13,17	22,26	6,81	43,16	18,93	0	0	12,49	0
Emissionsfaktoren _{Biomasse} [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]													
Initial\Final	Wald	Acker _{annuell}	Hopfen	Wein	Obst	sonstige Ackerkulturen perennierend	Grünland i.e.S.	Gehölze	Terrestr. Feuchtgebiete	Gewässer	Torfabbau	Siedlungen	Sonstiges Land
Wald		-34,76	-35,5	-34,11	-27,71	-18,62	-34,07	2,28	-21,95	-40,88	-40,88	-28,39	-40,88
Acker _{annuell}	-5,08		-0,74	0,65	7,05	16,14	0,69	37,04	12,81	-6,12	-6,12	6,37	-6,12
Hopfen	-4,34	0,74		1,39	7,79	16,88	1,43	37,78	13,55	-5,38	-5,38	7,11	-5,38
Wein	-5,73	-0,65	-1,39		6,4	15,49	0,04	36,39	12,16	-6,77	-6,77	5,72	-6,77
Obst	-12,13	-7,05	-7,79	-6,4		9,09	-6,36	29,99	5,76	-13,17	-13,17	-0,68	-13,17
sonstige Ackerkulturen perennierend	-21,22	-16,14	-16,88	-15,49	-9,09		-15,45	20,9	-3,33	-22,26	-22,26	-9,77	-22,26
Grünland i.e.S.	-5,77	-0,69	-1,43	-0,04	6,36	15,45		36,35	12,12	-6,81	-6,81	5,68	-6,81
Gehölze	-42,12	-37,04	-37,78	-36,39	-29,99	-20,9	-36,35		-24,23	-43,16	-43,16	-30,67	-43,16
Terrestrische Feuchtgebiete	-17,89	-12,81	-13,55	-12,16	-5,76	3,33	-12,12	24,23		-18,93	-18,93	-6,44	-18,93
Gewässer	1,04	6,12	5,38	6,77	13,17	22,26	6,81	43,16	18,93		0	12,49	0
Torfabbau	1,04	6,12	5,38	6,77	13,17	22,26	6,81	43,16	18,93	0		12,49	0
Siedlungen	-11,45	-6,37	-7,11	-5,72	0,68	9,77	-5,68	30,67	6,44	-12,49	-12,49		-12,49
Sonstiges Land	1,04	6,12	5,38	6,77	13,17	22,26	6,81	43,16	18,93	0	0	12,49	

⁹⁴ Kohlenstoffvorrat Entwaldungsflächen

Für die Berechnung der Umwandlung von Wald in andere Nutzungen (Entwaldung) wurde der für Deutschland ermittelte Durchschnittswert für Entwaldungsflächen der Bundeswaldinventuren 2002, 2012 und der Kohlenstoffinventur 2017 (AFZ 2019, Schwitzgebel and Riedel (2019)) für die jeweiligen Berichtsjahre zugrunde gelegt. Methodik und Herleitung der Werte siehe Kapitel 6.4.2.2. Im Rahmen der BWI 2012 und der Kohlenstoffinventur 2017 wurden auch neue Werte für Totholz bestimmt. Während Tabelle 356 die gesamte Waldbiomasse ausweist, die bei einer Entwaldung verloren geht, ist in Tabelle 355 die Änderungssumme dargestellt (Summe aus Verlust (Wald; loss) und Zugewinn (Biomassevorrat anderer Landnutzungskategorie; gain)).

Tabelle 356: Zeitreihe der mittleren Kohlenstoffvorräte \pm Hälfte des 95 %-Konfidenzintervalls in der Biomasse von Entwaldungsflächen [t C ha⁻¹]

Jahr	Biomasse – Kohlenstoff [t C ha ⁻¹] (EF 1)				
	Biomasse _{total}	Biomasse _{above}	Biomasse _{below}	Totholz	Streu
1990	28,93 \pm 7,86	24,53 \pm 7,47	4,39 \pm 1,47	1,88 \pm 0,98	19,00 \pm 0,60
1995	28,93 \pm 7,86	24,53 \pm 7,47	4,39 \pm 1,47	1,88 \pm 0,98	18,94 \pm 0,60
2000	28,93 \pm 7,86	24,53 \pm 7,47	4,39 \pm 1,47	1,88 \pm 0,98	18,88 \pm 0,59
2005	36,27 \pm 9,86	31,52 \pm 9,60	4,75 \pm 1,59	1,82 \pm 0,95	18,81 \pm 0,59
2010	39,48 \pm 10,73	34,88 \pm 10,63	4,60 \pm 1,54	1,48 \pm 0,77	18,75 \pm 0,59
2011	39,48 \pm 10,73	34,88 \pm 10,63	4,60 \pm 1,54	1,48 \pm 0,77	18,74 \pm 0,59
2012	40,88 \pm 11,11	36,06 \pm 10,99	4,82 \pm 1,62	1,97 \pm 1,03	18,73 \pm 0,59
2013	40,88 \pm 11,11	36,06 \pm 10,99	4,82 \pm 1,62	1,97 \pm 1,03	18,71 \pm 0,59
2014	40,88 \pm 11,11	36,06 \pm 10,99	4,82 \pm 1,62	1,97 \pm 1,03	18,70 \pm 0,59
2015	40,88 \pm 11,11	36,06 \pm 10,99	4,82 \pm 1,62	1,97 \pm 1,03	18,69 \pm 0,59
2016	40,88 \pm 11,11	36,06 \pm 10,99	4,82 \pm 1,62	1,97 \pm 1,03	18,68 \pm 0,59
2017	40,88 \pm 11,11	36,06 \pm 10,99	4,82 \pm 1,62	1,97 \pm 1,03	18,66 \pm 0,59
2018	40,88 \pm 11,11	36,06 \pm 10,99	4,82 \pm 1,62	1,97 \pm 1,03	18,65 \pm 0,59
2019	40,88 \pm 11,11	36,06 \pm 10,99	4,82 \pm 1,62	1,97 \pm 1,03	18,65 \pm 0,59

6.1.2.3.3 Ableitung der Emissionsfaktoren für die Biomasse annualer Kulturen und krautiger Pflanzen

Der Kohlenstoffvorrat für die ober- und unterirdische Biomasse krautiger Pflanzen von Acker- und Gartenlandkulturen sowie Grünländern i.e.S. wird jährlich auf Basis der Ernteerhebungen des statistischen Bundesamtes abgeleitet. Dies ist die einzige deutschlandweite, konsistente (inhaltlich und zeitlich) Datenquelle, die flächendeckend eine Ableitung repräsentativer Emissionsfaktoren für krautige Pflanzen aus landwirtschaftlicher Produktion in Deutschland ermöglicht (vergl. Kapitel 6.1.2.3.1).

Die Grundlage für die Ermittlung der mittleren Kohlenstoffvorräte für Früchte von Acker- und Gartenlandkulturen bilden die Erträge und Anbauflächen von 65 Feldfrüchten. Diese sind:

- Winterweizen, Sommerweizen, Roggen, Triticale, Wintermenggetreide, Wintergerste, Sommergerste, Hafer, Sommermenggetreide, Körnermais;
- Futtererbsen, Ackerbohnen;
- Kartoffeln, Zuckerrüben, Runkelrübe;
- Winterraps;
- Klee, Luzerne, Gras, Silomais; und
- Blumenkohl, Brokkoli, Chinakohl, Grünkohl, Kohlrabi, Rosenkohl, Rotkohl, Weißkohl, Wirsing, Eichblattsalat, Eissalat, Endiviensalat, Feldsalat, Kopfsalat, Lollo Salat, Radicchio, Römischer Salat, Rucolasalat, sonstige Salate, Spinat, Rharbarber, Spargel, Staudensellerie, Knollenfenchel, Knollensellerie, Meerrettich, Möhren, Radieschen, Rettich, Rote Rüben, Einlegegurken, Schälgurken, Speisekürbisse, Zucchini, Zuckermais, Buschbohnen, Dicke Bohnen, Stangenbohnen, Frischerbsen-Drusch, Frischerbsen, Bundzwiebeln, Speisezwiebeln, Petersilie, Porree, Schnittlauch.

Für Grünland i.e.S. sind dies die Erträge und Anbauflächen aller statistisch erfassten

- Wiesen
- Mähweiden
- Weiden
- Almen und Hutungen

Die Ableitung der trockenen Biomasse einzelner Pflanzenteile aus den Ernterträgen erfolgt nach Rösemann et al. (2015) mittels Verhältniszahlen und Wassergehaltsangaben aus unterschiedlichen Quellen. Die Daten und Methoden sind konsistent mit denen zur Berechnung des Stickstoffs in Ernterückständen (CRF 3.D.a.4).

Für die Berechnung des Kohlenstoffvorrats der Biomasse wurde, abweichend vom IPCC Standardwert (50 Gew-%), ein durchschnittlicher Kohlenstoffgehalt von 45 Gew-% angenommen, da Osowski et al. (2004) Kohlenstoffgehalte für Pflanzen in Mitteleuropa von 44–48 Gew-% ausweisen und Pöpkén (2011), bei ihren Untersuchungen von Nutzgehölzpflanzen für das deutsche Inventar ebenfalls mittlere Werte von 45–46 % ermittelte.

Mithilfe all dieser Daten werden mittlere Kohlenstoffvorräte bezogen auf die Fläche berechnet, indem, pflanzenspezifisch, die jeweiligen Anbauflächen ([ha]) mit den entsprechenden Erträgen ([t Biomasse ha⁻¹]) multipliziert werden. Diese Produkte (pflanzenspezifisch, absolute Erntemengen einzelner krautiger Pflanzen bzw. Teile derselben [t]) werden auf Trockenmasse und Kohlenstoffgehalt umgerechnet, summiert und durch die entsprechende Flächensumme ([ha]) dividiert. Das Ergebnis sind flächen- und ertragsgewichtete Mittel für krautige Pflanzen aus landwirtschaftlicher Produktion [t C ha⁻¹], die repräsentativ für Deutschland sind. Diese flächenbezogenen mittleren Kohlenstoffvorräte [t C ha⁻¹] der ober- und unterirdischen Biomasse von Feldfrüchten und Gräsern werden als Emissionsfaktoren angesetzt. Dieses Vorgehen entspricht den Methoden der 2006 IPCC Guidelines.

Die Ergebnisse für krautige Pflanzen der Acker- und Gartenbauflächen sind in Tabelle 357 dargestellt, die für Grünland i.e.S. in Tabelle 358.

Tabelle 357 zeigt, dass die Werte für die Biomasse der krautigen Acker- und Gartenlandpflanzen im Zeitverlauf einen positiven, signifikanten Trend aufweisen. Daher wird den Berechnungen der Kohlenstoffvorratsänderungen infolge Landnutzungsänderung immer der aktuelle Wert des jeweiligen Jahres zugrunde gelegt.

Tabelle 357: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha⁻¹ ± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls] krautiger Biomasse auf Acker- und Gartenbauland

Jahr	Ackerland _{annuell} Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]		
	Biomasse _{total}	Biomasse _{oberirdisch}	Biomasse _{unterirdisch}
1990	5,17 ± 0,61	3,72 ± 0,51	1,45 ± 0,33
1995	5,54 ± 0,65	4,12 ± 0,57	1,42 ± 0,32
2000	5,89 ± 0,69	4,40 ± 0,60	1,49 ± 0,33
2005	6,08 ± 0,71	4,58 ± 0,63	1,50 ± 0,34
2010	5,96 ± 0,70	4,51 ± 0,62	1,45 ± 0,32
2011	6,09 ± 0,71	4,55 ± 0,62	1,54 ± 0,35
2012	6,43 ± 0,75	4,84 ± 0,66	1,59 ± 0,36
2013	6,32 ± 0,74	4,81 ± 0,66	1,51 ± 0,34
2014	7,21 ± 0,84	5,45 ± 0,75	1,76 ± 0,40
2015	6,48 ± 0,76	4,95 ± 0,68	1,53 ± 0,34
2016	6,36±0,75	4,81±0,66	1,55±0,35
2017	6,64±0,78	4,96±0,68	1,68±0,38

Jahr	Ackerland ^{annuell} Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]		
	Biomasse _{total}	Biomasse _{oberirdisch}	Biomasse _{unterirdisch}
2018	5,50±0,64	4,12±0,56	1,39±0,31
2019	6,12±0,72	4,58±0,63	1,54±0,34

Für Grünland i.e.S. weisen die Kohlenstoffvorräte in der Biomasse der krautigen Pflanzen in der Zeitreihe keinen signifikanten Trend auf und die jährlichen Veränderungen sind deutlich geringer als die Unsicherheiten. Daher wird ein mittlerer Kohlenstoffvorrat für die Biomasse von Grünland i.e.S. abgeschätzt und einheitlich den Berechnungen aller Jahre zugrunde gelegt (siehe Tabelle 358). Dieser mittlere Kohlenstoffvorrat über die Zeit wurde mittels Bootstrapping ermittelt. Bootstrapping ist ein Verfahren der Stichprobenwiederholung (resampling), bei dem statistische Kennwerte anhand einer Stichprobe (im vorliegenden Fall die mittleren Kohlenstoffvorräte der ober- und unterirdischen Biomasse krautiger Grünlandpflanzen der Jahre 1990 - 2015) berechnet werden. Dieses Verfahren empfiehlt sich dann besonders, wenn die theoretische Verteilung der Statistik nicht bekannt ist und ein Parameter (im vorliegenden Fall der Mittelwert) der Grundgesamtheit (nicht der Stichprobe) und dessen durchschnittliche Abweichung vom wahren Parameterwert abzuschätzen ist. Die so berechneten Werte für krautige Pflanzen des Grünlands i.e.S. sind in Tabelle 358 dargestellt; sie liegen allen entsprechenden Berechnungen im Inventar zugrunde. Der Standardfehler der errechneten Mittelwerte für die Grundgesamtheit beträgt 2,3 % (Hälfte des 95 % - Konfidenzintervalls).

Tabelle 358: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha⁻¹] von Grünland im engeren Sinne (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls)

Grünland i.e.S.	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]		
	Biomasse _{total}	Biomasse _{above}	Biomasse _{below}
Grünland i.e.S.	6,81 ± 2,06	3,78 ± 1,37	3,03 ± 1,54

6.1.2.3.4 Ableitung der Emissionsfaktoren für perennierende Gehölzkulturen

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Methodenentwicklung zur Erfassung der Biomasse mehrjährig verholzter Pflanzen außerhalb von Waldflächen“ wurden landesspezifische Kohlenstoffvorräte für die ober- und unterirdische Biomasse von Obstgehölzen, Wein und Weihnachtsbaumkulturen in Deutschland erhoben. Außerdem wurden mittels dieser Daten und Ergebnissen der Bundeswaldinventur mittlere Kohlenstoffvorräte für die Pflanzenbestände in Baumschulen abgeschätzt. Die mittlere Baumbiomasse für Kurzumtriebsplantagen und Hopfen wurde landesspezifisch aus Literatur- und Forschungsprojektdaten hergeleitet.

6.1.2.3.4.1 Obstgehölze

Im Rahmen des oben genannten Forschungsprojektes wurden aus den zwei Hauptobstanbaugebieten Deutschlands (Altes Land: Norddeutschland und Bodenseegebiet: Süddeutschland) insgesamt 100 Obstbäume (91 Apfel-, 6 Kirsch- und 3 Pflaumenbäume) unterschiedlichen Alters und Sorte destruktiv untersucht. Zusätzlich wurden an 210 lebenden Apfelbäumen folgende Parameter erhoben:

- Stammfußdurchmesser
- Brusthöhendurchmesser
- Höhe

Anhand aller erhobenen Daten konnte mittels Regression ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen Baumalter und durchschnittlichem mittlerem Stammdurchmesser $(=(\text{Stammfuß} + \text{Brusthöhendurchmesser})/2)$ pro Altersklasse ermittelt werden:

Gleichung 19: Regressionsgleichung zur Abschätzung des mittleren Stammdurchmessers [cm] von Apfelbäumen in Abhängigkeit vom Baumalter [a]

$$S_{mean\ Apfel} = 14,2986 * (1 - e^{(-0,0528x)})$$

S_{mean_Apfel} : Mittlerer Stammdurchmesser Apfelbaum [cm]

x: Baumalter [a]

Statistische Kennwerte/Unsicherheiten:

$r^2 = 0,9768$

$p = 0,0002$

Standardfehler der Schätzung = $0,5625 \pm 8,44 \%$

Die Gesamtunsicherheit der Abschätzung des mittleren Stammdurchmessers von Apfelbäumen in Abhängigkeit vom Baumalter beträgt 23,59 % (Hälfte des 95 % - Konfidenzintervalls).

Gleichung 20: Regressionsgleichung zur Abschätzung des mittleren Stammdurchmessers [cm] von Kirsch- und Pflaumenbäumen in Abhängigkeit vom Baumalter [a]

$$S_{mean\ Kirsche/Pflaume} = 53,8165 * (1 - e^{(-0,0252x)})$$

$S_{mean_KirschePflaume}$: Mittlerer Stammdurchmesser Kirsche/Pflaume [cm]

x: Baumalter [a]

Statistische Kennwerte:

$r^2 = 0,9486$

n = 9

$p < 0,0001$

Standardfehler der Schätzung = $1,2963 \pm 11,14 \%$

Die Abschätzung des Stammdurchmessers von Kirsche und Pflaume in Abhängigkeit vom Baumalter führt zu einer Gesamtunsicherheit von 25,68 % (Hälfte des 95 % - Konfidenzintervalls).

Mittels der Ergebnisse der destruktiven Untersuchung konnten die Masse, der Wasser- und Kohlenstoffgehalt der Obstgehölze getrennt nach den Kompartimenten oberirdische Biomasse (Stamm und Äste) und unterirdische Biomasse (Wurzeln) ermittelt werden. Die derart untersuchten Apfelbäume waren alle 6 und 9 Jahre, die Kirsch- und Pflaumenbäume 4, 12 und 14 Jahre alt.

Die Biomasse der Bäume wurde um den durch Trocknung bei 105°C gemessenen Wassergehalt korrigiert und zur Ermittlung des Kohlenstoffvorrates der Pflanzenteile bzw. der ganzen Pflanze mit dem prozentualen Kohlenstoffgehalt der Biomasse_{trocken} multipliziert.

Aus diesen Daten lassen sich hochsignifikante Beziehungen zwischen mittlerem Stammdurchmesser und Kohlenstoffvorrat der gesamten Pflanze (Gleichung 23 (Kirsche/Pflaume)) und der oberirdischen Biomasse (Gleichung 21 (Apfel); Gleichung 24 (Kirsche/Pflaume)) ableiten. Der Kohlenstoffvorrat der unterirdischen Biomasse von Kirsche und Pflaume wurde durch Subtraktion der oberirdischen von den Gesamtvorräten, der für Apfelbäume anhand der Gleichung von Mokany et al. (2006) (Gleichung 22) ermittelt. Diese haben in ihrer Übersichtsarbeit Wurzel/Spross-Verhältnisse für zahlreiche Vegetationstypen in Abhängigkeit von Biomasse, klimatischen und standortkundlichen Parametern abgeleitet, die als Default-Werte in die IPCC – Guidelines 2006 (IPCC, 2006) übernommen wurden.

Gleichung 21: Regressionsgleichung zur Abschätzung des Kohlenstoffvorrates in der oberirdischen Biomasse von Apfelbäumen in Abhängigkeit vom mittleren Stammdurchmesser

$$\ln C_{above\ Apfel} = -2,7521 + 1,9533 * \ln x$$

$\ln C_{above_Apfel}$: Logarithmus des Kohlenstoffvorrats in den oberirdischen Pflanzenteilen [kg Pflanze⁻¹]

$\ln x$: Logarithmus des mittleren Stammdurchmessers [cm]

Statistische Kennwerte:

$r^2 = 0,8273$

$n = 90$

$p < 0,0001$

Standardfehler der Schätzung = $0,044 \pm 2,83 \%$

Gleichung 22: Regressionsgleichung zur Abschätzung des Kohlenstoffvorrates in der unterirdischen Biomasse von Apfelbäumen in Abhängigkeit von der oberirdischen Biomasse (Mokany et al., 2006):

$$C_{below_Apfel} = 0,489 * x^{0,89}$$

C_{below_Apfel} : Kohlenstoffvorrat in den unterirdischen Pflanzenteilen [kg Pflanze⁻¹]

x : Kohlenstoffvorrat in der oberirdischen Biomasse [kg Pflanze⁻¹]

Statistische Kennwerte:

$r^2 = 0,93$

$n = 301$

Standardfehler der Schätzung = $13,6 \%$ (abgeleitet aus MOKANY et al. (2006))

Gleichung 23: Regressionsgleichung zur Abschätzung des Kohlenstoffvorrates der gesamten Biomasse von Kirsch- und Pflaumenbäumen in Abhängigkeit vom mittleren Stammdurchmesser

$$C_{ges_Kirsche/Pflaume} = 0,0369 x^{2,2725}$$

$C_{ges_Kirsche/Pflaume}$: Kohlenstoffvorrat der gesamten Kirsch-/PflaumenbaumBiomasse [kg Pflanze⁻¹]

x : Mittlerer Stammdurchmesser Kirsche/Pflaume [cm]

Statistische Kennwerte:

$r^2 = 0,9608$

$n = 9$

$p < 0,0001$

Standardfehler der Schätzung = $1,7382 \pm 14,04 \%$

Gleichung 24: Regressionsgleichung zur Abschätzung des Kohlenstoffvorrates in der oberirdischen Biomasse von Kirsch- und Pflaumenbäumen in Abhängigkeit vom mittleren Stammdurchmesser

$$C_{above_Kirsche/Pflaume} = 0,0238 x^{2,3586}$$

$C_{above_Kirsche/Pflaume}$: Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Kirsch-/PflaumenbaumBiomasse [kg Pflanze⁻¹]

x : Mittlerer Stammdurchmesser Kirsche/Pflaume [cm]

Statistische Kennwerte:

$r^2 = 0,9442$

$n = 9$

$p < 0,0001$

Standardfehler der Schätzung = $2,025 \pm 18,76 \%$

Die Differenzen zwischen dem Kohlenstoffvorrat der gesamten Pflanze und ihren oberirdischen Teilen, ergibt den C-Wurzelvorrat von Kirsche/Pflaume (siehe Gleichung 25).

Gleichung 25: Abschätzung des Kohlenstoffvorrates in der Wurzelmasse von Kirsche/Pflaume

$$C_{below} = C_{ges} - C_{above}$$

C_{below} : Unterirdischer Kohlenstoffvorrat [kg Pflanze⁻¹]

C_{ges} : Kohlenstoffvorrat der gesamten Pflanze [kg Pflanze⁻¹]

C_{above} : Oberirdischer Kohlenstoffvorrat [kg Pflanze⁻¹]

Der absolute Kohlenstoffvorrat aller Obstbäume Deutschlands wurde mithilfe der Ergebnisse der Obstanbauerhebungen errechnet (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.2.1). Bei der Obstanbauerhebung handelt es sich um eine repräsentative statistische Erhebung im Erwerbsobstbau Deutschlands, die alle 5 Jahre durchgeführt wird. Der vorliegenden Submission liegen die Ergebnisse der Obstanbauerhebungen der Jahre 2002, 2007, 2012 und 2017 zugrunde. Bei der Erhebung werden vom Statistischen Bundesamt u.a. die Stückzahlen von Apfel-, Birn-, Süß-, Sauerkirsch-, Pflaumen-, Zwetschgen-, Mirabellen- und Reneklodenbäumen in unterschiedlichen Altersklassen ermittelt, sowie die mit diesen Bäumen in der jeweiligen Altersklasse bestockten Flächen; beispielhaft für das Jahr 2007 dargestellt in Tabelle 359. Analog zur Agrarstrukturhebung gelten auch bei der Obstanbauerhebung Ausschlussgrenzen (z.B. Betriebsgröße, Baumbesatzdichte etc.).

Tabelle 359: Ergebnisse der Obstbaumvollerhebung 2007 durch das Statistische Bundesamt (FS 3, R 3.1.4)

Altersklasse	Baumobst insgesamt	Äpfel	Birnen	Süßkirschen	Sauerkirschen	Pflaumen, Zwetschen	Mirabellen, Renekloden	
<1	Fläche [ha]	6.337	2.610	558	1.669	569	561	89
	Anzahl [n]	77.908.784	1.959.650	374.357	349.898	309.888	174.950	25.268
1-4	Fläche [ha]	1.314	1.283	30	125	9	142	8
	Anzahl [n]	3.493.397	3.460.242	51.926	92.723	6.720	98.538	4.372
5-9	Fläche [ha]	7.403	5.159	252	859	330	713	90
	Anzahl [n]	15.410.632	13.645.705	466.895	563.239	234.410	452.011	48.372
10-14	Fläche [ha]	10.606	7.275	350	783	866	1.186	146
	Anzahl [n]	19.740.123	17.334.084	581.720	458.483	579.748	722.909	63.179
15-19	Fläche [ha]	10.321	7.603	454	763	372	1.057	71
	Anzahl [n]	19.602.081	17.527.552	831.342	322.364	260.231	632.286	28.306
20-24	Fläche [ha]	8.599	5.995	338	764	791	621	91
	Anzahl [n]	12.899.071	11.365.689	443.150	219.989	543.127	290.899	36.217
>25	Fläche [ha]	3.333	1.837	119	519	507	284	66
	Anzahl [n]	3.348.345	2.569.271	126.438	143.442	351.826	130.916	26.452

Zur Ermittlung des gesamten Kohlenstoffvorrats in Obstgehölzen wurden die gemessenen bzw. durch Regression ermittelten Kohlenstoffvorräte in der ober- und unterirdischen Biomasse von Einzelbäumen einer jeden Altersklasse mit deren Stückzahl multipliziert. Dabei wurden die für Apfelbäume ermittelten Werte auch den Birnen zugeteilt, die für Kirsche und Pflaume sowohl den Zwetschgen als auch den Mirabellen und Renekloden. Aus den so für die Jahre 2002, 2007, 2012 und 2017 berechneten Gesamtkohlenstoffvorräten sowie den dazugehörigen Flächen konnten ein mittlerer Gesamtkohlenstoffvorrat und mittlere Emissionsfaktoren für die einzelnen Obstgehölze abgeleitet werden (Tabelle 359). Da für das Inventar Obstanbauflächen nur pauschal, nicht differenziert nach Art der Obstgehölze, ausgewiesen werden können, wurde aus diesen Daten ein flächengewichteter, durchschnittlicher Kohlenstoffvorrat für die ober- und unterirdische Biomasse von Obstgehölzen abgeleitet, mittels Division der Summe des Gesamtkohlenstoffvorrats jeder Partition durch die jeweils bestockte Fläche (Tabelle 360).

Tabelle 360: Mittlere flächenbezogene Kohlenstoffvorräte [t C ha⁻¹] (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls) in der Biomasse von Obstgehölzen berechnet aus den Ergebnissen der Obstanbauerhebungen 2002 - 2017

Obstgehölz	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]		
	Biomasse _{above}	Biomasse _{below}	Biomasse _{total}
Apfel	7,06 ± 1,42	4,94 ± 1,19	2,13 ± 0,77
Birne	6,19 ± 1,24	4,37 ± 1,06	1,82 ± 0,66
Süßkirsche	9,31 ± 3,85	7,88 ± 3,97	1,43 ± 0,39
Sauerkirsche	18,05 ± 7,46	15,22 ± 7,66	2,83 ± 0,76
Pflaume/Zwetsche	9,41 ± 3,89	7,86 ± 3,95	1,55 ± 0,42
Mirabelle/Reneklode	8,8 ± 3,64	7,42 ± 3,73	1,38 ± 0,37
Aprikose	4,77 ± 1,97	3,91 ± 1,97	0,86 ± 0,23
Pfirsich	12,07 ± 4,99	10,11 ± 5,09	1,96 ± 0,53
Obst _{average}	8,06 ± 1,21	6,03 ± 1,08	2,04 ± 0,55

In Deutschland sind die Flächen zwischen den Obstgehölzen in der Regel mit Grünland bestanden; hierfür wird ein durchschnittlicher Flächenanteil von 75 % an der Obstanbaufläche unterstellt. So berechnet sich der mittlere Kohlenstoffvorrat für Obstanbauflächen in Deutschland nach Gleichung 26. Das Ergebnis zeigt Tabelle 361; der hier dargestellte Durchschnittswert liegt allen Emissionsberechnungen im Zusammenhang mit Obstanbauflächen zugrunde.

Gleichung 26:

$$C - \text{Vorrat}_{\text{Obst}} = C - \text{Vorrat}_{\text{Obstgehölze}} + C - \text{Vorrat}_{\text{Grünland i.e.s}} * 0,75$$

Tabelle 361: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha⁻¹] (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls) in der Biomasse von Obstanbauflächen

Sonderkultur	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]		
	Biomasse _{total}	Biomasse _{above}	Biomasse _{below}
Obstanbauflächen	13,17 ± 1,96	8,86 ± 1,49	4,31 ± 1,28

6.1.2.3.4.2 Wein

Zur Ableitung eines landesspezifischen mittleren Kohlenstoffvorrates für Weinstöcke wurden im Projekt „Methodenentwicklung zur Erfassung der Biomasse mehrjährig verholzter Pflanzen außerhalb von Waldflächen“ (Pöpken, 2011) 74 Weinstöcke destruktiv untersucht. Die Rebstöcke waren 15 bzw. 25 Jahre alt. Ermittelt wurden die Masse sowie der Wasser- und Kohlenstoffgehalt der ober- und unterirdischen Pflanzenteile (Pöpken, 2011). Der Kohlenstoffvorrat des Rebstocks bzw. von Pflanzenteilen errechnet sich nach Gleichung 27.

Gleichung 27: Berechnung des Kohlenstoffvorrates in Weinstöcken

$$C_{\text{vine}} = C_{\text{cont above}} * M_{105 \text{ Bio above}} + C_{\text{cont below}} * M_{105 \text{ Bio below}}$$

C_{vine} : Kohlenstoffvorrat eines Weinstocks [kg]

$C_{\text{cont above}}$: Kohlenstoffgehalt des Stocks [Masse-%]

$M_{105 \text{ Bio above}}$: Biomasse trocken des Stocks [kg]

$C_{\text{cont below}}$: Kohlenstoffgehalt der unterirdischen Biomasse [Masse-%]

$M_{105 \text{ Bio below}}$: Biomasse trocken der unterirdischen Biomasse [kg]

Das jährliche Schnittholz wurde bei der Ermittlung der Biomasse von Weinstöcken nicht berücksichtigt, da der jährliche Zuwachs dem des Schnittes entspricht und somit ein kurzfristiges Gleichgewicht darstellt.

Da in Deutschland durchschnittlich 4.000 Weinstöcke auf einem Hektar stocken (Pöpken, 2011), wurden zur Berechnung des Kohlenstoffvorrats pro Flächeneinheit die C-Vorräte der einzelnen Pflanzenkompartimente bzw. der Gesamtpflanze mit 4.000 multipliziert und somit die Vorräte pro ha ermittelt.

Tabelle 362: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha⁻¹ ± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls] der Weinstockbiomasse

Sonderkultur	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]		
	Biomasse _{total}	Biomasse _{above}	Biomasse _{below}
Wein	1,66 ± 0,09	1,12 ± 0,06	0,54 ± 0,04

Nicht zuletzt aus Gründen des Erosionsschutzes werden in Deutschland auf den Zwischenstreifen im Weinbau Grünlandpflanzen kultiviert. Wie im Obstbau wird auch im Weinbau der durchschnittliche Flächenanteil von Grünlandpflanzen mit 75 % angenommen. Der mittlere Kohlenstoffvorrat der Biomasse von Weinanbauflächen errechnet sich daher nach Gleichung 28; die daraus resultierenden, den Inventarberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren können Tabelle 363 entnommen werden.

Gleichung 28:

$$C - \text{Vorrat}_{\text{Wein}} = C - \text{Vorrat}_{\text{Weinstöcke}} + C - \text{Vorrat}_{\text{Grünland i.e.s}} * 0,75$$

Tabelle 363: Mittlerer flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha⁻¹] (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls) in der Biomasse von Weinanbauflächen

Sonderkultur	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]		
	Biomasse _{total}	Biomasse _{above}	Biomasse _{below}
Wein	6,77 ± 1,55	3,96 ± 1,03	2,81 ± 1,16

6.1.2.3.4.3 Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen

Baumschulen

Im Jahre 2019 betrug die Baumschulfläche in Deutschland 18.200 ha (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.1.2). Aussagen über die Art der in Baumschulen aufgezogenen Gehölze gibt die Baumschulerhebung, die im Turnus von 4 Jahren als Vollerhebung vom Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.7) durchgeführt wird. Die Erhebung 2017 zeigte, dass auf den deutschen Baumschulflächen hauptsächlich Zier- und sonstige Gehölze angebaut (85,9 %) wurden; die Aufschulung von Forstpflanzen erfolgte auf 14,1 % der Fläche. Die Zusammensetzung der aufgeschulerten Gehölzarten ist über die Jahre sehr variabel (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.1.7). Da für Deutschland leider keinerlei Untersuchungen über den durchschnittlichen Biomassevorrat im Aufwuchs von Baumschulen vorliegen, wurde aus landesspezifischen Biomassevorratswerten für Gehölzpflanzen ein mittlerer Kohlenstoffvorrat pro Baumschulflächeneinheit hergeleitet. Hierfür wurde folgendes unterstellt:

- Der Gehölzbestand setzt sich zu zwei Dritteln aus Ziergehölzen, zu einem Drittel aus Waldbäumen zusammen (letztere werden zwar nur auf 13,3 % der Fläche aufgezogen; da dieser Anteil über die Jahre sehr variabel ist (Anteil Forstpflanzen 2004: 19,8 %, Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.7)) und auch im Zierpflanzenanbau Koniferen (erheblicher Anteil) und "Waldbäume" wie Eiche und Buche angebaut werden, wurde der Anteil auf 33 % aufgewertet);
- Ziergehölze werden max. 10 Jahre, Forstpflanzen max. 5 Jahre geschult;
- Die Altersklassen innerhalb der Gehölzgruppen sind gleichverteilt.

Für Ziergehölze wurden stellvertretend die im Projekt „Methodenentwicklung zur Erfassung der Biomasse mehrjährig verholzter Pflanzen außerhalb von Waldflächen“ (Pöpken, 2011) ermittelten Kohlenstoffvorräte herangezogen. So wurden hälftig, für größere Gehölze, die für Kirsche und Pflaume ermittelten Kohlenstoffvorräte, für kleinere Gehölze, die für Apfelbäume zugrunde gelegt (s. Kapitel 6.1.2.3.4.1).

Zur Berechnung der Biomasse der Waldbäume wurden die Methoden angewendet, die zur Berechnung der Waldbiomasse von Kändler and Bösch (2013) entwickelt wurden und in Kapitel 6.4.2.2 beschrieben sind. Für Fichte, Kiefer, Buche und Eiche wurde mittels der Gleichung 31 und der in Tabelle 386 dargestellten Koeffizienten im Kapitel 6.4.2.2.4 der oberirdische Biomassevorrat pro Einzelbaum bis zum Alter von 5 Jahren bestimmt. Für die Umrechnung auf $t\ C\ ha^{-1}$ wurde der Kohlenstoffkonversionsfaktor von 0,45 unterstellt, sowie von 6.000 Pflanzen pro ha ausgegangen (dies entspricht einem mittleren Pflanzenbestand, bei einem Pflanzabstand von ca. 120/130 cm). Die unterirdische Biomasse wurde aus der so berechneten Sprossmasse anhand der Formel von Mokany et al. (2006) abgeschätzt (s. Kapitel 6.1.2.3.4.1), der Gesamtvorrat durch Addition der ober- und unterirdischen Vorräte bestimmt.

Auf diesem Wege der Herleitung ergeben sich dann durch Mittelwertbildung die in Tabelle 364 dargestellten mittleren, flächenbezogenen Kohlenstoffvorräte für die einzelnen Gehölzarten, sowie die daraus resultierenden mittleren Kohlenstoffvorräte, die das dynamische Gleichgewicht der Biomasse in Deutschlands Baumschulen im Inventar repräsentieren.

Tabelle 364: Herleitung des mittleren flächenbezogenen Kohlenstoffvorrats [Mischwert_{Baumschulen} in $t\ C\ ha^{-1} \pm$ Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls] in der Biomasse von Baumschulen

Gehölz	C-Vorrat _{total} [$t\ C\ ha^{-1}$]	C-Vorrat _{above} [$t\ C\ ha^{-1}$]	C-Vorrat _{below} [$t\ C\ ha^{-1}$]
Apfel ₁₀	6,69 \pm 1,34	4,8 \pm 1,16	1,89 \pm 0,68
Kirsche ₁₀	21,52 \pm 1,88	16,83 \pm 1,92	4,69 \pm 0,33
Waldbäume ₅	7,7 \pm 0,82	5,54 \pm 0,71	2,15 \pm 0,42
Mischwert _{Baumschulen}	11,97 \pm 0,82	9,06 \pm 0,78	2,91 \pm 0,29

Weihnachtsbaumkulturen

In Deutschland wurden 2018 auf 15.900 ha Weihnachtsbäume außerhalb des Waldes, d.h. auf landwirtschaftlichen Flächen, kultiviert (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 5.1). Bei einem durchschnittlichen Baumbesatz von 6.000 Pflanzen pro ha, werden 50 t Biomasse_{trocken} produziert (Pöpken, 2011). Hiervon entfallen ca. 28 % auf die Wurzelmasse. Dieser Wert wurde anhand der Regression von Wurzelphytomasse in Abhängigkeit von der oberirdischen Biomasse (Gleichung 21) nach Mokany et al. (2006) hergeleitet (vergl. Kapitel 6.1.2.3.4.1).

Tabelle 365: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [$t\ C\ ha^{-1}$] (\pm Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls)] der Weihnachtsbaumbiomasse

Gehölz	Kohlenstoffvorrat [$t\ C\ ha^{-1}$]		
	Phytomasse _{total}	Phytomasse _{above}	Phytomasse _{below}
Weihnachtsbaum	11,25 \pm 4,4	8,10 \pm 4,1	3,15 \pm 1,6

Kurzumtriebsplantagen

Kurzumtriebsplantagen (KUP) sind in Deutschland nach § 2 des Bundeswaldgesetzes BWaldG (2015) kein Wald und werden deshalb im deutschen Inventar ausschließlich in der Landnutzungskategorie Ackerland berichtet. Da KUP auch im Rahmen der Bundeswaldinventur als Ackerland ausgewiesen werden, ist eine Doppelzählung ausgeschlossen. Im Jahr 2019 betrug die mit Kurzumtriebsplantagen bestockte Fläche in Deutschland 5.700 ha (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.1.2). Da die Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen in Deutschland

ausschließlich energetisch (siehe Kategorie 1.A, Kapitel 3.2) genutzt wird, werden damit im Zusammenhang stehende Emissionen nicht unter Holzprodukten (HWP) berichtet (s. Kapitel 6.10.1).

Zur Ermittlung landesspezifischer, mittlerer Kohlenstoffvorräte in der Biomasse von Kurzumtriebsplantagen (KUP) wurden Daten aus der einschlägigen Literatur abgeleitet. Grundlegend waren die Übersichtsarbeiten von Walter et al. (2015), Horn (2013), Gurgel (2011), Kern et al. (2010), Biertümpfel et al. (2009), Boelcke (2007), Stolzenburg (2006) und Maier and Vetter (2004).

Diese Arbeiten enthalten die Ergebnisse von 23 Versuchsstandorten zu Kurzumtriebsplantagen, die über ganz Deutschland verteilt sind (Bayern, Baden-Württemberg, Thüringen, Sachsen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen), alle Klimazonen (Niederschlag: 550 – 1550 mm; Jahresdurchschnittstemperatur: 6,8 – 10,1°C) und Bodenarten umfassen (leichte bis schwere Böden) und vom Tiefland bis ins Mittelgebirge reichen. Auf insgesamt 62 Versuchsfeldern wurden die Kurzumtriebsplantagen überwiegend mit Pappeln (58 %) und Weiden (34 %) aber auch mit Birken (3 %), Erlen, Robinien und Blauglockenbäumen (5%) bestockt. Die Umtriebszeiten betragen zwischen einem und zehn Jahren, bei einem Mittel von 4,2 Jahren. Da diese Studien bezüglich räumlicher Verteilung, Standortbedingungen, Bewuchs und Management das ganze Spektrum des Betriebes von Kurzumtriebsplantagen in Deutschland widerspiegeln, sind sie repräsentativ.

Aus den Ergebnissen dieser Studien konnte der durchschnittliche jährliche Trockenertrag mit 9,05 (-6,0 % / +9,9 %) t ha⁻¹ a⁻¹ oberirdische Biomasse für Kurzumtriebsplantagen in Deutschland abgeleitet werden.

Zur Herleitung des durchschnittlichen Gesamtertrags für KUP, in Abhängigkeit von der Betriebsdauer, wurde der mittlere jährliche Trockenertrag mit der Anzahl der Jahre der Betriebsdauer multipliziert. Es wurde eine durchschnittliche Betriebsdauer von 20 Jahren unterstellt als auch, dass die Kurzumtriebsplantagen innerhalb der Betriebsaltersklassen (Initialisierungsphase sowie Klasse_{1_a} - Klasse_{20_a}) gleichverteilt sind. Für die Initialisierungsphase wurde davon ausgegangen, dass 10.000 Stecklinge à 20 g Biomasse auf einen Hektar gesetzt wurden ($\approx 0,2$ t Biomasse ha⁻¹). Die unterirdische Biomasse wurde anhand des mittleren Trockenertrages in Abhängigkeit von der Betriebsdauer und der Formel von Mokany et al. (2006) bestimmt. Durch Addition der ober- und unterirdischen Biomasse wurde der Gesamtvorrat in Kurzumtriebsplantagen für jede unterschiedliche Betriebsaltersklasse ermittelt und durch Multiplikation mit 0,45 in Kohlenstoffvorräte umgerechnet. Die Mittelwerte dieser Kohlenstoffvorräte aller Betriebsaltersklassen stellen die dynamischen Gleichgewichtswerte für die mittleren, flächenbezogenen Kohlenstoffvorräte in der Biomasse von KUP dar, die den Berechnungen im Inventar zugrunde liegen. Diese sind in Tabelle 366 dargestellt.

Tabelle 366: Mittlere, flächenbezogene Kohlenstoffvorräte [t C ha⁻¹] sowie 97,5%- und 2,5%-Perzentile [%] in der Biomasse von Kurzumtriebsplantagen

	Kohlenstoffvorrat in der Biomasse von Kurzumtriebsplantagen		
	Biomasse _{total}	Biomasse _{above}	Biomasse _{below}
C-Vorrat [t C ha ⁻¹]	53,71	40,75	12,96
97,5 %-Perzentil [%]	10,30	9,93	29,13
2,5 %-Perzentil [%]	8,16	6,02	28,04

Emissionsfaktor für Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen

Über das System zur Landnutzungskennung ist eine differenzierte, georeferenzierte Ausweisung von Baumschul-, Weihnachtsbaumkultur- und Kurzumtriebsplantagenflächen derzeit nicht möglich. Diese können georeferenziert lediglich als Summe ausgewiesen werden. Zur Berechnung der Emissionen aus der Biomasse musste daher ein nach Flächen und Anbaukultur gewichteter Mischfaktor für diese Subkategorie abgeleitet werden. Grundlage hierfür sind die für Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen abgeleiteten spezifischen Emissionsfaktoren, sowie Flächendaten aus der Officialstatistik (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.1.2). Die Flächen für diese Kulturen werden vom Statistischen Bundesamt repräsentativ, aufgrund von Ausschlusskriterien, jedoch nicht vollumfänglich, im jährlichen Turnus erhoben. Die Werte sind in Tabelle 367 dargestellt. Kurzumtriebsplantagen spielen in Deutschland nur eine marginale Rolle (1,4 % - 2,3 % der Ackerlandgehölzfläche; 0,2 - 0,3 ‰ der gesamten Landwirtschaftsfläche Deutschlands); sie werden seit 2010 überhaupt erst statistisch erfasst.

Tabelle 367: Flächen [ha] ausgewählter perennierender Gehölzkulturen im Ackerland (nach Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.7))

Jahr	Weihnachtsbaumkulturen	Baumschulen Fläche [ha]	Kurzumtriebsplantagen
1990	5.467	26.788	
1995	10.353	27.831	
2000	13.400	24.800	
2005	12.900	21.700	
2010	14.625	20.860	3.501
2011	15.000	20.700	5.100
2012	15.600	21.200	4.400
2013	15.800	20.700	3.600
2014	17.900	20.800	4.800
2015	20.100	19.900	5.786
2016	16.379	19.278	5.688
2017	15.900	19.400	5.600
2018	15.900	18.600	5.200
2019	15.900	18.200	5.700

Zur Ermittlung des Emissionsfaktors der Mischkategorie, wurden die Flächen der Teilkategorien mit den jeweils spezifischen Emissionsfaktoren multipliziert und durch die Flächensumme aller Teilkategorien dividiert. Auch bei den hier zusammengefassten Sonderkulturen werden die Flächen zwischen den Gehölzstreifen in der Regel mit Grünlandpflanzen bestanden; es wird ein Flächenanteil von 75 % unterstellt. Der mittlere Kohlenstoffvorrat der Biomasse für diese Sonderkulturflächen berechnet sich daher nach Gleichung 29.

Gleichung 29:

$$C\text{-Vorrat}_{\text{Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen}} = C\text{-Vorrat}_{\text{Gehölze}} + C\text{-Vorrat}_{\text{Grünland i.e.S.}} * 0,75$$

Die mittleren Kohlenstoffvorräte pro Flächeneinheit für die Biomasse bzw. Emissionsfaktoren können Tabelle 368 entnommen werden; sie liegen allen Berechnungen der CO₂-Einbindung/Emissionen in/aus dem Pool Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen zugrunde, die infolge von Landnutzungsänderungen von/zu und verbleibendem Ackerland auftreten.

Tabelle 368: Mittlerer flächengewichteter Kohlenstoffvorrat [t C ha⁻¹ ± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls] der Biomasse der Mischkategorie „Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen“ in Deutschland

Jahr	Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen		
	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]		
	Biomasse _{total}	Biomasse _{above}	Biomasse _{below}
1990	16,96 ± 2,73	11,73 ± 2,32	5,22 ± 1,30
1995	16,88 ± 2,72	11,63 ± 2,30	5,25 ± 1,30
2000	16,82 ± 2,71	11,56 ± 2,28	5,27 ± 1,31
2005	16,81 ± 2,71	11,54 ± 2,28	5,27 ± 1,31
2010	20,56 ± 3,31	14,38 ± 2,84	6,17 ± 1,53
2011	22,03 ± 3,55	15,50 ± 3,06	6,53 ± 1,62
2012	21,26 ± 3,42	14,92 ± 2,94	6,35 ± 1,58
2013	20,54 ± 3,31	14,36 ± 2,83	6,18 ± 1,53
2014	21,39 ± 3,44	15,00 ± 2,96	6,39 ± 1,59
2015	22,04 ± 3,55	15,48 ± 3,05	6,56 ± 1,63
2016	22,53 ± 3,63	15,87 ± 3,13	6,66 ± 1,65
2017	22,51 ± 3,62	15,86 ± 3,13	6,65 ± 1,65
2018	22,26 ± 3,58	15,66 ± 3,09	6,59 ± 1,64
2019	22,77 ± 3,64	16,05 ± 3,15	6,72 ± 1,67

6.1.2.3.4.4 Hopfen

Die Werte zur Biomasse von Hopfenanbauflächen entstammen Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen des Hopfenforschungszentrums der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Portner et al. (2019) ermittelten an zwei Standorten in der Hallertau quantitativ die gesamte oberirdische Biomasse von Hopfen sowie der Zwischenfrüchte. Der Anteil der unterirdischen Biomasse wurde nach Graf et al. (2014); Graf (2016) und Sobotik et al. (2018) auf 50 % der oberirdischen Biomasse abgeschätzt. Für die Hopfenanbauflächen errechnen sich dann die in Tabelle 369 aufgeführten Kohlenstoffvorräte für die einzelnen Phytomassekompartimente. Die unter Hopfenanbaufläche aufgeführten Werte sind Grundlage aller Emissionsberechnungen im Zusammenhang mit Hopfenanbauflächen.

Tabelle 369: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha⁻¹] (± Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls) der Biomasse von Hopfenkulturen, Zwischenfrüchten und deren Summe nach Portner et al. (2019)

Kultur	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]		
	Phytomasse _{total}	Phytomasse _{above}	Phytomasse _{below}
Hopfen	4,77 ± 0,84	3,18 ± 0,32	1,59 ± 0,80
Zwischenfrucht	0,61 ± 0,3	0,45 ± 0,18	0,15 ± 0,08
Hopfenanbaufläche	5,38 ± 0,89	3,64 ± 0,39	1,74 ± 0,80

6.1.2.3.5 Ableitung der Emissionsfaktoren für Hecken und Feldgehölze

Zur Bestimmung des Kohlenstoffvorrates für Hecken wurden von Pöpken (2011) im Rahmen des Forschungsprojektes „Methodenentwicklung zur Erfassung der Biomasse mehrjährig verholzter Pflanzen außerhalb von Waldflächen“ 50 Hecken untersucht. Die Ausprägung der aufgenommenen Hecken variierte bezüglich:

1. **des Alters**
 - ca. 4-20 Jahre
2. **der Ausdehnung**

- Höhe ca. 2-9 m
- Tiefe ca. 1-6 m
- Länge ca. 100-500 m

3. der Artenzusammensetzung

- typische Heckenpflanzen, wie Hundsrose (*Rosa canina*), Schlehe (*Prunus spinosa*), Hasel (*Corylus avellana*), Holunder (*Sambucus spec.*), Rot- und Weißdorn (*Crataegus spec.*), Heckenkirschen (*Lonicera spec.*) und Weiden (*Salix spec.*)
- Bäume, wie Feldahorn (*Acer campestre*), Hainbuche (*Carpinus betulus*), Weide (*Salix spec.*), Buche (*Fagus sylvatica*), Linde (*Tilia spec.*) und Ulme (*Ulmus spec.*),

so dass ein repräsentatives Spektrum dieser Feldgehölze erfasst wurde. An diesen Gehölzproben wurden im Labor die Masse, der Wasser- und Kohlenstoffgehalt gemessen, so dass der absolute und der flächenbezogene Kohlenstoffvorrat in Verbindung mit den Feldmaßen ermittelt werden konnte (siehe Tabelle 370). Anhand dieser Daten konnte mittels Regression ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen Kohlenstoffvorrat der Biomasse von Hecken und deren Alter ermittelt werden:

$$C_{\text{above}} = 1,5506 * X^{1,6015}$$

$$R^2 = 0,843; \text{ Hälfte des 95 \% -Konfidenzintervalls: } \pm 65,7 \%$$

C_{above} : Durchschnittlicher Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Biomasse von Hecken [t C ha⁻¹]

X: Heckenalter [a]

Mittels dieser Gleichung wurde dann der durchschnittliche Kohlenstoffvorrat der oberirdischen Biomasse von Hecken für jedes Jahr einer Umtriebsperiode (12 Jahre) bestimmt. Da bei der Untersuchung von Pöpken (2011) aus Gründen des Naturschutzes lediglich die oberirdische Biomasse erfasst werden konnte, wurde zur Abschätzung der unterirdischen Biomasse die von Mokany et al. (2006) mittels Regression abgeleitete Formel herangezogen, um für jede dieser Altersklassen von der ober- auf die unterirdischer Biomasse zu schließen.

$$BiO_{\text{below}} = 0,489 * BiO_{\text{above}}^{0,890} \text{ (Mokany et al., 2006)}$$

$$R^2 = 0,93$$

BiO_{below} : Unterirdische Biomasse in t C ha⁻¹

BiO_{above} : Oberirdische Biomasse in t C ha⁻¹

Der Gesamtvorrat pro Altersklasse ergibt sich dann nach

$$C_{\text{total_AK}} = C_{\text{above_AK}} + C_{\text{below_AK}}$$

$C_{\text{total_AK}}$: Durchschnittlicher Kohlenstoffvorrat in der gesamten Biomasse von Heckenpflanzen einer Altersklasse [t C ha⁻¹]

$C_{\text{above_AK}}$: Durchschnittlicher Kohlenstoffvorrat in der oberirdischen Biomasse von Heckenpflanzen einer Altersklasse [t C ha⁻¹]

$C_{\text{below_AK}}$: Durchschnittlicher Kohlenstoffvorrat in der unterirdischen Biomasse von Heckenpflanzen einer Altersklasse [t C ha⁻¹]

Der Mittelwert aller Altersklassen, bei einer unterstellten Umtriebszeit von 12 Jahren, ergibt dann den durchschnittlichen Gleichgewichtskohlenstoffvorrat von Hecken in Deutschland, der allen Berechnungen von Kohlenstoffvorratsänderungen in der Biomasse im Zusammenhang mit Landnutzungsänderungen von und zu Gehölzflächen zugrunde liegt (Tabelle 370).

Tabelle 370: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t ha⁻¹ (95 %-Konfidenzintervall)] in der Biomasse von Gehölzen

Gehölze	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]		
	Biomasse _{above}	Biomasse _{below}	Biomasse _{total}
Gehölze	32,69 (10,46-55,27)	10,47 (3,16-18,11)	43,16 (19,77-67,00)

6.1.2.4 Kohlenstoffemissionen aus toter organischer Substanz (4.A bis 4.F)

Emissionen aus toter organischer Substanz werden nur für die Landnutzungskategorie Wald und den Landnutzungsänderungen von Wald zu einer der Kategorien 4.B - 4.E berichtet. Dabei wird die tote organische Substanz in die zwei Pools Totholz und Streu unterteilt. Die methodische Beschreibung und die zugehörigen Ergebnisse finden sich in den Kapiteln 6.4.2.3 für Totholz und 6.4.2.4 für Streu in der Landnutzungskategorie Wald.

In den Landnutzungsänderungskategorien 4.B - 4.E werden die Emissionen aus der toten organischen Substanz mit den Emissionen aus der lebenden Biomasse erfasst, da bei der Abschätzung der Emissionen aus der lebenden Biomasse jeweils die der gesamten Pflanze zugrunde gelegt wird. Daher werden die Emissionen aus toter organischer Substanz in diesen Übergangskategorien in den CRF-Tabellen mit dem Vermerk IE (included elsewhere) versehen, um eine doppelte Anrechnung zu vermeiden. In der Kategorie 4.F wird der Vermerk NO (not occurring) verwendet, da es sich bei Flächen in dieser Kategorie per Definition um vegetationslose Flächen handelt.

6.1.2.5 Direkte N₂O-Emissionen aus Stickstoff-Düngung von Waldflächen und anderen Flächen (4(I))

Stickstoffdüngung von Wäldern, Feuchtgebieten und Siedlungen finden in Deutschland nicht statt. In der CRF-Tabelle 4(I) wird für alle Aktivitäten daher „NO“ (not occurring) eingetragen.

6.1.2.6 Emissionen aus der Entwässerung von organischen und mineralischen Böden

Emissionen aus der Entwässerung oder anderen Bewirtschaftungsmaßnahmen von Böden in Deutschland entstehen nur auf organischen Böden. Auf mineralischen Böden treten keine Emissionen auf, weshalb in der CRF-Tabelle 4(II) für alle Landnutzungskategorien für die mineralischen Böden NO (nicht vorkommend) angegeben wird.

Eine Wiedervernässung von organischen Böden wurde ebenfalls nicht berücksichtigt und in der CRF-Tabelle als NO (nicht vorkommend) angegeben. Somit entstehen Emissionen einzig durch die Entwässerung (Drainage) von organischen Böden.

Die Kohlenstoffemissionen aus den organischen Böden werden in den CRF-Tabellen 4.A bis 4.F übernommen. In der CRF-Tabelle 4(II) werden für organische Böden die Werte für N₂O und CH₄ sowie für CO₂ IE (included elsewhere) eingetragen.

Die methodische Beschreibung für die Herleitung der Aktivitätsdaten und der Emissionsfaktoren der organischen Böden erfolgt im Kapitel 6.1.2.2 „Emissionen aus organischen Böden“.

6.1.2.7 Direkte Lachgas-Emissionen (N₂O) aus Stickstoff-Mineralisierung (CRF-Tabelle 4(III))

Die direkten (CRF-Tabelle 4 (III)) N₂O-Emissionen, die durch Verluste an organischer Bodensubstanz infolge von Landnutzungsänderungen bzw. Bewirtschaftungsmaßnahmen entstehen, wurden gemäß der IPCC Guidelines 2006 ermittelt. Hierfür wurden die für die einzelnen Landnutzungsänderungsflächen ermittelten Kohlenstoffvorratsänderungen durch die mittleren C/N - Verhältnisse der entsprechenden Böden dividiert und somit die absoluten Veränderungen im Stickstoffvorrat der Böden bestimmt (Gleichung 11.8 in den IPCC Guidelines 2006, IPCC (2006)). Die C/N-Verhältnisse für Waldböden entstammen der BZE-Wald (Wellbrock et al., 2016), die für Ackerlandböden, Grünland i.e.S., Gehölze ,Terrestrische Feuchtgebiete und

Siedlungen der BZE-Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018). Die C/N-Verhältnisse für Siedlungsböden und Mineralböden der Kategorie Sonstiges Land wurden aus den Schätzprofilaten der BÜK 1000 n 2.3 (BGR 2011) abgeleitet.

Zur Ermittlung der direkten Emissionen wurden die absoluten Stickstoffvorratsunterschiede mit dem IPCC Standardwert von $0,01 \text{ kg N}_2\text{O-N (kg N)}^{-1}$ verrechnet, gemäß Gleichung 11.1 in den IPCC Guidelines 2006 (IPCC, 2006). Die so ermittelten N_2O -Emissionen sind in der CRF-Tabelle 4(III) aufgeführt; die Emissionsfaktoren sind in Tabelle 371, die Unsicherheiten in den Unsicherheiten-Kapiteln der einzelnen Landnutzungskategorien (vgl. Kapitel 6.4.3, 6.5.3, 6.6.3, 6.7.3 und 6.8.3) zusammengefasst.

Die Lachgasemissionen unterliegen ebenfalls der Übergangszeit und werden analog zu den Kohlenstoffvorratsänderungen auf 20 Jahre verteilt. Auch bezüglich der effektiven Übergangszeit gelten die für den Kohlenstoff anzuwendenden Methoden; zur Herleitung der impliziten Stickstoffemissionsfaktoren für den Wald gelten die diesbezüglich für den Kohlenstoff gemachten Ausführungen (vgl. Kapitel 6.1.2.1.1).

Die direkten Lachgas-Emissionen infolge des Zersatzes organischer Substanz aus der Verbleibkategorie Ackerland, werden gemäß IPCC Guidelines 2006 im Sektor Landwirtschaft unter 3.D.a.5 berichtet.

Tabelle 371: Implizite Emissionsfaktoren für direkte Lachgasemissionen [$\text{kg N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] infolge von Verlusten an organischer Substanz aus Mineralböden nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2019

Implizite Emissionsfaktoren _{Mineralböden} [$\text{kg N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] für das Jahr 2019													
Initial\Final	Wald	Acker _{annuell}	Hopfen	Weinanbau	Obstanbau	Sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	Grünland i.e.S.	Gehölze	Terrestr. Feuchtgebiete	Gewässer	Torf	Siedlungen	Sonstiges Land
Wald		0,08	0	0	0	0	0	0,073	0	0	NO	0,406	NO
Acker _{annuell}	0,029		0,094	0,801	0,019	0,06	0	0,062	0	0	NO	0,312	NO
Hopfen	0	0,13		0	0	0	0	0	0	0	NO	0,794	NO
Weinanbau	0	0,009	0		0	0,007	0	0,015	0	0	NO	0,342	NO
Obstanbau	0,155	0,666	0,601	1,559		0,555	0	0,611	0	0	NO	0,3	NO
Sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0,137	0	0,988	0,003		0	0,055	0	0	NO	1,012	NO
Grünland i.e.S.	0,786	1,658	1,264	1,9	0,857	1,474		1,519	0	0	NO	0,683	NO
Gehölze	0,128	0,148	0,015	0,8	0,031	0,127	0		0	0	NO	0,77	NO
Terrestr. Feuchtgebiete	2,125	1,894	0	0	2,26	2,669	0,949	2,397		0	NO	0,964	NO
Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0		NO	0	NO
Torf	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		NO	NO
Siedlungen	0	0	0	0,002	0	0	0	0	0	0	NO		NO
Sonstiges Land	0	0	0	0,389	0	0	0	0	0	0	NO	0,1	

kursive Werte: von Jahr zu Jahr veränderlich

positiv: Lachgasemission

6.1.2.8 Indirekte Lachgas-Emissionen (N_2O) aus bewirtschafteten Böden (CRF-Tabelle 4(IV))

Die indirekten N_2O -Emissionen, die durch Verluste an organischer Bodensubstanz infolge von Landnutzungsänderungen bzw. Bewirtschaftungsmaßnahmen entstehen, wurden gemäß der IPCC Guidelines 2006 (IPCC (2006) ermittelt und in der CRF-Tabelle 4(IV) ausgewiesen. Die indirekten N_2O -Emissionen infolge atmosphärischer Deposition werden im Sektor Landwirtschaft (CRF 3.B.2.5) berichtet. In der CRF-Tabelle 4(IV) sind die entsprechenden Spalten

deshalb mit dem notation key IE versehen. Zur Ermittlung der indirekten Lachgasemissionen wurden die für die einzelnen Landnutzungsänderungsflächen ermittelten Kohlenstoffvorratsänderungen durch die flächengewichteten mittleren C/N – Verhältnisse der entsprechenden Böden dividiert und somit die absoluten Veränderungen im Stickstoffvorrat der Böden bestimmt (Gleichung 11.8 in den IPCC Guidelines 2006, IPCC (2006)). Die C/N-Verhältnisse für Waldböden entstammen der BZE-Wald (Wellbrock et al., 2016), die für Ackerlandböden, Grünland i.e.S., Gehölze und Terrestrische Feuchtgebiete der BZE-Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018). Die C/N-Verhältnisse für Siedlungsböden und Mineralböden der Kategorie Sonstiges Land wurden aus den Schätzprofilaten der BÜK 1000 n 2.3 (BGR 2011) abgeleitet (s. auch Kapitel 6.1.2.1.2).

Zur Abschätzung der indirekten Lachgasemissionen wurden die N-Vorratsunterschiede nach Gleichung 11.10 der IPCC Guidelines 2006 mit den Standardfaktoren $Frac_{Leach-(H)}$ ($0,3 \text{ kg N}_2\text{O-N (kg N)}^{-1}$) und dem EF_5 ($0,0075 \text{ kg N}_2\text{O-N (kg N)}^{-1}$) multipliziert (IPCC, 2006). Die Emissionsfaktoren für die indirekten Lachgasemissionen sind für das Jahr 2019 in Tabelle 372 aufgeführt und die Unsicherheiten werden in den Unsicherheiten-Kapiteln der Landnutzungskategorien beschrieben (vgl. Kapitel 6.4.3, 6.5.3, 6.6.3, 6.7.3 und 6.8.3). Die Ergebnisse werden in die CRF-Tabelle 4(IV) eingetragen.

Die Lachgasemissionen unterliegen ebenfalls der Übergangszeit und werden analog zu den Kohlenstoffvorratsänderungen auf 20 Jahre verteilt. Auch bezüglich der effektiven Übergangszeit gelten die für den Kohlenstoff anzuwendenden Methoden; zur Herleitung der impliziten Stickstoffemissionsfaktoren für den Wald gelten die diesbezüglich für den Kohlenstoff gemachten Ausführungen (vgl. Kapitel 6.1.2.1.1).

Die direkte Lachgas-Emissionen infolge des Zersatzes organischer Substanz aus der Verbleibkategorie Ackerland, werden gemäß IPCC Guidelines 2006 im Sektor Landwirtschaft unter 3.D.a.5 berichtet.

Tabelle 372: Implizite Emissionsfaktoren für indirekte Lachgasemissionen [kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹] infolge von Verlusten an organischer Substanz aus Mineralböden nach Landnutzungsänderung für das Jahr 2019

Implizite Emissionsfaktoren _{Mineralböden} [kg N ₂ O ha ⁻¹ a ⁻¹] für das Jahr 2019													
Initial\Final	Wald	Acker _{annuell}	Hopfen	Weinanbau	Obstanbau	Sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	Grünland i.e.S.	Gehölze	Terrestr. Feuchtgebiete	Gewässer	Torf	Siedlungen	Sonstiges Land
Wald		0,018	0	0	0	0	0	0,016	0	0	NO	0,091	NO
Acker _{annuell}	0,006		0,021	0,18	0,004	0,013	0	0,014	0	0	NO	0,07	NO
Hopfen	0	0,029		0	0	0	0	0	0	0	NO	0,179	NO
Weinanbau	0	0,002	0		0	0,125	0	0,003	0	0	NO	0,077	NO
Obstanbau	0,035	0,15	0,135	0,351		0,002	0	0,138	0	0	NO	0,067	NO
Sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0,031	0	0,222	0,001		0	0,012	0	0	NO	0,228	NO
Grünland i.e.S.	0,177	0,373	0	0,428	0,193	0,332		0,342	0	0	NO	0,154	NO
Gehölze	0,029	0,033	0,003	0,18	0,007	0,029	0		0	0	NO	0,173	NO
Terrestr. Feuchtgebiete	0,478	0,426	0	0	0,509	0,601	0,213	0,539		0	NO	0,217	NO
Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0		NO	0	NO
Torf	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		NO	NO
Siedlungen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NO		NO
Sonstiges Land	0	0	0	0,088	0	0	0	0	0	0	NO	0,022	

kursive Werte: von Jahr zu Jahr veränderlich

positiv: Lachgasemission

6.1.2.9 Verbrennung von Biomasse (CRF-Tabelle 4(V))

Die Verbrennung von Biomasse tritt in Deutschland einzig durch Waldbrände auf. Die dadurch entstandenen Emissionen werden in der CRF-Tabelle 4(V) eingetragen. Die methodische Beschreibung zu den Waldbränden befindet sich im Waldbrand-Kapitel 6.4.2.7.5 in der Landnutzungskategorie Wald.

Für die Landnutzungskategorien Ackerland, Grasland, Feuchtgebiete und Sonstiges Land gibt es keine Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse. Dabei wird für alle Kategorien nach kontrollierten Feuern und Wildfeuern unterschieden. Spontane Feuer (Wildfeuer) in diesen Landnutzungskategorien sind in Deutschland seltene Ereignisse und werden daher nicht erfasst: die Treibhausgasemissionen daraus sind zu vernachlässigen. In der CRF-Tabelle 4(V) wird NO (not occurring) eingetragen.

Anthropogen verursachte Großbrände, wie der Moorbrand im Vorjahr, konnten im Jahr 2019 nicht verzeichnet werden.

Kontrollierte Feuer (On-site burning von Biomasse) sind in Deutschland per Gesetz verboten (§ 3 DirektZahlVerpflV; DirektZahlVerpflV (2004)) und treten in Deutschland nicht auf. Dies betrifft alle Landnutzungskategorien. In der CRF-Tabelle 4(V) wird NO (not occurring) eingetragen.

6.1.2.10 Unsicherheiten

Die Unsicherheitenbestimmung im LULUCF Teil des deutschen Treibhausgasinventars folgt den Richtlinien der 2006 IPCC Guidelines und der Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2000). Bei Normalverteilung wird das 95 % Konfidenzintervall angegeben bzw. \pm die Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls oder 1,96 x der Standardfehler in % vom Mittelwert. Bei unsymmetrischen Verteilungen, hier meist logarithmisch-normalverteilte Daten, werden die Unsicherheiten in Prozent vom Lagemaß

dargestellt, als obere und untere Schranke; in der Regel ermittelt über die Quantile ($p = 0,025$ bzw. $p = 0,975$). Bei der Unsicherheitenfortpflanzungsrechnung wurde gemäß der oben angegebenen Richtlinien, im Sinne einer konservativen Abschätzung, der Abstand zwischen dem Extremwert des schiefen Achsenabschnitts zum Lagemaß per Definition zur Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls erklärt. Für die Holzprodukte konnte wegen fehlender Unsicherheiten für die Emissionsfaktoren keine Unsicherheitenberechnung durchgeführt werden (siehe auch Kapitel 11.3.1.5.3).

Die Gesamtunsicherheit des LULUCF-Teils des deutschen THG-Inventars beträgt demnach 15,4 % bezüglich des Levels der Emissionen. Den größten Beitrag zur Gesamtunsicherheit bedingen die CO₂-Emissionen (95,8 %), der Einfluss der Methan- (3,9 %) und Lachgasemissionen (0,3 %) auf die Gesamtunsicherheit ist marginal und praktisch kaum wahrnehmbar.

Bezogen auf die Pools tragen die organischen Böden mit Abstand den größten Beitrag (93,7 %) zur Gesamtunsicherheit des LULUCF-Inventars bei, insbesondere aus den Kategorien Grünland i.e.S. (90,2 %) und Ackerland_{annuell} (2,8 %); die Beiträge aller anderen Kategorien sind < 1 % für diesen Pool. Die Biomasse (3,6 %) trägt noch zählbar zur Gesamtunsicherheit bei. Hierfür ist die Waldbiomasse (89,3 %) Hauptursache; lediglich die Beiträge der Landnutzungskategorien Gehölze (5,5 %) und Grünland i.e.S. (4,8 %) sind noch wahrnehmbar. Die Kategorie Wald ist alleinige Ursache für die Unsicherheit der toten organischen Substanz (1,6 %) und Hauptursache (72,4 %) für den Beitrag der Unsicherheiten in Mineralböden (1,04 %) an der Gesamtunsicherheit.

Insgesamt bedingen die Landnutzungskategorien Grünland i.e.S (90,3 %), Wald (5,6 %) und Ackerland_{annuell} (3,0 %) 98,9 % der Gesamtunsicherheit des deutschen LULUCF-Inventars.

6.1.3 Qualitätssicherung und -kontrolle

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und für 4.A bis 4.G zusätzlich auch eine kategoriespezifische Qualitätskontrolle sowie eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Bei der QS kamen detaillierte Checklisten und Einzelchecks zur Überprüfung und Dokumentation der Ergebnisse entsprechend dem Qualitätsmanagement des Thünen Instituts (TI 2016) zum Einsatz. Die Thünen-Checklisten sowie andere für die QK wichtigen Dokumente werden von der Nationalen Koordinierungsstelle archiviert und sind somit auch zur externen Überprüfung verfügbar.

6.1.3.1 Qualitätsmanagement Emissionsinventare des Thünen-Instituts

Das Qualitätsmanagement der Emissionsinventarerstellung am Thünen-Institut wurde konform zu den IPCC-Richtlinien und dem QSE-Handbuch (Kapitel 1.3.3) entwickelt. Rahmenbedingungen und Durchführung des Qualitätsmanagements sind im Konzept (BMELV, 2016) und in der Ausführungsbestimmung des Konzepts (TI, 2016) ausführlich beschrieben. Alle Dokumente und Daten werden in der Inventarbeschreibung abgelegt, die von der Nationalen Koordinierungsstelle archiviert wird. Die Vorgaben und Abläufe der Ausführungsbestimmung wurden vollständig eingehalten. Im Folgenden werden die besonderen zusätzlichen Qualitätskontrollen für diese Submission beschrieben.

6.1.3.2 Eingangsdaten, Berechnungsverfahren und Emissionsergebnisse

Im ersten Schritt wurde die Landnutzungsmatrix qualitätskontrolliert und zur Emissionsberechnung freigegeben. Die Prüfungen umfassten die Entscheidungsbäume und die Ergebnisse der jährlichen Landnutzungsmatrix und der 20-jährigen Übergangszeit. Im

Folgenden sind wichtige Testkriterien für die Landnutzungsmatrix gelistet, die in der Prüfung zum Einsatz kamen. Diese gehen über die Anforderungen der Ausführungsbestimmung hinaus. Sie gelten für die gesamte Landnutzungsmatrix und die beiden Teilmatrizen für Mineral- und organische Böden:

- Die nationale Fläche ist konstant.
- Die nationale Fläche ist die gleiche wie im Vorjahr.
- Die Flächen der Landnutzungskategorien sind gleich oder kaum unterschiedlich zum Vorjahr bzw. Unterschiede sind erklärbar.
- Die Flächen und Flächentrends sind konsistent mit statistischen Daten bzw. Unterschiede sind erklärbar.
- Die Summen der Gesamtflächen, bestehend aus verbleibenden Flächen und Landnutzungsänderungen, sind korrekt.
- Sonstige Flächen sind konstant oder nehmen ab; es findet keine Landnutzungsänderung zu sonstigen Flächen statt.
- Torfabbauflächen wurden getrennt ausgewiesen.
- Die Wald- und ARD-Flächen zwischen LULUCF und KP-LULUCF sind konsistent.

Die Emissionsberechnungen wurden mit der qualitätsgeprüften Landnutzungsmatrix durchgeführt. Aus den Flächendaten und Emissionsfaktoren bzw. impliziten Emissionsfaktoren (IEF) werden in Tabellen schrittweise die Emissionsberechnungen für jährliche Landnutzungsänderungen und die Übergangszeit durchgeführt. Die Tabellen wurden geprüft hinsichtlich:

1. Korrektheit der Berechnungen,
2. Konsistenz in der Zeitreihe,
3. Konsistenz mit den Berechnungen des Vorjahres.

Außerdem kamen folgende Testkriterien zum Einsatz:

Emissionsfaktoren:

- Die Berechnungen der Emissionsfaktoren bzw. impliziten Emissionsfaktoren (IEF) sind korrekt.
- Die Zeitreihe der Emissionsfaktoren ist konsistent; Änderungen von Jahr zu Jahr sind erklärbar.
- Die Emissionsfaktoren sind gleich denen des Vorjahres außer bei Änderungen in Daten und Methoden: neue Emissionsfaktoren sind plausibel. Unterschiede zu denen des Vorjahres sind erklärbar und vollständig dokumentiert.
- Unsicherheiten sind korrekt angegeben und konsistent mit denen des Vorjahres.
- Die Daten sind konsistent zwischen Konventions- (LULUCF) und Kyoto- (KP-LULUCF) Berichterstattung.

Berechnungen:

- Die Basisberechnungen, die Berechnungen für die jährlichen Landnutzungsänderungen und die Übergangszeit sind korrekt.
- Die Übersichtstabellen, die die Grundlage für die CRF-Tabellen und den Text bilden, sind korrekt.
- Die Emissionsergebnisse sind konsistent mit denen des Vorjahres bzw. Unterschiede aufgrund neuer Daten und Methoden erklärbar.
- Die Berechnungen sind konsistent zwischen Konventions- (LULUCF) und Kyoto- (KP-LULUCF) Berichterstattung.

Ergebnisse der Qualitätskontrollen:

1. Alle Berechnungen sind korrekt.
2. Die Zeitreihen sind konsistent. Größere Änderungen von Jahr zu Jahr sind ausschließlich bedingt durch die Periodizität der Daten und lineare Interpolationen dazwischen.
3. Es wurden keine unerklärbaren Ausreißer der relativen Differenzen der Emissionen zum Vorjahr gefunden. Alle Änderungen gegenüber dem Vorjahr waren korrekt dokumentiert und sind im Nationalen Inventarbericht enthalten.

Nach Eingabe der Aktivitätsdaten und impliziten Emissionsfaktoren (IEF) in die ZSE-Datenbank (Zentrales System Emissionen) wurde zur Kontrolle ein Abgleich der im ZSE berechneten Emissionen mit den außerhalb der Datenbankumgebung errechneten Emissionsergebnissen durchgeführt. Die Schritte der Qualitätskontrolle und ihre Ergebnisse sind in der Inventarbeschreibung vollständig dokumentiert, die ebenfalls von der Nationalen Koordinierungsstelle archiviert wird.

6.1.3.3 Verifizierung

Für die Erstellung des Inventars im LULUCF-Sektor werden vor allem Daten von Inventuren und Erhebungen verwendet, die ein Alleinstellungsmerkmal in Deutschland aufweisen. Das heißt, es gibt keine vergleichbaren Daten, die es ermöglichen würden, diese zu verifizieren. Darunter zählen beispielsweise die Bundeswaldinventur (BWI), die Bodenzustanderhebungen Wald und Landwirtschaft (BZE), die ATKIS-Daten, die Waldbrandstatistik u.a., die als Primärstatistiken zur Verfügung stehen. Um die Qualität der Daten zu gewährleisten, haben Inventuren wie zum Beispiel die BWI und BZE eigene umfangreiche Qualitätssicherungen und -kontrollen (siehe auch Kapitel 6.4.4). Alle verwendeten Ergebnisse beinhalten Fehlerangaben, die in die Unsicherheitenberechnung des LULUCF-Inventar einfließen.

Die Ergebnisse bzw. impliziten Emissionsfaktoren (IEF), differenziert nach Kohlenstoffpools und Landnutzungskategorien, wurden mit denen der Nachbarstaaten verglichen. Details dazu finden sich in den jeweiligen Kapiteln „Kategorie-spezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung“ der Landnutzungskategorien.

6.1.3.4 Reviews und Reports

2018 wurde das deutsche LULUCF-Inventar von einem Expertengremium des Klimasekretariats sowie speziell die CM- und GM- Berichterstattung durch ein Gutachtergremium der EU begutachtet. Die Empfehlungen der Gutachter, die in der vorhergehenden Submission noch nicht aufgenommen wurden, konnten nun mehr umgesetzt werden:

1. Stratifizierung der perennierenden Ackerlandgehölze
 - Nach der Untergliederung der perennierenden Ackerlandgehölze in die Subkategorien Obst, Wein, Hopfen und Sonstige perennierende Ackerlandkulturen (Summe aus Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen), und dem stratifizierten Einzelnachweis der Ergebnisse der Emissionsberechnungen für diese Subkategorien im NIR (Kapitel 6.1ff, Kapitel 6.3ff und Kapitel 6.5ff), erfolgt der stratifizierte Einzelnachweis der Flächen und Emissionen für diese Subkategorien nun mehr auch in den CRF-Tabellen.
2. Zusätzliche, ergänzende und tiefere Ausführungen, um die Transparenz und Genauigkeit des Berichts zu verbessern bezüglich des Nachweises, dass der mittlere Kohlenstoffvorrat von Mineralböden unter Siedlungsflächen versiegelte und unversiegelte Flächen berücksichtigt, landesspezifisch ist, folglich der Methode Tier 2 entspricht und die

Emissionsberechnung gemäß den Vorgaben der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 4) erfolgt

- Es wurde eine vollständig neue Methode implementiert, zur Erfassung der Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden infolge von Landnutzungsänderungen von/zu Siedlungen. Sie beruht vollständig auf landesspezifischen Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren, berücksichtigt unterschiedliche Versiegelungsgrade und erfolgt gemäß den Vorgaben der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006)). Die Methode entspricht mindestens Tier 2 (Kapitel 6.1.2.1.6).

Folgenden Wünschen des ERT kann aufgrund unveränderter Datenlage derzeit nicht nachgekommen werden:

- Einzelausweisung der Flächen für Kurzumtriebsplantagen (KUP): Diese kann zum aktuellen Zeitpunkt nicht erfolgen, da diese Flächen nicht nutzungsspezifisch georeferenziert ausgewiesen werden; die Flächen werden durch Befragung lediglich statistisch erfasst. Die KUP sind flächenmäßig die mit Abstand kleinste perennierende Kulturform in Deutschland (1,4 % - 2,3 % der Ackerlandgehölzfläche; 0,2 - 0,3 ‰ der gesamten Landwirtschaftsfläche Deutschlands) und werden im Basis-Digitalen Landschaftsmodell des ATKIS® nur subsummiert, in einer Kategorie zusammen mit anderen Ackerlandgehölzen (Weihnachtsbaumkulturen und Baumschulen), erfasst; die Flächen dieser Subkategorie werden flächenscharf erhoben (Kapitel 6.3) und Emissionen mit entsprechend gewichteten, spezifischen Emissionsfaktoren berechnet (Kapitel 6.1.2.2 und Kapitel 6.1.2.3)

6.1.4 Geplante Verbesserungsmaßnahmen

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

6.2 Definitionen von Landnutzung, Klassifizierungssysteme und ihre Widerspiegelung in den LULUCF-Kategorien

6.2.1 Wälder

Die dem deutschen Inventar zugrunde liegende Definition von Wald entspricht den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 4, Chapter 2.2). Die Zuordnung nationaler Landnutzungssysteme zu dieser Kategorie erfolgt nach Tabelle 374 in Kapitel 6.3.2.1.

Grundlage der Berichterstattung ist die Walddefinition der Bundeswaldinventur (Polley, 2001):

Wald im Sinne der BWI ist, unabhängig von den Angaben im Kataster oder ähnlichen Verzeichnissen, jede mit Forstpflanzen bestockte Grundfläche. Als Wald gelten auch kahl geschlagene oder verlichtete Grundflächen, Waldwege, Waldeinteilungs- und Sicherungstreifen, Waldblößen und Lichtungen, Waldwiesen, Wildäsungsplätze, Holzlagerplätze, im Wald gelegene Leitungsschneisen, weitere mit dem Wald verbundene und ihm dienende Flächen einschließlich Flächen mit Erholungseinrichtungen, zugewachsene Heiden und Moore, zugewachsene ehemalige Weiden, Almflächen und Hutungen sowie Latschen- und Grünerlenflächen. Heiden, Moore, Weiden, Almflächen und Hutungen gelten als zugewachsen, wenn die natürlich aufgekommene Bestockung ein durchschnittliches Alter von fünf Jahren erreicht hat und wenn

mindestens 50 % der Fläche bestockt sind. In der Flur oder im bebauten Gebiet gelegene bestockte Flächen unter 1.000 m², Gehölzstreifen unter 10 m Breite und Weihnachtsbaum- und Schmuckreisigkulturen sowie zum Wohnbereich gehörende Parkanlagen sind kein Wald im Sinne der BWI. Wasserläufe bis 5 m Breite unterbrechen nicht den Zusammenhang einer Waldfläche.

Abweichend zur Walddefinition der BWI wurden Flächen, die dort als Wald zählen, aber als Waldkategorie Nichtholzboden erfasst wurden und somit unbestockt sind, bei der Kohlenstoffvorrats- und -änderungsberechnung als Nichtwald berücksichtigt. Kurzumtriebsplantagen werden bei der BWI separat erfasst, sind aber kein Wald in Sinne der Waldinventur, des Waldgesetzes und des Inventars und werden deshalb unter Ackerland berichtet.

Nach den IPCC 2006 Guidelines bleibt Neuwald 20 Jahre lang in der Neuwald-Kategorie und geht erst dann in die Verbleibkategorie über. Für die Aufforstungsfläche werden Daten ab 1970 berücksichtigt.

6.2.2 Ackerland

Die dem deutschen Inventar zugrunde liegende Definition von Ackerland entspricht der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 4, Chapter 3.2). Die Zuordnung nationaler Landnutzungssysteme zu dieser Kategorie erfolgt nach nach Tabelle 374 in Kapitel 6.3.2.1. Die Landnutzungskategorie Ackerland wird, beginnend mit der Submission 2020, in fünf Unterkategorien unterteilt: Ackerland_{annuell}, Hopfen-, Obst- und Weinanbauflächen sowie sonstige Ackerkulturen_{perennierend}. Letztere bilden die Summe aus Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen; die Flächen für diese können nur in Summe explizit ausgewiesen werden.

Übergänge zwischen diesen Unterkategorien werden wie Landnutzungsänderungen gehandhabt und im Tabellenwerk getrennt berichtet (CRF 4.B.1).

Für die Berechnung der Emissionen werden diese Landnutzungssysteme poolspezifisch stratifiziert:

Berechnung der Biomassevorräte: Jährlich variable Stratifizierung nach 65 annualen Kulturarten (Kapitel 6.1.2.3.3) und Dauerkulturen: Hopfen (Kapitel 6.1.2.3.4.4), Obst (Kapitel 6.1.2.3.4.1), Wein (Kapitel 0), und Sonstige perennierende Ackerlandkulturen (Summe von Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen (Kapitel 0)). Der Anteil der Dauerkulturen an der Gesamtfläche des Ackerlands betrug 2019 2,03 %.

- Berechnung der Emissionen aus Böden: Zeitlich konstante Stratifizierung nach organischen Böden und Mineralböden, weitergehend unterschieden nach Nutzung (vergl. Kapitel 6.1.2.1).
- Zuzüglich zur Fläche der organischen Böden unter Ackerland wird die Fläche der offenen Entwässerungsgräben ermittelt.

Berechnung der Emissionen aus Landnutzungsänderungen: Jährlich aktualisierte Stratifizierung nach Acker unter verbleibender Nutzung und Land, das in Acker umgewandelt wurde. Die Daten werden jährlich aus der Landnutzungsinformation übernommen (Kapitel 6.2 und Kapitel 6.3).

6.2.3 Grünland

Grünland im deutschen Inventar entspricht der Definition der 2006 IPCC Guidelines (Vol. 4, Chapter 3.2). Die Zuordnung nationaler Landnutzungssysteme zu dieser Kategorie erfolgt nach Tabelle 374 in Kapitel 6.3.2.1.

Grünland wird in zwei Unterkategorien unterteilt, zum einen in mit Gräsern und Kräutern bewachsene Flächen (Grünland im engeren Sinn / Grassland in a strict sense) und mit Gehölzen bestockte Flächen (Gehölze / Woody Grassland), die nicht der Walddefinition unterliegen. Des Weiteren zählt die Objektart 4106 „Sumpf, Ried“ aus dem Basis-DLM (Kapitel 6.3.2.1) dazu, bei der es sich um nicht drainierte organische Böden im Grünland handelt, im Folgenden auch als Nassgrünland bezeichnet. Der Anteil von Grünland i.e.S. an der Fläche des gesamten Grünlands betrug 2019 93,5 % (Mineralböden 79,5 %, organische Böden 14,0 %), der Anteil der Gehölzflächen 6,5 % (Mineralböden 6,2 %, organische Böden 0,3 %).

Die Unterkategorien umfassen folgende Flächennutzung und Pflanzenbestände:

- Wiesen, Weiden, Almen, Hutungen, Heideflächen, naturbelassenes Grünland, Erholungsflächen sowie Sumpf/Ried wurden unter „Grünland im engeren Sinne (Grünland i. e. S.)“ zusammengefasst.
- Hecken, Feldgehölze sowie Strauchbestände bilden die Unterkategorie „Gehölze“.

Übergänge zwischen diesen beiden Unterkategorien werden wie Landnutzungsänderungen gehandhabt.

Für die Berechnung der Emissionen werden die beiden Unterkategorien von Grünland poolspezifisch stratifiziert. Dafür werden flächengewichtete mittlere Kohlenstoffvorräte ermittelt, die im Inventar verwendet werden:

Berechnung der Biomassevorräte: Stratifizierung innerhalb der Unterkategorien nach Kulturarten. Für Grünland i.e.S. sind dies ober- und unterirdische Biomasse von Gräsern bzw. krautigen Pflanzen (Kapitel 6.6.2.2); für Gehölze wurde ein mittlerer Kohlenstoffvorrat für Heckenpflanzen und Feldgehölze ermittelt, gewichtet nach Artenzusammensetzung, Alter, Wuchsdichte und -höhe (Kapitel 6.6.2.2), der ein langfristiges Gleichgewicht repräsentiert.

- Berechnung der Emissionen aus Böden: Zeitlich konstante Stratifizierung nach organischen Böden und Mineralböden, weitergehend unterschieden nach Nutzung.
 - Emissionen aus organischen Böden werden in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand berichtet. (vergl. Kapitel 6.1.2.2). Außerdem wurde die Fläche der Entwässerungsgräben abgeschätzt.
- Berechnung der Emissionen aus Landnutzungsänderungen: jährlich aktualisierte Stratifizierung nach Grünland i.e.S. und Gehölze unter verbleibender Nutzung und Land, das in Grünland umgewandelt wurde. Die Daten werden jährlich aus der Landnutzungsinformation übernommen (Kapitel 6.2 und Kapitel 6.3).

6.2.4 Feuchtgebiete

Nach den 2006 IPCC Guidelines müssen in der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete alle Landflächen subsummiert werden, deren Böden zeitweise oder das ganze Jahr wassergesättigt oder mit Wasser bedeckt sind und die nicht unter die Landnutzungskategorien 4.A, 4.B, 4.C und 4.E fallen. Diese Flächen werden im deutschen Inventar in den Unterkategorien terrestrische Feuchtgebiete (IPCC: Other Wetlands) und Gewässer (IPCC: Flooded Land) zusammengefasst. Des Weiteren werden unter der Landnutzungskategorie Wetlands alle Flächen, die im Zusammenhang mit Torfabbau stehen, in einer weiteren Unterkategorie zusammengefasst (IPCC: Peat Extraction; vergl. 2006 IPCC Guidelines, IPCC (2006)). Diese Torfabbauflächen und deren Veränderung in der Zeit werden räumlich explizit erfasst und ausgewiesen.

In Deutschland ist der Großteil der ehemaligen Feuchtgebietsflächen drainiert (Tabelle 362), unterliegt hauptsächlich land- und forstwirtschaftlicher Nutzung oder findet sich in Siedlungsgebieten. 2019 waren dies 1.674 kha \pm 91,9 % der Gesamtfläche organischer Böden.

Gemäß der 2006 IPCC Guidelines werden diese somit in den entsprechenden Landnutzungskategorien (CRF 4.A - 4.C und 4.E) berichtet. In der Unterkategorie terrestrische Feuchtgebiete finden sich daher nur die wenigen, vom Menschen weniger beeinflussten, wenig drainierten und naturnahen Moorstandorte und sonstigen Feuchtgebiete auf mineralischen Böden sowie die Torfabbauflächen. In der Unterkategorie Gewässer wird ebenfalls nach dem Grad der anthropogenen Beeinflussung zwischen „überflutetem Land“⁹⁵, sowie „nicht regulierten“ und „regulierten natürlichen Gewässern“ unterschieden (nicht berichtspflichtig). Tabelle 373 verdeutlicht die nach diesen Vorgaben ermittelte Zuordnung der unter die Kategorie Feuchtgebiete fallenden Flächen Deutschlands für das Jahr 2019.

Tabelle 373: Unterteilung der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete gemäß 2006 IPCC Guidelines sowie Zuordnung der Gewässer- und terrestrischen Feuchtgebietsflächen [ha] Deutschlands in die entsprechenden Unterkategorien für das Jahr 2019.

4.D Feuchtgebiete [740.687ha]								
Terrestrische Feuchtgebiete [127.143 ha]				Torfabbau [17.848 ha]		Gewässer [595.696 ha]		
Mineralböden [19.831 ha]		Organische Böden [107.312 ha]		Organische Böden [17.848 ha]				
nicht drainiert [19.831 ha]		drainiert [95.400 ha] / nicht drainiert [11.912 ha]		drainiert [17.848 ha]				
Verbleibend [19.333 ha]	Verändert [498 ha]	Verbleibend inkl. alle nicht drainierten [104.835 ha]	Verändert (drainiert) [2.477 ha]	Ver- bleibend [17.317ha]	Ver- ändert [531 ha]	Verbleibend [591.181 ha]	Verändert [4.515 ha]	
Natürliche und naturnahe Feuchtgebiete (z.B. Sümpfe, Fluss- und Bachläufe)		Natürliche und naturnahe Moore (z.B. Torfgebiete, Niedermoore)		Torfabbaugebiete		Natürliche und künstliche stehende und fließende Gewässer		
Keine Emissionen	Emissionen aus Mineral- böden, Biomasse	Emissionen aus organischen Böden, Biomasse		Emissionen aus organischen Böden, Biomasse		Emissionen aus on- site, off-site	Keine Emissionen	Emissionen aus Biomasse

Das Emissionsverhalten der Unterkategorien Torfabbau, Terrestrische Feuchtgebiete und Gewässer ist unterschiedlich ausgeprägt. Daher werden sie als eigenständige Unterkategorien geführt und in den CRF-Tabellen (4.D und 4.(II)) getrennt berichtet (Details siehe Kapitel 6.3). Die Berechnung der Landflächen erfolgt für die Landnutzungskategorie Feuchtgebiete durch eine jährlich aktualisierte Stratifizierung nach Terrestrischen Feuchtgebieten, Gewässern und Torfabbauflächen umgewandelt wurde. Die Daten werden jährlich aus der Landnutzungsinformation übernommen (Kapitel 6.3). Umwandlungen zwischen den Subkategorien werden wie Landnutzungsänderungen aus anderen Landnutzungskategorien behandelt.

Für die Berechnung der Emissionen werden die Unterkategorien Torfabbau, Terrestrische Feuchtgebiete und Gewässer, poolspezifisch stratifiziert. Dafür werden flächengewichtete mittlere Kohlenstoffvorräte ermittelt, die im Inventar verwendet werden:

Verbleibkategorie:

⁹⁵ Wasserkörper, die durch menschliche Aktivitäten reguliert werden und starke Wasserstandsschwankungen bzw. Änderungen im Flächenbedeckungsgrad aufweisen (Staubecken usw.) (2006 IPCC Guidelines)

- Berechnung der Biomassevorräte: In den Unterkategorien Gewässer und Torfabbau kommt keine Biomasse vor. Für die Unter­kategorie Terrestrische Feuchtgebiete wurde die Biomasse aus den Werten für Grünland i.e.S. und Gehölzen hergeleitet (Kapitel 6.7.2.2).
- Berechnung der Emissionen aus Mineralböden: Für Gewässerflächen werden keine Bodenkohlenstoffvorräte ausgewiesen; Torfabbauf­lächen finden sich ausschließlich auf organischen Böden. Im Tabellenwerk werden sie als „not occurring“ (NO) aufgeführt. Für die Unter­kategorie Terrestrische Feuchtgebiete werden die Emissionen aus Mineralböden aus Werten für Grünland i.e.S. hergeleitet (Kapitel 6.1.2.1.7).
- Berechnung der Emissionen aus organischen Böden: Für die Torfabbauf­lächen werden on-site- und off-site-Emissionen (Kapitel 6.7.2) berechnet, gemäß 2006 IPCC Guidelines bzw. 2013 IPCC Supplement Wetland. Die Unter­kategorie Terrestrische Feuchtgebiete wird in nasse (Grundwasserflurabstand < 0,1 m) und drainierte Flächen (Grundwasserflurabstand > 0,1 m) unterteilt (vergl. Kapitel 6.1.2.2); es werden on-site Emissionen berichtet; für die Unter­kategorie Gewässer werden keine Emissionen berichtet.

Übergangskategorien:

- Berechnung der Biomassevorräte: Bei Landnutzungsänderungen zu Gewässern wird der Biomassevorrat auf Null gesetzt. Für die Unter­kategorie terrestrische Feuchtgebiete wurde die Biomasse aus den Werten für Grünland i.e.S. und Gehölzen hergeleitet (Kapitel 6.7.2.2, vergl. Kapitel 6.1.2.3).
- Berechnung der Emissionen aus Böden: In der Unter­kategorie Gewässer treten keine Emissionen auf; für die terrestrischen Feuchtgebiete wird zeitlich konstant nach organischen Böden und Mineralböden unterschieden. Für organische Böden werden on-site Emissionen berichtet in Abhängigkeit vom Wasserstand (Kapitel 6.1.2.2). Mineralbodenemissionen treten nur in der Subkategorie Terrestrische Feuchtgebiete auf, da Torfabbauf­lächen per Definition keine Mineralböden aufweisen.

6.2.5 Siedlungen

Die Beschreibung der nationalen Landnutzungssysteme im Zusammenhang mit Siedlung und Verkehr, sowie deren Zuordnung zur IPCC-Landnutzungskategorie Siedlungen sind in Tabelle 374 in Kapitel 6.3.2.1 dargestellt. Die dem deutschen Inventar zugrunde liegende Definition von Siedlung entspricht der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 4, Ch. 2.2). Die gesamte Siedlungsfläche wurde in einer Kategorie zusammengefasst.

Siedlungsbereiche weisen erhebliche Anteile an unversiegelten, mit Vegetation bedeckten Flächen auf. Stichprobenuntersuchungen haben ergeben, dass der Anteil der überbauten und versiegelten Fläche an der ausgewiesenen Siedlungs- und Verkehrsfläche Deutschlands zwischen 40–50 % beträgt (BKG, 2015; Einig et al., 2009). Daher wird die unversiegelte, i.d.R. begrünte Fläche im deutschen Inventar im Mittel auf 50 % der Siedlungsfläche festgelegt.

Weitere Erhebungen zeigen, dass Verkehrswege i.d.R. 30 – 40 % der versiegelten Fläche bilden; folglich entfallen 60 – 70 % auf Gebäude bzw. sonstige Bauwerke (BKG, 2015; Statistisches Bundesamt, FS 3, R 5.1). Dies gilt für alle Bundesländer mit Ausnahme der Stadtstaaten; hier beträgt der Anteil der Verkehrsflächen nur ca. 22 %; bundesweit waren es 2018 35 % (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 5.1).

Aufgrund dieser Erkenntnisse wird für Siedlungsflächen im deutschen Inventar daher folgende Landbedeckung unterstellt:

- 50 % unversiegelte Flächen (z.B. Parks, Hausgärten, Kleingartenanlagen, Rekreationsräume, Straßenbegleitgrün etc.)
- 17,5 % Verkehrsflächen (z.B. Straßen, Wege, Plätze, Parkflächen etc.)
- 32,5 % Flächen mit Bauwerken (z.B. Wohn- und Geschäftshäuser, Industriebauten, Produktionsstätten, Lagerhallen etc.)

Für die Berechnung der Emissionen wird in der Landnutzungskategorie poolspezifisch stratifiziert. Dafür werden flächengewichtete mittlere Kohlenstoffvorräte ermittelt, die im Inventar verwendet werden:

Berechnung der Biomassevorräte: Für die Kategorie Siedlungen wurde die Biomasse aus den Werten für Grünland i.e.S. und Gehölzen hergeleitet (Kapitel 6.8.2.2, vergl. Kapitel 6.6.2.2).

- Berechnung der Emissionen aus Böden: Zeitlich konstante Unterscheidung nach organischen und Mineralböden. Die Kohlenstoffvorräte der Mineralböden werden in Abhängigkeit von der Landnutzung aus den Daten der Bodenzustandserhebungen Wald und Landwirtschaft abgeleitet unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Versiegelungsgrade (vergl. Kapitel 6.1.2.1). Für die organischen Böden werden als Proxy die Werte des Grünlands i.e.S. herangezogen (Kapitel 6.1.2.2).
- Berechnung der Emissionen aus Landnutzungsänderungen: Eine jährlich aktualisierte Stratifizierung nach verbleibender Nutzung und Land, das in Siedlungen umgewandelt wurde, wurde angewandt. Die Daten werden jährlich aus der Landnutzungsinformation übernommen (Kapitel 6.2 und Kapitel 6.3).

6.2.6 Sonstiges Land

Folgende im ATKIS® ausgewiesenen Objektarten werden im deutschen Berichtssystem, gemäß der 2006 IPCC Guidelines, der Kategorie „Other Land“ zugeordnet: „Vegetationslose Fläche“ (AAA_Ob.-Nr. 43007) und „Fläche z.Z. unbestimmbar“ (AAA_Ob.-Nr. 43008). Beschreibung und Zuordnung der Flächen erfolgte nach Tabelle 374 in Kapitel 6.3.2.1 und den dort beschriebenen Algorithmen.

6.3 Informationen zu den für die Ermittlung der Landflächen gewählten Ansätzen und zu den verwendeten Landnutzungs-Datenquellen

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

6.3.1 Einleitung

Die Methodik zur Erfassung von Landnutzungsänderungen im LULUCF-Sektor berücksichtigt zeitlich und räumlich konsistent alle Landnutzungen und Landnutzungsänderungen, getrennt für organische und mineralische Böden. Zur Anwendung kommt ein stichprobenbasiertes System. Die angewandte Methode beruht auf räumlich expliziten Beobachtungen und ist damit nach den 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 4 Kapitel 3.3.1) als „approach 3“ einzustufen. Entscheidungsgründe, die zur Anwendung des stichprobenbasierten Systems führten, sind im NIR 2017 (Umweltbundesamt (2017): Kap. 19.4) aufgeführt.

Das Stichprobensystem basiert ab der Submission 2020 auf einem regelmäßigen Raster von Stichprobenpunkten mit einem Abstand von 100 m x 100 m, welches über die Gesamtfläche Deutschlands gelegt wurde. Das gewählte Raster orientiert sich am Basis-DLM, welches als genauester zur Verfügung stehender Datensatz für Deutschland Flächen ab einer Größe von 1 ha aufnimmt. Es ergeben sich demnach 35.790.122 Stichprobenpunkte. Dies ermöglicht gegenüber

dem Raster früherer Submissionen (528.223 Punkte) eine deutliche Verbesserung in der Genauigkeit der Ausweisung von Landnutzung und Landnutzungsänderung auf organischen und mineralischen Böden in allen Landnutzungskategorien.

6.3.2 Datengrundlage und -aufbereitung

Die Herleitung der Landnutzungsmatrix (LUM) basiert auf dem Basis-DLM, wo notwendig ergänzt um weitere Datensätze (siehe Kapitel 6.3.2.1). Zur Nutzung einer Datenquelle müssen die durch Interpretation oder Modellierung zugewiesenen Landnutzungsklassen in die IPCC-Landnutzungskategorien überführbar sein. Dabei muss nicht jeder Datensatz alle Landnutzungskategorien ausweisen; mindestens eine der sechs Landnutzungskategorien ist ausreichend. Die Landnutzungsinformationen der verschiedenen Datensätze werden durch die geografische Lage den Stichprobenpunkten zugeordnet und somit stehen für jeden Stichprobenpunkt über die Zeit verteilte Informationen zur Verfügung.

Das Ziel dieses flexiblen Erfassungssystems ist es nicht, Landnutzungsänderungen möglichst häufig zu erfassen, sondern:

- aus der Menge an Informationen, die zuverlässigsten Landnutzungsinformationen zuzuweisen,
- Landnutzungsänderungen herauszufiltern und zu erfassen, sowie
- mögliche Unsicherheiten und Fehlerquellen zu eliminieren.

6.3.2.1 Datenquellen

Es wurden folgende Datenquellen/-sätze genutzt:

- Basis- Digitales Landschaftsmodell (Basis-DLM) zu den Zeitpunkten 2000, 2005, 2010, 2015 und 2019
- Karte organischer Böden Deutschlands
- OpenStreetMap aus dem Jahr 2013 (© OpenStreetMap-Mitwirkende)
- Corine Land Cover (CLC) 1990, 2000
- Digitales Landbedeckungsmodell (LBM-DE) zum Zeitpunkt 2012(LBM12)

Dabei entstammen die Landnutzungsinformationen überwiegend aus dem Basis-DLM. Am Beispiel 2018: 98,5 % aus dem Basis-DLM und 1,5 % aus dem OpenStreetMap. Informationen über 106 ha (0,0003 % der Punkte) wurden dem LBM12 entnommen.

Basis-DLM

Das Basis-Digitale Landschaftsmodell (Basis-DLM) ist die Grundlage des Amtlich Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS®) Deutschlands der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV). Das ATKIS® beschreibt die Oberfläche Deutschlands mit digitalen Landschafts- und Geländemodellen:

„Das Basis-DLM beschreibt die topographischen Objekte der Landschaft und das Relief der Erdoberfläche im Vektorformat. Die Objekte werden einer bestimmten Objektart zugeordnet und durch ihre räumliche Lage, ihren geometrischen Typ, beschreibende Attribute und Beziehungen zu anderen Objekten (Relationen) definiert. Jedes Objekt besitzt deutschlandweit eine eindeutige Identifikationsnummer (Identifikator). Die räumliche Lage wird für das Basis-DLM maßstabs- und abbildungsunabhängig im Koordinatensystem der Landesvermessung angegeben. Welche Objektarten das DLM beinhaltet und wie die Objekte zu bilden sind, ist im ATKIS®-Objektartenkatalog (ATKIS®-OK) festgelegt“ (AdV). Der Informationsumfang des Basis-DLM orientiert sich am Inhalt der Topographischen Karte 1:25.000, weist jedoch eine höhere Lagegenauigkeit ($\pm 3\text{m}$) für die wichtigsten punkt- und linienförmigen Objekte auf. Die Daten der

Basis-DLM der Länder werden vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) übernommen und für ein bundeseinheitliches Basis-DLM geprüft, harmonisiert, georeferenziert, blattschnittfrei aufbereitet und für die Abgabe an Bundesbehörden und andere in einer Datenbank verwaltet.

Der Zweck des ATKIS® ist die Bereitstellung eines möglichst aktuellen und hochauflösenden Landschaftsmodells (Landbedeckung) für Deutschland, dessen Geometrien und Inhalte regelmäßig aktualisiert und erweitert werden. Die Vermessungsverwaltungen der Bundesländer erheben die Daten fortlaufend und nicht bundesweit zu einem Stichtag. Somit werden neue Vermessungsergebnisse laufend an das BKG übermittelt und in das ATKIS® eingepflegt. Die Vorgabe für eine komplette Überarbeitung ist fünf Jahre, wird von den Bundesländern aber sehr unterschiedlich gehandhabt. In der Praxis liegt die Aktualität bei Vegetationsflächen zwischen einem und sieben Jahren; für Flächen mit sehr hoher Aktualität, insbesondere was Flächenänderungen betrifft, z.B. Siedlungs- und Verkehrsflächen, wird eine Transferzeit in das ATKIS® von drei bis zwölf Monaten angegeben. Das BKG pflegt immer nur die aktuelle Version des Basis-DLM. Es wird keine Historie aufgezeichnet, noch werden alte Versionen archiviert.

Das bedeutet für die Berichterstattung am Thünen-Institut:

- Jährlicher Bezug des Basis-DLM für die jeweiligen Berichtsjahre (September) und
- Archivierung der Version des jeweiligen Jahres institutsintern.

Die Basis-DLM-Datensätze liegen dem Thünen-Institut erst seit 2005 auf jährlicher Basis vor, sowie ein Datensatz für das Jahr 2000. Für die Jahre vor 2000 existieren keine ATKIS®-Daten. Wegen der mehrjährigen Überarbeitungszyklen werden Basis-DLM-Datensätze im Abstand von fünf Jahren verwendet, um regionale Artefakte von scheinbar plötzlichen Schüben der Landnutzungsänderungen im Aktualisierungsjahr zu vermeiden.

Ab 2009 wurde das Basis-DLM auf ein neues Datenmodell umgestellt, im Weiteren als „Basis-DLM (ab 2013)“ bezeichnet. In den Jahren 2009 bis 2012 lieferten einige Bundesländer im alten Modell und einige im neuen, seit 2013 gibt es das Basis-DLM (ab 2013) für ganz Deutschland.

Das Basis-DLM (bis 2012) besteht aus etwa 800 einzelnen Layern pro Datensatz, welche sich in ihrem Detaillierungsgrad unterscheiden. So liegen bspw. Polygone mit geringer Detailschärfe (z.B. Siedlungsfläche) zuunterst; Polygone mit sehr hohem Detaillierungsgrad (z.B. Wohngebiet) zuoberst. Daraus resultieren zahlreiche mehrfach übereinander liegende Polygone in einem Datensatz, welche jedoch inhaltlich den gleichen LULUCF-Kategorien zugeordnet werden können. Dieser gesamte Inhalt wird mit allen Überlagerungen eingelesen. Dadurch gibt es nur noch dort Datenlücken, wo im gesamten Basis-DLM keine Daten vorhanden sind. Anschließend werden die Flächen mit den Punkten des THG-Stichprobenrasters verschnitten. Bei Punkten, die mehrere übereinander liegende Flächen treffen, wird mit Hilfe einer Prioritätenliste nur ein Wert übernommen. Wenn gleiche Prioritäten überlagern (z.B. Vegetation mit Vegetation), dann wird die Fläche mit der niedrigeren ATKIS® eigenen Identifikation gewählt. Dieses Verfahren wurde für das Basis-DLM (bis 2012) aus den Jahren 2000, 2005, 2010 durchgeführt. Die Kategorien des Basis-DLM (bis 2012) werden über eine Schlüsseltabelle den LULUCF-Kategorien zugeordnet (siehe auch Tabelle 374).

Das neue Datenmodell (Basis-DLM (ab 2013)) bietet einen Layer „Tatsächliche Nutzung“. „Alle Objektarten dieses Objektartenbereichs nehmen an der lückenlosen, überschneidungsfreien und flächendeckenden Beschreibung der Erdoberfläche teil (Grundflächen).“ Dadurch gibt es kaum noch Flächen, die übereinander liegen. Grundsätzlich hat sich die Qualität der Daten deutlich verbessert: Während nach dem Verwenden aller Flächen aus dem Basis-DLM (bis 2012) noch etwa 0,05 % der Punkte keine Information aus dem Basis-DLM zugewiesen werden konnte, sind

es mit dem Basis-DLM (ab 2013) nur noch 0,0003 %. Die Kategorien des Basis-DLM (ab 2013) werden über eine Schlüsseltablelle den LULUCF-Kategorien zugeordnet (siehe auch Tabelle 374).

Karte organischer Böden Deutschlands

Die Karte organischer Böden Deutschlands ist eine durch die Humboldt-Universität zu Berlin erstellte Karte im Maßstab 1:25.000, die organische Böden entsprechend der IPCC-Definition sowie ihre Kohlenstoffvorräte ausweist (Roßkopf et al., 2015). Sie wird in der Landnutzungserkennung verwendet, um Mineralböden und organische Böden zu unterscheiden.

OpenStreetMap® (OSM)

Aus dem Basis-DLM konnte die Flächeninformation zum deutschen Straßennetz nicht abgeleitet werden. Daher wurde diese aus der freien Weltkarte OpenStreetMap extrahiert. Das Projekt OpenStreetMap begann als reine Straßenkarte. Inzwischen ist es die größte freie Geodatenbank der Welt (siehe auch www.openstreetmap.org). Die Linienelemente des Straßennetzes wurden anhand der Kategorie der jeweiligen Straße mit einem entsprechend breiten Buffer versehen ; so wurde ein Layer mit Verkehrsflächen generiert, welcher mit dem Punktgitter verschnitten wurde.

CORINE Land Cover Daten (CLC)

CORINE Land Cover (CLC) ist ein europäisches Fernerkundungsprojekt zur einheitlichen Klassifikation der Landnutzung und Landnutzungsänderung, welches von der EU-Kommission Mitte der 1980er Jahre initiiert wurde. Digitale Satellitenbilder europäischer Staaten werden gesammelt und hinsichtlich Änderungen in der Flächennutzung einheitlich ausgewertet. Es stehen Daten der vier Aufnahmezeitpunkte 1990, 2000, 2006 und 2012 zur Verfügung. Mit Hilfe einer Übersetzungstabelle wurden die CORINE-Klassen den LULUCF-Kategorien zugeordnet (siehe auch Tabelle 374). CLC wird ausschließlich für die Ableitung der Landnutzung 1990 verwendet, da vor 2000 keine anderen deutschlandweiten Daten verfügbar sind.

Landbedeckungsmodell (LBM)

Das LBM wird vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) herausgegeben und ist entstanden, um Corine Land Cover für Deutschland aus dem Basis-DLM abzuleiten. Die Geometrien vom Basis-DLM werden mit Hilfe von Satellitenaufnahmen überprüft und aktualisiert, dadurch entsteht ein lückenloser Datensatz der Landbedeckung mit hoher Aktualität und hoher Qualität. Das erste LBM stammt von 2012 und erschien im Frühjahr 2016, Anfang 2019 erschien das LBM 2015. Aus zwei Gründen ist das LBM nur bedingt mit dem Basis-DLM vergleichbar: 1. nimmt das Basis-DLM Landnutzung und das LBM Landbedeckung auf, 2. hat das Basis-DLM eine fortlaufende Aktualisierung über mehrere Jahre und das LBM eine jahresgenaue Aufnahme.

Zuordnungsschlüssel zwischen Datenquellen- und IPCC-Kategorien

Die unterschiedlichen Definitionen für Landnutzung der zugrunde liegenden Datenquellen wurden den LULUCF-Berichtskategorien zugeordnet (Tabelle 374).

Im Basis-DLM wurde der Objektartenkatalog mit der Einführung des neuen AAA-Modells verändert, deswegen gibt es ab 2013 eine neue Zuordnungstabelle. Den sechs IPCC Landnutzungskategorien werden den Objektarten aus dem Basis-DLM (AAA-Ebenen) des ATKIS® direkt zugeordnet (Tabelle 374).

Bei der Erstellung der Landnutzungsmatrix erfolgt die Zuordnung der Rasterpunkte rechnergestützt und vollautomatisch mittels dafür erstellter Programme. Die Zuordnungsschlüssel dieser Klassifizierungssysteme sind zu diesem Zweck digital hinterlegt, so dass stets eine eindeutige Zuordnung eines Rasterpunktes zu einer

Objektartenschlüsselnummer und somit zu einer Landnutzungskategorie führt, unabhängig von der Datenquelle. Die Scripte für diese Programme werden in der Inventarbeschreibung vorgehalten.

Tabelle 374: Zuordnung von Hauptobjektartenschlüsselnummern und Attributen des ATKIS® zu den IPCC-Landnutzungskategorien

Objektnummer AAA-Ebenen	Attribut AAA- Ebenen	Objektnummer Ebenen	ATKIS® Objektartenkatalog		Beschreibung/Attribute n. ATKIS® Objektartenkatalog	CORINE Land Cover Nomenklatur-Code
			Objekttyp			
IPCC-Kategorie: Wald						
43002	VEG Alle	4107	Wald		Laub-, Nadel- und Mischwald	311; 312; 313; 324
IPCC-Kategorie: Ackerland						
43001	VEG 1010	4101	Landwirtschaft: Ackerland		Fläche für den Anbau von Feldfrüchten (z.B. Getreide, Hülsenfrüchte, Hackfrüchte) und Beerenfrüchten (z.B. Erdbeeren). Zum Ackerland gehören auch die Rotationsbrachen, Dauerbrachen sowie Flächen, die zur Erlangung der Ausgleichszahlungen der EU stillgelegt worden sind.	211; 212
43001	VEG 1012	4109	Landwirtschaft: Hopfen		Hopfen	keine Zuordnung
43001	VEG 1030	4103	Landwirtschaft: Gartenland		Gartenland ist eine Fläche für den Anbau von Gemüse, Obst und Blumen sowie für die Aufzucht von Kulturpflanzen.	242
43001	VEG 1031	4109	Landwirtschaft: Baumschule		Baumschule	keine Zuordnung
43001	VEG 1040	4109	Landwirtschaft: Weingarten		Weingarten	221
43001	VEG 1050	4109	Landwirtschaft: Obstplantage		Obstplantage	222
IPCC-Kategorie: Grünland						
43001	VEG 1020	4102	Landwirtschaft: Grünland		Grünland ist eine Grasfläche, die gemäht oder beweidet wird.	231; 321;421
43004		4104	Heide		Heide ist eine meist sandige Fläche mit typische Sträuchern, Gräsern und geringwertigem Baumbestand.	322
43006		4106	Sumpf	Grünland i.e.S.	Sumpf ist ein wassergesättigtes, zeitweise unter Wasser stehendes Gelände. Nach Regenfällen kurzzeitig nasse Stellen werden nicht als Sumpf erfasst.	411
43007	FKT 1300		Unland und Vegetationslose Fläche: Naturnahe Fläche		Naturnahe Fläche ist eine nicht zum Anbau von Kulturpflanzen genutzte Fläche, die mit Gras, Wildkräutern und anderen Pflanzen bewachsen ist.	keine Zuordnung
43003		4108	Gehölz		Fläche, die mit einzelnen Bäumen, Baumgruppen, Büschen, Hecken und Sträuchern bestockt ist.	243
43007	FKT 1200		Unland und Vegetationslose Fläche: Sukzessionsfläche		Sukzessionsfläche ist eine Fläche, die dauerhaft aus der landwirtschaftlichen oder sonstigen bisherigen Nutzung herausgenommen ist und die in den Urzustand z. B. Gehölz, Moor, Heide übergeht.	keine Zuordnung
IPCC-Kategorie: Feuchtgebiete						
43005		4105	Moor	terrestrische Feuchtgebiete	Unkultivierte Fläche, deren obere Schicht aus vertorften oder zersetzten Pflanzenresten besteht	412
41005	AGT 4010	2301	Tagebau: Torfabbau			keine Zuordnung
44001 bis 44007		5101 - 5203, 3402	Gewässer		z.B. Stauseen, Flüsse ab 12 m Breite, Kanäle, Speicherbecken, veränderliche Ufer. 3402 sind Hafenbecken und somit Gewässer und nicht Siedlung (In AAA 44005).	511; 512; 423; 521; 522; 523

			ATKIS® Objektartenkatalog		CORINE Land Cover
Objektnummer AAA-Ebenen	Attribut AAA- Ebenen	Objektnummer Ebenen	Objekttyp	Beschreibung/Attribute n. ATKIS® Objektartenkatalog	Nomenklatur-Code
IPCC-Kategorie: Siedlungen					
41001 bis 41010		2101-2352	Siedlung	Siedlung beinhaltet die bebauten und nicht bebauten Flächen, die durch Ansiedlung von Menschen geprägt werden oder zur Ansiedlung beitragen.	111; 112; 121; 131; 132; 133; 141; 142
42001 bis 42016		3101-3543	Verkehr	Verkehr enthält die bebauten und nicht bebauten Flächen, die dem Verkehr dienen.	122; 123; 124
43007	FKT 1100		Unland und Vegetationslose Fläche: Gewässerbegleitfläche	Gewässerbegleitfläche bezeichnet eine bebaute oder nicht bebaute Fläche, die einem Fließgewässer zugeordnet wird.	122; 123; 124
IPCC-Kategorie: Sonstiges Land					
43007	FKT 1000	4120	Unland und Vegetationslose Fläche: Vegetationslose Fläche	Fläche ohne nennenswerten Bewuchs aufgrund besonderer Bodenbeschaffenheit wie z.B. nicht aus dem Geländere relief herausragende Felspartien, Sand- oder Eisflächen.	331; 332; 333; 334; 335
43008		4199	Fläche z.Z. unbestimmbar	Fläche, deren Merkmale hinsichtlich der Zuordnung zu den Objektarten gegenwärtig nicht bestimmt werden können.	keine Zuordnung

6.3.2.2 Ableiten der LULUCF-Informationen

Das THG Stichprobenraster wird mit den beschriebenen Karten verschnitten und jedem Punkt werden alle relevanten Informationen aus den Karten zugeordnet. Anschließend durchläuft jeder Punkt einen Entscheidungsbaum, wo ab dem Jahr 2000 grundsätzlich die Information aus dem Basis-DLM verwendet wird. Nur wenn die Information im Basis-DLM nicht verfügbar ist, wird sie den anderen Karten entnommen.

Die Ergebnisse für Wald wurden mit den Zahlen der Bundeswaldinventur (BWI) verglichen. Das Basis-DLM nimmt auch baumbewachsene Flächen auf, die nicht zwangsläufig der in der Berichterstattung zugrunde gelegten Walddefinition der BWI entsprechen. Dennoch war die Übereinstimmung der Waldfläche aus beiden Datensätzen in der Regel ausgezeichnet; Unterschiede waren kleiner 1 %, so dass das Ergebnis der Flächen als konsistent zur Walddefinition der Berichterstattung angesehen werden kann.

Das Basis-DLM (bis 2012) wurde schrittweise bis 2008 erweitert, was dazu führt, dass die Erhebungen vor 2008 weniger umfangreich sind. Das wirkt sich auf zwei Kategorien aus: Die Flächen für Torfabbau sind vor 2008 unvollständig (also zu gering) und die Aufteilung der Sonderkulturen in die Klassen Hopfen, Wein, Obstbäume und Baumschulen war vor 2008 unzureichend. Für den Torfabbau wurden die Erhebungen vor 2008 mit Basis-DLM 2008 gleichgesetzt, also bekamen alle Punkte, die im Basis-DLM 2008 Torfabbau hatten, diese Landnutzung auch für 2005, 2000 und 1990 zugeordnet. Ähnlich wird bei den Sonderkulturen vorgegangen: Alle Punkte, die vor 2008 als Sonderkultur aufgenommen wurden, bekommen nun die konkrete Sonderkultur, also Hopfen, Wein, Obstbäume oder Baumschule zugeordnet. In den Fällen, wo ein Punkt vor 2008 eine Sonderkultur hatte, 2008 aber nicht mehr, wurde ihm in den meisten Fällen die Klasse mit der höchsten Biomasse (Baumschule) zugeordnet, um konservativ zu rechnen. In den Bundesländern Rheinland-Pfalz und Hessen, wo viel Wein angebaut wird, wurde diesem Punkt Wein als Sonderkultur zugewiesen.

Grundsätzlich problematisch ist die Ableitung von Landnutzung und Landnutzungsänderungen von 1990 zu 2000. Da vor 2000 keine Basis-DLM-Daten vorhanden sind, muss Corine Land Cover (CLC) für 1990 verwendet werden, womit ein Wechsel in der Datengrundlage von 1990 zu 2000 (CLC zu Basis-DLM) unumgänglich ist. Die 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 1 Ch. 5.3.3)

empfehlen für diesen Fall den "Overlap Approach". Daher wurde die ältere Datenreihe (CLC) mittels der Überlappung an die neuere Datenreihe (Basis-DLM) angeglichen. Im Ergebnis bedeutet dies eine Rückwärtsextrapolation der Basis-DLM-Daten für 2000 mit dem Trend aus den CLC-Daten für 1990 und 2000.

Entsprechend den 2006 IPCC Guidelines werden für die Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention bereits Flächennutzungsänderungen seit 1970 berücksichtigt. Damit werden die Übergangskategorien bereits mit Flächendaten gefüllt, so dass sie ab 1990 einen stabilen dynamischen Zustand mit Zugängen von neuen Umwandlungsflächen und Abgängen von Flächen in die Verbleibkategorie erreichen. Da für Deutschland erstmals zum Zeitpunkt der BWI 1987 georeferenzierte Daten zur Verfügung stehen, wurden die Veränderungen aller Landnutzungskategorien der Periode 1990-2000 bis zum Jahre 1970 rückwirkend extrapoliert, da bundesweit für den Zeitraum vor 1990 keine vollständigen und vor allem keine zueinander konsistenten Datensätze zur Verfügung stehen. Dies entspricht z.B. dem Vorgehen der Tschechischen Republik und Österreichs für die Landnutzungsmatrix.

6.3.3 Fehlerbetrachtung

Bei der verwendeten Stichprobenmethode lassen sich verschiedenen Fehlerquellen unterscheiden, wie:

- der Stichprobenfehler,
- Definitionsunterschiede,
- voneinander unterschiedliche Minimum Mapping Units und
- Fehler bei der Georeferenzierung der Datensätze.

Die Fehlerquellen Definitionsunterschiede, unterschiedliche Minimum Mapping Units und ungenaue Georeferenzierung können nicht quantifiziert werden und nur der Stichprobenfehler wird in die Unsicherheitsbetrachtung einbezogen.

6.3.4 Schrittweise Implementierung

Die vollständige Umsetzung des hier beschriebenen Systems zur zeitabhängigen Erfassung der Landnutzung und -änderungen für ganz Deutschland erfordert umfangreiche Vor- aber auch ständige Begleitarbeiten. So müssen:

- die verschiedenen Datenmaterialien für unterschiedliche Zeitpunkte akquiriert werden,
- geometrische Korrekturen (defekte Geometrien, etc.) bzw. Kontrollen durchgeführt werden,
- Konvertierungsfunktionen geschrieben werden, um die Ursprungsklassifizierung in die verwendete Kategorisierung zu überführen,
- die Stichprobenpunkte mit den Kartenwerken verschnitten werden,
- der Entscheidungsbaum programmiert und je nach Datenlage angepasst werden und
- die „Transition Time“-Prozeduren programmiert und je nach Datenlage angepasst werden.

Die Entscheidung für dieses flexible, stichprobenbasierte System wurde in Abstimmung mit der Nationalen Koordinierungsstelle (Umweltbundesamt, UBA) und dem für die Waldinventur zuständigen Ministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Frühjahr 2011 getroffen.

Angepasst auf die derzeitige Datenstruktur wurden der Entscheidungsbaum pro Klassifizierungsjahr und die „Transition Time“-Prozeduren programmiert.

6.3.4.1 Ableitung der Landnutzung

Aufgrund des Datenmaterials (siehe Kapitel 6.3.2), welches am jeweiligen Stichprobenpunkt zur Verfügung steht, kann für diesen für die Jahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2019 eine Zuordnung zu einer Landnutzungskategorie vorgenommen werden. Die Basistabelle (siehe Tabelle 375) ist wie folgt aufgebaut (hier anhand dreier Beispielstichprobenpunkte):

Tabelle 375: Basistabelle zur Ableitung der Landnutzungen

Punkt-ID	LBM 2012	OSM	org. Boden	DLM 2000	DLM 2005	DLM 2010	DLM 2015	DLM 2019	CORINE 1990	CORINE 2000	CORINE 2006	Punkt-ID	LBM 2012
1	sett	0	0	crop	crop	crop	sett	sett	gra1	gra1	gra1	1	sett
1000	gra1	1	0	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1	gra1	1000	gra1
2000	crop	0	0	crop	gra1	crop	crop	crop	gra1	crop	crop	2000	crop

Für die Landnutzungsklassen wurden in den Datensätzen folgende Kodierungen verwendet:

Tabelle 376: Kodierungen in der Basistabelle

Kodierung	Kategorie	Subkategorie
crop	Acker _{annuell}	Acker _{annuell}
croh	Sonderkultur	Hopfen
crow	Sonderkultur	Wein
croo	Sonderkultur	Obstplantage
crob	Sonderkultur	Sonstige Ackerkulturen _{perennierend} (Weihnachtsbaumkulturen, Baumschulen, Kurzumtriebsplantagen)
gra1	Grünland	Grünland im engeren Sinn (i.e.S)
gra2	Grünland	Gehölze
forl	Wald	Wald
wet1	Feuchtgebiete	Terrestrische Feuchtgebiete
wet2	Feuchtgebiete	Gewässer
wet3	Feuchtgebiete	Torfstich
sett	Siedlungen	Siedlungen
othl	Sonstiges Land	Sonstiges Land
d1m0	Keine Information ⁹⁶	

Auf diese Basistabelle wurden für die Jahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2019 die Entscheidungsbäume für das jeweilige Jahr angewandt. Dabei wird immer das Basis-DLM verwendet, es sei denn im Basis-DLM liegen für einen Punkt keine Informationen vor, dann gibt es eine Abstufung von zeitlichen nahen Basis-DLM zu LBM12 und Corine Land Cover in zeitlicher Nähe. Die Landnutzung für 1990 (LU 1990) wird nicht über den Entscheidungsbaum sondern über den Overlap Approach (OA) entschieden.

Durch die Anwendung der Entscheidungsbäume resultiert eine weitere Tabelle (siehe Tabelle 377) mit den wahrscheinlichsten Landnutzungen pro Stichprobenpunkt und Jahr (1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2019) und der jeweils besten Datenquelle.

Tabelle 377: Wahrscheinlichste Landnutzung (LU) und deren Datenquelle (DB)

Punkt-ID	LU 1990	LU 2000	LU 2005	LU 2010	LU 2015	LU 2019	DB 1990	DB 2000	DB 2005	DB 2010	DB 2015	DB 2019
1	crop	crop	crop	crop	sett	sett	d1m(OA)	d1m	d1m	d1m	d1m	d1m
1000	sett	sett	sett	sett	sett	sett	osm	osm	osm	osm	osm	osm
2000	gra1	crop	gra1	crop	crop	crop	clc	d1m	d1m	d1m	d1m	d1m

(Abkürzungen siehe Tabelle 376)

⁹⁶ Keine Landnutzungsinformation an diesem Punkt aus den Basis-DLM-Daten

Am Beispiel des Punktes mit der Punkt-ID 1 wird die Anwendung des Overlap Approach (OA) aufgezeigt. Das Corine hat im Jahr 2000 eine andere Landnutzung eingetragen als das Basis-DLM, gleichzeitig hat das Corine keine Landnutzungsänderung von 1990 zu 2000. Für das Jahr 2000 wird das Basis-DLM als besserer und neuerer Datensatz verwendet, und für 1990 wird dieser Wert aus dem Basis-DLM 2000 entsprechend keiner Änderung zu 1990 rückwärts extrapoliert.

6.3.4.2 Ableitung der jährlichen Landnutzungsänderungen

Anschließend an die Landnutzungserkennung wurden die Landnutzungsänderungskategorien für jede Veränderungsperiode (1990-2000, 2001-2005, 2006-2010, 2011-2015, 2016-2019) und jeden Stichprobenpunkt abgeleitet. Dazu wurde eine Funktion programmiert, die in der Inventarbeschreibung dokumentiert ist.

Die Entwicklung einer Landnutzungsmatrix, in der die geforderte Übergangszeit von 20 Jahren nach einer Landnutzungsänderung berücksichtigt wird, erfolgt in mehreren Teilschritten:

- Für alle Landnutzungsänderungen, die innerhalb des Übergangszeitraums auftreten, der durch die aufgenommenen Beobachtungen abgedeckt ist (1990-2019), erfolgt zunächst eine punktbezogene Betrachtung. Dabei existiert eine räumliche Zuordnung der Landnutzungsänderungen zu den einzelnen Beobachtungspunkten.
- Landnutzungsänderungsflächen, die vor diesem Zeitraum aufgetreten sind (1970-1990), werden aus den Beobachtungen im ersten Messzeitraum (1990-2000) rückwirkend extrapoliert. Eine räumliche Zuordnung zu den Beobachtungspunkten erfolgt hier durch die Verteilung der Flächensummen auf die Punkte.
- Der Beobachtungszeitraum ist aufgeteilt in unterschiedlich lange Übergangsperioden (1990-2000, 2001-2005, 2006-2010, 2011-2015, 2016-2019), so dass die jährlichen Änderungen durch lineare Interpolation in den Veränderungsperioden anteilig berechnet werden.

Seit der Submission 2020 werden alle effektiven Landnutzungsänderungen punktgenau nachverfolgt. Es werden auch Wechsel der Landnutzung vor Ablauf der angenommenen Übergangszeit von 20 Jahren im Inventar abgebildet. Jeder Punkt (bzw. die korrespondierende Fläche), der einen Landnutzungswechsel erfährt, wird jedoch für genau 20 Jahre in seiner letzten Landnutzungsänderungskategorie berichtet. Angenommen die Landnutzungswechsel des Punktes mit der ID 2000 finden 1995, 2002, und 2006 statt, dann wird dieser 1 ha von 1995 bis 2001 in der Wechselkategorie Grassland to Cropland, von 2002 bis 2005 in der Wechselkategorie Cropland to Grassland und ab 2006 in der Wechselkategorie Grassland to Cropland berichtet. Dort würde er bis 2025 bleiben, wenn er keine weiteren Landnutzungsänderungen erfährt und dann 2026 in die Kategorie Cropland remaining Cropland gehen.

6.3.5 Landnutzungsänderungen nach Konvention und KP

Die bisher beschriebene Methode zur Erfassung von Landnutzungsänderungen und die daraus resultierende vollständige Landnutzungsmatrix (siehe Tabelle 378), inklusive einer 20-jährigen „Transition Time“ seit 1970 ist konform zur Berichterstattung nach der Klimarahmenkonvention und den 2006 IPCC Guidelines. Tabelle 379 zeigt beispielhaft die komplette detaillierte Landnutzungsmatrix für das Jahr 2019.

Zur Erfassung der Landnutzungsänderungen nach dem Kyoto-Protokoll werden auf der gleichen jährlichen Datengrundlage (siehe Tabelle 380) Landnutzungsänderungen erst ab 1990 berücksichtigt und in den Änderungskategorien Aufforstung und Entwaldung über 20 Jahre hinaus akkumuliert (siehe Tabelle 504 in Kapitel 11.2.2).

Tabelle 378: Landnutzungsänderungen (LUC) inklusive 20-jähriger Transition Time nach der Konventionsberichterstattung

Quellgruppe	4.A.1 Verbleibender Wald	4.A.2 ... LUC zu Wald	4.B.1 Verbleibender Acker	4.B.2 ... LUC zu Acker	4.C.1 Verbleibendes Grünland	4.C.2 ... LUC zu Grünland	4.D.1 Verbleibende Feuchtgebiete	4.D.2 ... LUC zu Feuchtgebieten	4.E.1 Verbleibende Siedlungen	4.E.2 ... LUC zu Siedlungen	4.F.1 Verbleibendes Sonstiges Land	4.F.2 ... LUC zu Sonstigem Land
Einheit	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha
1990	10.605.593	232.634	13.090.238	502.212	6.435.539	365.728	617.869	30.552	3.603.912	238.090	67.755	0
1991	10.615.822	232.646	13.094.445	500.871	6.422.772	362.883	618.259	30.465	3.607.742	237.526	66.691	0
1992	10.626.048	232.658	13.098.524	499.665	6.409.675	360.368	618.667	30.364	3.611.512	237.011	65.630	0
1993	10.636.281	232.667	13.102.448	498.617	6.396.226	358.210	619.049	30.286	3.615.246	236.529	64.563	0
1994	10.646.502	232.690	13.106.341	497.595	6.382.449	356.373	619.432	30.198	3.618.971	236.073	63.498	0
1995	10.656.729	232.717	13.110.061	496.745	6.368.571	354.629	619.776	30.154	3.622.516	235.783	62.441	0
1996	10.666.939	232.751	13.113.615	496.069	6.354.290	353.304	620.116	30.113	3.626.020	235.527	61.378	0
1997	10.677.146	232.781	13.117.002	495.564	6.339.668	352.282	620.423	30.125	3.629.455	235.358	60.318	0
1998	10.687.361	232.809	13.120.182	495.276	6.324.795	351.531	620.716	30.134	3.632.868	235.188	59.262	0
1999	10.697.571	232.841	13.123.232	495.106	6.309.563	351.149	621.008	30.135	3.636.207	235.111	58.199	0
2000	10.707.763	232.879	13.126.125	495.099	6.294.065	351.022	621.284	30.161	3.639.438	235.151	57.135	0
2001	10.710.775	230.457	12.997.793	547.194	6.194.753	473.556	616.337	40.108	3.622.030	302.198	54.921	0
2002	10.713.776	228.028	12.869.007	599.751	6.094.818	596.722	611.343	50.096	3.604.199	369.677	52.705	0
2003	10.716.752	225.617	12.739.358	653.174	5.993.848	720.925	606.334	60.097	3.586.196	437.333	50.488	0
2004	10.719.706	223.240	12.609.305	706.986	5.892.075	845.913	601.276	70.177	3.567.918	505.251	48.275	0
2005	10.722.624	220.893	12.478.590	761.475	5.789.490	971.699	596.173	80.310	3.549.367	573.443	46.058	0
2006	10.728.698	218.733	12.406.155	779.405	5.745.221	1.028.730	594.898	87.742	3.545.113	610.340	45.087	0
2007	10.734.770	216.573	12.333.290	797.767	5.700.408	1.086.306	593.637	95.150	3.540.555	647.543	44.123	0
2008	10.740.816	214.454	12.259.823	816.716	5.655.170	1.144.285	592.392	102.557	3.535.985	684.769	43.155	0
2009	10.746.853	212.337	12.186.060	835.960	5.609.389	1.202.826	591.062	110.045	3.531.374	722.029	42.187	0
2010	10.752.870	210.255	12.112.113	855.408	5.563.089	1.261.872	589.748	117.503	3.526.758	759.290	41.216	0
2011	10.760.165	205.100	12.007.124	917.219	5.493.344	1.325.876	589.896	121.607	3.529.815	799.272	40.704	0
2012	10.767.459	199.947	11.901.287	979.909	5.423.027	1.390.409	590.023	125.733	3.532.759	839.376	40.193	0
2013	10.774.750	194.788	11.794.951	1.043.090	5.352.245	1.455.445	590.146	129.845	3.535.501	879.674	39.687	0
2014	10.782.049	189.626	11.688.101	1.106.786	5.280.906	1.521.049	590.252	133.961	3.538.098	920.122	39.172	0
2015	10.789.350	184.457	11.580.909	1.170.806	5.209.384	1.586.827	590.329	138.126	3.540.500	960.776	38.658	0
2016	10.794.364	188.052	11.517.078	1.201.778	5.157.189	1.632.691	589.794	141.709	3.540.809	988.530	38.128	0
2017	10.799.376	191.656	11.452.470	1.233.523	5.104.199	1.679.326	589.207	145.353	3.541.122	1.016.289	37.601	0
2018	10.804.388	195.261	11.387.575	1.265.558	5.051.225	1.725.941	588.646	148.999	3.541.231	1.044.227	37.071	0
2019	10.809.410	198.880	11.321.858	1.298.417	4.997.629	1.773.174	588.050	152.637	3.541.273	1.072.248	36.546	0

Tabelle 379: Landnutzungsmatrix 2019. Die Diagonale zeigt die Fläche in verbleibender Nutzung, die anderen Felder die jeweiligen Landnutzungsänderungen (einschließlich 20-jähriger Übergangszeiten)

Initial\Final	Landnutzungsmatrix 2019: Flächen [ha]													Σ Zunahme -	Σ Abnahme -
	Wald	Acker ^{annuell}	Hopfen	Weinanbau	Obstanbau	sonstige Ackerkulturen n _{perennierend} ⁹⁷	Grünland i.e.S.	Gehölze	Terrestr. Feuchtgebiete	Gewässer	Torfabbau	Siedlungen	Sonstige s Land		
Wald	10.809.410	23	0	0	0	0	620	191	10.154	8.199	64	95.284	0	114.535	84.345
Acker ^{annuell}	1.016	11.035.182	4.471	2.838	11.981	11.872	1.471.419	55.622	1.306	13.968	434	512.308	0	2.087.235	-758.721
Hopfen	93	2.950	15.064	0	112	3	244	0	0	2	0	104	0	3.508	1.526
Weinanbau	181	3.311	2	107.763	219	35	4.705	3.176	0	15	0	2.269	0	13.913	-8.220
Obstanbau	1.184	33.091	131	473	55.818	577	16.694	1.654	2	115	0	4.939	0	58.860	-40.377
sonstige Ackerkulturen ^{perennierend} ⁹⁸	3.281	12.286	15	30	1.511	22.123	3.205	717	3	14	38	1.674	0	22.774	3.827
Grünland i.e.S.	52.329	1.154.523	369	1.554	3.857	4.134	4.476.342	174.272	22.385	30.916	1.981	404.003	0	1.850.323	3.513
Gehölze	110.229	55.421	32	576	446	9.424	181.088	165.927	2.013	2.945	28	40.390	0	402.592	-127.894
Terrestrische Feuchtgebiete	6.494	1.054	0	0	5	9	8.925	1.281	77.073	1.222	899	1.179	0	21.068	29.002
Gewässer	7.422	2.991	1	1	14	5	18.023	2.560	944	489.980	16	6.777	0	38.754	66.962
Torfabbau	49	1.864	0	0	0	0	907	61	3.323	395	14.198	161	0	6.760	-3.110
Siedlungen	13.420	59.982	13	218	338	542	140.927	33.009	9.935	46.844	190	3.541.273	0	305.418	766.830
Sonstiges Land	3.182	1.018	0	3	0	0	7.079	2.155	5	1.081	0	3.160	36.546	17.683	-17.683
Σ Zunahme	198.880	1.328.514	5.034	5.693	18.483	26.601	1.853.836	274.698	50.070	105.716	3.650	1.072.248	0		
Σ Landnutzungskategorie	11.008.290	12.363.696	20.098	113.456	74.301	48.724	6.330.178	440.625	127.143	595.696	17.848	4.613.521	36.546		
Fläche Deutschland	35.790.122														

⁹⁷ Weihnachtsbaumkulturen, Baumschulen, Kurzumtriebsplantagen

⁹⁸ Weihnachtsbaumkulturen, Baumschulen, Kurzumtriebsplantagen

Tabelle 380: Jährliche Flächen der Landnutzungsänderungen, die den Berechnungen für das Inventar nach Koventionsberichterstattung (20-jährige Übergangszeit) und Kyoto Protokoll (kumulative Flächenänderung) zugrunde liegen

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	1990-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2019
... zu Wald					
Acker _{annuell} zu Wald	0	182	11	5	6
Hopfen zu Wald	0	0	19	0	0
Weinbau zu Wald	0	0	36	0	0
Obstbau zu Wald	0	1	236	0	0
sonstige Ackerkulturen _{perennierend} zu Wald	0	0	656	0	0
Grünland i.e.S. zu Wald	6.140	1.736	2.529	1.221	4.689
Gehölze zu Wald	2.642	4.831	4.665	4.488	9.418
Terrestrische Feuchtgebiete zu Wald	39	690	344	95	202
Gewässer zu Wald	354	634	272	219	362
Torfabbau zu Wald	0	0	2	3	7
Siedlung zu Wald	2.125	856	566	431	507
Sonstiges Land zu Wald	371	330	106	53	91
... zu Acker_{annuell}					
Wald zu Acker _{annuell}	0	6	1	2	0
Hopfen zu Acker _{annuell}	0	0	89	341	273
Weinbau zu Acker _{annuell}	12	272	309	130	187
Obstbau zu Acker _{annuell}	2.687	3.166	2.314	844	1.319
sonstige Ackerkulturen _{perennierend} zu Acker _{annuell}	0	0	558	1.347	1.232
Grünland i.e.S. zu Acker _{annuell}	16.479	80.208	50.902	92.716	62.963
Gehölze zu Acker _{annuell}	4.221	5.392	2.631	2.470	3.647
Terrestrische Feuchtgebiete zu Acker _{annuell}	18	59	37	53	123
Gewässer zu Acker _{annuell}	338	304	122	175	288
Torfabbau zu Acker _{annuell}	0	0	78	157	205
Siedlung zu Acker _{annuell}	3.675	9.572	4.909	2.568	4.213
Sonstiges Land zu Acker _{annuell}	133	185	26	1	24

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	1990-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2019
... zu Hopfen					
Wald zu Hopfen	0	0	0	0	0
Acker _{annuell} zu Hopfen	0	0	65	347	634
Weinbau zu Hopfen	0	0	0	0	1
Obstbau zu Hopfen	0	0	20	7	6
sonstige Ackerkulturen _{perennierend} zu Hopfen	0	0	0	1	2
Grünland i.e.S. zu Hopfen	0	0	6	40	41
Gehölze zu Hopfen	0	0	0	2	5
Terrestrische Feuchtgebiete zu Hopfen	0	0	0	0	0
Gewässer zu Hopfen	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Hopfen	0	0	0	0	0
Siedlung zu Hopfen	0	0	0	1	2
Sonstiges Land zu Hopfen	0	0	0	0	0
... zu Weinbau					
Wald zu Weinbau	0	0	0	0	0
Acker _{annuell} zu Weinbau	8	103	87	244	336
Hopfen zu Weinbau	0	0	0	0	0
Obstbau zu Weinbau	0	0	19	44	62
sonstige Ackerkulturen _{perennierend} zu Weinbau	0	0	3	3	1
Grünland i.e.S. zu Weinbau	3	33	45	135	207
Gehölze zu Weinbau	1	6	12	47	85
Terrestrische Feuchtgebiete zu Weinbau	0	0	0	0	0
Gewässer zu Weinbau	0	0	0	0	0
Torfabbau zu Weinbau	0	0	0	0	0
Siedlung zu Weinbau	0	5	8	23	25
Sonstiges Land zu Weinbau	0	1	0	0	0

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	1990-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2019
... zu Obstbau					
Wald zu Obstbau	0	0	0	0	0
Acker _{annuell} zu Obstbau	330	957	554	1.005	1.555
Hopfen zu Obstbau	0	0	2	3	24
Weinbau zu Obstbau	0	0	9	21	27
sonstige Ackerkulturen _{perennierend} zu Obstbau	0	0	121	137	105
Grünland i.e.S. zu Obstbau	147	130	80	302	601
Gehölze zu Obstbau	56	42	7	37	71
Terrestrische Feuchtgebiete zu Obstbau	0	0	0	0	1
Gewässer zu Obstbau	5	0	0	1	2
Torfabbau zu Obstbau	0	0	0	0	0
Siedlung zu Obstbau	78	49	15	29	49
Sonstiges Land zu Obstbau	0	0	0	0	0
... zu sonstige Ackerkulturen_{perennierend}					
Wald zu sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0	0	0	0
Acker _{annuell} zu sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	1	341	1.179	1.521
Hopfen zu sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0	1	0	0
Weinbau zu sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0	6	2	7
Obstbau zu sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0	32	53	61
Grünland i.e.S. zu sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0	82	419	515
Gehölze zu sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0	51	1.304	771
Terrestrische Feuchtgebiete zu sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0	0	1	2
Gewässer zu sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0	0	1	1
Torfabbau zu sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0	0	0	0
Siedlung zu sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0	12	30	99
Sonstiges Land zu sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0	0	0	0

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	1990-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2019
... zu Grünland i.e.S.					
Wald zu Grünland i.e.S.	0	29	23	41	76
Acker _{annuell} zu Grünland i.e.S.	13.709	119.494	78.466	107.744	82.961
Hopfen zu Grünland i.e.S.	0	0	10	20	38
Weinbau zu Grünland i.e.S.	6	350	660	207	335
Obstbau zu Grünland i.e.S.	723	775	695	1.643	979
sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0	0	99	277	435
Gehölze zu Grünland i.e.S.	3.370	18.202	8.915	8.005	13.069
Terrestrische Feuchtgebiete zu Grünland i.e.S.	21	1.095	419	260	514
Gewässer zu Grünland i.e.S.	302	1.781	1.193	912	1.120
Torfabbau zu Grünland i.e.S.	0	0	42	76	157
Siedlung zu Grünland i.e.S.	2.213	15.664	11.454	7.054	11.897
Sonstiges Land zu Grünland i.e.S.	382	873	639	140	187
... zu Gehölze					
Wald zu Gehölze	0	3	9	27	21
Acker _{annuell} zu Gehölze	589	5.137	3.862	3.037	3.844
Hopfen zu Gehölze	0	0	0	0	0
Weinbau zu Gehölze	0	164	330	125	178
Obstbau zu Gehölze	41	171	176	111	110
sonstige Ackerkulturen _{perennierend} zu Gehölze	0	0	136	66	111
Grünland i.e.S. zu Gehölze	672	12.202	12.765	10.074	14.080
Terrestrische Feuchtgebiete zu Gehölze	1	260	38	60	91
Gewässer zu Gehölze	33	209	145	167	221
Torfabbau zu Gehölze	0	0	0	7	9
Siedlung zu Gehölze	278	3.385	2.166	1.646	2.853
Sonstiges Land zu Gehölze	47	211	68	209	89

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	1990-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2019
... zu terrestrische Feuchtgebiete					
Wald zu terrestrische Feuchtgebiete	7	1.278	366	140	398
Acker _{annuell} zu terrestrische Feuchtgebiete	16	243	65	31	37
Hopfen zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0
Weinbau zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0
Obstbau zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	2	0	0
sonstige Ackerkulturen _{perennierend} zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	0	0	0
Grünland i.e.S. zu terrestrische Feuchtgebiete	43	1.936	1.070	730	1.731
Gehölze zu terrestrische Feuchtgebiete	6	205	86	53	150
Gewässer zu terrestrische Feuchtgebiete	7	59	27	29	116
Torfabbau zu terrestrische Feuchtgebiete	0	0	90	173	522
Siedlung zu terrestrische Feuchtgebiete	7	1.385	855	8	26
Sonstiges Land zu terrestrische Feuchtgebiete	1	1	0	0	0
... zu Gewässer					
Wald zu Gewässer	240	687	357	279	428
Acker _{annuell} zu Gewässer	508	1.048	1.119	623	667
Hopfen zu Gewässer	0	0	0	0	0
Weinbau zu Gewässer	0	2	1	1	0
Obstbau zu Gewässer	14	7	6	8	6
sonstige Ackerkulturen _{perennierend} zu Gewässer	0	0	0	2	2
Grünland i.e.S. zu Gewässer	299	2.490	1.823	1.339	1.980
Gehölze zu Gewässer	68	177	173	132	208
Terrestrische Feuchtgebiete zu Gewässer	0	62	109	63	80
Torfabbau zu Gewässer	0	0	3	29	75
Siedlung zu Gewässer	322	2.283	3.743	3.174	978
Sonstiges Land zu Gewässer	30	66	45	43	95

Landnutzungsänderung [Hektar pro Jahr]	1990-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2019
... zu Torfabbau					
Wald zu Torfabbau	0	0	2	7	7
Acker _{annuell} zu Torfabbau	0	0	10	47	60
Hopfen zu Torfabbau	0	0	0	0	0
Weinbau zu Torfabbau	0	0	0	0	0
Obstbau zu Torfabbau	0	0	0	0	0
sonstige Ackerkulturen _{perennierend} zu Torfabbau	0	0	0	1	8
Grünland i.e.S. zu Torfabbau	0	0	22	185	263
Gehölze zu Torfabbau	0	0	3	2	2
Terrestrische Feuchtgebiete zu Torfabbau	0	0	3	75	152
Gewässer zu Torfabbau	0	0	0	0	4
Siedlung zu Torfabbau	0	2	1	7	39
Sonstiges Land zu Torfabbau	0	0	0	0	0
... zu Siedlung					
Wald zu Siedlung	1.185	6.682	4.765	3.882	5.730
Acker _{annuell} zu Siedlung	6.400	44.015	26.409	29.298	16.615
Hopfen zu Siedlung	0	0	3	14	7
Weinbau zu Siedlung	4	173	143	96	93
Obstbau zu Siedlung	264	462	331	154	132
sonstige Ackerkulturen _{perennierend} zu Siedlung	0	0	52	167	176
Grünland i.e.S. zu Siedlung	3.448	27.503	21.801	21.437	22.063
Gehölze zu Siedlung	408	1.690	1.889	2.518	3.169
Terrestrische Feuchtgebiete zu Siedlung	11	122	20	25	167
Gewässer zu Siedlung	138	1.651	876	354	520
Torfabbau zu Siedlung	0	0	4	6	34
Sonstiges Land zu Siedlung	95	548	84	65	42

6.3.6 Verifizierung

Die Landnutzungskategorien wurden für das Inventar so gewählt, dass sie den Definitionen von UNFCCC, Kyoto Protokoll bzw. IPCC entsprechen. Neben dem Basis-Digitalen Landschaftsmodell des AKTIS®, welches die Datengrundlage des deutschen Inventars ist, existieren weitere, unabhängige Systeme zur Erhebung von Landflächen (auf die deutschen InVeKoS-Daten (IACS) kann in diesem Zusammenhang leider nicht zurückgegriffen werden). Es existiert jedoch kein System, welches georeferenziert Landnutzungsänderungen ausweist. Zur Verifizierung können folglich immer nur Flächensummen für Landnutzungskategorien untereinander verglichen werden. Zum Vergleich herangezogene Datensätze:

- Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung (Erhebung auf Basis des automatischen Liegenschaftskatasters und des B-DLM des ATKIS®, mit Nachbearbeitungsschritten (z.B. Konversion linearer Elemente zu Flächen);
Offizialstatistik Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.2))
- Agrarstrukturerhebung (ASE; Erhebung durch Befragung; Landwirtschaftsstatistik (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.1.2))
- Beprobungsraster der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018)

Zu Verifikationszwecken können diese Datenquellen jedoch nur mit starken Einschränkungen herangezogen werden, da

- unterschiedliche Ausgabeformate vorliegen: Statistische Daten gegenüber räumlich hochauflösender Karte. Dadurch lassen sich nur Flächensummen vergleichen. Landnutzungsänderungen können aus den Daten der Statistik nicht abgeleitet werden.
- sie abweichende Definitionen für wichtige Landnutzungskategorien, insbesondere für landwirtschaftliche Flächen, Siedlungen und sonstiges Land aufweisen
- große Unterschiede in der Methodik der Datenerhebung vorhanden sind, z.B.
 - unterschiedlicher Erhebungsumfang
 - unterschiedliche räumliche Auflösung
 - statistischer Ansatz vs. Wall to Wall - Ansatz (Vermessung, Fernerkundung)
 - Landbedeckung, Landnutzung oder Mischform
 - Ausschlussgrenzen und -kriterien
 - unterschiedliche Erfassung und Darstellung linearer Elemente
 - Periodizität der Erhebung usw.

Daraus ergeben sich je nach Erhebungssystemen z.T. stark unterschiedliche Flächenangaben für gleiche Landnutzungskategorien. Diese Unterschiede können über 10 % betragen, sind seit langem bekannt, werden aber beibehalten, um in jedem Datensatz konsistente Zeitreihen zu erhalten. Absolut sind die Ergebnisse der einzelnen Erhebungssysteme ohne Manipulation kaum miteinander vergleichbar. Aus diesem Grunde wurde als zusätzliches Kriterium die Entwicklung der Flächensumme einzelner Landnutzungskategorien seit dem Jahr 2000, deren Trends, in den unterschiedlichen Erhebungssystemen miteinander verglichen. Hierbei zeigte sich eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse der Flächenerhebung und der aus dem B-DLM stammenden Werte. Aus diesem Grunde kann geschlossen werden, dass die Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung konsistent mit dem Inventar ist.

Alle drei Erhebungen lassen sich nur anhand der gesamten Landwirtschaftsfläche vergleichen. Hier wird der Trend auch sehr gut wiedergegeben. Im Vergleich einzelner Aspekte der Landwirtschaftsfläche zwischen der Landwirtschaftsstatistik (ASE) und den Werten der dem Inventar zugrunde liegenden Landnutzungsmatrix aus dem B-DLM des AKTIS®, zeigt sich, auf Bundes und Landesebene, dass das Bild deutlich diffuser wird. Neben hervorragenden

Übereinstimmungen im Trend, sind auch stark abweichende Kurvenverläufe festzustellen, offensichtlich in Abhängigkeit von der Anzahl der Flächen, die in den entsprechenden Bezugsräumen in der Officialstatistik unter Ausschlusskriterien fallen.

Dies bestätigt ein weiterer Test. In diesem wurden die Daten des B-DLM mit denen der Bodenzustandserhebung-LW (Jacobs et al., 2018) als auch denen der Agrarstrukturhebung (ASE)(Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.1.2) verglichen. Grundlage der BZE-LW war ein landesweites, flächendeckendes systematisches Beprobungsraster (8 x 8 km) zur Erfassung der Bodenqualität landwirtschaftlich genutzter Standorte. Die Landnutzung wurde an allen Rasterpunkten vor Ort verifiziert. Unterschiede zwischen BZE und B-DLM ergeben sich nur durch die Erhebungsmethodik; während bei der BZE Flächen mit Grünland-Wechselwirtschaft extra ausgewiesen wurden und in der Nachbearbeitung komplett dem Ackerland zugeschlagen werden (in der ASE werden diese als Ackerland kartiert), fixiert das B-DLM die aktuelle Nutzung, also Grünland oder Ackerland, zum Zeitpunkt der Erhebung. Eine Anpassung des Grünlandwertes/Ackerlandwertes des B-DLM an den jeweiligen Wert der BZE, mit entsprechenden Flächenausgleich in der jeweils anderen Kategorie ergibt eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse beider Erhebungssysteme, wogegen die Agrarstrukturhebung die Landwirtschaftsfläche unterschätzt, insbesondere in Bezug auf das Ackerland (aufgrund von Ausschlusskriterien)(Tabelle 381). Bezüglich des geringen Unterschieds in der Gesamtflächenrepräsentanz von BZE und B-DLM sei darauf hingewiesen, dass in größeren statistischen Erhebungssystemen kleine Flächen oft überschätzt werden (vergl. Jacobs et al. (2018)).

Tabelle 381: Prozentuale Verteilung der Flächen landwirtschaftlicher Landnutzung nach Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE), Basis-Digitalem Landschaftsmodell des ATKIS® (B-DLM) und der Agrarstrukturhebung (ASE). Referenz ist die Gesamtfläche der BZE. Die B-DLM-Flächen wurden zur Korrektur der Flächen mit Grünland-Wechselwirtschaft an die Grünland- (B-DLM_GL_an) bzw. Ackerlandfläche (B-DLM_AL_an) der BZE angepasst

	BZE	B-DLM_GL_an	B-DLM_AL_an	ASE
		[%]		
Ackerland	71,9	71,0	71,9	59,6
Grünland	26,4	26,4	25,5	23,5
Sonderkulturen	1,6	1,3	1,3	1,0
Gesamtflächenrepräsentanz	100,0	98,8	98,8	84,1

6.4 Wälder (4.A)

6.4.1 Beschreibung der Kategorie (4.A)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	4 A, Forest Land		CO ₂	-22.066,0	-1,7	-57.454,1	-7,2	160,4 %
-/-	4 A, Forest Land		N ₂ O	464,1	0,0	384,9	0,0	-17,1 %
-/-	4 A, Forest Land		CH ₄	39,4	0,0	47,2	0,0	19,8 %

* Die categoriespezifischen indirekten N₂O-Emissionen werden im CRF-Tabellenwerk nicht erfasst und dargestellt; sie sind Teil der in CRF-Tabelle 4.(IV).2 als Summe aller Unterkategorien dargestellt

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS/Tier 2	RS/NS	CS
CH ₄	Tier 2	RS/NS	D/CS
N ₂ O	Tier 2	RS/NS	D/CS

Die Kategorien Forest Land remaining Forest Land (4.A.1) und Land converted to Forest Land (4.A.2) sind für CO₂-Emissionen bzw. -Einbindungen Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Die Kategorie „Wald“ wird in den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006) und in den offiziellen Berichtstabellen im Common Reporting Format (CRF) für die an das Klimasekretariat zu übermittelnden Treibhausgasinventare in verbleibende Waldfläche und Neuwald unterteilt. Neuwald entsteht durch Sukzession, Wiederbewaldung und Aufforstung, auf zuvor anderweitig genutzten Flächen (Land converted to Forest Land). Nach derartigen Landnutzungsänderungen muss gemäß den IPCC Guidelines 2006 mit einer 20-jährigen Übergangszeit („Transition Time“) auf der Datengrundlage ab dem Jahr 1970 gerechnet werden (siehe Kapitel 6.3); folglich verbleiben Neuwaldflächen 20 Jahre lang in den entsprechenden Übergangskategorien, bevor sie in die „verbleibende Waldfläche“ wechseln. Als verbleibende Waldfläche wird die Fläche bezeichnet, die im Berichtsjahr unverändert Wald bleibt (Forest Land remaining Forest Land) zuzüglich der Flächen, die nach 20 Jahren aus den Übergangskategorien (Land converted to Forest Land (4.A.2)) in die verbleibende Waldfläche überführt werden.

In der Kategorie *Forest Land* wird über die Emission/Einbindung von CO₂ aus organischen und mineralischen Böden, der ober- und unterirdischen Biomasse, Streu, Totholz sowie Waldbrand berichtet; außerdem über Lachgasemissionen aus Waldbränden, Drainage organischer Böden und Mineralisierung in Mineralböden sowie Methanemissionen aus Waldbränden und Drainage organischer Böden.

Die Gesamtemissionen aus den Wäldern betragen im Jahre 2019 -57.022 kt CO₂-Äquivalente. In der Tabelle 382 sind die Emissionen für den Wald unterteilt nach Pools und Treibhausgasen sowie ihrer Unsicherheiten zusammengestellt.

Tabelle 382: Emissionen im Waldbereich für das Jahr 2019

Quellgruppe	Gas	Emission	2,5 % Perzentil [kt CO ₂ -Eq.]	97,5 % Perzentil	2,5 % Perzentil %	97,5 % Perzentil %
Wald_{total}⁹⁹		-57.022,1	-52.678,2	-61.374,2	7,62	7,63
Mineralböden	CO ₂ ¹⁰⁰	-15.972,5	-14.153,9	-17.791,0	11,39	11,39
	N ₂ O _{indirekt} ¹⁰¹	3,4	0,6	10,6	83,45	207,96
	N ₂ O _{direkt} ¹⁰²	15,3	7,4	37,4	51,26	145,14
Organische Böden	CO ₂ ¹⁰⁰	2.610,8	2.109,1	3.196,0	19,22	22,42
	CH ₄ ¹⁰³	34,0	10,5	68,7	69,01	102,10
	N ₂ O ¹⁰³	357,4	-40,9	747,5	111,44	109,13
Biomasse	CO ₂ ¹⁰⁰	-40.485,8	-36.869,3	-44.103,8	8,93	8,94
Streu	CO ₂ ¹⁰⁰	155,4	117,0	193,9	24,76	24,76
Totholz	CO ₂ ¹⁰⁰	-3.762,1	-603,1	-6.921,1	83,97	83,97
Waldbrände	CO ₂ ¹⁰⁴	IE	-	-	-	-
	CH ₄ ¹⁰⁴	13,3	5,3	21,2	59,64	59,64
	N ₂ O ¹⁰⁴	8,7	8,1	9,4	7,62	7,63

Ausschlaggebend für die Einbindungen in der Waldkategorie (2019) sind die Pools Biomasse (63,08 %), mineralische Böden (25,17 %) und Totholz (5,49 %). Quellen entstehen durch Streu, Drainage, Mineralisierung und Waldbrände. Die Quellen tragen mit 3,93 % nur einen sehr geringen Anteil zur Treibhausgasbilanz im Wald bei.

⁹⁹ Summe der Emissionen aus den CRF-Tabellen 4.A, 4.(II).A, 4.(III).A, 4.(IV).2, 4.(V).A

¹⁰⁰ CRF-Tabelle 4.A

¹⁰¹ Die kategoriespezifischen indirekten N₂O-Emissionen werden im CRF-Tabellenwerk nicht erfasst und dargestellt; sie sind Teil der in CRF-Tabelle 4.(IV).2 als Summe aller Unterkategorien dargestellt

¹⁰² CRF-Tabelle 4.(III).A

¹⁰³ CRF-Tabelle 4.(II).A

¹⁰⁴ CRF-Tabelle 4.(V).A

Abbildung 50: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO₂, CH₄ und N₂O) [kt CO₂-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Wäldern von 1990 – 2019 nach Unterkategorien

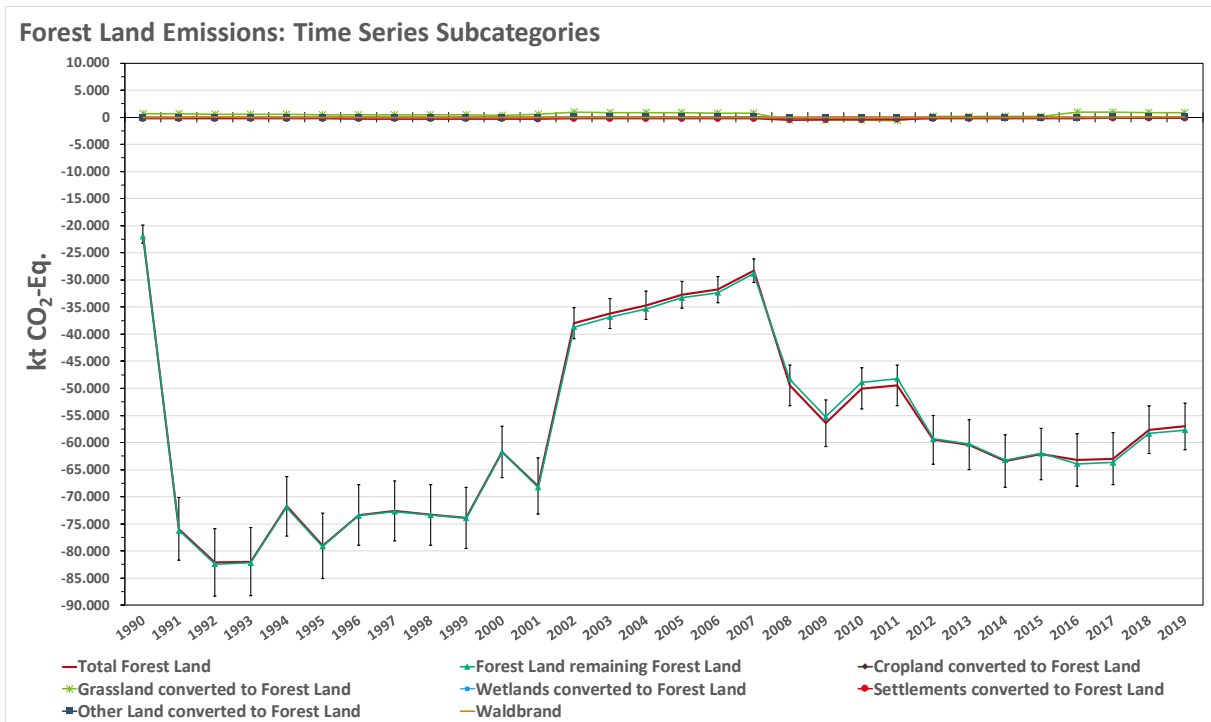
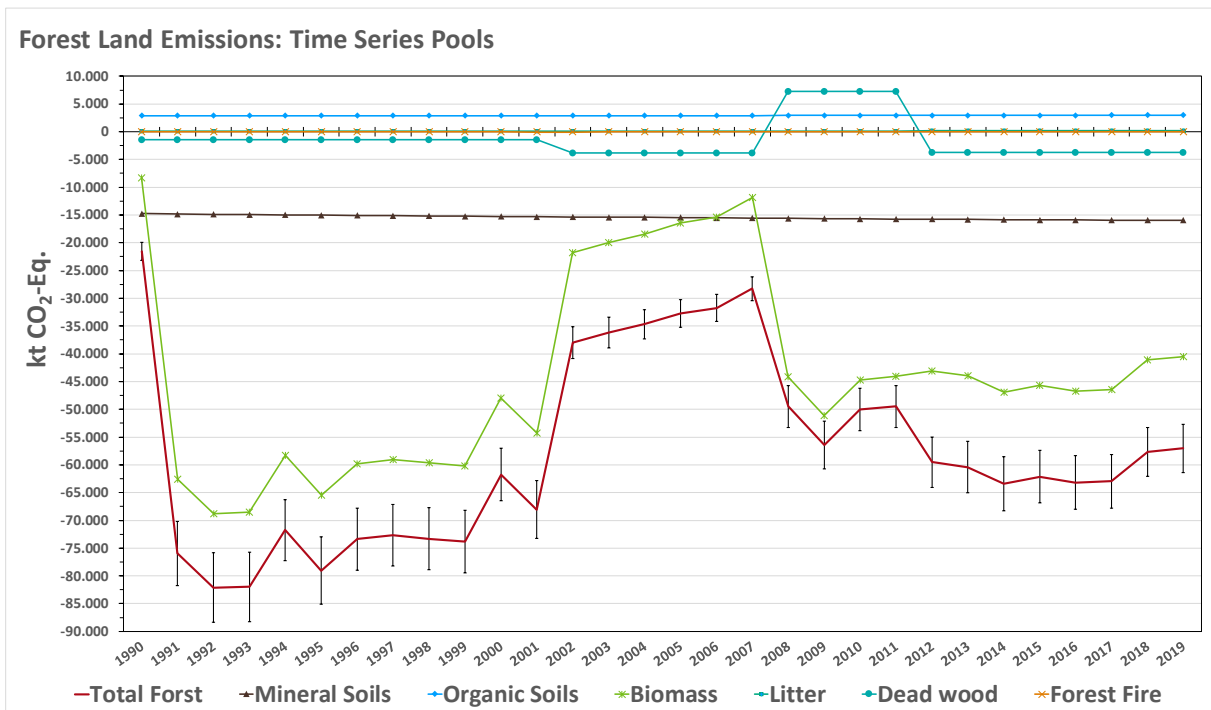


Abbildung 51: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO₂, CH₄ und N₂O) [kt CO₂-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Wäldern von 1990 – 2019 nach Pools



6.4.2 Methodische Aspekte (4.A)

6.4.2.1 Datenquellen

Zur Ermittlung der Waldflächen, der eingetretenen Landnutzungsänderungen, der Schätzung der Emissionsfaktoren für Boden, Biomasse, Streu und Totholz sowie für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -vorratsveränderungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten bzw. in verschiedenen Zeiträumen sowie für die Emissionsberechnung für Waldbrand, Drainage und Mineralisierung wurden folgende Datenquellen genutzt:

- Bundeswaldinventur 1987 (BWI 1987)
- Bundeswaldinventur 1987 (BWI 1987)
- Bundeswaldinventur 2002 (BWI 2002)
- Bundeswaldinventur 2012 (BWI 2012)
- Inventurstudie 2008 (IS08)
- Kohlenstoffinventur 2017 (CI 2017)
- Datenspeicher Waldfonds (DSWF)
- Einschlagsrückrechnung des Thünen-Instituts für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie
- Bodenzustandserhebung im Wald I (BZE I)
- Bodenzustandserhebung im Wald II (BZE II)
- Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS®)
- CORINE Land Cover (CLC)
- Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000)
- Karte der organischen Böden Deutschlands (Roßkopf et al., 2015)
- Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland

6.4.2.1.1 Bundeswald- und Zwischeninventuren, Datenspeicher Waldfonds und Einschlagsrückrechnung

Die Bundeswaldinventur erfasst die großräumigen Waldverhältnisse und forstlichen Produktionsmöglichkeiten auf Stichprobenbasis nach einem einheitlichen Verfahren in Deutschland. Sie ist eine terrestrische Stichprobeninventur mit permanent markierten Probepunkten in einem 4 km x 4 km Grundnetz, das auf Wunsch der Bundesländer regional verdichtet wurde¹⁰⁵. Die erste Bundeswaldinventur (BWI 1987) erstreckte sich nur über das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland in ihren Grenzen vor 1990 und Westberlin und wurde im Zeitraum 1986 bis 1989 (Stichjahr 1987) durchgeführt. Die zweite Bundeswaldinventur (BWI 2002) wurde in den Jahren 2001 bis 2003 (Stichjahr 2002) als Wiederholungsinventur in den alten Bundesländern und als Erstinventur in den neuen Bundesländern durchgeführt (Polley, 2001; Schmitz et al., 2005). Die Erhebungen zur dritten Bundeswaldinventur (BWI 2012) erfolgten von 2011 bis 2012 (Stichjahr 2012) im gesamten Bundesgebiet als Wiederholungsinventur. Mit den Daten der BWI 2012 stehen zum Beginn der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls Werte zum Zustand und zur Veränderung des Waldes bereit.

Zusätzlich zu den Bundeswaldinventuren wurden Daten zum Zustand des Waldes in den Jahren 2008 und 2017 auf einer Teilstichprobe der Bundeswaldinventur im Netz von 8 km x 8 km ermittelt. Die Inventurstudie 2008 (IS08) und die Kohlenstoffinventur 2017 (CI 2017) bedienen sich im Wesentlichen der Methodik der Bundeswaldinventur (Bundesministerium für Verbraucherschutz, 2010; Riedel et al., 2019; Schwitzgebel et al., 2009).

¹⁰⁵ weitere Informationen: <http://www.bundeswaldinventur.de>

Der Datenspeicher Waldfonds (DSWF) enthält flächendeckende Forsteinrichtungsdaten für das Gebiet der DDR bis 1993. Diese Daten wurden in periodischen Abständen erhoben und jährlich mit Wachstumsmodellen fortgeschrieben sowie nach Vollzugs- und Änderungsmeldungen der Forstbetriebe aktualisiert (Bundesministerium für Verbraucherschutz, 1994).

Die Einschlagsrückrechnung ist eine Statistik zur Ermittlung des tatsächlichen Holzeinschlags basiert auf der Rückrechnung der in Deutschland verwendeten Rohholzmengen bei Berücksichtigung des Außenhandels. Datengrundlage sind dabei amtliche Statistiken, Verbandsstatistiken sowie Ergebnisse empirischer Untersuchungen. Die Rückrechnung wird vom Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie durchgeführt (Jochem et al., 2015).

6.4.2.1.2 Bodenzustandserhebung im Wald (BZE)

Zur Bestimmung der Kohlenstoffemissionen aus Waldböden wurde die Vorratsänderungsmethode angewandt (IPCC, 2006). Dazu konnten Daten aus den bodenkundlichen Inventuren BZE I und BZE II genutzt werden. Die BZE I wurde von 1987 bis 1992 und die BZE II von 2006 bis 2008 durchgeführt. Bei allen drei Inventuren wurden sowohl die gesamte organische Auflage, im folgendem nach IPCC 2006 Guidelines Streu genannt, als auch der Mineralboden beprobt. Die Daten der Inventuren wurden von den Bundesländern erhoben.

Bei der BZE I (Wolff & Riek, 1997) und BZE II (Wellbrock et al., 2006) wurden Waldböden deutschlandweit in einem Raster von 8 km x 8 km beprobt. Dazu wurden an jedem Rasterpunkt in einem Radius von 10 m acht Satellitenproben um eine zentrale Bodengrube mit freigelegtem Bodenprofil genommen. Die Anzahl der Rasterpunkte betrug bei der BZE I 1800 und bei der BZE II 2000. Die Zunahme in der Stichprobenanzahl zwischen beiden Inventuren erklärt sich v.a. dadurch, dass Flächen betreten werden durften, bei denen zuvor keine Zutrittserlaubnis vorlag (z.B. sind alte Truppenübungsplätze jetzt zugänglich).

Die Rasterpunkte der beiden Inventuren lagen zum Großteil jeweils innerhalb eines Radius von 30 m. Bei ca. 400 Punkten ist es zu einer systematischen Rasterverschiebung gegenüber der BZE I gekommen.

Für die BZE I liegt eine Datenbank mit ca. 1800 Punkten vor, für die Kohlenstoffvorräte in Streu und Mineralboden (0-30 cm) berechnet wurden (Wolff & Riek, 1997). Für die BZE II wurden von den Bundesländern ca. 2000 Punkte an eine gemeinsame Bundesdatenbank übermittelt. Von den 2000 Stichprobenpunkten, die aus der BZE II zur Verfügung stehen, gibt es für ca. 1.800 Rasterpunkten Kohlenstoffvorräte¹⁰⁶.

6.4.2.2 Biomasse (CRF -Table 4.A)

6.4.2.2.1 Verbleibende Waldfläche

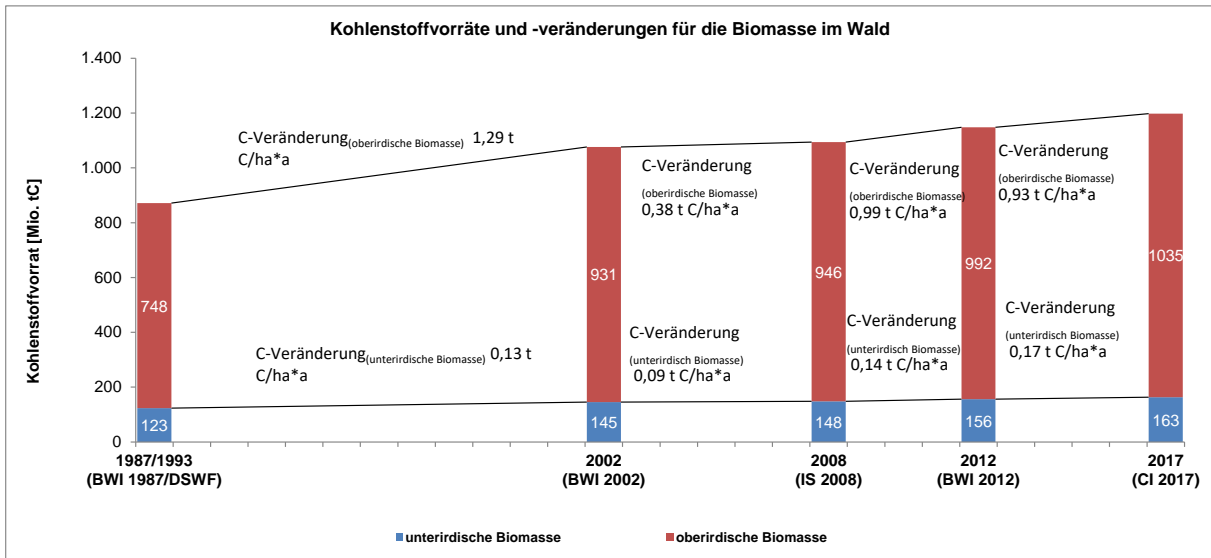
Die Berechnung der Änderungen der Kohlenstoffvorräte für die Biomasse erfolgt nach dem Tier 2-Ansatz mit der Vorratsveränderungsmethode (stock-difference method, Equation 2.8 2006 IPCC Guidelines). Durch die Anwendung dieser Methode erhält man einen durchschnittlichen landesspezifischen Emissionsfaktor (EF) für die Zeiträume zwischen den jeweiligen Inventuren. Diese Emissionsfaktoren werden mit dem jährlichen Holzeinschlag (Einschlagsrückrechnung) kalibriert, so dass für jedes Jahr ein an den Holzeinschlag angepasster EF vorliegt. Die Beschreibung des methodischen Vorgehens findet sich in Röhling et al. (2016).

In Abbildung 52 sind die Kohlenstoffvorräte und –veränderungen für die Inventurzeitpunkte und –perioden angegeben. Auch diese Zahlen verdeutlichen die Zunahme des Kohlenstoffvorrates in

¹⁰⁶ siehe: <https://www.thuenen.de/de/wo/arbeitsbereiche/waldmonitoring/bodenzustandserhebung/>

den Wäldern, wobei hier nur die Vorräte für die verbleibenden Waldflächen ohne Neuwaldflächen berücksichtigt wurden. Die Kohlenstoffveränderungswerte sind die EF für die entsprechende Periode. Die Wälder der Bundesrepublik Deutschland sind damit insgesamt eine Nettosenke für Kohlenstoff.

Abbildung 52: Kohlenstoffvorräte und Kohlenstoffvorratsveränderungen für die unterirdische und oberirdische Phytomasse im Wald für die Jahre 1987/1993, 2002, 2008, 2012 und 2017



In Abbildung 53 ist der Holzeinschlag für Deutschland hergeleitet mit der Methode der Einschlagsrückrechnung dargestellt. Die methodische Beschreibung findet sich in Jochem et al. (2015). Mit den Zahlen der Einschlagsrückrechnung wurden die periodischen EF (siehe Abbildung 6) hergeleitet. Die jährlich EF finden sich in Tabelle 383.

Abbildung 53: Holzeinschlag in Deutschland

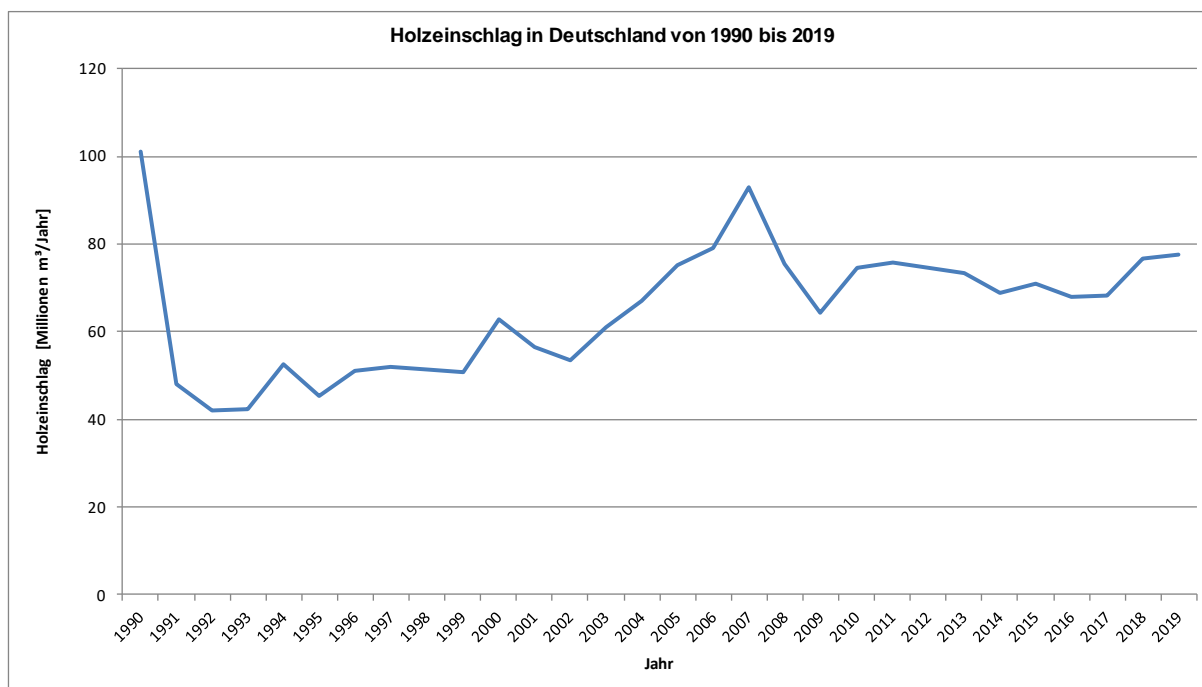


Tabelle 383: Emissionsfaktoren der verbleibenden Waldflächen der ober- und unterirdischen Biomasse

Jahr	EF oberirdische Biomasse [t C*ha]	EF unterirdische Biomasse [t C*ha]
1990	0,19	0,02
1991	1,47	0,14
1992	1,61	0,15
1993	1,6	0,15
1994	1,36	0,13
1995	1,53	0,15
1996	1,4	0,13
1997	1,38	0,13
1998	1,39	0,13
1999	1,4	0,13
2000	1,12	0,11
2001	1,27	0,12
2002	0,46	0,12
2003	0,42	0,11
2004	0,39	0,1
2005	0,35	0,09
2006	0,33	0,08
2007	0,25	0,07
2008	0,97	0,13
2009	1,12	0,15
2010	0,98	0,13
2011	0,96	0,13
2012	0,93	0,16
2013	0,95	0,17
2014	1,01	0,18

Jahr	EF oberirdische Biomasse [t C*ha]	EF unterirdische Biomasse [t C*ha]
2015	0,98	0,17
2016	1,02	0,18
2017	1,02	0,18
2018	0,9	0,16
2019	0,89	0,16

Auffällig sind die sehr niedrigen Emissionsfaktoren in den Jahren 1990 und 2007, die mit dem hohen Hozeinschlag in den Jahren korreliert. Dies ist auf Sturmereignisse mit sehr hohem Schadholzanfall zurückzuführen. 1990 traf auf Deutschland eine Serie von Orkanen mit einem daraus resultierenden Sturmholzaufkommen von ca. 70 Mill. m³. 2007 war es der Sturm Kyrill mit einem Sturmholz von ca. 37 Mill m³. Aktuell haben wir durch Trockenheit und daraus resultierenden Käferbefall für die Jahre 2018 bis Mitte 2020 ein geschätztes Schadholzaufkommen von ca. 178 Mill. m³ (BMEL, 2020). In den Berichtszahlen für die Jahre 2018/2019 spiegeln sich diese Schadholzmengen noch nicht in dem großen Umfang wider. In der Holzeinschlagsrückrechnung wird nur das Holz berücksichtigt, welches geerntet und der Holzverwendung inkl. Lager zugeführt wurde. Schadholz, welches im Wald verbleibt, wird nicht berücksichtigt. Für die Abschätzung dieses Schadholzes gibt es aktuell keine zuverlässigen Zahlen. Ein anderer Aspekt ist der Wechsel dieses Schadholzes von dem Pool Biomasse zu dem Pool Totholz, was in der Bilanz für die Berichtersattung in einer ähnlichen Größenordnung liegt. Dies abzuschätzen wird erst mit verlässlichen Daten, die voraussichtlich mit den Ergebnissen der nächsten Bundeswaldinventur vorliegen, möglich sein.

6.4.2.2 Neuwaldfläche

Die Berechnung der Änderungen der Kohlenstoffvorräte für die Biomasse auf Neuwaldflächen erfolgt nach dem Tier 2-Ansatz gemäß der *2006 IPCC Guidelines nach der* Formel 2.16. Dabei wird die Vorratsveränderung durch die Differenz zwischen dem Biomassevorrat vor und nach der Umwandlung gebildet (siehe auch Kapitel 6.1.2.3). In den CRF-Tabellen wird der Biomassevorrat der Vornutzung, der verloren geht, bei "losses" und der Biomassezuwachs der Neuwaldfläche bei "gains" eingetragen.

Für die Neuwaldfläche wurde auf Basis der BWI 1987, BWI 2002, IS2008, BWI 2012 und CI 2017 eine Einzelbaumberechnung durchgeführt. Für den Zeitraum bis 2002 wurden nur Bäume in den alten Bundesländern berücksichtigt, da die BWI 1987 nur dort durchgeführt wurde. Ab dem Jahr 2002 erfolgte eine Berechnung für Gesamtdeutschland. Die Kohlenstoffvorräte der Biomasse wurden für jede Umwandlungsfläche einer Landnutzungskategorie in Wald berechnet und am Ende in der Kategorie Neuwald zusammengefasst. Die Vorräte der Vornutzungskategorien wurden abgezogen und somit berücksichtigt.

Da für den Zeitraum von 1990 bis 2002 in den neuen Bundesländer die Holzvorräte der Neuwaldflächen nicht direkt aus dem Vergleich zweier Inventuren abgeleitet werden konnten, wurden die Werte der alten Bundesländer verwendet.

Zu beachten ist, dass die Aufforstungsflächen 20 Jahre in dieser Landnutzungskategorie verbleiben. Bei den jährlich hinzukommenden Flächen ist der Kohlenstoffvorratsverlust von der Vornutzung im Umwandlungsjahr zu berücksichtigen, der sofort als Emission gewertet wird.

In Tabelle 384 sind die EF für die jährliche Zunahme der ober- und unterirdischen Biomasse auf Aufforstungsflächen ohne die Vornutzung zusammengefasst.

Tabelle 384: EF für die Neuwaldflächen der ober- und unterirdischen Biomasse

Periode	1990-2001	2002-2007	2008-2011	2012-2019
EF oberirdische Biomasse [t C*ha]	-0,70	-0,22	-1,94	-0,86
EF unterirdische Biomasse [t C*ha]	-0,14	-0,06	-0,34	-0,18

6.4.2.2.3 Herleitung der Einzelbaumbiomassen

Die Schätzung der oberirdischen Biomasse erfolgt durch Biomassefunktionen, die mit den Daten der Bundeswaldinventur hergeleitet wurden. Weitere Informationen finden sich in Kändler and Bösch (2013) und im Kapitel 6.4.2.2.4. Auch die unterirdische Biomasse wird über Biomassefunktionen hergeleitet. Dies geschieht mit Hilfe bundesweit repräsentativer Funktionen (siehe Kapitel 6.4.2.2.5).

Für die Berechnung von Kohlenstoffvorräten wurden für 1987 für die alten Bundesländer die Daten der BWI 1987 (ca. 230.000 vermessene Bäume) verwendet. Für die neuen Bundesländer liegen mit dem Datenspeicher Waldfonds die Daten der Forsteinrichtung bis 1993 in aggregierter Form zur Kohlenstoffvorrats-Berechnung vor. Die BWI 2002, mit ca. 377.000 vermessenen Bäumen bildet die Datengrundlage für das Stichjahr 2002. Hinzugekommen sind die Daten der BWI 2012 mit rund 537.000 aufgenommenen Bäumen. Ergänzt werden die BWI-Daten durch die wiederholte Aufnahme von ca. 83.000 Bäumen in der Inventurstudie 2008 sowie ca. 96.000 Bäumen in der Kohlenstoffinventur 2017. Diese Datenquellen bilden so gute Berechnungsgrundlagen für die Kohlenstoffvorrats-Veränderungsschätzungen, dass die Vorratsveränderungsmethode (Stock-Difference Method, IPCC (2006)) der Biomasse-Zunahme-Abnahme-Methode (Gain-Loss Method, IPCC (2006)) vorgezogen werden konnte.

6.4.2.2.4 Konvertierung in oberirdische Einzelbaumbiomasse

Die rund 1600 Bäume der Studie von Kändler and Bösch (2013) beschränkten sich auf die Baumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche. Alle weiteren Baumarten werden mit Ausnahme der Weichlaubhölzer den bereits genannten zugeordnet. Würden die Weichlaubhölzer ebenfalls der Baumart Buche zugeordnet und die entsprechenden Funktionen und Koeffizienten angewendet, wäre eine deutliche Überschätzung der Biomasse für diese Baumartengruppe die Folge. Aus diesem Grund wurde über sogenannte Pseudobeobachtungen basierend auf den Grundner and Schwappach (1952)-Tafeln für die Weichlaubhölzer eine Biomassefunktion gleichen Typs angepasst.

Die Biomassefunktionen nach Baumartengruppen gliedern sich in drei Teile:

- Bäume ≥ 10 cm Brusthöhendurchmesser (BHD)
- Bäume $\geq 1,3$ m Höhe und < 10 cm BHD sowie
- Bäume $< 1,3$ m Höhe

Bei Bäumen $< 1,3$ m Höhe (hier kann kein BHD gemessen werden) ist eine Differenzierung nach den genannten 5 Baumartengruppen nicht mehr sinnvoll. Deshalb wird hier nur nach Nadel- und Laubholz unterschieden. In den Übergangsbereichen wurden die Funktionen mit Hilfe statistischer Verfahren geglättet, so dass hier mögliche Sprünge zwischen den Funktionen vermieden werden konnten.

Im Folgenden sind die Funktionen zur Ableitung der oberirdischen Biomasse aus den Bundeswaldinventurdaten und deren Koeffizienten, getrennt nach Baumartengruppen aufgeführt.

Bäume ab 10 cm BHD**Gleichung 30:**

$$Y_{BIOM_0} = b_0 e^{b_1 \frac{BHD}{BHD+k_1}} e^{b_2 \frac{D03}{D03+k_2}} H^{b_3}$$

mit Y_{BIOM_0} = Oberirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum,
 $b_{0,1,2,3}$ und $k_{1,2}$ = Koeffizienten der Marklundfunktion,
 BHD = Brusthöhendurchmesser in cm,
 D03 = Durchmesser in cm auf 30% der Baumhöhe,
 H = Baumhöhe in m.

Tabelle 385: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume ≥ 10 cm BHD

Baumart	b_0	b_1	b_2	b_3	k_1	k_2	RMSE%
Fichte	0,75285	2,84985	6,03036	0,62188	42,0	24,0	11,2
Kiefer	0,33778	2,84055	6,34964	0,62755	18,0	23,0	15,6
Buche	0,16787	6,25452	6,64752	0,80745	11,0	135,0	18,8
Eiche	0,09428	10,26998	8,13894	0,55845	400,0	8,0	12,1
Weichlaubholz	0,27278	4,19240	5,96298	0,81031	13,7	66,8	50,0 ¹⁰⁷

Bäume $> 1,3$ m Höhe und < 10 cm BHD**Gleichung 31:**

$$Y_{BIOM_0} = b_0 + \left(\frac{b_s - b_0}{d_s^2} + b_3 (BHD - d_s) \right) BHD^2$$

Y_{BIOM_0} = Oberirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum,
 $b_{0,s,3}$ = Koeffizienten der Funktion,
 BHD = Brusthöhendurchmesser in cm,
 d_s = Durchmesser gültigkeitsgrenze für diese Funktion = 10 cm.

Tabelle 386: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume $\geq 1,3$ m Höhe und < 10 cm BHD

Baumart	b_0	b_s	b_3
Fichte	0,41080	26,63122	0,01370
Kiefer	0,41080	19,99943	0,00916
Buche	0,09644	33,22328	0,01162
Eiche	0,09644	28,94782	0,01501
Weichlaubholz	0,09644	16,86101	-0,00551

Bäume $< 1,3$ m Höhe**Gleichung 32:**

$$Y_{BIOM_0} = b_0 H_1^b$$

Y_{BIOM_0} = Oberirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum,
 $b_{0,1}$ = Koeffizienten der Funktion,
 H = Baumhöhe in m.

Die Baumhöhe bei Bäumen unter 1,3 m Höhe wird bei der Bundeswaldinventur lediglich in zwei Stufen erfasst: 20-50 cm und 50-130 cm, so dass hier in die Funktion die jeweiligen Mittelwerte dieser Klassen von 35 cm und 90 cm als Standardwerte eingesetzt werden.

¹⁰⁷ Für diese Funktion ist keine Angabe des RMSE% verfügbar, deshalb wurde der IPCC Standardwert von 50% eingesetzt.

Tabelle 387: Koeffizienten der Biomassefunktion für Bäume < 1,3 m Höhe

Baumart	b ₀	b ₁
Fichte	0,23059	2,20101
Buche	0,04940	2,54946

Für die Neuen Bundesländer lagen für den Zeitpunkt 1990 keine Inventurdaten vor. Einzige verfügbare Datenquelle ist der Datenspeicher Waldfonds von 1993, welcher die Vorräte und die Waldflächen für die Neuen Bundesländer nach einer einheitlichen Methode erfasst. Deshalb wurden die Derbholzvorräte mittels der in Burschel et al. (1993) beschriebenen Methoden in Biomasse umgewandelt. In einem ersten Schritt wird das Derbholzvolumen mit dem Wurzelprozent multipliziert, so dass daraus die Angabe des unterirdischen Volumens resultiert. Anschließend wird das Derbholzvolumen und das unterirdische Volumen mit einem Volumensexpansionsfaktor multipliziert. Daraus resultiert das gesamte Baumholzvolumen. Wird vom Baumholzvolumen das Derbholz- und unterirdische Volumen subtrahiert, erhält man das Astvolumen. Anschließend werden die Volumina mit der Raumdichte multipliziert, wobei für das Astvolumen nach Pistorius et al. (2007) spezifische Raumdichten verwendet werden. Alle Werte sind in den folgenden Tabellen aufgeführt.

Tabelle 388: Wurzelprozent und Raumdichten zur Konvertierung der Datenspeicher Waldfonds-Daten

Baumart	Wurzelprozent (bis 20 Jahre)	Wurzelprozent (> 20 Jahre)	RMSE%	Raumdichte (Derbholz und Wurzel)	Raumdichte (Astholz)	RMSE%
Fichte	100	30	50	0,38	0,49	18,8
Tanne	100	25	50	0,36	0,49	22,7
Douglasie	100	25	50	0,41	0,49	20,7
Kiefer	100	25	50	0,43	0,49	27,2
Lärche	100	25	50	0,49	0,49	18,2
Buche	100	25	50	0,56	0,54	13,7
Eiche	100	25	50	0,57	0,57	19,8
Hartlaubholz	100	25	50	0,56	0,57	15,0
Weichlaubholz	100	25	50	0,46	0,54	8,7

Tabelle 389: Volumensexpansionsfaktoren zur Konvertierung von Derbholzvolumen + unterirdischem Volumen zum Baumholzvolumen der Datenspeicher Waldfonds-Daten

Baumart	0 bis 20 Jahre	21 bis 40 Jahre	41 bis 60 Jahre	61 bis 80 Jahre	81 bis 100 Jahre	101 bis 120 Jahre	121 bis 140 Jahre	141 bis 160 Jahre	> 160 Jahre	RMSE%
Fichte	4	1,65	1,51	1,45	1,45	1,45	1,46	1,47	1,48	50
Tanne	4	1,52	1,44	1,44	1,38	1,41	1,41	1,42	1,41	50
Douglasie	4	1,65	1,51	1,45	1,45	1,45	1,46	1,47	1,48	50
Kiefer	4	1,51	1,42	1,40	1,36	1,34	1,34	1,34	1,33	50
Lärche	4	1,51	1,42	1,40	1,36	1,34	1,34	1,34	1,33	50
Buche	4	1,69	1,47	1,41	1,38	1,39	1,39	1,38	1,39	50
Eiche	4	1,58	1,41	1,39	1,37	1,35	1,34	1,35	1,34	50
Hartlaubholz	4	1,69	1,47	1,41	1,38	1,39	1,39	1,38	1,39	50
Weichlaubholz	4	1,69	1,47	1,41	1,38	1,39	1,39	1,38	1,39	50

Sowohl für das Wurzelprozent als auch für den Volumensexpansionsfaktor sind keinerlei Unsicherheiten bekannt. Aus diesem Grund wird hier der IPCC Standardwert von 50 % verwendet.

6.4.2.2.5 Konvertierung in unterirdische Biomasse

Um zwischen der Herleitung der oberen und der unteren Biomasse vergleichbare und transparente Methoden anwenden zu können, werden seit der Submission 2015 Biomassefunktionen basierend auf begutachteten Artikeln verwendet. Für die Kiefer wurde vom

Thünen Institut eine eigene Biomassefunktion zur Ableitung der unterirdischen Biomasse entwickelt. Alle gewählten Biomassefunktionen entsprechen der Gleichung 33.

Gleichung 33:

$$Y_{BIOM_u} = b_0 BHD^{(b_1)}$$

Y_{BIOM_u} = unterirdische Biomasse in kg pro Einzelbaum

$b_{0,1}$ = Koeffizienten der unterirdischen Biomassefunktion.

BHD = Brusthöhendurchmesser in cm

Tabelle 390: Koeffizienten, Parameter, Unsicherheiten und Quellen für die verwendeten Biomassefunktionen, unterteilt nach Baumarten

Baumart	b_0	Parameter	b_1	RMSE%	Region	Quelle
Fichte	0.003720	BHD [cm]	2.792465	34,6	Solling	(Bolte et al., 2003)
Kiefer	0.006089	BHD [cm]	2.739073	26,3	Barnim	(Neubauer & Demant, 2016)
Buche	0.018256	BHD [cm]	2.321997	49,0	Solling	(Bolte et al., 2003)
Eiche	0.028000	BHD [cm]	2.440000	50,0 ¹⁰⁸	Nordost Frankreich	(Drexhage & Colin, 2001) in (Bolte et al., 2003)
Weichlaubholz (Wurzelbiomasse)	0.000010	BHD [mm]	2.529000	9,6	Südschweden	(Johansson & Hjelm, 2012)
Weichlaubholz (Wurzelstumpfbiomasse) ¹⁰⁹	0.000116	BHD [mm]	2.290300	15,9	Südschweden	(Johansson & Hjelm, 2012)

Auf die Verwendung von log-Funktionen, welche in der Literatur ebenfalls vorhanden sind (siehe Abbildung 54), wurde bewusst verzichtet. Eine „Rücktransformierung“ der Fehlerwerte zur Weiterverwendung im Fehlerbudget ist nicht möglich bzw. es stellte sich heraus, dass bei Vorliegen der original Messwerte, die log-Fehlerangaben nach einer „Rücktransformation“ ähnlich hoch ausfallen, wie in der ursprünglichen Skaleneinheit.

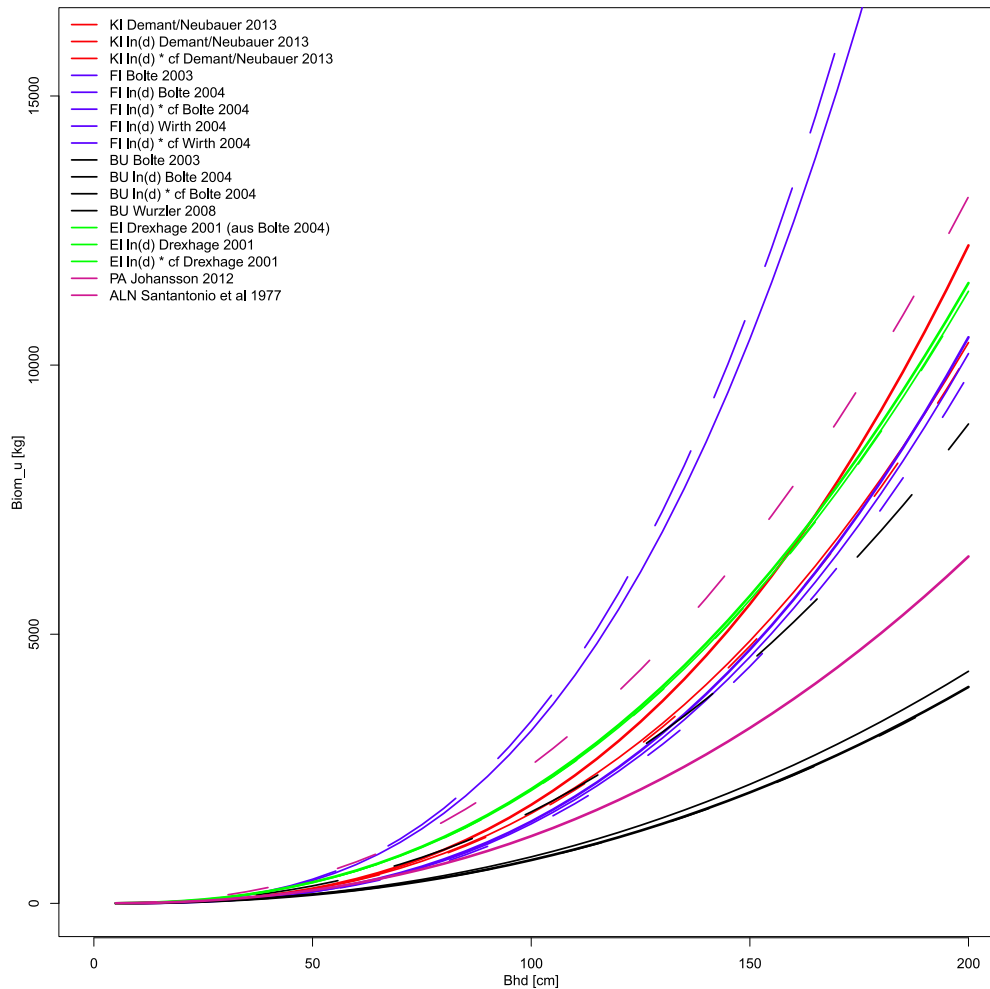
Neben der Thünen-Institut-eigenen Kiefernfunktion (Neubauer & Demant, 2016) ist auch die Funktion von Drexhage and Colin (2001) in Bolte et al. (2003) für Eiche in Europa einzigartig. Die gewählten Funktionen für Buche und Fichte decken einen wesentlich breiteren Bereich in der BHD-Verteilung ab, vor allem im stärkeren Bereich, als Vergleichsstudien von Wutzler et al. (2008) und Wirth et al. (2004). Die Funktionen haben somit einen wesentlich geringeren Extrapolationsbereich, wodurch ein „abdriften“ der Biomassewerte nach oben vermieden wird (siehe Abbildung 54).

Gleichzeitig wurden die gewählten Funktionen für Fichte und Buche jedoch nur in einem kleinen Gebiet, dem Solling erhoben. Dagegen beziehen die Funktionen von Wutzler et al. (2008) und Wirth et al. (2004) Daten aus verschiedenen, geographisch unterschiedlichen Studien ein.

Dieser Vergleich der gewählten Funktionen für Fichte, Buche und Weichlaubholz (jeweils durchgezogene Linie in Abbildung 54) mit weiteren Veröffentlichungen zeigt, dass die gewählten Funktionen stets konservative Biomassevorräte schätzen. Die Veränderungsraten zwischen zwei Zuständen sind somit ebenfalls im Bezug auf andere Funktionen gering. Da in der Kategorie der unterirdischen Biomasse über den gesamten Berichtszeitraum Kohlenstoff akkumuliert wird, sind die Schätzungen zur Sequestrierungsrate als konservativ zu werten.

¹⁰⁸ Für diese Funktion ist keine Angabe des RMSE% verfügbar, deshalb wurde der IPCC-Default von 50% eingesetzt.

¹⁰⁹ Der mittlere RMSE% beider Funktionen (Wurzelstumpfbiomasse + Wurzelmasse) beträgt 24,2%.

Abbildung 54: Vergleich verschiedener Funktionen zur Ableitung der unterirdischen Biomasse

6.4.2.2.6 Konvertierung der Einzelbaumbiomasse in Kohlenstoff

Für die Konvertierung der Biomasse in Kohlenstoffvorräte wurde ein Wert von 0,5 angewandt. Wirth et al. (2004) berichten, dass die Unterschiede zwischen den Kompartimenten innerhalb einer Baumart größer sind als die Unterschiede zwischen den Baumarten. Sie kommen auf eine Spanne von 0,5 bis 0,56 g C g⁻¹ in Nadelbäumen. Der relative Standardfehler des Kohlenstoffgehaltes in Holz wird von Burschel et al. (1993) mit 1 bis 2 % angegeben, Weiss et al. (2000) benutzten 2 %. Insgesamt scheint daher ein mittlerer Kohlenstoffgehalt von 0,5 g C g⁻¹ als gute Annahme für den durchschnittlichen Gehalt mit einem relativen Standardfehler von ± 2 % als angemessen.

6.4.2.2.7 Zustandsschätzer für 1987, 2002, 2008, 2012 und 2017

Einige Bundesländer verwenden ein Stichprobennetz, das dichter ist als 4 x 4 km. Darüber hinaus haben einige Bundesländer das Stichprobennetz zwischen den Inventuren verdichtet. Daher muss die Hochrechnung auf die Bundesfläche stratifiziert nach homogenen Netzdichten nach sogenannten Samplingstraten erfolgen. An dieser Stelle werden die Hochrechnungsverfahren für den stratifizierten Stichprobenplan für die Zielgrößen Derbholzvorrat, Biomasse und Kohlenstoff zu einem Zeitpunkt vorgestellt. Berechnet werden die Zustände zu den Zeitpunkten 1987, 2002, 2008, 2012 und 2017. Die Hochrechenalgorithmen sind für unterschiedliche Aussageeinheiten (gesamtes Bundesgebiet, verschiedene Regionen (Alte/Neue Bundesländer) und unterschiedliche LULUCF- bzw. ARD-Kategorien) identisch.

Die Bundeswaldinventur ist eine Traktstichprobe. Die kleinste Stichprobeneinheit ist der Trakt (Cluster) mit vier Trakt-Ecken (Probepunkten). An der Grenze des Inventurgebietes bzw. der Straten gibt es jedoch unvollständige Trakte mit variabler Größe, d.h. die Anzahl Stichprobenpunkte (Trakt-Ecken im Wald und Nichtwald) innerhalb eines Traktes kann zwischen den Werten 1 bis 4 variieren. Für jeden Trakt c , der im Stratum l lokalisiert ist, muss vorab die lokale Dichte (Y) berechnet werden:

Gleichung 34:

$$Y_{lc} = \frac{\sum_{m=1}^M I_{l,c,m} Y_{l,c,m}}{M_{l,c}}$$

Y = lokale Stichprobendichte

l = Stratum

c = Trakt

m = Stichprobenpunkt

M = Anzahl Stichprobenpunkte

Daraus ergibt sich der Mittelwertschätzer der Dichte bezogen auf Wald und Nichtwald für das Stratum l wie folgt:

Gleichung 35:

$$\hat{Y}_l = \frac{\sum_{c_l=1}^{C_l} M_{l,c} Y_{lc}}{\sum_{c_l=1}^{C_l} M_l}$$

\hat{Y} = gewichteter Mittelwert der lokalen Stichprobendichte

l = Stratum

c = Trakt

C = Anzahl Trakte

M = Anzahl Stichprobenpunkte

Y = lokale Stichprobendichte

Der Gesamtschätzer für eine Zielgröße über alle Straten hinweg ist ein mit den Flächenanteilen der Straten gewichteter Mittelwert aus den einzelnen Stratenschätzern:

Gleichung 36:

$$\hat{Y}_{st} = \sum_{l=1}^L \hat{Y}_l \frac{\lambda(U_l)}{\lambda(U)}$$

\hat{Y}_{st} = Gesamtschätzer

l = Stratum

U = Fläche

λ = Schätzgröße

Das Total einer Zustandsschätzung ergibt sich durch Multiplikation des Gesamtschätzers mit der Gesamtfläche $\lambda(U)$.

Gleichung 37:

$$\hat{Y}_{st} = \hat{Y}_{st} \lambda(U)$$

\hat{Y}_{st} = Total Zustandsschätzung

st = Zustand

U = Fläche

λ = Schätzgröße

Der (wald-) flächenbezogene Mittelwert ist definiert als Quotienten- oder Ratioschätzer aus:

Gleichung 38:

$$\hat{R}_{st} = \frac{\hat{Y}_{st}}{\lambda(U_{Wald})}$$

6.4.2.2.8 Schätzer für die Vorratsveränderung nach der „Stock-Difference-Method“

Für die Berechnung der Veränderung zwischen zwei Zeitpunkten (den Perioden 1987-2002, 2002-2008 bzw. 2008- 2012 und 2012-2017) wurde die CFI (Continuous Forest Inventory) Methode gewählt, d.h. für die Hochrechnung werden nur die Traktecken herangezogen, die zu beiden Zeitpunkten aufgenommen wurden. Die Veränderungsschätzung beruht somit auf der Differenz beider Zustandsschätzungen. Auf Ebene der Straten wird die Gesamtveränderung geschätzt durch:

Gleichung 39:

$$\hat{G}_l = \hat{Y}_l^{(t_2)} - \hat{Y}_l^{(t_1)}$$

\hat{G}_l = Gesamtveränderung im Stratum

l = Stratum

t = Zeitpunkt

\hat{Y} = Zustandsschätzung

Die Schätzung der Gesamtveränderung über die Straten hinweg für die gesamte Aussageinheit erfolgt analog zu Gleichung 39. Die Schätzung des Veränderungstotals berechnet sich nach Gleichung 40. Die Veränderung des flächenbezogenen Mittelwertes ergibt sich aus:

Gleichung 40:

$$\hat{G}_{R_{st}} = \hat{R}_{st}^{(t_2)} - \hat{R}_{st}^{(t_1)}$$

$\hat{G}_{R_{st}}$ = Gesamtveränderung über die Straten

t = Zeitpunkt

(\hat{R}_{st}) = Ratioschätzer

6.4.2.2.9 Herleitung der jährlichen Veränderungsschätzungen

Da es sich bei der Bundeswaldinventur um eine periodisch wiederkehrende Inventur handelt, können für die Jahre in den Perioden nur durchschnittliche EF ermittelt werden. Um die Variabilität in den Perioden zu ermöglichen, wurde die Holzeinschlags-Faktor-Methode (logging factor method) verwendet (Röhling et al., 2016). Die durch die Holzernte verursachten

Kohlenstoffverluste beeinflussen die Änderung der Kohlenstoffvorräte. Je höher die Menge des geernteten Holzes und den dadurch verursachten Kohlenstoffverlust in einem bestimmten Jahr im Vergleich zum periodischen Durchschnitt ist, desto mehr wird der EF entsprechend der Holzernte angepasst. Für die Holzeinschlags-Faktor-Methode (LFM) kommen folgende Gleichungen zur Anwendung:

Gleichung 41:

$$EF_{LFM} = EF * (1 + F_1)$$

EF_{LFM} = Jährlicher mit dem Holzeinschlag korrigierter Emissionsfaktor (tC/ha*a)

EF = Durchschnittlicher Emissionsfaktor der Inventurperiode (tC/ha*a)

F_1 = Korrekturfaktor

Gleichung 42:

$$F_1 = \frac{(L_{fp} - L_{fa})}{L_{fp}}$$

F_1 = Korrekturfaktor

L_{fa} = jährlicher Holzeinschlag (m³)

L_{fp} = periodischer Holzeinschlag (m³)

6.4.2.3 Totholz (CRF-Table 4.A)**6.4.2.3.1 Verbleibende Waldfläche**

Die Berechnung der Änderung des Totholzkohlenstoffvorrates erfolgt nach dem Tier 2-Ansatz mit der Vorratsveränderungsmethode (Stock-Difference Method, Equ. 2.19, IPCC (2006)).

Für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte im Totholz wurden die Daten der BWI 2002 (Schmitz et al., 2005), der Inventurstudie 2008, der BWI 2012 und der Kohlenstoffinventur 2017 verwendet. Totholzdaten zum Zeitpunkt der BWI 1987 stehen nicht zur Verfügung, da bei dieser Inventur kein Totholz aufgenommen wurde. Die terrestrische Aufnahme der BWI 2002 beschränkte sich auf Totholz mit einem Durchmesser ab 20 cm am dickeren Ende bei liegendem Totholz bzw. BHD bei stehendem Totholz sowie Stöcke ab 50 cm Höhe oder 60 cm Schnittflächendurchmesser (Polley, 2001). Aufgrund der Vorgaben der Klimaberichterstattung wurde die Erfassungsgrenze für Totholzobjekte bei den Erhebungen der Inventurstudie 2008, der BWI 2012 und der CI 2017 auf einen Durchmesser ab 10 cm am dickeren Ende gesenkt (BMELF, 2010). Bei allen drei Waldinventuren erfolgte eine Unterteilung in die drei Baumartengruppen Nadelbäume (NDH), Laubbäume (LBH) (außer Eiche) und Eiche (EI). Der Zersetzungsgrad des Totholzes wurde in vier Klassen angesprochen (BMELF, 2010), (Polley, 2001).

Für die Berichterstattung nach den 2006 IPCC Guidelines wurde aus den in der Inventurstudie erhobenen Daten die Relation des Totholzvorrates zwischen der Aufnahmegrenze von 10 cm und 20 cm ermittelt. Unter der Annahme, dass dieses Verhältnis zum Zeitpunkt der BWI 2002 gleich war, erfolgte die Schätzung des Totholzvorrates ab 10 cm Aufnahmegrenze für das Jahr 2002. Für die Totholzvorräte der BWI 2002 der Inventurstudie 2008, der BWI 2012 und der CI 2017 wurde die Biomasse für die einzelnen Zersetzungsgrade mit der Raumdichte nach Fraver et al. (2002) für Nadelholz und nach Müller-Using and Bartsch (2009) für Laubholz ermittelt. Für die Berechnung der Raumdichte des Laubholzes wurden die Totholzobjekte der Baumartengruppen Laubbäume (außer Eiche) und Eiche zusammengelegt. Einen Überblick über die verwendeten

Biomasse-Expansionsfaktoren und deren Fehler getrennt nach Baumartenklassen und Zersetzungsgraden finden sich in Tabelle 391.

Tabelle 391: Biomasse Expansionsfaktoren (BEF) und deren Fehler (RMSE%) für die Baumartenklassen und Zersetzungsgrade (NDH = Nadelbäume, LBH = Laubbäume, EI = Eiche)

Totholzart	Zersetzungsgrad	BEF	RMSE%	Quelle
NDH	1 frisch abgestorben	0.372	17,2	(Fraver et al.)
NDH	2 beginnende Zersetzung	0.308	27,9	(Fraver et al.)
NDH	3 fortgeschrittene Zersetzung	0.141	35,5	(Fraver et al.)
NDH	4 stark vermodert	0.123	25,2	(Fraver et al.)
LBH	1 frisch abgestorben	0.58	12,1	(Müller-Using & Bartsch)
LBH	2 beginnende Zersetzung	0.37	43,2	(Müller-Using & Bartsch)
LBH	3 fortgeschrittene Zersetzung	0.21	33,3	(Müller-Using & Bartsch)
LBH	4 stark vermodert	0.26	65,4	(Müller-Using & Bartsch)
EI	1 frisch abgestorben	0.58	12,1	(Müller-Using & Bartsch)
EI	2 beginnende Zersetzung	0.37	43,2	(Müller-Using & Bartsch)
EI	3 fortgeschrittene Zersetzung	0.21	33,3	(Müller-Using & Bartsch)
EI	4 stark vermodert	0.26	65,4	(Müller-Using & Bartsch)

Die jährliche Änderung des Kohlenstoffvorrates im Totholz wurde nach Gleichung 43 (Equ. 2.19, IPCC (2006)) berechnet. Die EF für das Totholz auf verbleibenden Waldflächen sind in Tabelle 392 zusammengefasst.

Gleichung 43:

$$\Delta C_{FFDW} = \frac{A * (B_{t_2} - B_{t_1})}{T} CF$$

mit:

ΔC_{FFDW} = jährliche Änderung des Kohlenstoffes im Totholz auf verbleibenden Waldflächen

A = Fläche des verbleibenden Waldes

B_{t_1} = Totholzvorrat zum Zeitpunkt t_1 (Beginn der Periode) für den verbleibenden Wald

B_{t_2} = Totholzvorrat zum Zeitpunkt t_2 (Ende der Periode) für den verbleibenden Wald

$T=(t_2-t_1)$ = Zeitraum zwischen den beiden Schätzungen

CF = Kohlenstoffkonversionsfaktor (Standardwert = 0,5)

Tabelle 392: Totholzemissionsfaktoren für verbleibende Waldflächen

Periode	1990-2001	2002-2007	2008-2011	2012-2019
Totholz-EF [t C*ha]	0,037	0,097	-0,188	0,095

6.4.2.3.2 Neuwaldfläche

Die jährliche Änderung des Kohlenstoffvorrates im Totholz auf Neuwaldflächen wurde nach Equation 2.19 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) berechnet. Sie ist identisch mit der Gleichung für die Veränderung der Totholzvorräte für verbleibenden Wald (siehe Gleichung 43). Für die Bestimmung von Totholzvorräten für Neuwaldflächen standen die Daten der BWI 2002, BWI 2012 und CI 2017 zur Verfügung. Bei der Inventurstudie 2008 wurden keine Neuwaldflächen erhoben und bei der BWI 1987 wurde kein Totholz erfasst. Die EF für das Totholz auf Neuwaldflächen sind in Tabelle 393 zusammengefasst.

Tabelle 393: Totholzemissionsfaktoren für Neuwaldflächen

Periode	1990-2007	2008-2011	2012-2019
Totholz-EF [t C*ha]	-0,034	-0,229	-0,003

6.4.2.4 Streu (CRF-Table 4.A)

6.4.2.4.1 Verbleibende Waldfläche

Die Berechnung der Kohlenstoffvorratsveränderung für die Streu erfolgt nach dem Tier 2-Ansatz mit der Vorratsveränderungsmethode (Stock-Difference Method, Equation 2.19, 2006 IPCC Guidelines).

Die Veränderungsrechnung der Kohlenstoffvorräte im Boden und Streu basiert auf den Daten der bundesweiten Bodenzustandserhebungen im Wald (BZE I und BZE II, siehe Kapitel 6.4.2.1.2, und Grüneberg et al. (2014)). Im Zeitraum von 1990 (BZE I) bis 2006 (BZE II) war eine leichte Abnahme der Kohlenstoffvorräte in der Streu von $-0.02 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ zu verzeichnen (Grüneberg et al., 2014). Es wird angenommen, dass dieser Trend auch für den Zeitraum von 2007 bis 2019 gilt. Eine ausführliche Beschreibung zum methodischen Vorgehen zur Bestimmung der Kohlenstoffvorratsänderung in der Streu ist im Kapitel 6.4.2.4.4 zu finden.

6.4.2.4.2 Neuwaldflächen

Die Berechnung der Kohlenstoffvorratsänderungen erfolgte nach dem Tier 2-Ansatz (Equation 2.23, 2006 IPCC Guidelines, IPCC (2006)). Dieser Ansatz erfordert die Herleitung der jährlichen Kohlenstoffänderungsrate. Diese wird berechnet aus den durchschnittlichen Streuvorräten im Wald unter Gleichgewichtsbedingungen und einer Übergangsperiode, die benötigt wird, bis sich die Streuvorräte bei Aufforstung aufgebaut haben.

Für die Berechnung der Streuauflage wurden die Zustandsdaten der BZE I und BZE II verwendet. Danach betragen die mittleren Kohlenstoffvorräte in der Streu für das Stichjahr 1990 der BZE I $19,0 \text{ t C ha}^{-1}$ und für das Stichjahr 2006 der BZE II $18,8 \text{ t C ha}^{-1}$. Somit zeigte es sich, dass die mittleren Kohlenstoffvorräte in der Streu im Wald ihrerseits einem leichten Trend unterlagen. Die mittleren Vorräte werden diesem Trend angepasst. Sie werden für die Periode von 1991 bis 2005 durch Interpolation und ab 2007 durch Extrapolation berechnet und als Berechnungsgrundlage für Aufforstungsflächen herangezogen (siehe Tabelle 394). Die methodische Beschreibung für die Herleitung der Kohlenstoffvorräte in der Streu findet sich im Kapitel 6.4.2.4.3.

Tabelle 394: Implizite Emissionsfaktoren (IEF) (Kohlenstoff) für Streu der Landnutzungskategorien zu Neuwald

Jahr	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
IEF [t C ha ⁻¹]	0,4748	0,4733	0,4717	0,4701	0,4684	0,4681	0,4678	0,4748	0,4733	0,4717	0,4701	
Jahr	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019					
IEF [t C ha ⁻¹]	0,4674	0,4671	0,4667	0,4663	0,4659	0,4659	0,4658					

Eine weitere Unterteilung der Aufforstungsflächen in die Klassen „natürliche Regeneration“ und „menschlich induziert“ wurde nicht vorgenommen (siehe Kapitel 11.4.1).

6.4.2.4.3 Herleitung der Kohlenstoffvorräte der Streu

Die Beprobung der Streu erfolgte an den Inventurpunkten anhand von Mischproben an Satelliten mit Stechrahmen unterschiedlicher Größe (Grüneberg et al., 2014). Als Streu entsprechend den 2006 IPCC Guidelines wurde die gesamte tote organische Auflage einschließlich den L-, Of- und Oh-Horizonten angesehen (IPCC, 2006). Die Messung der organischen Kohlenstoffkonzentration der Streu erfolgte durch eine vergleichbare Methodik. Dabei gilt, dass der Gesamtkohlenstoff

(C_{ges}) gleich dem organischen Kohlenstoff (C_{org}) ist ($[C_{\text{ges}}]=[C_{\text{org}}]$). Der Kohlenstoffvorrat der Streu errechnet sich aus der Fläche des Stechrahmens sowie aus dem Gewicht und der organischen Kohlenstoffkonzentration der Streu. Die Beschreibung der verwendeten Methoden bei der Beprobung und Analytik findet sich in Wellbrock et al. (2006) und König et al. (2005).

In die Berechnung der Kohlenstoffvorräte der Streu gingen alle für die BZE I und BZE II vorliegenden Punkte mit Angaben zum Waldtyp ein. Alle Werte kleiner oder größer der doppelten Standardabweichung ($x \pm 2 \sigma$) wurden als Ausreißer aufgefasst und gelöscht. Aus den Werten der verbliebenen Datenpunkte für BZE I ($n = 1629$) und BZE II ($n = 1542$) ließen sich die Kohlenstoffvorräte getrennt für Laub-, Nadel- und Mischwald angeben (siehe Tabelle 395). Die mittleren Kohlenstoffvorräte der beiden Inventuren wurden als gewichtetes Mittel aus den Kohlenstoffvorräten der drei Waldtypen berechnet. Die Gewichte wurden dabei aus den Flächenanteilen der Waldtypen an der Gesamtwaldfläche aus den CORINE Land Cover- Daten 1990 und 2006 und der regionalen Netzdichte ermittelt. Die mittleren Kohlenstoffvorräte der Stichproben betragen für die BZE I $19,0 \pm 0,3 \text{ t C ha}^{-1}$ und für die BZE II $18,8 \pm 0,3 \text{ t C ha}^{-1}$ (Grüneberg et al., 2014). Diese Werte dienen als Grundlage für die Berechnung von CO_2 -Emissionen aus der Streuauflage bei Entwaldung (siehe Kapitel 11.3.1.4) und Kohlenstoffsequestrierung in selbiger bei Aufforstungen (siehe Kapitel 6.4.2.4.2).

Tabelle 395: In den Inventuren BZE I und BZE II ermittelte Kohlenstoffvorräte in der Streu deutscher Wälder mit Angabe des Standardfehlers (Grüneberg et al., 2014)

Waldtyp	Kohlenstoffvorräte (BZE I) [t C ha ⁻¹]	Kohlenstoffvorräte (BZE II) [t C ha ⁻¹]
Laubwald	$8,35 \pm 0,37$	$6,78 \pm 0,30$
Mischwald	$17,94 \pm 0,63$	$14,99 \pm 0,70$
Nadelwald	$23,75 \pm 0,44$	$25,23 \pm 0,49$
Wald gesamt	$19,04 \pm 0,30$	$18,83 \pm 0,32$

6.4.2.4.4 Herleitung der Kohlenstoffvorratsänderung in der Streu in dem Zeitraum von 1990 (BZE I) bis 2006 (BZE II)

Die bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte eingehenden Punkte wurden als ungepaarte Stichproben aufgefasst. Es wurde mit einem zweiseitigen T-Test für ungepaarte Stichproben getestet, ob sich die logarithmierten Kohlenstoffvorräte zu beiden Inventurzeitpunkten unterschieden. Jedem Punkt wurde dabei ein Gewicht zugeordnet, das sich aus dem Flächenanteil des jeweiligen Stratum und der regionalen Netzdichte zusammensetzte. Die durchschnittliche Differenz betrug $-0,02 \pm 0,02 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Grüneberg et al., 2014). Der Wert weicht nicht signifikant von Null ab.

Für die Neuwaldflächen wurde aus den Kohlenstoffvorräten der BZE I / BZE II und der durchschnittlichen Differenz jährlich abnehmende Faktoren für die Streuakkumulation berechnet (siehe Kapitel 6.4.2.4.2 sowie Tabelle 394).

6.4.2.5 Mineralische Böden (CRF-Table 4.A)

6.4.2.5.1 Verbleibende Waldfläche

Die Berechnung der Kohlenstoffvorratsveränderung für die mineralischen Böden erfolgt nach dem Tier 2-Ansatz der 2006 IPCC Guidelines (Equ. 2.25, IPCC (2006)).

Die Hochrechnung der Kohlenstoffvorräte und -vorratsveränderungen in den mineralischen Böden basiert auf der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE I und BZE II, siehe Kapitel 6.4.2.1.2) entsprechend Grüneberg et al. (2014). Mit den vorhandenen Daten wurde eine

Veränderungsrechnung für die mineralischen Böden für beide Inventuren durchgeführt. Das methodische Vorgehen wird ausführlich in den folgenden Kapiteln 6.4.2.5.3 und 6.4.2.5.4 beschrieben. Die Hochrechnung ergab über das gesamte Bundesgebiet gemittelt eine jährliche Zunahme des Kohlenstoffvorrates im Mineralboden von $0,41 \pm 0,11 \text{ t C ha}^{-1}$. Es wurde angenommen, dass dieser Trend auch für den Zeitraum 2007 bis 2019 anhält.

Aktuell wird die dritte Bodenzustandserhebung im Wald (BZE III) vorbereitet und ab 2021 durchgeführt. Mit den Ergebnissen der BZE III erfolgt dann eine Rückrechnung für den Zeitraum ab 2007.

6.4.2.5.2 Neuwaldflächen

Auch für die Neuwaldflächen wird - wie bei verbleibendem Wald - die Berechnung der Kohlenstoffvorratsveränderung für die mineralischen Böden nach dem Tier 2-Ansatz durchgeführt (Equ. 2.25, IPCC (2006)).

Für Neuwaldflächen wurden die Kohlenstoffänderungen in den mineralischen Böden entsprechend Kapitel 6.1.2.1 berechnet. Die berechneten mittleren Emissionsfaktoren (Implied Emission Factors) für das Jahr 2017 sind in Tabelle 345 im Kapitel 6.1.2.1.1 zusammengefasst und beziehen sich auf die jährliche Veränderung des Kohlenstoffvorrats der mineralischen Böden bei Landnutzungsänderung zu Neuwald bei einem Veränderungszeitraum von 20 Jahren.

6.4.2.5.3 Herleitung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen

Die Herleitung der Kohlenstoffvorräte und deren Veränderungen erfolgte auf Grundlage von Inventurdaten der Bodenzustandserhebung (BZE) (siehe Kapitel 6.4.2.1.2 und Grüneberg et al. (2014)). Die Beprobung des Mineralbodens in der für den nationalen Inventurbericht relevanten Tiefe erfolgte an den meisten BZE-Punkten in Tiefenstufen von 0-5 cm, 5-10 cm und 10-30 cm. In wenigen Fällen wurde horizontweise beprobt.

Mit der Beprobung wurden die Trockenrohichte des Feinbodens (TRD_{fb}), der Grobbodenanteil (GBA) und die Konzentration des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) nach vergleichbarer Methodik erfasst (König et al., 2005). Die Trockenrohichte des Feinbodens wurde durch volumengerechte Beprobung tiefenstufenweise ermittelt, wobei teilweise am Bodenprofil ermittelte Schätzwerte genutzt wurden (Wolff and Riek (1997), Wellbrock et al. (2006)). Fehlende Angaben zur Trockenrohichte wurden durch vorhandene Werte aus anderen Inventuren ersetzt. Dies galt ebenfalls für den zur Berechnung der TRD_{fb} und des Feinbodenvorrats notwendigen Grobbodenanteil.

In karbonathaltigen Böden erfolgte die Messung der organischen Kohlenstoffkonzentration (C_{org}) des Feinbodens unter Berücksichtigung des anorganischen Kohlenstoffgehalts (C_{anorg}) ($[C_{\text{org}}] = [C_{\text{ges}}] - [C_{\text{anorg}}]$). Bei nicht-karbonathaltigen Böden gilt $[C_{\text{org}}] = [C_{\text{ges}}]$.

Die Gesamtkohlenstoffvorräte pro Probe wurden aus den Vorräten der einzelnen Tiefenstufen berechnet. Dazu mussten horizontweise erhobene Daten zunächst in Tiefenstufenabschnitte überführt werden, indem die Kohlenstoffvorräte einer Tiefenstufe gewichtet nach den Mächtigkeiten der sich überschneidenden Abschnitte und deren Kohlenstoffvorräten berechnet wurden.

Für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte und deren Veränderungen zwischen beiden Inventurzeitpunkten wurde mit der Bildung von Straten ein flächenbezogener Ansatz gewählt. Grundlage zur Bildung von flächenrelevanten Straten waren die 72 Legendeneinheiten der Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK 1000). Darin sind Leitbodentypen und Ausgangsgesteine der Bodenbildung nach deutscher Bodensystematik (Arbeitsgruppe Boden, 1994) und FAO (International Soil Reference Information Centre, 1990)

beschrieben. Da die einzelnen Klassen unterschiedlich stark mit Stichprobenpunkten besetzt waren, wurden die einzelnen Leitbodeneinheiten zu neuen Leitbodeneinheiten aggregiert, was die Grundgesamtheit je Klasse steigerte und die damit verbundene statistische Aussagekraft erhöhte. Die Klassenbildung orientierte sich sowohl nach vergleichbaren Bodentypen als auch nach Substrattyp bzw. Ausgangsgestein sowie nach Bodenart und Kalkgehalt. Insgesamt standen 16 Leitbodeneinheiten mit dem entsprechenden Ausgangsgestein für die flächenbezogene Auswertung zur Verfügung (siehe Tabelle 396). Die Zuordnung der Inventurpunkte zu den Leitbodeneinheiten erfolgte anhand der bei den Inventuren aufgenommenen Daten zum Ausgangsgestein und einer eventuellen Schichtung, zum Bodentyp und den Horizontabfolgen sowie zur Bodenart.

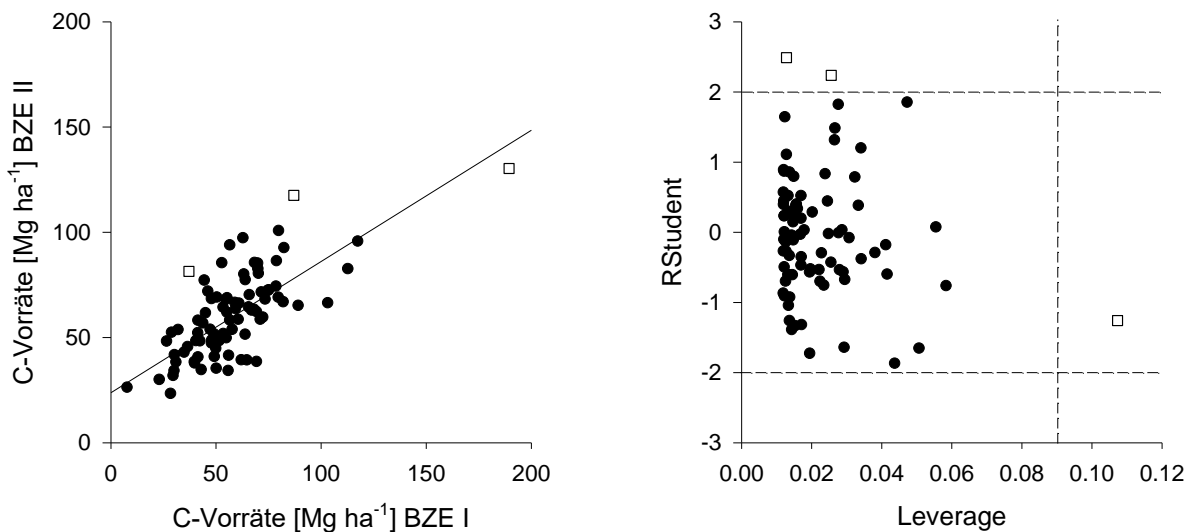
Tabelle 396: Zusammengefasste Legendeneinheiten auf Grundlage der BÜK 1000

Abk.	Leitbodeneinheiten nach Substrattyp, Bodenart und Kalkgehalt
1	Nährstoffarme Böden aus trockenen, nährstoffarmen Sanden
2	Verschiedene Böden aus sandigen bis lehmigen Terrassen- oder Flussablagerungen
3	Verschiedene Böden aus teilweise kalkhaltigen, lehmig-tonigen Terrassen- oder Flussablagerungen
4	Pseudovergleyte Böden aus sandig bis lehmigen Deckschichten über Geschiebelehm
5	Verschiedene Böden aus sandigen Deckschichten über Geschiebelehm
6	Braunerden aus nährstoffreichen Sanden
7	Böden der Lössgebiete
8	Verschiedene Böden aus Hangschutt über Kalk-, Mergel- und Dolomitgesteinen über Terra fusca aus schluffig-tonigen Umlagerungsprodukten der Kalksteinverwitterung
9	Braunerde und Terra fusca aus Umlagerungsprodukten der Kalk-, Mergel- und Dolomitstein-Verwitterung sowie Rendzina aus Kalkstein
10	Pelosol-Braunerde / Pelosol-Pseudogley aus Verwitterungsprodukten von Mergel- und Tongesteinen und kalkhaltigen Schottern
11	Braunerde aus basischen und intermediären magmatischen Gesteinen
12	Braunerden aus sauren magmatischen und metamorphen Gesteinen
13	Braunerde / Podsole aus harten Ton- und Schluffschiefern mit Anteilen von Grauwacke, Sandstein, Schluffstein, Quarzit und Phyllit
14	Podsole / Braunerde aus basenarmen Quarziten, Sandsteinen und Konglomeraten
15	Verschiedene Böden in engräumigem Wechsel aus Grauwacken, Tonschiefer, Kalkstein, Sand-Schluff- und Tonsteinen sowie Lösslehm über verschiedenen Gesteinen
16	Hochgebirgsböden aus Kalk- und Dolomitgestein sowie aus Silikatgesteinen

Für die Auswertung lagen Kohlenstoffvorräte für 1.865 Punkte der BZE I und 1.813 Punkte der BZE II -Inventur vor Grüneberg et al. (2014). Mit Ausnahme von zwei Bundesländern, lagen die Daten hauptsächlich als gepaarte Stichprobe vor, d.h. einem BZE I-Punkt konnte genau ein BZE II-Punkt zugeordnet werden. Die Anzahl, der in die endgültige Berechnung eingehenden Punkte, war allerdings niedriger, da organische Böden ausgeschlossen wurden, Punkte keiner Leitbodeneinheit zugeordnet werden konnten oder die Werte der Vorräte aufgrund der Ausreißeranalyse als unplausibel verworfen wurden. Für die Auswertung wurde die Gesamtstichprobe, nach Bundesländern unterteilt, in eine gepaarte und eine ungepaarte Unterstichprobe unterteilt. Bei der gepaarten Unterstichprobe konnten die Ausreißer mittels Residuen-Analyse identifiziert werden. Dazu wurden die Kohlenstoffvorräte für jede Leitbodeneinheit zu den unterschiedlichen Inventurzeitpunkten in einer linearen Regression gegeneinander aufgetragen. Ein Beispiel findet sich in Abbildung 55 links. Student-Residuen halfen, Ausreißer zu eliminieren, die nicht mit dem Rest der Daten konsistent erschienen (siehe Abbildung 55 rechts). Außerdem wurde eine "hat matrix" erzeugt, um "leverage"-Punkte¹¹⁰ zu identifizieren, die Ausreißer innerhalb der unabhängigen Variable darstellen (siehe Abbildung 55 rechts) (Weisberg, 2005).

¹¹⁰ Leverage ist eine dimensionslose statistische Kenngröße, die angibt, wie stark ein Einzelwert die Regressionsstatistik beeinflusst

Abbildung 55: Regression zwischen Kohlenstoffvorräten (0-30cm) der BZE II und der BZE I (links) sowie die identifizierten Ausreißer anhand der Residuen-Analyse durch Student-Residuen und den "high leverage"-Punkten (rechts) am Beispiel einer Leitbodeneinheit



Da zwei Bundesländer das Raster zwischen BZE I und BZE II verschoben haben, stehen dort die Punkte, die einer Leitbodeneinheit zugeordnet werden konnten, als ungepaarte Stichprobe zur Verfügung. Hierfür erfolgt die Berechnung der Kohlenstoffvorräte durch Bildung gemittelter Werte je Leitbodeneinheit. Ausreißer wurden für jede Klasse mittels doppelter Standardabweichung ($\bar{x} \pm 2 \sigma$) detektiert und anschließend entfernt. Weiterhin wurden organische Böden ausgeschlossen. Danach wurden die mittleren Kohlenstoffvorräte je Leitbodeneinheit mit der Jahresdifferenz in Beziehung gesetzt. Nach Ausreißeranalyse blieben 1577 Punkte der BZE I und 1539 Punkte der BZE II-Inventur übrig. Davon lagen 1075 Punkte als gepaarte Stichprobe vor.

Um Kohlenstoffvorratsänderungen flächenbezogen berechnen zu können, wurden die Anteile der Waldflächen auf den Leitbodeneinheiten an der Gesamtwaldfläche Deutschlands ermittelt. Dazu wurden die CORINE Land Cover Daten mit der BÜK 1000 in einem Geografischen Informationssystem (GIS) verschnitten. Der mittleren Kohlenstoffänderung für jede Leitbodeneinheit konnte die entsprechende Waldfläche zugeordnet werden. Nun konnte die durchschnittliche jährliche Änderung des organischen Kohlenstoffs unter Berücksichtigung des Anteils der verwendeten Leitbodeneinheiten für Deutschland berechnet werden.

6.4.2.5.4 Ergebnisse der Herleitung der Kohlenstoffvorräte und -vorratsveränderungen

Die Kohlenstoffvorräte bis in eine Tiefe von 30 cm des Mineralbodens betragen auf Grundlage des flächenbezogenen Ansatzes für Deutschland zum Inventurzeitpunkt der BZE I $55,6 \pm 3,4 \text{ t C ha}^{-1}$ und zum Inventurzeitpunkt BZE II $61,8 \pm 3,7 \text{ t C ha}^{-1}$, was eine jährliche Zunahme von $0,41 \pm 0,11 \text{ t C ha}^{-1}$ bedeutet (Grüneberg et al., 2014). Eine Varianzanalyse (Typ III - ANOVA) zeigte, dass die Unterschiede zwischen den beiden Inventuren signifikant waren ($p < 0,001$). Sowohl die Änderungsrate als auch die Gesamtvorräte liegen in einem Bereich, der für Mitteleuropa bereits von anderen Autoren abgeschätzt wurde. Die jährliche Kohlenstoffsequestrierung des durchwurzelten Bereichs wurde zwischen $0,1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Nabuurs & Schelhaas, 2002) und $0,9 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Schulze et al., 2000) angegeben. Die meisten Literaturwerte basieren auf modellhaften Hochrechnungen und berücksichtigen den gesamten durchwurzelten Bereich des Bodens (Liski et al. (2002); De Vries et al. (2006)). Im Vergleich zu diesen Studien standen deutlich mehr Messdaten in einem engeren Punkteraster zur Verfügung,

so dass die Daten eine validere Stichprobe bildeten, die verlässlichere und flächendeckende Aussagen für Deutschland ermöglicht.

Die Abschätzung der Kohlenstoffvorräte getrennt nach Klassen ergab für fast alle Leitbodeneinheiten höhere Kohlenstoffvorräte zum Zeitpunkt der BZE II im Vergleich zur BZE I (siehe Tabelle 397). Die Kohlenstoffvorräte waren in Böden mit hohem Tongehalt höher als in Böden mit hohem Sandgehalt. Gründe hierfür werden z.B. bei Six et al. (2002) und Baritz et al. (2010) diskutiert. Die Auswertung der Zeitreihe zwischen BZE I und BZE II zeigt größere jährliche Änderungen des Kohlenstoffvorrats insbesondere bei den sandigen Leitbodeneinheiten des Norddeutschen Tieflands. So lag die jährliche Änderungsrate der Leitbodeneinheiten 1, 5 und 6 über $0,6 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Grüneberg et al., 2014). Prietzel et al. (2006) spricht hingegen von einer Kohlenstoffsequestrierung in den oberen 30 cm von $0,2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf sandigen Standorten und von $0,4 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf lehmigen Standorten. Geringere positive Kohlenstoffänderungen zwischen $0,1$ und $0,6 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ fanden sich bei mehr als der Hälfte der gebildeten Klassen. Eine deutliche Abnahme der Kohlenstoffvorräte zwischen beiden Inventurzeitpunkten zeigte die Klasse 9.

Tabelle 397: Kohlenstoffvorräte zum Zeitpunkt der BZE I und BZE II in den neugebildeten Leitbodeneinheiten (Grüneberg et al., 2014)

LBE	Kohlenstoffvorrat (BZE I)			Kohlenstoffvorrat (BZE II)		
	n	MW	SE	n	MW	SE
1	201	52,8	1,6	187	65,5	6,8
2	56	60,5	2,6	62	65,0	4,9
3	20	67,3	3,2	25	68,1	2,4
4	105	66,4	1,8	87	64,1	4,5
5	77	33,4	1,6	75	52,8	2,2
6	34	24,6	1,6	34	43,7	1,8
7	126	55,8	1,5	109	63,0	2,2
8	110	76,3	2,4	106	79,1	0,8
9	36	77,1	4,9	43	68,3	1,0
10	55	56,7	2,1	63	60,8	0,8
11	39	51,3	3,2	39	54,6	0,9
12	187	59,5	1,7	163	62,5	2,2
13	222	54,7	1,4	233	60,1	4,1
14	245	50,5	1,2	257	55,3	3,2
15	30	51,8	2,9	30	49,0	0,9
16	34	84,4	6,2	26	104,5	0,5

(LBE = Leitbodeneinheiten, n = Anzahl Bodenproben, MW = Mittelwert, SE = Standardfehler)

6.4.2.6 Organische Böden (CRF-Table 4.A)

In diesem Kapitel wird einzig auf die CO_2 -Emissionen aus organischen Böden eingegangen. Diese werden in der CRF-Tabelle 4.A unter organische Böden eingetragen. Für die Treibhausgase N_2O und CH_4 wird das methodische Vorgehen im Kapitel 6.1.2.2 beschrieben. Diese Emissionen werden in die CRF-Tabelle 4(II) berichtet.

6.4.2.6.1 Verbleibende Waldfläche

Die Ermittlung der Flächen der organischen Böden erfolgte georeferenziert durch Verschneidung der "Karte organischer Böden" und der ATKIS®-Daten. Dabei wird zwischen drainierten und nicht drainierten organischen Böden unterschieden. Für die verbleibende Waldfläche beträgt die Fläche organischer Böden für das Jahr 2019 256.243 ha, davon werden 99,5 % drainiert. Eine

detaillierte Beschreibung zur Herleitung der organischen Bodenflächen findet sich im Kapitel 6.1.2.2.1.

Die methodische Beschreibung zur Herleitung des Emissionsfaktors befindet sich in dem Kapitel 6.1.2.2.2, und für den impliziten Emissionsfaktor (IEF) im Kapitel 6.1.2.2. Für organische Waldböden sind die impliziten Emissionsfaktoren in Tabelle 398 zusammengefasst.

Tabelle 398: Implizite Emissionfaktoren (IEF) (Kohlenstoff) für organische Böden

Jahr	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
IEF [t CO ₂ ha ⁻¹]	9,4228	9,4227	9,4228	9,4223	9,4223	9,4222	9,4221	9,4228	9,4227	9,4228	9,4223
Jahr	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019				
IEF [t CO ₂ ha ⁻¹]	9,4221	9,4221	9,4222	9,4222	9,4224	9,4226	9,4226				

6.4.2.6.2 Neuwaldflächen

Für die Neuwaldfläche beträgt die Fläche organischer Böden für das Jahr 2019 20.823 ha, davon werden 99,5 % wie bei den verbleibenden Waldflächen entwässert (siehe Kapitel 6.1.2.2.1). Für organische Böden unter Neuwald werden ebenfalls die in Tabelle 398 zusammengefassten Emissionsfaktoren verwendet. Diese jährlichen Emissionen werden für alle Jahre seit der Umwandlung berichtet. Im Kapitel 6.1.2.2 wird die Herleitung der Treibhausgasemissionen aus organischen Böden für alle Landnutzungskategorien beschrieben.

6.4.2.7 Sonstige Treibhausgasemissionen aus Wäldern

6.4.2.7.1 Lachgas-Emissionen aus Stickstoffdüngung (CRF-Table 4(I))

Stickstoffdüngung von Wäldern findet in Deutschland nicht statt. In der CRF-Tabelle 4(I) wurde diese Aktivität daher als nicht vorkommend „NO“ (not occurring) bezeichnet (siehe auch Kapitel 6.1.2.5).

6.4.2.7.2 Entwässerung und Wiedervernässung von organischen und mineralischen Böden (CRF-Table 4(II))

Die Herleitung der Treibhausgasemissionen aus organischen und mineralischen Böden durch Entwässerung und Wiedervernässung wird für alle Landnutzungskategorien im Kapitel 6.1.2.6 beschrieben. Die CO₂-Emissionen für Wälder werden in die CRF-Tabelle 4.A eingetragen und in der CRF-Tabelle 4(II) als IE (included elsewhere) gekennzeichnet (siehe auch Kapitel 6.4.2.6). Die CH₄- und N₂O-Emissionen hingegen sind in der CRF-Tabelle 4(II) zu finden. Für organische Waldböden sind die Implizite Emissionsfaktoren in Tabelle 399 zusammengefasst.

Wiedervernässung auf mineralischen Böden im Wald gibt es nicht und wird in der CRF-Tabelle 4(II) mit NO (not occurring) gekennzeichnet.

Tabelle 399: Implizite Emissionfaktoren (IEF) (Methan und Stickstoff) für organische Böden

Jahr	Methan [kg CH ₄ ha ⁻¹]	Stickstoff [kg N ₂ O ha ⁻¹]
1990	4,912	4,328
1995	4,916	4,328
2000	4,913	4,328
2005	4,923	4,329
2010	4,924	4,331
2011	4,925	4,331
2012	4,928	4,332
2013	4,928	4,331
2014	4,929	4,33
2015	4,926	4,328
2016	4,926	4,329
2017	4,922	4,33
2018	4,92	4,33
2019	4,918	4,329

6.4.2.7.3 Direkte Lachgas-Emissionen von Stickstoff-Mineralisierung bzw. Immobilisierung (CRF-Table 4(III))

Die Ermittlung der direkten N₂O-Emissionen durch Mineralisierung und Immobilisierung von mineralischen Böden wird im Kapitel 6.1.2.7 beschrieben. Die N₂O-Emissionen sind in der CRF-Tabelle 4(III) zu finden.

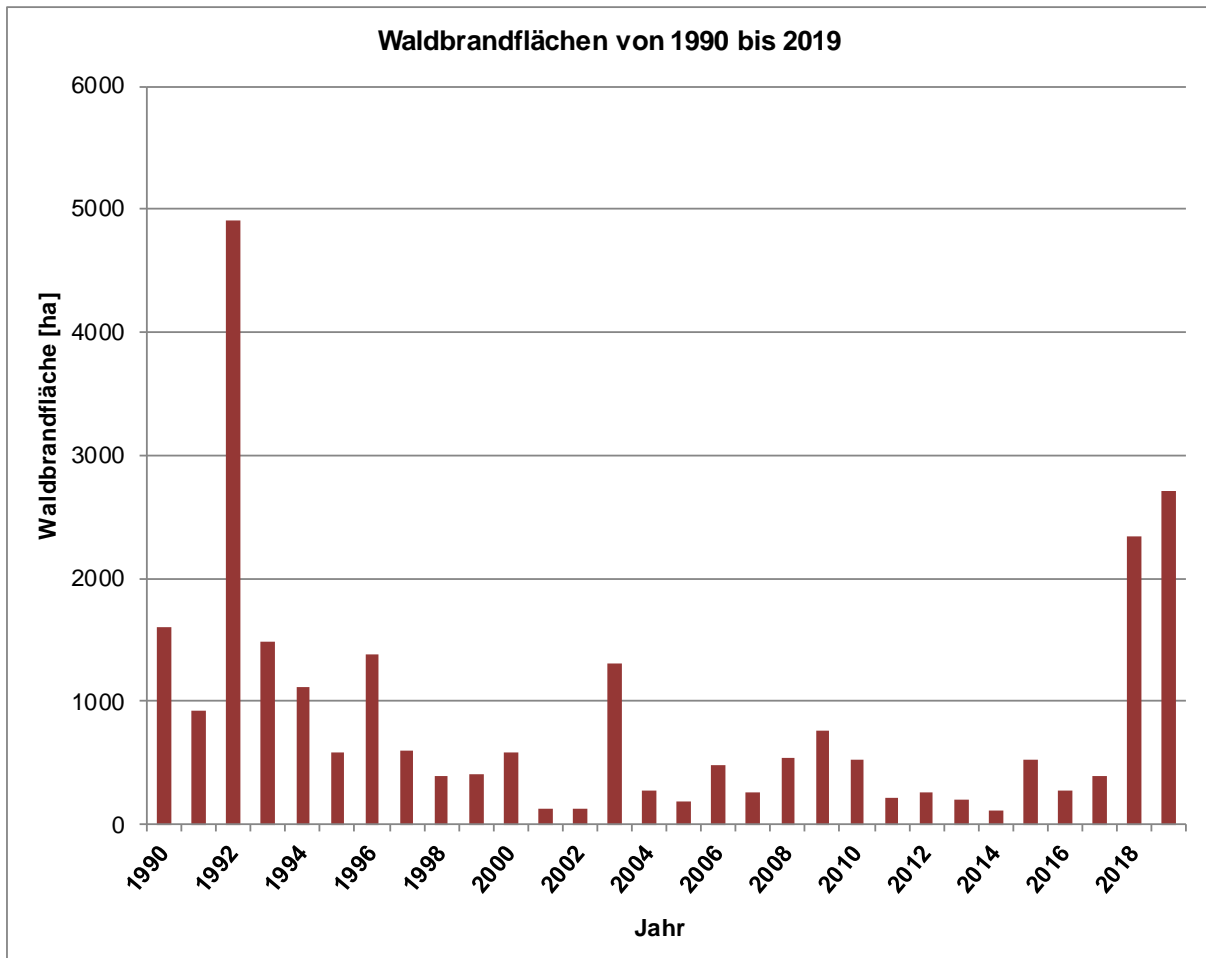
6.4.2.7.4 Indirekte Lachgas-Emissionen aus bewirtschafteten Böden (CRF-Table 4(IV))

Die Ermittlung der indirekten N₂O-Emissionen durch Verluste an organischer Bodensubstanz infolge von Landnutzungsänderungen bzw. Bewirtschaftungsmaßnahmen wird zusammenfassend für alle Landnutzungskategorien im Kapitel 6.1.2.8 beschrieben. Die N₂O-Emissionen sind in der CRF-Tabelle 4(IV) zu finden.

6.4.2.7.5 Waldbrand (CRF-Table 4(V))

Während in anderen Ländern Feuer in Form von „kontrollierten Bränden“ (prescribed burning) als Methode zur Flächenberäumung dienen oder Bestandteil der Bewirtschaftung von Ökosystemen sind, findet in Deutschland im bewirtschafteten Wald keine kontrollierte Verbrennung von Biomasse statt. In der CRF-Tabelle 4 (V) wird deshalb für "Controlled Burning" NO geführt. Aufgrund der klimatischen Lage Deutschlands und der Maßnahmen zur Vorbeugung von Waldbränden sind Waldbrände ein eher seltenes Ereignis, was durch die in der Waldbrandstatistik (BLE (2020): 2002 bis 2020) erfassten Waldbrandflächen bestätigt wird (siehe Abbildung 56). Für den Zeitraum 1990-2019 lag die mittlere Waldbrandfläche bei 855 ha. In manchen Jahren führten sehr hohe Temperaturen in den Sommermonaten zu höheren Waldbrandflächen, wie z. B. 1996, 2003, 2018 und 2019. Eine überdurchschnittlich hohe Waldbrandfläche von rund 4.908 ha wurde im Jahr 1992 ermittelt, das durch einen extrem warmen Sommer geprägt war.

Abbildung 56: Waldbrandflächen zwischen 1990 und 2019 (nach BLE, 2020)



Bei Waldbränden („wild fires“) werden neben CO₂ auch sonstige Treibhausgase (CO, CH₄, N₂O, NO_x und NMVOC) freigesetzt. Die aus der Verbrennung von Biomasse resultierenden CO₂-Emissionen werden bereits bei der Änderung der Biomassevorräte (CRF Sector 4.A.1 Forest land remaining forest land) mittels der „Stock-Difference-Method“ berücksichtigt und deshalb als „IE“ (included elsewhere) angegeben. Die Emissionen sonstiger Treibhausgase wurden nach Gleichung 44 (Equ. 2.27, IPCC (2006)) berechnet.

Gleichung 44:

$$L_{fire} = A * B * C * D * 10^{-6}$$

L_{fire} = Menge des durch Feuer freigesetzten Treibhausgases [t]

A = Waldbrandfläche [ha]

B = Masse des vorhandenen Brennmaterials (Biomasse) [kgTM ha⁻¹]

C = Verbrennungseffizienz

D = Emissionsfaktor [g(kgTM)⁻¹]

Für die Berechnung der NMVOC-Emissionen kam die Gleichung nach EMEP/EEA emission inventory guidebook 2016 (EMEP, 2016) zur Anwendung

Gleichung 45:

$$M(C) = 0,45 * A * B * \alpha * \beta$$

0.45 = Durchschnittlicher Kohlenstoffanteil in Brennholz (average fraction of carbon in fuel wood);

A = Verbrannte Fläche (area burnt) [m^2];

B = Durchschnittliche zur Verfügung stehende Gesamtbiomasse pro Flächeneinheit (average total biomass of fuel material per unit area) [$kg\ m^{-2}$];

α = Anteil der durchschnittlichen oberirdischen Biomasse, relativ zu B (fraction of average above-ground biomass, relative to the total average biomass B);

β = Anteil tatsächlich verbrannter Biomasse (burning efficiency (fraction burnt) of the above-ground biomass).

Die Waldbrandflächen für die Jahre 1990 bis 2019 wurden aus der bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung geführten Waldbrandstatistik (BLE 2020) entnommen. Bei der Erhebung der Flächen wird nicht zwischen Neuwaldflächen und verbleibender Wald unterschieden. Aus diesem Grund werden die Emissionen aus Neuwaldflächen in der Sektion „verbleibender Wald“ berichtet und in den CRF-Tabellen 4(V) wird „IE“ angegeben. Für die Biomassebestimmung stehen die Daten für 1990 aus der BWI 1987 und DSWF, für 2002 aus der BWI 2002, für 2008 aus der IS08, für 2012 aus der BWI 2012 und für 2017 aus der CI 2017 zur Verfügung. Die durchschnittliche oberirdische Biomasse wurde für jedes Jahr durch lineare Interpolation zwischen 1990, 2002, 2008, 2012 und 2017 und Extrapolation für die Jahre ab 2018 hergeleitet. Basierend auf der Expertenschätzung von König (2007) sind 80 % der Waldbrände in Deutschland Bodenfeuer und 20 % Vollfeuer. Nach Tabelle 2.6 (IPCC, 2006) wurde eine Verbrennungseffizienz (Massenverlust durch direkte Verbrennung) von 0,15 für Bodenfeuer und 0,45 für Vollfeuer angewandt. Die Emissionsfaktoren für CH_4 , N_2O , CO und NO_x wurden aus Tabelle 2.5 (IPCC, 2006) entnommen. Für NMVOC kommt der Emissionsfaktor aus dem EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2016.

Die Waldbrandflächen in Deutschland und damit auch die dabei entstehenden CH_4 -, N_2O -, CO -, NO_x und NMVOC-Gasmengen sind gering. Die vollständige Zeitreihe für die aus Waldbränden resultierenden Treibhausgase ist in Tabelle 400 zu finden.

Tabelle 400: Durch Waldbrände emittierte Treibhausgase

Jahr	Oberirdische Biomasse [$t\ ha^{-1}$]	Waldbrandfläche [ha]	Emittierte Gase [t]				
			CH_4	N_2O	CO	NO_x	NMVOC
1990	170,9	1.606	270,8	15,0	6.165	172,9	544,5
1991	171,0	920	155,3	8,6	3.535	99,1	312,2
1992	171,2	4.908	829,3	45,9	18.879	529,3	1.667,4
1993	171,4	1.493	252,5	14,0	5.749	161,2	507,7
1994	171,5	1.114	188,6	10,4	4.294	120,4	379,2
1995	171,7	592	100,3	5,6	2.284	64,0	201,7
1996	171,9	1.381	234,3	13,0	5.333	149,5	471,0
1997	172,0	599	101,7	5,6	2.316	64,9	204,5
1998	172,2	397	67,5	3,7	1.536	43,1	135,7
1999	172,4	415	70,6	3,9	1.608	45,1	142,0
2000	172,6	581	99,0	5,5	2.253	63,2	199,0
2001	172,7	122	20,8	1,2	474	13,3	41,8
2002	172,9	122	20,8	1,2	474	13,3	41,9
2003	173,6	1.315	225,4	12,5	5.131	143,9	453,1
2004	174,4	274	47,2	2,6	1.075	30,1	94,9
2005	175,1	183	31,7	1,8	722	20,2	63,7
2006	175,8	482	83,7	4,6	1.905	53,4	168,2
2007	176,6	256	44,5	2,5	1.014	28,4	89,6
2008	177,3	539	94,2	5,2	2.145	60,1	189,5
2009	179,3	757	133,9	7,4	3.049	85,5	269,3
2010	181,2	522	93,4	5,2	2.125	59,6	187,7
2011	183,2	214	38,7	2,1	881	24,7	77,8
2012	185,2	269	49,1	2,7	1.118	31,3	98,7
2013	187,2	199	36,7	2,0	836	23,4	73,8
2014	189,1	120	22,4	1,2	510	14,3	45,0

Jahr	Oberirdische Biomasse [t ha ⁻¹]	Waldbrandfläche [ha]	Emittierte Gase [t]				
			CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x	NMVOC
2015	191,1	526	99,1	5,5	2.257	63,3	199,3
2016	193,1	283	53,9	3,0	1.228	34,4	108,4
2017	194,4	395	75,7	4,2	1.724	48,3	152,3
2018	196,2	2.349	454,9	25,2	10.357	290,4	914,7
2019	198,1	2.711	530,0	29,3	12.067	338,3	1.065,7

6.4.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.A)

Bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte müssen verschiedene Unsicherheiten berücksichtigt werden. Zur Abschätzung der Unsicherheiten werden pragmatische Ansätze herangezogen, die lediglich eine Annäherung an die tatsächlichen Unsicherheiten ermöglichen.

Die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Unsicherheiten fließen in ein Gesamtfehlerbudget für den LULUCF-Sektor ein, welches im Kapitel 6.1.2.1 zu finden ist.

Hinsichtlich der Unsicherheiten des Kohlenstoff-Konversionsfaktors wird an dieser Stelle auf Kapitel 6.4.2.2.6 verwiesen.

Fehlerschätzungen (U) für Zielgrößen (1, ..., i , ..., I) pflanzen sich bei deren Aggregation auf zwei unterschiedliche Arten fort. Werden zwei Zielgrößen addiert oder subtrahiert, erfolgt die Fehlerweitergabe additiv (siehe Gleichung 46):

Gleichung 46:

$$U = \frac{\sqrt{\sum_i (U_i x_i)^2}}{\sum_i x_i}$$

U = Gesamtunsicherheit

U_i = Unsicherheit für Zielgröße

x_i = Quantität der Zielgröße

Werden dagegen zwei Zielgrößen multipliziert bzw. dividiert, pflanzen sich die Fehler beider Größen multiplikativ fort (siehe Gleichung 47)

Gleichung 47:

$$U = \sqrt{\sum_i (U_i)^2}$$

U = Gesamtunsicherheit

U_i = Unsicherheit für Zielgröße

6.4.3.1 Unsicherheiten bei der Schätzung von Landnutzungsänderungsflächen

Aufgrund der stichprobenbasierten Landnutzungsänderungserfassung konnten die Stichprobenfehler für jede LULUCF-Kategorie berechnet werden. Der Stichprobenfehler wird nach den Formeln im Kapitel 6.4.3 berechnet. Alle anderen Fehlerquellen lassen sich nach Abschluss der Validierung ausschließen (siehe auch Kapitel 6.3.3). Alle Flächen sind signifikant erfasst.

6.4.3.2 Unsicherheiten bei der Schätzung der Emissionsfaktoren von lebender und toter Biomasse

Die Ableitung der Biomassen und der Kohlenstoffvorräte im Wald bzw. deren Veränderungen unterliegen einer Reihe von Fehlerquellen, da sich die Biomasse nicht direkt messen lässt. In den Abschnitten 6.4.2.2.4, 6.4.2.2.5 und 6.4.2.2.6 sind die Fehler der Biomassefunktionen und des Kohlenstoffkonversionsfaktors aufgeführt und diskutiert. Für das Totholz sind die Fehler der

Biomassekonversionsfaktoren nach Baumarten und Zersetzungsgrad in Abschnitt 6.4.2.3 gegeben.

Die spezifischen Fehler der Baumartengruppen werden zu den Unsicherheiten der ober- und unterirdischen Biomasse addiert und anschließend zu einer Fehlerangabe für die Gesamtbiomasse aggregiert. Durch die Subtraktion des Biomassevorrates des ersten Zeitpunktes vom Biomassevorrat des zweiten Zeitpunktes ergibt sich die Unsicherheit für die Biomasseveränderung durch Addition. Der Fehler für die Gesamtbiomasseveränderung wird mit dem Fehler des Kohlenstoffkonversionsfaktors und dem Stichprobenfehler multipliziert. Der Stichprobenfehler leitet sich aus der Varianz der Stichprobe her.

In den folgenden Tabellen sind die Unsicherheiten für die einzelnen Fehlerquellen als auch für den resultierenden Emissionsfaktor aufgeführt.

Tabelle 401: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse der verbleibenden Waldfläche für unterschiedliche Perioden

FM 1987 – 2002	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Alte Bundesländer	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	Weichholz_{Laub}	Alle			
Biomasse _{oberirdisch}	7,96	11,06	13,39	8,62	36,07	7,04	2,00	6,47	9,77
Biomasse _{unterirdisch}	24,52	18,63	34,86	35,60	17,41	13,53	2,00	6,24	15,03
Emissionsfaktor						6,67	2,00	5,68	8,76
FM 1993 – 2002	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Neue Bundesländer	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	Weichholz_{Laub}	Alle			
Biomasse _{oberirdisch}	11,34	24,66	17,35	12,93	37,15	9,03	2,00	5,43	10,73
Biomasse _{unterirdisch}	30,38	27,74	38,90	43,94	22,49	16,82	2,00	5,93	17,97
Emissionsfaktor						8,16	2,00	5,51	10,05
FM 2002 – 2008	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Deutschland	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	Weichholz_{Laub}	Alle			
Biomasse _{oberirdisch}	7,95	11,05	13,30	8,57	35,39	13,69	2,00	23,30	27,10
Biomasse _{unterirdisch}	24,47	18,60	34,67	35,39	17,15	18,28	2,00	13,50	22,82
Emissionsfaktor						11,71	2,00	18,83	22,17
FM 2008 – 2012	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Deutschland	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	Weichholz_{Laub}	Alle			
Biomasse _{oberirdisch}	7,95	11,04	13,30	8,57	35,39	6,19	2,00	8,36	10,59
Biomasse _{unterirdisch}	24,47	18,60	34,65	35,38	17,15	12,64	2,00	8,93	15,60
Emissionsfaktor						5,99	2,00	7,40	9,52
FM 2012 – 2017	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Deutschland	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	Weichholz_{Laub}	Alle			
Biomasse _{oberirdisch}	7,94	11,05	13,30	8,56	35,39	6,73	2,00	7,62	10,36
Biomasse _{unterirdisch}	24,47	18,61	34,67	35,38	17,15	12,33	2,00	6,31	14,00
Emissionsfaktor						6,33	2,00	6,54	9,10

Tabelle 402: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse auf Aufforstungsflächen für unterschiedliche Perioden

AR 1987 – 2002	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Alte Bundesländer	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	Weichholz_{Laub}	Alle			
Biomasse _{oberirdisch}	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	18,63	2,00	19,37	26,95
Biomasse _{unterirdisch}	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	17,31	2,00	18,92	25,72
Emissionsfaktor						15,99	2,00	-16,52	22,99

AR 1987 – 2002	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Alte Bundesländer	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	WeichholzLaub	Alle			
AR 2002 – 2008	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Deutschland	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	WeichholzLaub	Alle			
Biomasse _{oberirdisch}	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	26,79	2,00	48,70	55,62
Biomasse _{unterirdisch}	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	18,68	2,00	44,38	48,20
Emissionsfaktor						21,86	2,00	-39,98	45,57
AR 2008 – 2012	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Deutschland	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	WeichholzLaub	Alle			
Biomasse _{oberirdisch}	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	20,13	2,00	18,05	27,11
Biomasse _{unterirdisch}	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	17,82	2,00	20,10	26,94
Emissionsfaktor						17,48	2,00	-15,67	23,48
AR 2012 – 2017	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Deutschland	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	WeichholzLaub	Alle			
Biomasse _{oberirdisch}	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	17,88	2,00	38,43	42,43
Biomasse _{unterirdisch}	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	16,30	2,00	37,11	40,58
Emissionsfaktor						15,24	2,00	-32,55	35,95

Tabelle 403: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die lebende Biomasse auf Entwaldungsflächen für unterschiedliche Perioden

DF 1987 – 2002	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Alte Bundesländer	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	WeichholzLaub	Alle			
Biomasse _{oberirdisch}	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	9,41		17,45	19,93
Biomasse _{unterirdisch}	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	16,90		19,68	26,02
Emissionsfaktor						8,63	2,00	15,13	17,42
DF 2002 – 2008	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Deutschland	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	WeichholzLaub	Alle			
Biomasse _{oberirdisch}	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	9,13	2,00	23,98	25,73
Biomasse _{unterirdisch}	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	16,59	2,00	23,32	28,69
Emissionsfaktor						8,47	2,00	21,06	22,70
DF 2008 – 2012	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Deutschland	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	WeichholzLaub	Alle			
Biomasse _{oberirdisch}	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	12,58	2,00	22,66	26,00
Biomasse _{unterirdisch}	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	24,07	2,00	20,98	31,99
Emissionsfaktor						11,63	2,00	20,17	23,29
DF 2012 – 2017	Fehler % (Biomasse Umwandlung)					Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Deutschland	Fichte	Kiefer	Buche	Eiche	WeichholzLaub	Alle			
Biomasse _{oberirdisch}	11,23	15,62	18,80	12,10	50,00	10,06	2,00	28,69	30,47
Biomasse _{unterirdisch}	34,60	26,30	49,00	50,00	24,23	19,01	2,00	27,57	33,55
Emissionsfaktor						9,37	2,00	25,52	27,18

Tabelle 404: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Totholz der verbleibenden Waldfläche für unterschiedliche Perioden

2002 – 2008	Fehler % (Biomasse Umwandlung)												Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Deutschland	N1	N2	N3	N4	L1	L2	L3	L4	EI1	EI2	EI3	EI4	all			
> 20 cm	12,30	19,82	25,12	17,87	8,87	30,62	23,95	46,25	8,92	31,54	23,71	53,23	8,36	2,00	30,80	31,98
10 bis 20 cm	12,30	19,82	25,12	17,87	8,87	30,62	23,95	46,25	8,92	31,54	23,71	53,23	10,09	2,00	50,00	51,05
Emissionsfaktor																27,11
FM 2008 – 2016	Fehler % (Biomasse Umwandlung)												Fehler % (C)	SE %	RMSE%	
Deutschland	N1	N2	N3	N4	L1	L2	L3	L4	EI1	EI2	EI3	EI4	all			
> 20 cm	12,55	19,74	25,16	18,28	8,70	30,66	23,63	46,96	8,59	30,64	23,86	50,61	21,92	2,00	82,64	85,52
10 bis 20 cm	12,26	19,77	25,14	17,82	8,54	30,60	23,57	46,41	8,54	30,66	23,67	47,47	13,23	2,00	30,91	33,69
Emissionsfaktor																54,52

mit N = Nadelholz, L = Laubholz ohne Eiche, EI = Eiche und 1-4 = Zersetzungsgrad

Tabelle 405: Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Totholz für unterschiedliche Perioden

	Fehler % (Biomasse Umwandlung)												Fehler % (C)	SE %	RMSE %	
Deutschland	EI1	EI2	EI3	EI4	L1	L2	L3	L4	N1	N2	N3	N4	Alle			
FM 2008 – 2012	8,59	30,60	24,09	47,41	8,63	30,58	23,76	47,01	12,95	19,81	25,08	17,85	8,59	2,00	26,37	27,80
FM 2012 – 2017	8,91	30,73	23,82	52,92	8,89	30,83	23,61	46,96	12,37	19,75	25,08	18,00	10,03	2,00	22,56	24,77
AF 2008 – 2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	65,38	17,20	27,92	35,46	25,20	18,81	2,00	41,38	45,50
AF 2012 – 2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65,38	0,00	0,00	0,00	0,00	65,38	2,00	98,02	117,84
DF 2008 – 2012	0,00	0,00	0,00	0,00	12,07	43,24	33,33	65,38	0,00	27,92	35,46	25,20	19,82	2,00	46,73	50,80
DF 2012 – 2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,24	33,33	65,38	17,20	27,92	35,46	25,20	16,58	2,00	49,56	52,30

mit N = Nadelholz, L = Laubholz ohne Eiche, EI = Eiche und 1-4 = Zersetzungsgrad

6.4.3.3 Unsicherheiten bei der Schätzung der Streu und der mineralischen Böden

6.4.3.3.1 Probenahmefehler

Ein Problem der Beprobung von Böden ist die korrekte Trennung der Streu vom Mineralboden, da der Übergang zwischen beiden Kompartimenten nicht immer eindeutig identifizierbar ist. Dies ist umso problematischer, da die Kohlenstoffkonzentration der Streu sich deutlich gegenüber dem darunter liegenden Mineralboden unterscheidet. Eine unsaubere oder unsachgemäße Abtrennung der Streu vom Mineralboden kann daher große Auswirkungen auf die Kohlenstoffvorräte des jeweiligen Horizontes bzw. der jeweiligen Tiefenstufe haben.

6.4.3.3.2 Kleinräumige Variabilität

Die Beprobung von Kohlenstoffvorräten unterliegt aufgrund der hohen räumlichen Variabilität in der Streu oder im Mineralboden einer großen Unsicherheit, da Kohlenstoffvorräte nur über kurze Distanzen eine räumliche Kontinuität aufweisen. Schöning et al. (2006) berechneten für die Streu eines Buchenwaldes einen Vorrat von $4,0 \text{ t C ha}^{-1}$ mit einem Variationskoeffizienten von 38 %. Im Mineralboden (0-36 cm) fanden sie Kohlenstoffvorräte von $64,0 \text{ t C ha}^{-1}$ mit Variationskoeffizienten zwischen 30 % und 43 %. Ähnliche Werte sind auch von Liski (1995) dokumentiert. Er zeigte, dass Kohlenstoffvorräte unter einem Fichtenstandort innerhalb eines bestimmten Horizontes ab 8 m räumlich unabhängig voneinander waren.

6.4.3.3.3 Repräsentanz von Punkten innerhalb der Straten

Ein Problem bei der Auswertung nach den Leitbodeneinheiten ergab sich aus der unterschiedlichen Besetzung der Klassen. Kleinen Klassen fehlt die statistische Validität gegenüber einer großen Grundgesamtheit. Wenn aufgrund fehlender Daten kein Vergleich zwischen BZE I und BZE II möglich war, konnte die vom Wald bedeckte Fläche der Leitbodeneinheiten ebenfalls nicht in die Berechnung einfließen. Weiterhin war es nicht möglich, alle Leitbodeneinheiten zu besetzen, da einige nur auf kleinere Flächen im Bundesgebiet beschränkt sind. Insgesamt betrifft dies eine nicht berücksichtigte Waldfläche von 4,3 %.

6.4.3.3.4 Stichprobenfehler

Bei der Berechnung der Stichprobenfehler der Vorratsänderung für Streu und Mineralböden wurde zwischen gepaarten und ungepaarten Stichproben unterschieden und eine Stratifizierung für Mineralböden berücksichtigt.

Die Vorratsänderung für die Streu wurde stratifiziert als ungepaarte Stichprobe berechnet. Es ergab sich dabei ein Stichprobenfehler von $0,02 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ oder 100%.

Bei der Berechnung der Vorratsänderung für Mineralböden wurde die Stichprobe in eine gepaarte und eine ungepaarte Stichprobe unterteilt. Weiterhin wurde nach Leitbodeneinheiten und den beiden Teilstichproben stratifiziert. Insgesamt betrug der Stichprobenfehler für Mineralböden $0,037 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ oder 9 %.

6.4.3.3.5 Quantifizierung von methodisch bedingten Unsicherheiten

Als weitere Unsicherheit kommen zur Stichprobenvarianz messtechnisch bedingte Abweichungen bei der Einzelmessung hinzu. Sowohl die Kohlenstoffkonzentration als auch der Vorrat im Feinboden würden bei mehreren, an einem Standort unabhängig voneinander genommenen Proben in einem durch die Genauigkeit der Messtechnik bestimmten Bereich schwanken. Um diese Schwankungsbreite bei der Messung der Kohlenstoffkonzentration zu quantifizieren, wurden die Ergebnisse aus den Ringanalysen herangezogen (Blum & Heinbach, 2006, 2007). Bei den Ringanalysen zur BZE II wurden die Wiederholstandardabweichung als mittlere laborinterne Standardabweichung (DIN ISO 5725 2) mehrerer Kohlenstoffmessungen

und die Sollstandardabweichung als Standardabweichung der Mittelwerte bestimmt. Daraus wurde die Vergleichsstandardabweichung berechnet. Diese eignet sich als Schätzwert für die Messunsicherheit. Die Vergleichsstandardabweichung der Mineralbodenmessungen betrug bei kalkfreien Böden $0,9 \text{ g kg}^{-1}$ und bei kalkhaltigen Böden $2,9 \text{ g kg}^{-1}$, sowie bei der organischen Auflage $20,2 \text{ g kg}^{-1}$. Für die BZE I wurde auf Werte von Wolff and Riek (1997) zurückgegriffen, die Variationskoeffizienten für die Kohlenstoffbestimmung in Mineralböden zwischen 5 und 20 % sowie für die Kohlenstoffbestimmung in der organischen Auflage zwischen 5 und 10 % angeben. Davon wurde jeweils der Mittelwert eingesetzt. Bei der Berechnung der Unsicherheiten des Vorrats im Feinboden konnte nicht auf Ergebnisse von Ringversuchen zurückgegriffen werden. Daher wurden alle BZE-Punkte ausgewählt bei denen zu beiden Inventurzeitpunkten Ergebnisse für die Feinbodenbestimmung vorlagen. Es wurde die mittlere Abweichung der beiden Messungen voneinander berechnet. Die mittlere Abweichung lag bei $193 \pm 35 \text{ t ha}^{-1}$. Im Sinne einer konservativen Fehlerabschätzung wurde die Annahme getroffen, dass sich die Feinbodenvorräte zwischen den beiden Inventuren nicht ändern und dass die mittlere Abweichung plus ihre Streuung ein Maß für die Messunsicherheit des Feinbodenvorrats darstellt. Die Unsicherheit der jährlichen Kohlenstoffänderungsrate wurde um die Messunsicherheiten der Einzelmessung erweitert

Die Unsicherheiten bei der Abschätzung der jährlichen Änderungsrate in Mineralböden betragen für die Stichprobenvarianz $0,037 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, für die Laboranalytik der C-Bestimmung zum Zeitpunkt der BZE I $0,058 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, zum Zeitpunkt der BZE II $0,056 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und für die Bestimmung des Feinbodenvorrates $0,05 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Damit ergab sich eine Gesamtunsicherheit von $0,11 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die Gesamtunsicherheit bei der Abschätzung der jährlichen Kohlenstoffänderungsrate der organischen Auflage betrug $0,035 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

6.4.3.4 Zeitreihenkonsistenz

An die Zeitreihenkonsistenz werden folgende Bedingungen geknüpft:

- die Berechnung der Emission erfolgt über die gesamte Zeitreihe mit der gleichen Methode und denselben bzw. untereinander konsistenten Datenquellen;
- ergeben sich Änderungen an der Methode, sollte eine Neuberechnung mit der neuen Methode über die gesamte Zeitreihe erfolgen;
- neue Daten, z.B. aus Wiederholungsinventuren, sind konsistent mit früheren Daten.
- stehen neue Daten zur Verfügung, die zu einer Verbesserung des Inventars führen, sollte eine Rekalkulation über die gesamte Zeitreihe erfolgen;
- werden Fehler in den Schätzungen identifiziert müssen diese korrigiert und die gesamte Zeitreihe neu berechnet werden.
- Diese Bedingungen wurden konsequent auf alle Zeitreihen der Submission angewendet. Wenn in einigen Zeitreihen in zwei aufeinanderfolgenden Jahren größerer Unterschiede bei den Werten auftreten, liegt dies an der Periodizität der verfügbaren Daten in einer konsistenten Zeitreihe. Denn auch für diese Zeitreihen wurden für alle Jahre dieselbe Methode und dieselbe Datenquelle zugrunde gelegt.

6.4.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.A)

Die durchgeführten QK/QS-Maßnahmen für den gesamten LULUCF -Sektor finden sich in Kapitel 6.3.1.

Die zur Erstellung dieses Inventars verwendeten Datenquellen erfüllen die Prüfkriterien des QSE – Handbuchs für Datenquellen. Bezüglich der Qualitätssicherung der Eingangsdaten (ATKIS®, BÜK, Offizialstatistik, Waldbrandstatistik, siehe Kapitel 6.4.2.1) wird auf die Datenhalter verwiesen (Dokumentation in der Inventarbeschreibung).

Es wurde eine vollständige Fehlerbetrachtung für den Sektor LULUCF durchgeführt, wobei versucht wurde, alle vorhandenen Fehlerquellen zu quantifizieren. Darin enthalten sind Fehlerrechnungen aus dem Forstbereich für Biomasse, Totholz, Streu, mineralische Böden, organische Böden und Waldbrand der Treibhausgase CO₂, N₂O und CH₄. Zusammenfassend wurde im Kapitel 6.1.2.1 ein Gesamtfehlerbudget erstellt.

6.4.4.1 Biomasse und Totholz

Die Schätzungen der Kohlenstoffvorräte und der Kohlenstoffvorratsänderungen in den Pools Biomasse und Totholz zu den jeweiligen Zeitpunkten beruhen auf Hochrechnungen am Thünen Institut für Waldökosysteme (TI-WO), die auf die Daten der Bundeswaldinventuren und der Inventurstudie 2008 bzw. Kohlenstoffinventur 2017 zugreifen. Dabei werden wiederholte Messungen der Vorräte auf einem permanenten, systematischen Stichprobennetz über das gesamte Gebiet Deutschlands gemessen. Bei der BWI 2012 wurden ca. 420.000 Bäumen auf etwa 60.000 Waldprobestflächen aufgenommen. Aus den Vorräten werden die Vorratsveränderungen abgeleitet. Die Vorratsveränderung ist die Nettoveränderung zwischen den Vorräten der einzelnen Inventurjahre und umfasst die Holzernte, Verluste durch natürliche Störungen wie beispielsweise Sturm und Mortalität. Um die Ergebnisse abzusichern, werden umfangreiche Qualitätskontrollen durchgeführt:

- Qualitätsprüfungen während der Feldaufnahmen
- Qualitätsprüfungen der erhobenen Datensätze
- Plausibilitätsprüfungen

Bezüglich der für die Bundeswaldinventur entwickelten Qualitätssicherung wird auf die Literatur zur Bundeswaldinventur (Schmitz et al., 2005)¹¹¹ verwiesen.

Unabhängig von den Berechnungen am TI-WO wurden die Kohlenstoffvorrats- und -änderungsschätzungen für die Biomasse mit einem unter PostgreSQL entwickelten Programm berechnet. Die erzielten Ergebnisse beider Berechnungen stimmen überein.

6.4.4.2 Streu und mineralische Böden

Um für die Auswertung der Probenahmen, die im Rahmen der BZE-Erhebungen durchgeführt wurden, einen einheitlichen Standard für die Laboranalytik zu erhalten, wurde eine Ringanalyse initiiert. Dabei wurden alle Labore einem Qualitätstest durch den Gutachterausschuss Forstliche Analytik unterzogen (Blum and Heinbach (2006), Blum and Heinbach (2007)). Um die Vergleichbarkeit der Labormethoden zu gewährleisten, haben nur die an der Ringanalyse erfolgreich teilgenommenen Labore die Analytik durchgeführt. Deutschland beteiligte sich auch an einer entsprechenden europäischen Ringanalyse (Cools et al., 2006).

Für die Harmonisierung der Labormessungen und Geländeerhebungen wurden im Rahmen der BZE II für die beteiligten Labore Vorschriften für die Ermittlung der zu bestimmenden Parameter erstellt, um Abweichungen aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Analysegeräte oder Analysemethoden zu vermeiden (König et al. (2005), Wellbrock et al. (2006)). Grundlage für die Zulassung der Analytiklabore waren vorangegangene Ringanalysen. Ähnliches wurde auch für die Außenaufnahmen durchgeführt. Aufgrund verschiedener Vorstudien wurden Methoden zur Probennahme zugelassen und in einem Handbuch für die Außenaufnahmen beschrieben (Wellbrock et al., 2006).

¹¹¹ siehe auch: <https://bundeswaldinventur.de/> und <https://bwi.info/>

6.4.4.3 Vergleich mit Ergebnissen anderer Staaten

Der Vergleich mit Ergebnissen anderer Staaten kann eine grobe Einordnung der Verhältnisse in Deutschland geben. Gerade bei den Umwandlungskategorien zu Wald ist aber zu beachten, dass erhebliche methodische Unterschiede und unterschiedliche Verfahren zum Umgang mit der Übergangszeit („Transition Time“) bestehen, so dass die Ergebnisse nicht direkt miteinander vergleichbar sind.

Die folgenden Tabellen zeigen einen innereuropäischen Vergleich impliziter Emissionsfaktoren (IEF) für unterschiedliche Pools. Die Vergleichsdaten für die Kohlenstoffvorratsänderungen anderer Staaten kommen aus den Nationalen Inventurberichten der Nachbarstaaten Deutschlands. Die Emissionsfaktordaten stammen aus der Submission 2020 des Klimasekretariats der Vereinten Nationen; für Deutschland 2019 aus der Submission 2021.

Tabelle 406: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.A.1 - Forest Land remaining Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2 - Land converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.1. - Cropland converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.2. - Grassland converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.3. - Wetlands converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.4. - Settlements converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.5. - Other Land converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	0,45	1,19	0,91	1,06	1,37	3,18	NO
Dänemark	-0,80	2,01	1,99	1,99	2,04	2,04	NO
Frankreich	0,52	1,23	1,47	1,22	1,20	1,18	0,65
Großbritannien	0,75	0,98	1,07	0,97	NO	0,98	NO
Niederlande	1,14	3,34	3,62	3,15	3,61	3,69	3,67
Österreich	0,31	1,19	1,21	1,19	1,22	1,23	1,17
Polen	0,97	1,02	1,05	0,94	NO	NO	NO
Schweiz	0,25	0,43	0,37	0,43	0,18	0,60	0,37
Tschechische Republik	-0,80	2,01	1,99	1,99	1,99	2,4	NO
Deutschland 2018	1,16	6,13	8,72	5,65	8,50	8,36	8,77
Deutschland 2019	1,04	1,22	1,03	-1,65	0,76	0,56	1,04

positiv: Kohlenstoffsенke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle:(UNFCCC, 2020b)

Tabelle 407: Kohlenstoffvorratsveränderung des Totholzes in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.A.1 - Forest Land remaining Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2 - Land converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.1. - Cropland converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.2. - Grassland converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.3. - Wetlands converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.4. - Settlements converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.5. - Other Land converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	NO	0,03	0,02	0,02	0,03	0,06	NO
Dänemark	-0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	NO	NO
Frankreich	-0,02	0,05	0,09	0,04	0,16	0,06	0,04
Großbritannien	0,30	0,03	0,03	0,03	NO	0,03	NO
Niederlande	0,07	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Österreich	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Polen	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Schweiz	0,04	0,16	0,16	0,15	0,37	0,27	0,23
Tschechische Republik	-0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	NO
Deutschland 2017	0,09	0,22	0,22	0,28	0,22	0,22	0,22
Deutschland 2018	0,09	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003

positiv: Kohlenstoffsенke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 408: Kohlenstoffvorratsveränderung der Streu in Wäldern verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.A.1 - Forest Land remaining Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2 - Land converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.1. - Cropland converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.2. - Grassland converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.3. - Wetlands converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.4. - Settlements converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.5. - Other Land converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	NO	0,10	0,07	0,10	0,13	0,23	NO
Dänemark	-1,34	-0,08	-0,08	-0,09	-0,07	NO	NO
Frankreich	NE	0,23	0,43	0,18	0,35	0,28	0,29
Großbritannien	0,03	0,03	0,03	0,03	NO	0,03	NO
Niederlande	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Österreich	NE,IE	1,22	1,38	1,25	0,78	1,22	1,21
Polen	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Schweiz	-0,04	0,70	0,47	0,71	0,65	0,27	0,69
Tschechische Republik	NO	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	NO
Deutschland 2018	-0,01	0,36	0,47	1,01	0,47	0,47	0,47
Deutschland 2019	-0,01	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47

positiv: Kohlenstoffsенke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 409: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.A.1 - Forest Land remaining Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2 - Land converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.1. - Cropland converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.2. - Grassland converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.3. - Wetlands converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.4. - Settlements converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.5. - Other Land converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	NO	0,90	2,05	0,68	-0,16	1,62	NO
Dänemark	NO,NA	0,16	0,17	NO	NO	NO	NO
Frankreich	NE	0,08	1,04	-0,05	NO	0,47	NE
Großbritannien	0,41	-0,82	-0,87	-0,81	NO	-0,83	NO
Niederlande	NA	0,00	0,49	-0,31	0,06	0,34	2,23
Österreich	-0,18	0,70	1,20	-0,85	NO	2,65	2,92
Polen	0,10	0,29	0,29	0,27	NO	NO	NO
Schweiz	0,00	1,04	0,65	0,94	1,40	2,24	4,08
Tschechische Republik	NO	0,32	0,48	0,02	NO	0,38	NO
Deutschland 2018	0,41	0,04	0,49	-0,13	0,04	0,69	0,89
Deutschland 2019	0,41	0,19	0,33	0,03	0,08	1,81	0,94

positiv: Kohlenstoffsенke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 410: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.A.1 - Forest Land remaining Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2 - Land converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.1. - Cropland converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.2. - Grassland converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.3. - Wetlands converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.4. - Settlements converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.A.2.5. - Other Land converted to Forest Land [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Dänemark	-1,30	-1,25	-1,26	-1,12	-0,96	NO	NO
Frankreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Großbritannien	0,65	-1,41	-1,40	-1,41	NO	-1,41	NO
Niederlande	-0,93	-1,03	-0,97	-1,07	-0,97	-1,05	-0,67
Österreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Polen	-0,68	-0,68	-0,68	-0,68	NO	NO	NO
Schweiz	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08
Tschechische Republik	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2018	-2,57	-2,57	-2,57	-2,57	-2,57	-2,57	-2,57
Deutschland 2019	-2,57	-2,57	-2,58	-2,57	-2,58	-2,60	-2,45

positiv: Kohlenstoffsinke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

6.4.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.A)

Mit der diesjährigen Submission werden quellspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990-2019 vorgelegt, da korrigierte Daten und neue Methoden zur Anwendung kamen:

- Geänderte Emissionsfaktoren für die Biomasse und das Totholz durch die Aktualisierung der Ergebnisse der Kohlenstoffinventur 2017. Durch Methoden Anpassungen und Datenkorrekturen wurden auch für vorangegangene Inventurperioden die EF angepasst. Für den Verbleibenden Wald wurde für die Biomasse jährliche EF eingeführt (siehe auch Kapitel 6.4.2.2 und Kapitel 6.4.2.3). Die neuen und alten EF sind für Totholz in Tabelle 413 und für die Biomasse in Tabelle 426 gegenübergestellt. Bei Landnutzungsänderungen zum Forst ist hierbei die Vornutzung nicht berücksichtigt
- Modifikation der Methode zur Erhebung der Flächen von Entwässerungsgräben für organische Böden (Kapitel 6.1.2.2.1)
- Anpassung des Stichprobennetzes zur Ermittlung der Landnutzung und Landnutzungsänderung (s. Kapitel 6.3.1ff)

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind zum einen auf die Änderung der Methode zur Erfassung der Fläche von Entwässerungsgräben organischer Böden zurückzuführen; zum anderen auf Korrekturalgorithmen, die eine Konsistenz der Flächennutzungszeitreihen mit den neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres gewährleisten. Es wird davon ausgegangen, dass neueste Daten die beste Qualität haben und daher die vorangegangene Zeitreihe, falls notwendig, angepasst (s. auch Kapitel 6.3ff).

Begründung für die Neuberechnung der Waldbiomasse

Bisher fußten die jährlichen Angaben zur Biomasse im Wald auf den periodischen Angaben der Waldinventuren. Dadurch gab es für alle Jahre einer Periode den gleichen Emissionsfaktor (EF). Für den Zeitraum nach der letzten Inventur wird der EF der letzten Periode fortgeschrieben. Diese Methode steht im Einklang mit dem IPCC-Regelwerken und entspricht der „stock-difference-method“.

Für eine jährliche Differenzierung in der Treibhausgasberichterstattung wurde eine Methode (logging factor method) entwickelt, die in der Veröffentlichung RÖHLING et al. (2016)

beschrieben ist. Die Einführung der jährlichen Differenzierung wurde aus den Gründen notwendig:

1. Im Rahmen des Klimaabkommens von Paris reichte Deutschland nach den Forderungen der Regularien der Europäischen Union (Verordnung (EU) 2018/841, 525/2013 und 529/2013) einen National Forestry Accounting Plan (NFAP) mit der Herleitung des Forest Reference Levels (FRL) ein. Allerdings wurde unter anderem die für die Biomasse verwendete Methode von der Europäischen Kommission (KOM) kritisiert. Daher wurde sie wie auf Seite 46 des Kommissionsberichtes „ASSESSMENT OF THE REVISED NATIONAL FORESTRY ACCOUNTING PLANS 2021-2025“ abgeändert:

„The matrix model used in Germany’s FRL proposal describes the stock-change of living biomass in 2002-2007 and is based on the German National Forest Inventory 2002 and Inventory Study 2008 (see German NFAP). The weighted emission factor of this model (NFAP Addendum and Corrigendum, Table 6, amended to NFAP, Annex 1, Table I-2: -1.72 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹), however, is not representative for the full reference period (2000-2009).

In consultations with Germany it was decided to adjust net emissions from living biomass to reflect the full reference period, using a correction factor based on emission factors estimated by the logging factor method as described by Roehling et al. (2016). This method provides annual emission factors by using the periodical averages of stock changes in GHG reporting as a basis, but modulating these with annual harvest data. This can be interpreted as a surrogate method described in IPCC guidelines ...“

Diese Abänderung der Methode und die Forderung in den europäischen Regularien, eine Konsistenz der Methoden zwischen Treibhausgasberichterstattung und NFAP herzustellen, ist ein Grund für die Einführung jährlich differenzierender Zahlen für die lebende Biomasse in der Treibhausgasberichterstattung.

2. Mit der bisherigen Methode der Fortschreibung der EF über die letzte Waldinventur (Kohlenstoffinventur 2017) hinaus konnte diese Entwicklung der Waldschäden der 2018 bis 2020 nicht abgebildet werden. Mit der Einführung der jährlichen Zahlen für die Biomasse nach der Methode von RÖHLING et al. ist dies möglich, da die Holzeinschlagszahlen der offiziellen Statistik zumindest ansatzweise die Waldschäden widerspiegeln.

Bei der Umstellung auf die Logging-Factor-Methode (Röhling et al., 2016) wird für die Herleitung der jährlichen Zahlen zum ersten Mal der jährliche Holzeinschlag aus der Holzeinschlagsstatistik berücksichtigt. Der Holzeinschlag ist abhängig von der Bewirtschaftung der Wälder, aber auch stark von Schadereignissen wie beispielsweise Stürme. 1990 traf auf Deutschland eine Serie von Orkanen mit einem daraus resultierenden Sturmholzaufkommen von ca. 70 Mill. m³. Das entspricht dem damaligen doppelten durchschnittlichen jährlichen Holzeinschlag. 2007 war es der Sturm Kyrill mit einem Sturmholz von ca. 37 Mill. m³. Der Wald bindet durch den Zuwachs der Bäume jedes Jahr Kohlenstoff. Die Bilanz von jährlichem Holzeinschlag und jährlichen Zuwachs ist die Kohlenstoffspeicherleistung des Waldes. Ein hoher Holzeinschlag wie beispielsweise durch die Stürme 1990 und 2007 führen zu einer geringeren Kohlenstoffspeicherleistung. Dies spiegelt sich in einem nach der Methodenumstellung niedrigeren Emissionsfaktor der Jahre 1990 und 2007, der die Kohlenstoffspeicherung pro Hektar und Jahr quantifiziert, wider.

In Tabelle 411 sind die Waldflächen und in der Tabelle 412 die Emissionen der aktuellen zu der vorjährigen Submission gegenübergestellt.

Tabelle 411: Gegenüberstellung der in Submission 2020 und 2021 berichteten Landnutzungsmatrix

CRF-Nr	Area [kha]	Sub-mission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.A	Forest Land	2020	10.833,00	10.884,29	10.935,56	10.937,71	10.953,79	10.970,79	10.975,32	10.986,16	10.997,01
		2021	10.838,23	10.889,45	10.940,64	10.943,52	10.963,13	10.973,81	10.982,42	10.991,03	10.999,65
		Differenz	5,23	5,16	5,09	5,81	9,34	3,01	7,10	4,87	2,64
		in %	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%

Tabelle 412: Gegenüberstellung der in Submission 2020 und 2021 berichteten Emissionen (in [kt CO₂-eq])

CRF-Nr	TH G	Sub-mission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	
4.A	CO ₂	2020	-70.950,66	-71.496,84	-71.943,06	-41.098,31	-56.837,01	-67.426,69	-67.278,00	-66.806,23	-66.846,23	
		2021	-22.065,98	-79.506,15	-62.199,41	-33.145,99	-50.465,58	-62.541,61	-63.619,31	-63.384,92	-58.069,71	
		Differenz	48.884,68	-8.009,31	9.743,65	7.952,32	6.371,44	4.885,08	3.658,70	3.421,32	8.776,52	
		in %	-222%	10%	-16%	-24%	-13%	-8%	-6%	-5%	-15%	
		CH ₄	2020	34,76	34,97	35,17	34,98	35,43	35,85	35,95	36,16	36,37
			2021	31,96	32,13	32,27	31,72	31,61	31,66	31,64	31,59	31,55
	Differenz		-2,81	-2,83	-2,90	-3,27	-3,82	-4,18	-4,31	-4,57	-4,82	
	in %	-9%	-9%	-9%	-10%	-12%	-13%	-14%	-14%	-15%		
	N ₂	2020	217,56	215,72	213,82	207,94	206,57	206,10	206,21	207,20	208,22	
		2021	459,61	439,39	429,51	404,12	389,01	374,45	374,61	374,88	375,36	
		Differenz	242,04	223,68	215,69	196,17	182,44	168,35	168,40	167,68	167,14	
	in %	53%	51%	50%	49%	47%	45%	45%	45%	45%		

Tabelle 413: Gegenüberstellung der in Submission 2020 und 2021 berichteten Emissionsfaktoren für Totholz (in [t C/ha])

CRF-Nr.	Submission	1990-2001	2002-2007	2008-2011	2012-2018	
4.A.1	Forest Land remaining Forest Land	2020	-0,04	-0,10	0,19	-0,09
	2021	-0,04	-0,10	0,19	-0,09	
4.A.2	Land converted to Forest Land	2020	-0,03	-0,03	-0,16	-0,22
	2021	-0,03	-0,03	-0,23	0,00	

Tabelle 414: Gegenüberstellung der in Submission 2020 und 2021 berichteten Emissionsfaktoren für Biomasse (in [t C/ha])

Forest Land remaining Forest Land Pool Submission	Oberirdische Biomasse		Unterirdische Biomasse	
	2020	2021	2020	2021
1990	-1,31	-0,19	-0,12	-0,02
1991	-1,31	-1,47	-0,12	-0,14
1992	-1,31	-1,61	-0,12	-0,15
1993	-1,31	-1,60	-0,12	-0,15
1994	-1,31	-1,36	-0,12	-0,13
1995	-1,31	-1,53	-0,12	-0,15
1996	-1,31	-1,40	-0,12	-0,13
1997	-1,31	-1,38	-0,12	-0,13
1998	-1,31	-1,39	-0,12	-0,13
1999	-1,31	-1,40	-0,12	-0,13
2000	-1,31	-1,12	-0,12	-0,11
2001	-1,31	-1,27	-0,12	-0,12
2002	-0,36	-0,46	-0,09	-0,12
2003	-0,36	-0,42	-0,09	-0,11
2004	-0,36	-0,39	-0,09	-0,10
2005	-0,36	-0,35	-0,09	-0,09
2006	-0,36	-0,33	-0,09	-0,08
2007	-0,36	-0,25	-0,09	-0,07
2008	-1,01	-0,97	-0,14	-0,13
2009	-1,01	-1,12	-0,14	-0,15

Forest Land remaining Forest Land				
Pool	Oberirdische Biomasse		Unterirdische Biomasse	
Submission	2020	2021	2020	2021
2010	-1,01	-0,98	-0,14	-0,13
2011	-1,01	-0,96	-0,14	-0,13
2012	-0,98	-0,93	-0,17	-0,16
2013	-0,98	-0,95	-0,17	-0,17
2014	-0,98	-1,01	-0,17	-0,18
2015	-0,98	-0,98	-0,17	-0,17
2016	-0,98	-1,02	-0,17	-0,18
2017	-0,98	-1,02	-0,17	-0,18
2018	-0,98	-0,90	-0,17	-0,16
Land converted to Forest Land				
Pool	Oberirdische Biomasse		Unterirdische Biomasse	
Submission	2020	2021	2020	2021
1990-2001	-2,82	-0,70	-0,58	-0,14
2002-2007	-8,50	-0,22	-1,26	-0,06
2008-2011	-7,84	-1,94	-1,50	-0,34

6.4.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.A)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant. Aussagen über den Stand der Umsetzung der geplanten Verbesserungsmaßnahmen im LULUCF-Sektor sind in Kapitel 6.1.4 zu finden.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

6.5 Ackerland (4.B)

6.5.1 Beschreibung der Kategorie (4.B)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	4 B, Cropland		CO ₂	13.511,1	1,1	16.336,7	2,1	20,9 %
L2/T2	4 B, Cropland		N ₂ O ¹¹²	233,8	0,0	642,1	0,1	174,7 %
-/-	4 B, Cropland		CH ₄	146,1	0,0	135,2	0,0	-7,5 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 2	RS/NS	CS
N ₂ O	Tier 2	RS/NS	CS/D
CH ₄	Tier 2	RS/NS	CS

Die Quellgruppe *Ackerland* (4.B) setzt sich aus den fünf Unterkategorien *Ackerland_{annuell}*, *Hopfen*, *Wein*, *Obst* und *Sonstiges Ackerland_{perennierend}*¹¹³ zusammen (s. auch Kapitel 6.2.2, Kapitel 6.3.2.1, Tabelle 374). Der stratifizierte Einzelnachweis der Ergebnisse der Emissionsberechnungen für diese Subkategorien erfolgt mit dieser Submission erstmalig auch in den CRF-Tabellen. Die Quellgruppe ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend sowie für die N₂O-Emissionen nach der Approach-2-Level- & Trend-Analyse.

In der Kategorie „Ackerland“ wird über die Freisetzung/Einbindung von CO₂ aus mineralischen und organischen Böden sowie der ober- und unterirdischen Biomasse berichtet; außerdem über direkte und indirekte Lachgasemissionen durch Humusverluste aus Mineralböden nach Landnutzungsänderung zu Acker und über Methanemissionen aus organischen Böden. Direkte

¹¹² direkte und indirekte Emissionen aus Mineralböden infolge der Mineralisierung organischer Substanz; Lachgasemissionen aus Mineralböden infolge der Mineralisierung organischer Substanz der Verbleibkategorie werden im Sektor Landwirtschaft berichtet (CRF 3.D.a.5), ebenso Lachgasemissionen aus organischen Böden (CRF 3.D.a.6)

¹¹³ Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen

und indirekte Lachgasemissionen aus der Düngemittelausbringung (Kunstdünger, Wirtschaftsdünger, Klärschlamm usw.), Ernteresten und der Drainage organischer Böden unter Ackernutzung sowie durch den Zersatz organischer Substanz werden gemäß der IPCC Richtlinien (IPCC, 2006) unter Landwirtschaft berichtet (CRF 3.D) und daher, im Kapitel Ackerland, mit dem Schlüsselvermerk IE versehen. Das Abbrennen von Feldern und Ernterückständen ist in Deutschland per Gesetz verboten (DirektZahlVerpflV, 2004) und wird deshalb nicht berichtet (NO).

Die Emissionen aus der Landnutzungskategorie Ackerland (Summe aus Ackerland_{annuell}, Hopfen, Wein, Obst und Sonstigem Ackerland_{perennierend}) sind, getrennt nach Pools, in Tabelle 415 und im CRF- Tabellenwerk in den Tabellen 4, 4.B, 4(II).B, 4(III).B und 4(IV).2 dargestellt. Die Gesamtemissionen betragen 2019 in Deutschland 17.114,0 kt CO₂-Äquivalente. Hauptquellen sind die Böden, vor allem ackerbaulich genutzte organische Böden (66,7 %). Die Mineralböden tragen 28,8 % zur Emissionssumme bei, insbesondere durch Emissionen infolge von Grünlandumbruch; die daraus resultierenden Bruttoemissionen betragen 104,7 % der Nettoemissionen aus der Landnutzungskategorie Ackerland. Die Zunahmen des Kohlenstoffvorrates in Mineralböden infolge der Umwandlung von Siedlungsflächen und Sonstigem Land zu Ackerland sind die Ursache für diese Kompensation (CRF 4.B.2.2.1, 4.B.2.2.1.1 - 4.B.2.2.1.4; 4(II).B; 4(IV).2). Die anthropogen bedingte Netto-Freisetzung von CO₂ aus der Biomasse (4,4 %) ist im Ackerlandsektor gering. Landnutzungsänderungen von Wald zu Ackerland fanden 2019 nicht statt, so dass Emissionen aus toter organischer Substanz nicht auftraten.

Der Anteil der perennierenden Ackerlandkulturen an den gesamten Emissionen aus dem Ackerland ist gegenüber dem annualen Ackerland (99,8 %) sehr gering (< 1%). Außer dem Obstanbau, der aufgrund der Kohlenstoffvorratszunahme in der Biomasse und dem Mineralboden insgesamt eine Nettosenke für Treibhausgase darstellt, fungieren alle anderen Subkategorien des Ackerlandes als Nettoquelle (Tabelle 391).

Das dominierende Treibhausgas im Ackerlandsektor ist mit 16.336,7 kt CO₂-Äquivalenten das CO₂ (95,5 %); daran gemessen, sind die zu berichtenden Lachgasemissionen aus dem Zersatz organischer Bodensubstanz infolge Landnutzungsänderung zu Ackerland gering (insgesamt 642,1 kt CO₂-Eq. \approx 3,8 %, zusammengesetzt aus direkten (524,2 kt CO₂-Eq. (CRF 4(III))) und indirekten Emissionen (117,9 kt CO₂-Eq. (CRF 4(IV))); dies gilt auch für die Methanemissionen (135,2 kt CO₂-Eq. \approx 0,8 % (CRF 4(II).B)), aus der Nutzung organischer Böden).

Tabelle 415: CO₂-, N₂O- und CH₄-Emissionen [kt CO₂-Eq.] aus dem Ackerland 2019. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls

Quellgruppe	THG	Ackerland Emissionen 2019				[%]	
		Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	
Acker_{annuell} ¹⁾	Σ	17.086,6	13.618,3	18.992,0	20,30	11,15	
Mineralboden	CO ₂ ²⁾	4.280,9	4.193,1	4.368,7	2,05	2,05	
	N ₂ O _{direkt} ³⁾	117,0	-14,8	446,4	112,67	281,49	
	N ₂ O _{indirekt} ⁴⁾	520,1	162,0	1.541,2	68,86	196,36	
Organischer Boden	CO ₂ ²⁾	11.179,1	7.627,9	12.795,8	31,77	14,46	
	N ₂ O ⁵⁾	IE	IE	IE	IE	IE	
	CH ₄ ⁶⁾	133,6	81,6	216,9	38,95	62,27	
Biomasse	CO ₂ ²⁾	855,9	623,5	1.092,6	27,16	27,65	
Streu/Totholz	CO ₂ ²⁾	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	

Hopfen Emissionen 2019						
Quellgruppe	THG	[kt CO ₂ -Eq.]			[%]	
		Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
Hopfen ¹⁾	∑	10,76	7,54	13,55	29,98	25,88
Mineralboden	CO ₂ ²⁾	1,30	0,92	1,68	29,16	29,16
	N ₂ O _{direkt} ³⁾	0,00	0,00	0,00	99,33	245,63
	N ₂ O _{indirekt} ⁴⁾	0,13	0,07	0,30	48,99	131,78
Organischer Boden	CO ₂ ²⁾	6,14	3,16	8,60	48,47	40,11
	N ₂ O ⁵⁾	IE	IE	IE	IE	IE
	CH ₄ ⁶⁾	0,12	0,05	0,21	58,27	77,47
Biomasse	CO ₂ ²⁾	3,08	1,80	4,36	41,52	41,60
Streu/Totholz	CO ₂ ²⁾	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Weinbau Emissionen 2019						
Quellgruppe	THG	[kt CO ₂ -Eq.]			[%]	
		Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
Weinbau ¹⁾	∑	30,02	20,85	39,38	30,55	31,18
Mineralboden	CO ₂ ²⁾	15,94	13,05	18,83	18,12	18,12
	N ₂ O _{direkt} ³⁾	0,23	0,07	0,62	70,55	171,01
	N ₂ O _{indirekt} ⁴⁾	1,02	0,55	2,24	45,57	120,04
Organischer Boden	CO ₂ ²⁾	0,12	0,00	0,20	99,99	59,89
	N ₂ O ⁵⁾	IE	IE	IE	IE	IE
	CH ₄ ⁶⁾	0,00	0,00	0,00	80,37	107,40
Biomasse	CO ₂ ²⁾	12,71	4,27	21,20	66,43	66,83
Streu/Totholz	CO ₂ ²⁾	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Obstbau Emissionen 2019						
Quellgruppe	THG	[kt CO ₂ -Eq.]			[%]	
		Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
Obstbau ¹⁾	∑	-27,74	-24,37	-30,77	12,15	10,91
Mineralboden	CO ₂ ²⁾	-18,38	-16,92	-19,84	7,96	7,96
	N ₂ O _{direkt} ³⁾	0,20	0,00	0,75	99,99	266,33
	N ₂ O _{indirekt} ⁴⁾	0,91	0,30	2,60	66,93	186,13
Organischer Boden	CO ₂ ²⁾	33,15	18,80	45,40	43,27	36,97
	N ₂ O ⁵⁾	IE	IE	IE	IE	IE
	CH ₄ ⁶⁾	0,51	0,27	0,83	46,82	62,65
Biomasse	CO ₂ ²⁾	-44,13	-39,23	-49,05	11,11	11,15
Streu/Totholz	CO ₂ ²⁾	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sonstiges Ackerland _{perennierend} Emissionen 2019						
Quellgruppe	THG	[kt CO ₂ -Eq.]			[%]	
		Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
Sonstiges Ackerland _{perennierend} ¹⁾	∑	14,40	12,68	15,87	11,95	10,15
Mineralboden	CO ₂ ²⁾	14,15	12,94	15,36	8,55	8,55
	N ₂ O _{direkt} ³⁾	0,46	0,07	1,44	85,44	212,58
	N ₂ O _{indirekt} ⁴⁾	2,04	0,97	5,08	52,63	148,41
Organischer Boden	CO ₂ ²⁾	68,24	46,63	79,57	31,67	16,60
	N ₂ O ⁵⁾	IE	IE	IE	IE	IE
	CH ₄ ⁶⁾	0,92	0,54	1,44	41,10	56,41
Biomasse	CO ₂ ²⁾	-71,41	-61,66	-81,28	13,66	13,83
Streu/Totholz	CO ₂ ²⁾	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- 1) Summe der Emissionen aus den CRF-Tabellen 4.B, 4.(II).B, 4.(III).B, 4.(IV).2
- 2) CRF-Tabelle 4.B
- 3) CRF-Tabelle 4.(III).B
- 4) Die kategoriespezifischen indirekten N₂O-Emissionen werden im CRF-Tabellenwerk nicht erfasst und dargestellt; sie sind Teil der in CRF-Tabelle 4.(IV).2 dargestellten Summe aller Subkategorien
- 5) CRF-Tabelle 3.D.a.6
- 6) CRF-Tabelle 4.(II).B

Abbildung 57 und Abbildung 58 zeigen den Verlauf der Emissionen aus dem Ackerland über die Zeit. Die Gesamtemission war im Jahr 2019 um 3.223,0 kt CO₂ \pm 23,2 % größer als im Basisjahr 1990. Hauptursache für den generellen Trend ist die Zunahme der Emissionen aus den Mineralböden (201%), hauptsächlich infolge von Grünlandumbruch (CRF 4.B.2.1.1; 4.B.2.2.1.1 - 4.B.2.2.1.4). Emissionen aus der Entwaldung sind über die gesamte Zeitreihe vernachlässigbar gering und betragen 2019 0,63 kt CO₂ \pm 0,004 %. Auch die Emissionen infolge Landnutzungsänderungen von Feuchtgebieten zu Ackerland (84,8 kt CO₂ \pm 0,5 %) sind absolut gering, weisen aber eine Zunahme gegenüber 1990 von 930 % auf, hauptsächlich zurückzuführen auf den Pool Organische Böden, der die Senkenfunktion der Biomasse bei weitem überkompensiert. Die Umwandlung von Siedlungsflächen führte 2019 zu negativen Emissionen in Höhe von -84,5 kt CO₂. Diese Senkenfunktion findet seine Ursache in dem Pool Mineralboden. Die Senkenfunktion hat seit 1990 allerdings stark abgenommen (2019: -41 %), da zunehmend weniger Siedlungsflächen von Landnutzungsänderungen zu Ackerland betroffen waren. Der Verlauf der Emissionen aus organischen Böden zeigt sich auf hohem Niveau wenig veränderlich und zeigt sich 2019 in ungefähr der gleichen Größenordnung wie 1990 (+ 0,15 %); die Variabilität über die Jahre ist weniger ein Flächeneffekt, sondern Ergebnis der sich ständig ändernden Grundwasserflurabstände.

Die prägnanten Kurvenverläufe der Zeitreihen haben ihre Ursache vor allem in den periodischen Erhebungsterminen der Flächendaten (siehe Kapitel 6.3.5). Der Erfassung von Landnutzungsänderungen anhand räumlich expliziter Daten lagen Datensätze der Jahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015 und 2019 zugrunde (vergl. Kapitel 6.3). Landnutzungsänderungen, die zwischen diesen Terminen auftraten, wurden durch lineare Interpolation ermittelt, so dass die jährlichen Konversionsflächen zwischen den Erhebungszeitpunkten konstant sind.

Die Trendumkehr im Jahr 2000 ist im Wesentlichen auf unterschiedliche Datengrundlagen zurückzuführen. Beginnend mit dem Berichtsjahr 2000 können die Flächendaten des B-DLM des ATKIS dem Nachweis von Flächen und Landnutzung zugrunde gelegt werden. Diese weisen eine sehr viel höhere räumliche und zeitliche Auflösung auf, als die von CORINE Landcover (CLC), die für die Jahre vor 2000 zur Ausweisung der Flächennutzung herangezogen werden müssen (Kapitel 6.3.2.2). Die ältere Datenreihe des CLC mittels des "Overlap Approach" (IPCC (2006): Vol. 1 Ch. 5.3.3) wurde an die neuere, höher auflösende Datenreihe des Basis-DLM angeglichen. Der Wechsel der Datengrundlage vom Jahr 2000 an, führt zu deutlich mehr detektierbaren Landnutzungsänderungen gegenüber der Periode von 1990 - 2000, insbesondere von Grünland zu Ackerland.

Abbildung 57: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO₂, CH₄ und N₂O) [kt CO₂-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Ackerland von 1990-2019 nach Unterkategorien (Unsicherheitendarstellung nur für Gesamtsumme)

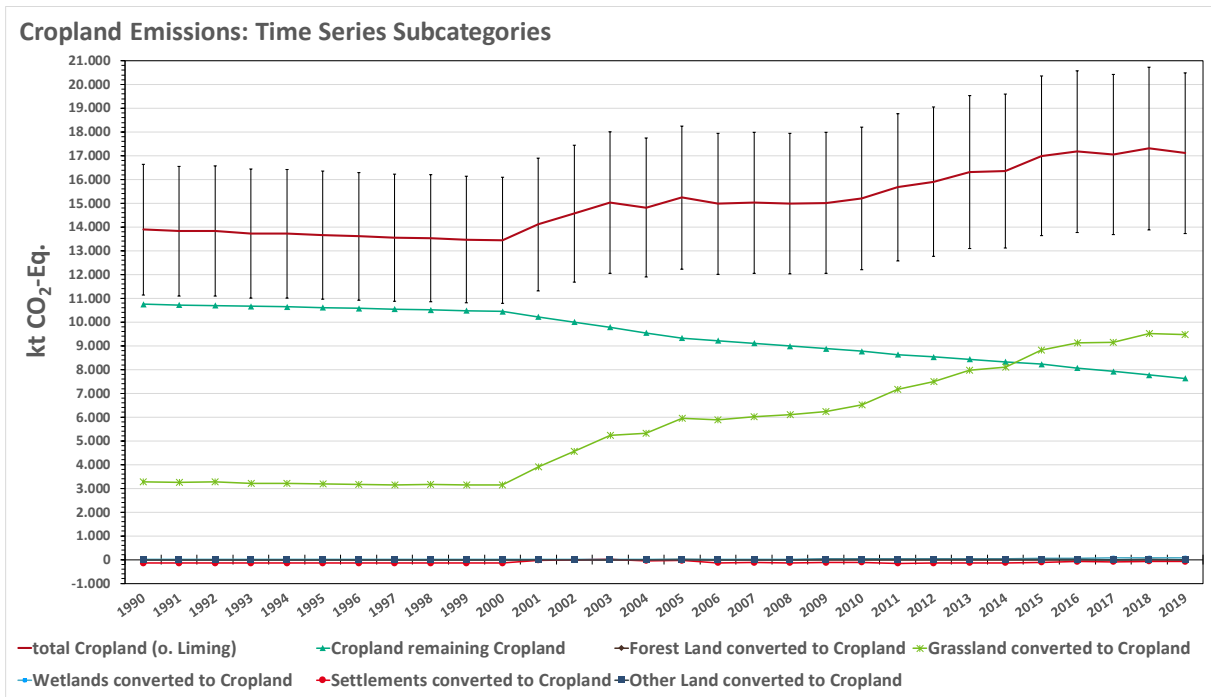
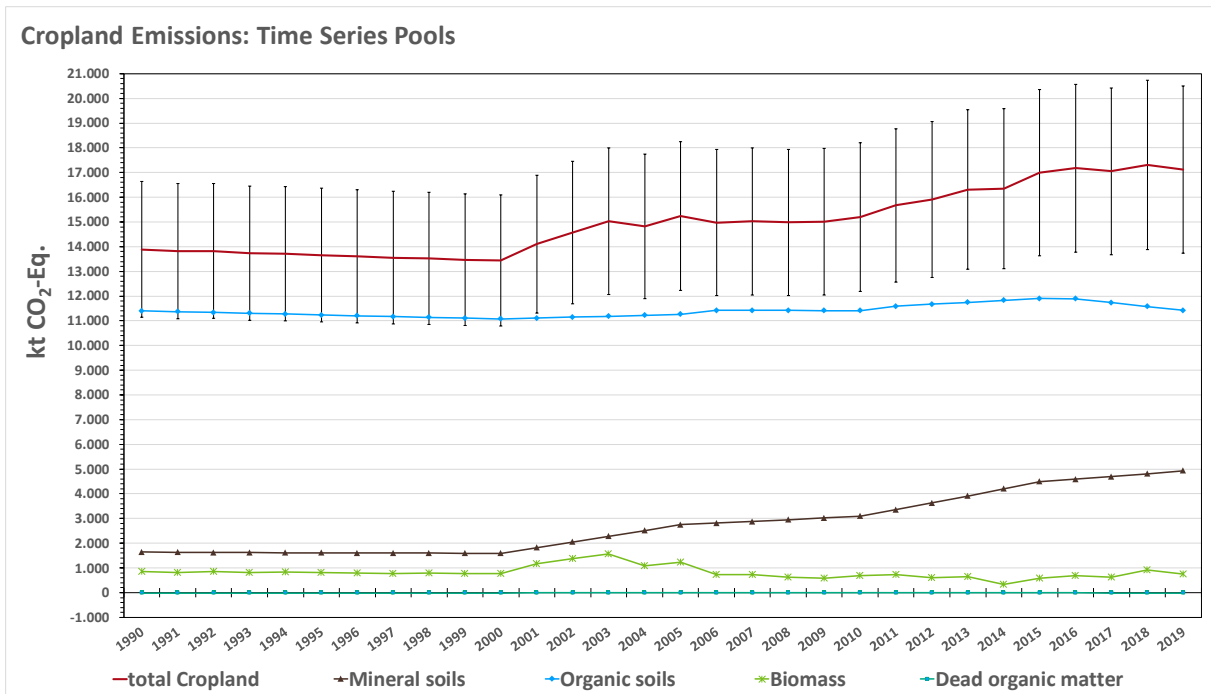


Abbildung 58: Treibhausgasemissionen (Summe aus CO₂, CH₄ und N₂O) [kt CO₂-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Ackerland von 1990-2019 nach Pools (Unsicherheitendarstellung nur für Gesamtsumme)



6.5.2 Methodische Aspekte (4.B)

6.5.2.1 Datenquellen

Es wurden folgende Datenquellen/-sätze genutzt:

- Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, Reihe 3, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3b);
- Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, Reihe 3.2.1, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Wachstum und Ernte – Feldfrüchte; (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.2.1)
- Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, Reihe 3.1.2, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Bodennutzung der Betriebe (Landwirtschaftlich genutzte Flächen); (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.1.2);
- 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use (IPCC, 2006)
- „Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung –DüV)“ (Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist) (Bundesgesetzblatt, 2012).
- Zwischenbericht Forschungsprojekt „Methodenentwicklung zur Erfassung der Biomasse mehrjährig verholzter Pflanzen außerhalb von Wäldern“ (Pöpken, 2011).

6.5.2.2 Biomasse

In der Kategorie Ackerland wird der Pool Biomasse weiter untergliedert nach Ausprägung der Pflanzen in

- krautige Pflanzen (Ackerland_{annuell})
- mehrjährige Gehölzkulturen (Hopfen-, Wein- und Obstanbauflächen sowie Sonstige Ackerkulturen_{perennierend} (Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen).

Die Unterstellungen und Methoden zur Berechnung der Kohlenstoffvorratsänderungen in der ober- und unterirdischen Biomasse von Pflanzen sind in Kapitel 6.1.2.3 beschrieben, die Herleitung der Emissionsfaktoren für:

- krautige Pflanzen annueller Kulturen in Kapitel 6.1.2.3.3,
- Hopfenanbauflächen in Kapitel 6.1.2.3.4.4,
- Weinanbauflächen in Kapitel 0,
- Weihnachtsbaumkulturen in Kapitel 0,
- Baumschulen in Kapitel 0,
- Kurzumtriebsplantagen in Kapitel 0.

6.5.2.2.1 Landnutzungsänderung

Annuelle und perennierende Ackerkulturen werden differenziert nach den in Kapitel 6.5.2.2 angeführten Unterkategorien räumlich explizit und umfänglich nachgewiesen. Daher werden bei Landnutzungsänderungen von/zu Ackerland die in Kapitel 6.1.2.3.3 und Kapitel 6.1.2.3.4 aufgeführten Kohlenstoffvorräte in der ober- und unterirdischen Biomasse, nach den in Kapitel 6.1.2.3.2 beschriebenen Methoden, als Ziel- bzw. Ausgangswert, den Berechnungen der CO₂-Einbindung/Emissionen in/aus dem Pool Ackerlandbiomasse zugrunde gelegt.

6.5.2.2.2 Verbleibkategorie

Während in den Verbleibkategorien aller anderen Landnutzungskategorien und -subkategorien einheitliche Vegetationsstrukturen auftreten, somit bezüglich der Biomasse ein dynamisches Gleichgewicht unterstellt werden kann (folglich keine Emissionen auftreten) (s. Kapitel

6.1.2.3.1), weist die Subkategorie „Ackerland bleibt Ackerland“ krautige, annuelle Kulturen und unterschiedliche mehrjährige Gehölzkulturen auf. Flächenumwidmungen zwischen diesen ziehen folglich, anthropogen verursacht, Kohlenstoffvorratsänderungen in der pflanzlichen Biomasse nach sich. Die daraus resultierenden Emissionen aus dem Biomassepool werden für die Verbleibkategorie Ackerland berichtet.

Die Flächenänderungen zwischen annuellen und den ausgewiesenen perennierenden Ackerkulturen können ab sofort räumlich explizit und umfänglich nachgewiesen werden (s. Kapitel 6.1.2.3.1).

Die Berechnung erfolgt nach der in Kapitel 6.1.2.3.2 beschriebenen Gain-Loss Methode (2006 IPCC Guidelines).

6.5.2.3 Mineralische Böden

6.5.2.3.1 Landnutzungsänderung

Die Berechnung der CO₂-Emissionen infolge der Umwandlung von Landflächen in Ackerland ist in Kapitel 6.1.2.1, für die direkten N₂O-Emissionen in Kapitel 6.1.2.7 und für indirekte N₂O-Emissionen in Kapitel 6.1.2.8 beschrieben. Die Emissionsfaktoren für Kohlenstoff sind in Tabelle 345 und Tabelle 346 (Kapitel 6.1.2.1.1), die für direkte Lachgasemissionen in Tabelle 371 (Kapitel 6.1.2.7), und für indirekte N₂O-Emissionen in Tabelle 372 (Kapitel 6.1.2.8) dargestellt. Die Herleitung der Emissionsfaktoren ist in Kapitel 6.1.2.1 beschrieben, die Unsicherheiten sind in Tabelle 416 (Kapitel 6.6.3) ausgewiesen. Die Ergebnisse für die Emissionen aus Mineralböden finden sich für die:

- CO₂-Emissionen in den CRF-Tabellen 4.B.2.1-4.B.2.5,
- direkten N₂O-Emissionen in den CRF-Tabellen 4.III.2.1-4.III.2.5,
- indirekten N₂O-Emissionen in der CRF-Tabelle 4.IV.2.

Die direkten und indirekten Lachgasemissionen infolge des Zersatzes organischer Substanz in Mineralböden der Verbleibkategorie Ackerland, werden gemäß den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) im Tabellenwerk des Landwirtschaftssektors berichtet (3.D.a.5).

6.5.2.3.2 Verbleibkategorie

Für Flächen unter verbleibender Ackerlandnutzung wird keine Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden gleichnamiger Subkategorien ausgewiesen; folglich wird auch kein Lachgas infolge von Mineralisierung organischer Bodensubstanz freigesetzt. Die Annahme, dass Mineralböden unter anhaltender Ackernutzung in Deutschland keine Quellen für Kohlenstoff und Stickstoff sind, wurde mit folgenden Argumenten hinterlegt:

- Ergebnisse von 140 regionalen Langzeituntersuchungsflächen (Höper and Schäfer (2012); Fortmann et al. (2012) und Blum and Heinbach (2007)), die die Konstanz des Kohlenstoffvorrats seit Anfang der 1990er Jahre belegen.
- Erste Untersuchungen zur Kohlenstoffbilanz von Ackerlandflächen an 180 Standorten der landesweiten Bodenzustandserhebung Landwirtschaft, mittels Modellen (Dreysse, 2015). Zum einen kam das für die praktische Beratung entwickelte Bilanzierungsmodell „VDLUFA-Humusbilanzierung“ (Körschens et al. (2004)) zum Einsatz, zum anderen das prozessgesteuerte, standortangepasste Modell „CandyCarbonBalance“ (Franko et al., 2011) zum Einsatz. Beide Modelle zeigen eindeutig, dass die untersuchten, langjährig genutzten Ackerböden keine Quellen für CO₂ darstellen (Dreysse, 2015).
- Metastudien jüngerer Datums (Baker et al. (2007); Luo et al. (2010)), die zeigen, dass die Art der Bodenbearbeitung bei einer Betrachtungstiefe > 60 cm keinen Einfluss auf den Gesamtkohlenstoffvorrat von Mineralböden hat.

In Ergänzung dieser Argumente können nun mehr weitergehende und umfassendere Beweisgründe für die Richtigkeit o.a. Thesen angeführt werden:

1. Die Ergebnisse der bundesweiten Auswertung der deutschen Bodendauerbeobachtungsflächen (Marx et al., 2016).
2. Analyse der Zeitreihen des Kohlenstoffeintrags durch organische Düngemittel und Ernterückstände; der Kohlenstoffeintrag wurde abgeleitet aus dem jeweiligen Stickstoffeintrag in die Ackerflächen Deutschlands, die für diese Quellgruppen des Landwirtschaftssektors berechnet wurden (CRF-Tabelle 3.D).
3. Die Düngemittlempfehlungen zur Umsetzung der Deutschen Düngeverordnung und der Europäischen Nitratrichtlinie

zu 1.) Die Ergebnisse der Bodendauerbeobachtungsflächen der Bundesländer wurden in einem Forschungsprojekt zusammengetragen, harmonisiert und bundesweit synthetisch ausgewertet (Marx et al., 2016). Die wesentlichen Ergebnisse sind:

- Die bundesweite Auswertung der BDF bezüglich Kohlenstoffvorratsänderungen bestätigt das Bild der bisherigen Länderbetrachtung. Der Anteil der Standorte, an denen keine statistisch abgesicherten Veränderungen auftreten überwiegt deutlich; so zeigen 77 % der Mineralböden unter Acker keine Kohlenstoffvorratsänderungen, 10 % eine signifikante Zu-, 13 % eine signifikante Abnahme (Marx et al., 2016).
- An 157 Acker-BDF Standorten lagen für eine Korrelation auswertbare organische Bodenkohlenstoff- und Bewirtschaftungsdaten vor. Eine positive signifikante Korrelation zwischen den organische Bodenkohlenstoffdifferenzen und der Bewirtschaftung konnte nur an zwei Standorten nachgewiesen werden, entsprechend ca. 1,3 %. Der Einfluss der Bewirtschaftung auf den Kohlenstoffgehalt ist offensichtlich marginal (Marx et al., 2016).
- Als wichtigste Einflussgrößen, die den Gehalt an organischem Kohlenstoff in Böden erklären, konnten Marx et al. (2016) den Tongehalt, den Niederschlag und die Temperatur ausmachen, gefolgt von weiteren Standortparametern. Bewirtschaftungsfaktoren trugen unerheblich zur Erklärung der Varianz der Kohlenstoffgehalte in den Mineralböden unter Ackerland bei. Als wichtigste Einflussgrößen für die langfristige Veränderung der Kohlenstoffgehalte konnten in der Studie der Ausgangsgehalt an Kohlenstoff sowie der Tongehalt ermittelt werden.

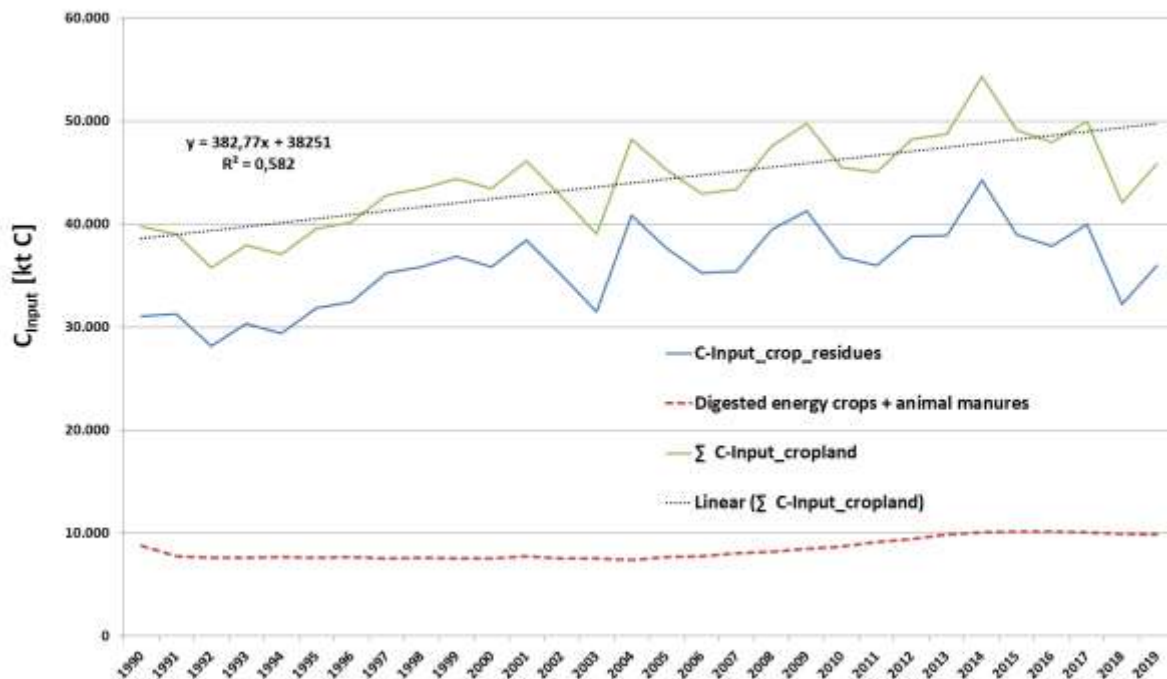
Die Ergebnisse der bundesweiten Auswertung der Bodendauerversuchsstandorte durch Marx et al. (2016) bestätigen die These, dass die Netto-Kohlenstoffvorratsänderungen in den Mineralböden von Ackerlandstandorten im Durchschnitt Null sind, auftretende Veränderungen im Wesentlichen nicht durch die Bewirtschaftung beeinflusst werden sondern standortbedingt sind.

zu 2.) Der Trend des Kohlenstoffeintrags durch organischen Dünger und Ernterückstände erlaubt eine unabhängige Abschätzung des Bewirtschaftungseinflusses hinsichtlich der Humusbilanz. Ein positiver Trend deutet auf eine Netto-C-Senke hin, während ein negativer Trend Indiz für eine potentielle Abnahme des Kohlenstoffvorrates ist. Als Grundlage für die Trendschätzung dient der Stickstoffeintrag in die Mineralböden, der für den Landwirtschaftssektor (CRF-Tabelle 3.D) des deutschen THG-Inventars ermittelt wurde. Daraus leitet sich der Kohlenstoffeintrag durch organische Dünger angenähert ab, indem der Stickstoffeintrag mit einem durchschnittlichen C/N-Verhältnis von 12 (repräsentativ für die Mischung aus Gülle und Dung, die die organischen Dünger dominieren) multipliziert wird. 66 % des organischen Düngers werden in Deutschland auf Ackerland, 34 % auf Grünland angewendet (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.2.2). Abbildung 59 zeigt die Ergebnisse:

- Der Kohlenstoffeintrag mit organischen Düngern weist seit 1990 einen nur leichten, wenn auch hochsignifikanten Anstieg auf
- Der Kohlenstoffeintrag mit den Ernterückständen hat deutlich zugenommen, trotz der beiden vergangenen extremen Trocken- und Hitzejahre
- Insgesamt ist eine Zunahme der Kohlenstoffeinträge in Mineralböden unter Ackerland seit 1990 zu verzeichnen

Abbildung 59: Kohlenstoffeintrag [kt C] mittels organischen Dünger und Ernteresten in Ackerland 1990 - 2019

Carbon input to cropland by management



So bestätigen die Ergebnisse dieser nationalen Analyse, unabhängig von den Ergebnissen der Bodendauerbeobachtung, dass mineralische Böden in der Kategorie „Ackerland bleibt Ackerland“ eher eine Netto-Kohlenstoffsenke als eine -quelle sind. Angesichts der Tatsache, dass Kulturpflanzen weniger pro Kohlenstoffeinheit für die Humusbilanz von Böden beitragen als organische Düngemittel, wird die Schätzung einer Nullbestandsveränderung erneut als robust bestätigt.

zu 3.) Ein weiterer Hinweis darauf, dass Mineralböden unter Dauerackerland keine organische Bodensubstanz verlieren, liefern die Düngeempfehlungen für annuelle Ackerpflanzen, welche durch die Landwirtschaftsbehörden der Bundesländer den Landwirten gegeben werden. Damit werden die Ziele der deutschen Gesetzgebung zur Düngung unterstützt, mit welcher auch die Europäische Nitratrichtlinie umgesetzt werden soll. In §6 der Düngeverordnung (DüV; Bundesgesetzblatt (2012)) sind verpflichtende Höchstgrenzen für Stickstoffüberschüsse auf Ackerland festsetzt, die von den Behörden kontrolliert werden. Die zuständigen Behörden der Bundesländer stellen den Landwirten Daten und Tools für die Düngebedarfsermittlung zur Verfügung. Die DüV legt dezidiert fest, welche Parameter hierbei zu beachten sind (z.B. diverse Standortfaktoren, Anbaubedingungen, Bewirtschaftung, Frucht, Vorfrucht, Restgehalte, organische Dünger usw.) und führt des Weiteren aus, dass zur Ermittlung des Düngebedarfs die Ergebnisse regionaler Feldversuche herangezogen werden sollen (§3, Abs. 2 DüV

Bundesgesetzblatt (2012)). So basieren die von den einzelnen Bundesländer entwickelten Werkzeuge zur Abschätzung des Stickstoffdüngedarfs sowie die diesen zugrunde liegenden Daten auf regionalen Messungen und Düngerversuchen. Stickstoffverluste aus der Mineralisierung organischer Bodensubstanz werden jedoch in keinem dieser Systeme berücksichtigt. Als Stickstoffquellen wirken offensichtlich ausschließlich organische Dünger und Ernterückstände nicht jedoch die Mineralisierung organischer Bodensubstanz. Daraus folgt, ergänzend zu den Ergebnissen aus 1.), dass in der Kategorie „Ackerland bleibt Ackerland“ keine N₂O-Emissionen infolge der Mineralisierung organischer Bodensubstanz auftreten, somit auch keine Kohlenstoffverluste

In der CRF-Tabelle 4.B.1 wird die Spalte Kohlenstoffvorratsänderung in Mineralböden der Verbleibkategorie daher mit NE (not estimated) gekennzeichnet; entsprechendes gilt für die N₂O-Emissionen in der CRF-Tabelle 3.D.5.

Nichtsdestotrotz werden in der Ackerland Verbleibkategorie Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden ausgewiesen. Diese sind auf "Nutzungsübergänge" zwischen den ungleichnamigen Subkategorien des Ackerlandes zurückzuführen. Solche werden wie Landnutzungsänderungen behandelt, die daraus resultierenden Emissionen jedoch summarisch in der Verbleibkategorie zusammengefasst (Kapitel 6.1.2.1).

Die Empfehlung der EU-Kommission, in den „Member State recommendations on reporting systems for cropland & grazing land management emissions & removals“ (Ecofys & Environment Agency Austria, 2017) für Deutschland ein System zu entwickeln, mit dem künftig Veränderungen der Kohlenstoffvorräte von Böden infolge von Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Verringerung der Emissionen bzw. Kohlenstoffsequestrierung infolge CM und GM erfasst und berichtet werden können, wurde damit aufgegriffen und teilweise gelöst; weitergehende Lösungsmöglichkeiten für gleichnamige Subkategorien werden derzeit erarbeitet und überprüft.

6.5.2.4 Organische Böden

Die Berechnungen der CO₂-, N₂O- und CH₄-Emissionen aus organischen Böden infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung sowie die Herleitung der entsprechenden Emissionsfaktoren sind in Kapitel 6.1.2.2 beschrieben, die Ermittlung der Flächen sowie Flächennutzung in Kapitel 6.3.1 ff. Die jährlichen Emissionen nach Landnutzungsänderung werden wie die Emissionen aus verbleibender Ackernutzung berechnet, letztere werden in der CRF-Tabelle 4.B.1, die Emissionen infolge von Landnutzungsänderung in CRF-Tabellen 4.B.2.1 - 4.B.2.5 ausgewiesen.

Die N₂O-Emissionen aus ackerbaulich genutzten organischen Böden werden im Sektor „Landwirtschaft“ unter Kapitel 3.D.a.6 „Cultivation of Histosols“ berichtet. Um Doppelzählungen zu vermeiden, werden diese in der LULUCF CRF-Tabelle 4 (II), B. Cropland mit dem Notationsschlüssel „IE“ versehen.

Die im Sektor „Landwirtschaft“ unter Kap. 3.D.a.6 „Cultivation of Histosols“ berichteten Flächen unterscheiden sich nicht von denen, die im LULUCF-Sektor berichtet werden (siehe auch Kapitel 6.1.2.2.1).

Die Methanemissionen aus organischen Böden sowie aus Draingräben sind in der CRF-Tabelle 4(II), B. Cropland zu finden.

6.5.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.B)

Die Bestimmung der Unsicherheiten für Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten erfolgten gemäß der IPCC 2006 Guidelines (IPCC, 2006). Nähere Erläuterungen hierzu finden sich in Kapitel

6.1.2.1. Tabelle 416 zeigt die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren (EF) des Ackerlandsektors, unterschieden nach Pools und Unterkategorien.

Tabelle 416 unterstreicht, dass Standardnormalverteilungen bzw. annähernd Normalverteilungen hauptsächlich die EF für die Mineralböden und Biomasse aufweisen. Die Unsicherheiten sind hier gleichzeitig die geringsten, was auf die Nutzung der Ergebnisse der großangelegten, landesweiten Inventuren zurückzuführen ist. Insbesondere die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren im Mineralbodenbereich für Siedlungen konnten durch die neue Methode gegenüber dem Vorjahr deutlich gesenkt werden. Mit Ausnahme des EF für CO₂ aus organischen Böden, der eine rechtssteile Verteilung aufweist, sind die anderen EF für CO₂ aus Böden i.d.R. normal verteilt. Die größten Unsicherheiten weisen die N₂O- EF für Mineralböden auf, was im Wesentlichen auf die Nutzung der IPCC-Standardfaktoren zurückzuführen ist.

Bei den Unsicherheiten der Faktoren für indirekte N₂O-Emissionen wurden, im Rahmen der Gaußschen Berechnung der Unsicherheitsfortpflanzung, für die untere Schranke des 95 %-Konfidenzintervalls, Unsicherheiten > 100 % berechnet. Diese Berechnungsmethode entspricht zwar dem Reglement, ist hier fachlich jedoch nicht zielführend. Aufgrund der den indirekten N₂O-Emissionen aus Mineralböden zugrunde liegenden Prozessen, können für diese keine negativen Emissionen auftreten. Daher wurde die Unsicherheit für die untere Schranke auf 99,9 % festgelegt.

Die große Unsicherheit der EF für Methan und Lachgas aus organischen Böden beruht auf deren extrem großer Variabilität bei den Geländemessungen und dem Umstand, dass beim Methan auch negative Emissionen auftreten können (s. Kapitel 6.1.2.2.2).

Die Unsicherheiten für die Aktivitätsdaten sind normalverteilt und die Hälfte des 95 %-Konfidenzintervalls beträgt im Ackerlandbereich zwischen 0,04 – 196 %. Beim Rasterpunktansatz ist der Stichprobenfehler systembedingt abhängig von der Stichprobengröße, somit vom Flächenanteil der jeweiligen Unterkategorie an der Gesamtfläche (vergl. Kapitel 6.3). So weisen lediglich die Unterkategorien im Ackerlandbereich größere Unsicherheiten auf, deren Anteil an der gesamten Ackerfläche <10⁻⁵ % beträgt. Der Anteil der Flächensumme aller Subkategorien, die eine Unsicherheit > 5 % aufweisen, beträgt 0,07 % an der gesamten Ackerlandfläche. Eine flächengewichtete Ableitung einer Gesamtunsicherheit der Flächendaten in der Ackerlandkategorie ergibt eine Unsicherheit von 0,04 % [Hälfte des 95-% Konfidenzintervalls].

Die Gesamtunsicherheit für die Landnutzungskategorie Ackerland beträgt 19,8 % [2,5 %-Perzentil] bzw. 10,9 % [97,5 %-Perzentil]; den Hauptbeitrag hierzu leisten die CO₂-Emissionen aus den organischen Böden. Lediglich die Emissionen aus Mineralböden, hauptsächlich infolge von Grünlandumbruch, beeinflussen diesen Wert noch merklich.

Bezogen auf das gesamte LULUCF-Inventar zeigt sich ein ähnliches Bild: Während die Emissionen aus dem Ackerlandbereich bezüglich der organischen Böden einen erheblichen Anteil an den nationalen LULUCF-Emissionen aufweisen, sind die Emissionen aus Mineralböden nur im Falle des Grünlandumbruchs eine bemerkenswerte Größe (vergl. Kapitel 6.1.2.1).

Tabelle 416: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha⁻¹ a⁻¹] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem annualen Ackerland Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5 %-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2019

Ackerland _{annuell}		Implizite Emissionsfaktor [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	Schranken	
Landnutzung _{vor}	Landnutzung _{nach}		untere [%]	obere [%]
Mineralboden CO₂-C¹⁾				
Wald	Acker _{annuell}	-0,0843	6,14	6,14
Hopfen	Acker _{annuell}	-0,0897	5,69	5,69
Weinanbau	Acker _{annuell}	0,5271	9,44	9,44
Obstanbau	Acker _{annuell}	-0,4482	10,03	10,03
sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	Acker _{annuell}	-0,0932	8,36	8,36
Grünland i.e.S.	Acker _{annuell}	-1,1630	1,98	1,98
Gehölze	Acker _{annuell}	-0,0969	5,69	5,69
Terr. Feuchtgebiete	Acker _{annuell}	-1,5404	8,52	8,52
Gewässer	Acker _{annuell}	-0,0620	1,74	1,74
Siedlungen	Acker _{annuell}	1,2338	4,40	4,40
Sonstige Fläche	Acker _{annuell}	0,2788	22,10	41,6
Mineralboden N₂O_{direkt}²⁾		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Acker _{annuell}	0,0800	71,32	200,47
Grünland i.e.S.	Acker _{annuell}	1,6575	70,15	200,05
Gehölze	Acker _{annuell}	0,1476	71,75	200,62
Terr. Feuchtgebiete	Acker _{annuell}	1,8942	88,61	210,84
Mineralboden N₂O_{indirekt}²⁾		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Acker _{annuell}	0,0180	115,51	287,07
Grünland i.e.S.	Acker _{annuell}	0,3729	114,79	286,78
Gehölze	Acker _{annuell}	0,0332	115,78	287,18
Terr. Feuchtgebiete	Acker _{annuell}	0,4262	126,91	294,41
Biomasse³⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Acker _{annuell}	0,0000	23,69	23,69
Hopfen	Acker _{annuell}	0,0684	9,75	9,75
Weinanbau	Acker _{annuell}	-0,037	13,13	13,13
Obstanbau	Acker _{annuell}	-0,2814	10,78	10,78
sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	Acker _{annuell}	-1,671	12,85	12,85
Grünland i.e.S.	Acker _{annuell}	-0,0378	16,81	16,81
Gehölze	Acker _{annuell}	-2,4326	47,50	47,50
Terr. Feuchtgebiete	Acker _{annuell}	-1,4586	31,74	32,31
Gewässer	Acker _{annuell}	0,5951	11,14	11,14
Torfabbau	Acker _{annuell}	0,6726	11,14	11,14
Siedlungen	Acker _{annuell}	-0,4478	31,77	32,34
Sonstige Fläche	Acker _{annuell}	0,1382	11,14	11,14
Tote organische Substanz³⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Acker _{annuell}	0,0000	24,67	24,67

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

2) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

3) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

Tabelle 417: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha⁻¹ a⁻¹] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Hopfenanbau Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%- Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2019

Landnutzung _{Vor}	Hopfen Landnutzung _{nach}	Implizite Emissionsfaktor [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	Schranken	
			untere [%]	obere [%]
Mineralboden CO₂-C¹⁾				
Wald	Hopfen	0	8,06	8,06
Acker _{annuell}	Hopfen	-0,0016	5,69	5,69
Weinanbau	Hopfen	0,6795	9,41	9,41
Obstanbau	Hopfen	-0,4149	8,46	8,46
sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	Hopfen	0,0046	7,84	7,84
Grünland i.e.S.	Hopfen	-0,8885	4,93	4,93
Gehölze	Hopfen	-0,0100	7,84	7,84
Terr. Feuchtgebiete	Hopfen	0	9,33	9,33
Gewässer	Hopfen	0	11,09	11,09
Siedlungen	Hopfen	0,0697	8,16	8,16
Sonstige Fläche	Hopfen	0	21,72	43,97
Mineralboden N₂O_{direkt}²⁾		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Hopfen	0,0000	86,40	206,31
Grünland i.e.S.	Hopfen	1,2635	70,29	200,10
Gehölze	Hopfen	0,0146	71,96	200,69
Terr. Feuchtgebiete	Hopfen	0,0000	72,41	200,86
Mineralboden N₂O_{indirekt}²⁾		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Hopfen	0,0000	125,38	291,18
Grünland i.e.S.	Hopfen	0,0000	114,88	286,82
Gehölze	Hopfen	0,0033	115,90	287,23
Terr. Feuchtgebiete	Hopfen	0,0000	116,19	287,34
Biomasse³⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Hopfen	0,0000	24,10	24,10
Acker _{annuell}	Hopfen	-0,1046	9,75	9,75
Weinanbau	Hopfen	-0,6950	14,70	14,7
Obstanbau	Hopfen	-0,3570	11,63	11,63
sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	Hopfen	-2,3186	13,36	13,36
Grünland i.e.S.	Hopfen	-0,1514	18,43	18,43
Gehölze	Hopfen	-7,0849	48,24	49,13
Terr. Feuchtgebiete	Hopfen	0,0000	32,79	33,37
Gewässer	Hopfen	0,0000	16,54	16,54
Torfabbau	Hopfen	0,0000	16,54	16,54
Siedlungen	Hopfen	-0,5474	33,23	33,83
Sonstige Fläche	Hopfen	0,0000	16,54	16,54
Tote organische Substanz³⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Hopfen	0,0000	24,67	24,67

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

2) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

3) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

Tabelle 418: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha⁻¹ a⁻¹] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Weinanbau Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2019

Weinanbau		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
Landnutzung _{Vor}	Landnutzung _{Nach}		untere	obere
Mineralboden CO₂-C¹⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Wald	Weinanbau	0,0000	9,57	9,57
Acker _{annuell}	Weinanbau	-0,5603	7,24	7,24
Hopfen	Weinanbau	0,0000	9,41	9,41
Obstanbau	Weinanbau	-1,0764	9,9	9,9
sonstige	Weinanbau	-0,6795	9,41	9,41
Ackerkulturen _{perennierend}				
Grünland i.e.S.	Weinanbau	-1,3347	6,05	6,05
Gehölze	Weinanbau	-0,5491	9,41	9,41
Terr. Feuchtgebiete	Weinanbau	0,0000	10,41	10,41
Gewässer	Weinanbau	-0,6795	16,07	16,07
Siedlungen	Weinanbau	0,7549	10,40	10,40
Sonstige Fläche	Weinanbau	-0,3149	24,79	49,79
Mineralboden N₂O_{direkt}²⁾		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Weinanbau	0,0000	71,70	200,60
Grünland i.e.S.	Weinanbau	1,9000	70,38	200,13
Gehölze	Weinanbau	0,8000	72,14	200,76
Terr. Feuchtgebiete	Weinanbau	0,0000	72,56	200,91
Mineralboden N₂O_{indirekt}²⁾		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Weinanbau	0,0000	115,74	287,16
Grünland i.e.S.	Weinanbau	0,4275	114,93	286,84
Gehölze	Weinanbau	0,1800	116,02	287,27
Terr. Feuchtgebiete	Weinanbau	0,0000	116,28	287,38
Biomasse³⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Weinanbau	0,0000	23,55	23,554
Acker _{annuell}	Weinanbau	0,0771	13,13	13,13
Hopfen	Weinanbau	0,0000	14,7	14,7
Obstbau	Weinanbau	-0,8530	12,55	12,55
sonstige	Weinanbau	-0,5333	13,45	13,45
Ackerkulturen _{perennierend}				
Grünland i.e.S.	Weinanbau	-0,0057	19,00	19,00
Gehölze	Weinanbau	-5,4341	46,96	47,83
Terr. Feuchtgebiete	Weinanbau	0,0000	31,4	31,95
Gewässer	Weinanbau	0,0000	22,88	22,88
Torfabbau	Weinanbau	0,0000	22,88	22,88
Siedlungen	Weinanbau	-0,5778	31,53	32,07
Sonstige Fläche	Weinanbau	0,0000	22,88	22,88
Tote organische Substanz³⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Weinanbau	0,0000	24,67	24,67

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv \triangleq Senke; negativ \triangleq Quelle

2) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke

3) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv \triangleq Senke; negativ \triangleq Quelle

Tabelle 419: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha⁻¹ a⁻¹] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Obstanbau Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2019

Obstanbau		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
Landnutzung _{vor}	Landnutzung _{nach}		untere	obere
Mineralboden CO₂-C¹⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Wald	Obstanbau	0,0000	8,59	8,59
Acker _{annuell}	Obstanbau	0,4599	6,81	6,81
Hopfen	Obstanbau	0,3940	8,46	8,46
Weinanbau	Obstanbau	0,9383	9,9	9,9
sonstige	Obstanbau	0,4330	8,46	8,46
Ackerkulturen _{perennierend}				
Grünland i.e.S.	Obstanbau	-0,5654	5,84	5,84
Gehölze	Obstanbau	0,3619	8,46	8,46
Terr. Feuchtgebiete	Obstanbau	-1,8811	9,42	9,42
Gewässer	Obstanbau	-0,0257	12,54	12,54
Siedlungen	Obstanbau	1,7431	9,14	9,14
Sonstige Fläche	Obstanbau	0,0000	20,70	41,17
Mineralboden N₂O_{direkt}²⁾		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Obstanbau	0,000	71,57	200,56
Grünland i.e.S.	Obstanbau	0,8573	70,36	200,13
Gehölze	Obstanbau	0,0308	72,02	200,72
Terr. Feuchtgebiete	Obstanbau	2,2604	72,42	200,86
Mineralboden N₂O_{indirekt}²⁾		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Obstanbau	0,0000	115,66	287,13
Grünland i.e.S.	Obstanbau	0,1929	114,92	286,83
Gehölze	Obstanbau	0,0069	115,94	287,25
Terr. Feuchtgebiete	Obstanbau	0,5086	116,19	287,35
Biomasse³⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Obstanbau	0,0000	20,88	20,88
Acker _{annuell}	Obstanbau	0,9145	10,78	10,78
Hopfen	Obstanbau	1,6701	11,63	11,63
Weinbau	Obstanbau	0,7602	12,55	12,55
sonstige	Obstanbau	-0,6604	11,53	11,53
Ackerkulturen _{perennierend}				
Grünland i.e.S.	Obstanbau	0,9863	14,26	14,26
Gehölze	Obstanbau	-4,7745	41,68	42,45
Terr. Feuchtgebiete	Obstanbau	-2,3026	25,42	25,85
Gewässer	Obstanbau	1,8816	14,92	14,92
Torfabbau	Obstanbau	0,0000	14,92	14,92
Siedlungen	Obstanbau	0,1003	24,13	24,53
Sonstige Fläche	Obstanbau	0,0000	14,92	14,92
Tote organische Substanz³⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Obstanbau	0,0000	24,67	24,67

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

2) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

3) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

Tabelle 420: Implizite Emissionsfaktoren [t C ha⁻¹ a⁻¹] zur Berechnung der THG-Emissionen aus dem Sonstige Ackerkulturenperennierend (Summe aus Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen, Kurzumtriebsplantagen) Deutschlands und die Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) der den Emissionsberechnungen zugrunde liegenden Emissionsfaktoren, unterschieden nach Pools und Unterkategorien für das Jahr 2019

sonstige Ackerkulturen _{perennierend}		Implizite Emissionsfaktor	Schranken	
Landnutzung _{vor}	Landnutzung _{nach}		untere	obere
Mineralboden CO₂-C¹⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Wald	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,0000	8,06	8,06
Acker _{annuell}	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,0360	5,69	5,69
Hopfen	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,0000	7,84	7,84
Weinbau	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,6281	9,41	9,41
Obstbau	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	-0,3824	8,46	8,46
Grünland i.e.S.	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	-1,0339	4,93	4,93
Gehölze	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	-0,0813	7,84	7,84
Terr. Feuchtgebiete	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	-2,2214	9,33	9,33
Gewässer	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	-0,0043	11,09	11,09
Siedlungen	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	1,2965	8,16	8,16
Sonstige Fläche	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,0000	21,72	43,97
Mineralboden N₂O_{direkt}²⁾		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,0000	71,51	200,53
Grünland i.e.S.	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	1,4743	70,29	200,1
Gehölze	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,1274	71,96	200,69
Terr. Feuchtgebiete	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	2,6695	72,41	200,86
Mineralboden N₂O_{indirekt}²⁾		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,0000	115,63	287,12
Grünland i.e.S.	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,3317	114,88	286,82
Gehölze	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,0287	115,9	287,23
Terr. Feuchtgebiete	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,6006	116,19	287,34
Biomasse³⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,0000	18,49	18,49
Acker _{annuell}	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	2,1290	12,85	12,85
Hopfen	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,0000	13,36	13,36
Weinbau	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	2,7428	13,45	13,45
Obstbau	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	1,0311	11,53	11,53
Grünland i.e.S.	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	1,9801	14,22	14,22
Gehölze	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	-1,6644	36,18	36,84
Terr. Feuchtgebiete	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	1,2797	21,11	21,42
Gewässer	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,0000	16,1	16,1
Torfabbau	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,0000	16,1	16,1
Siedlungen	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	1,8386	19,79	20,06
Sonstige Fläche	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,0000	16,1	16,1
Tote organische Substanz³⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	0,0000	24,67	24,67

1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv \triangleq Senke; negativ \triangleq Quelle

2) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke

3) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv \triangleq Senke; negativ \triangleq Quelle

Tabelle 421: Implizite Emissionsfaktoren für organischen Böden unter Ackerland [t CO₂-Eq. ha⁻¹ a⁻¹] sowie deren Unsicherheiten (2,5 %- und 97,5%-Perzentil [%]) für das Jahr 2019

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor	Schranken	
			untere	obere
Organischer Boden ¹⁾		[t CO₂-Eq. ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Acker _{annuell}	CO ₂	29,70	44,9	17,09
	N ₂ O ²⁾	5,01	84,14	281,87
	CH ₄	0,65	65,64	230,19
Organischer Boden ¹⁾		[t CO₂-Eq. ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Hopfen	CO ₂	32,21	43,20	19,64
	N ₂ O ²⁾	IE	83,78	264,86
	CH ₄	0,63	57,08	91,29
Organischer Boden ¹⁾		[t CO₂-Eq. ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Weinanbau	CO ₂	31,06	43,20	19,64
	N ₂ O ²⁾	IE	83,78	264,86
	CH ₄	0,21	57,08	91,29
Organischer Boden ¹⁾		[t CO₂-Eq. ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Obstanbau	CO ₂	30,16	43,20	19,64
	N ₂ O ²⁾	IE	83,78	264,86
	CH ₄	0,46	57,08	91,29
Organischer Boden ¹⁾		[t CO₂-Eq. ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Sonstige Ackerkulturen _{perennierend}	CO ₂	33,55	43,20	19,64
	N ₂ O ²⁾	IE	83,78	264,86
	CH ₄	0,45	57,08	91,29

1) Berechnung jährlich, Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke

2) wird unter 3.D.a.6 berichtet (Sektor Landwirtschaft)

Die Berechnungen sind für den gesamten Berichtszeitraum von 1990-2019 räumlich und zeitlich konsistent und vollständig.

6.5.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.B)

Details zu den diesjährigen Prüfungen finden sich in Kapitel 6.1.3.

Die zur Erstellung dieses Inventars verwendeten Datenquellen erfüllen die Prüfkriterien des QSE-Handbuchs für Datenquellen. Bezüglich der Qualitätssicherung der Eingangsdaten (ATKIS®, BÜK, Officialstatistik, siehe Kapitel 6.3) wird auf die Datenhalter verwiesen (Dokumentationen finden sich in der Inventarbeschreibung).

Die Ergebnisse der Emissionsberechnung der aktuellen Berichterstattung können mit anderen Datenquellen für Deutschland nicht verglichen werden, da solche flächendeckend, umfassend und unabhängig von den hier aufgeführten Methoden und Datenquellen nicht existieren.

Die folgenden Tabellen zeigen einen innereuropäischen Vergleich impliziter Emissionsfaktoren (IEF) für unterschiedliche Pools. Für diesen Vergleich wurden Werte der Nachbarstaaten aus den Submissionen 2020 des Klimasekretariats verwendet (UNFCCC NIR Submission 2020 - Inventurjahr 2018, UNFCCC (2020b)). Werte für Deutschland 2019 stammen aus der aktuellen Submission 2021. Der Vergleich zeigt, insbesondere unter Berücksichtigung der großen Unsicherheiten und Streuung der berichteten Werte (siehe Kapitel 6.5.3), für keinen der verglichenen Pools IEF, die einen eindeutigen Ausreißer darstellen. Alle EF sind unauffällig und finden eine Entsprechung in absoluter Größe und Tendenz, mit denen diverser mitteleuropäischen Nachbarländer.

Tabelle 422: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.B.1. - Cropland Remaining Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2 - Land Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.1 - Forest Land Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.2 - Grassland Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.3 - Wetlands Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.4 - Settlements Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.5 - Other Land Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	0,00	-0,02	-1,51	NO	NO	NO	NO
Dänemark	0,00	0,01	-1,40	0,28	NO	NO	NO
Frankreich	0,00	-0,28	-4,39	-0,09	NE	-0,04	NE
Großbritannien	0,00	0,07	NO,IE	0,07	NO	0,09	NO
Niederlande	NA	-0,25	-8,97	-0,16	0,40	0,43	0,57
Österreich	0,00	-0,02	-1,19	0,04	NO	NO	NO
Polen	0,03	0,00	NO	-0,01	NO	NO	NO
Schweiz	0,03	0,08	-1,87	0,08	0,08	0,19	0,22
Tschechische Republik	0,00	-0,16	-1,71	-0,08	0,24	NO	NO
Deutschland 2018	0,0003	-0,24	0,0000	-0,22	0,28	-0,54	0,11
Deutschland 2019	0,0005	-0,16	NO	-0,15	0,25	-0,44	0,14

positiv: Kohlenstoffsенke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 423: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.B.1. - Cropland Remaining Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2 - Land Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.1 - Forest Land Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.2 - Grassland Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.3 - Wetlands Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.4 - Settlements Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.5 - Other Land Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	NO	0,00	0,08	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NO	-0,26	-1,63	NO,NA	NO	NO	NO
Frankreich	NE	-0,02	-0,47	NE	NE	NE	NE
Großbritannien	NO	NO,IE	NO	IE	NO	NO,IE	NO
Niederlande	NA	-0,03	-2,93	NA	NA	NA	NA
Österreich	NO	-0,03	-0,67	NO	NO	NO	NO
Polen	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Schweiz	NO	0,00	-0,54	NO	NO	NO	NO
Tschechische Republik	NO	0,00	-0,04	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2018	IE	0,00	0,00	IE	IE	IE	IE
Deutschland 2019	IE	NO	NO	IE	IE	IE	IE

positiv: Kohlenstoffsенke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 424: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.B.1. - Cropland Remaining Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2 - Land Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.1 - Forest Land Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.2 - Grassland Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.3 - Wetlands Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.4 - Settlements Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.5 - Other Land Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	-0,04	-1,48	-2,22	-1,49	-2,62	NO	NO
Dänemark	-0,08	-0,09	-0,38	NO,IE	-1,86	NO	NO
Frankreich	0,06	-1,09	-1,24	-1,17	NO	0,07	NE
Großbritannien	-0,34	-1,31	-3,45	-1,32	NO	1,01	NO
Niederlande	NA	-0,53	0,19	-0,55	-0,94	-0,23	1,77
Österreich	0,03	-0,98	-0,82	-0,99	NO	NO	NO
Polen	0,00	-0,45	NO	-3,78	NO	NO	NO
Schweiz	0,52	-0,21	-0,77	-0,35	0,51	1,91	2,56
Tschechische Republik	0,00	-0,30	-0,31	-0,50	NO	0,01	NO
Deutschland 2018	-0,001	-1,03	-0,03	-1,09	-0,28	0,04	0,28
Deutschland 2019	-0,0009	-0,98	-0,08	-1,09	-0,29	1,22	0,28

positiv: Kohlenstoffsенke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 425: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Ackerland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.B.1. - Cropland Remaining Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2 - Land Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.1 - Forest Land Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.2 - Grassland Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.3 - Wetlands Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.4 - Settlements Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.B.2.5 - Other Land Converted To Cropland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	-10,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Dänemark	-7,59	-0,04	IE	-5,00	IE	NO	NO
Frankreich	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Großbritannien	-5,00	-5,00	NO,IE	-5,00	NO	NO,IE	NO
Niederlande	-3,59	-3,71	-3,31	-3,72	-3,58	-3,81	-3,16
Österreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Polen	-1,00	1,00	NO	1,00	NO	1,00	NO
Schweiz	-9,52	-8,93	-9,52	-9,52	-9,52	-1,36	2,48
Tschechische Republik	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2017	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1	-8,1
Deutschland 2018	-9,34	-8,90	-9,51	-8,89	-9,08	-9,24	-9,10

positiv: Kohlenstoffsенke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

6.5.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.B)

Mit der diesjährigen Submission werden quellenspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2019 vorgelegt. Ursache für die Neuberechnung der Emissionen waren neue, verbesserte Datenquellen, Methodenänderungen und Fehlerkorrekturen im Rahmen der Verbesserung des Inventars. Auswirkungen auf die Ergebnisse der Emissionsberechnungen für die Landnutzungskategorie Ackerland hatten folgende Maßnahmen:

- Implementierung einer neuen Methode zur Berechnung der Emissionen aus organischen Böden in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand (Kapitel 6.1.2.2f);

- Modifikation der Methode zur Erhebung der Flächen von Entwässerungsgräben für organische Böden (Kapitel 6.1.2.2.1);
- Einführung einer neuen Methode zur Berechnung von Mineralbodenemissionsfaktoren infolge Landnutzungsänderungen von/zu Siedlungen sowie damit verbunden die Einführung neuer Emissionsfaktoren (s. Kapitel 6.1.2.1.6);
- Einführung neuer Emissionsfaktoren für die Biomasse von Wald (s. Kapitel 6.1.2.3.4ff und Kapitel 6.4.2.2);
- Einführung neuer Emissionsfaktoren für Totholz (s. Kapitel 6.4.2.3).

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubvention findet sich für die Kategorie Ackerland in Tabelle 426 (Flächen) und Tabelle 427 (Emissionen).

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind zum einen auf die Änderung der Methode zur Erfassung der Fläche von Entwässerungsgräben organischer Böden zurückzuführen; zum anderen auf Korrekturalgorithmen, die eine Konsistenz der Flächennutzungszeitreihen mit den neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres gewährleisten. Es wird davon ausgegangen, dass neueste Daten die beste Qualität haben und daher die vorangegangene Zeitreihe, falls notwendig, angepasst (s. auch Kapitel 6.3 ff).

Die Unterschiede bezüglich der THG-Emissionen sind hauptsächlich auf die neue Methode zur Bestimmung der Emissionen aus organischen Böden zurückzuführen. Diese Methode führte insbesondere von 2005 an zu deutlich höheren Emissionsfaktoren für alle zu berichtenden Treibhausgase.

Tabelle 426: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Ackerlandkategorie

CRF-Nr	Area [kha]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.B	Cropland	2020	13.593,02	13.607,28	13.621,57	13.239,53	12.966,29	12.765,83	12.723,35	12.690,04	12.656,70
		2021	13.592,45	13.606,81	13.621,22	13.240,07	12.967,52	12.751,72	12.718,86	12.685,99	12.653,13
		Diff. absolut	-0,57	-0,47	-0,34	0,54	1,23	-14,12	-4,50	-4,04	-3,57
		in %	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	-0,11%	-0,04%	-0,03%	-0,03%

Tabelle 427: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO₂-eq] aus der Kategorie Ackerland der aktuellen und der Vorjahressubmission

CRF-Nr	THG	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	
4.B	Cropland	CO ₂	2020	12.514,22	12.376,24	12.065,69	13.890,76	14.325,85	15.046,32	14.987,70	14.850,27	14.710,67
			2021	13.511,10	13.295,57	13.091,81	14.714,47	14.643,60	16.251,34	16.083,63	15.943,61	15.798,40
			Differenz	996,88	919,33	1.026,12	823,71	317,75	1.205,03	1.095,93	1.093,34	1.087,73
		in %	7,4%	6,9%	7,8%	5,6%	2,2%	7,4%	6,8%	6,9%	6,9%	
		CH ₄	2020	218,21	213,85	209,50	216,84	223,31	227,80	226,61	223,66	220,77
			2021	146,13	134,95	124,25	144,81	141,66	152,93	150,99	148,58	146,53
	Differenz		-72,08	-78,89	-85,24	-72,03	-81,66	-74,87	-75,62	-75,08	-74,24	
	in %	-49,3%	-58,5%	-68,6%	-49,7%	-57,6%	-49,0%	-50,1%	-50,5%	-50,7%		
	N ₂ O	2020	233,98	246,51	235,79	384,17	471,37	578,60	578,60	578,60	578,60	
		2021	233,76	229,29	227,27	380,28	418,51	584,35	584,35	584,35	584,35	
		Differenz	-0,22	-17,22	-8,52	-3,89	-52,86	5,75	5,75	5,75	5,75	
	in %	-0,1%	-7,5%	-3,7%	-1,0%	-12,6%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%		

6.5.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.B)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungsmaßnahmen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

6.6 Grünland (4.C)

6.6.1 Beschreibung der Kategorie (4.C)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	4 C, Grassland		CO ₂	26.094,4	2,0	17.006,8	2,1	-34,8 %
L2/T2	4 C, Grassland		CH ₄	1.063,2	0,1	1.116,9	0,1	5,1 %
-/-	4 C, Grassland		N ₂ O*	66,6	0,0	121,6	0,0	82,5 %

* Summe der direkten und indirekten Lachgasemissionen aus Mineralböden infolge der Mineralisierung organischer Substanz der Subkategorien Grünland i.e.S. und Gehölze sowie der Lachgasemissionen aus organischen Böden der Subkategorie Gehölze; die N₂O - Emissionen aus organischen Böden der Subkategorie Grünland i.e.S. werden im Sektor Landwirtschaft berichtet (CRF 3.D.a.6)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 2	RS/NS	CS
N ₂ O	Tier 2	RS/NS	CS/D
CH ₄	Tier 2	RS/NS	CS

Die Kategorie *Grünland* (4.C) ist für CO₂-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe sowie für CH₄-Emissionen nach der Approach-2-Level- & Trend-Analyse.

Im Jahre 2019 betragen die anthropogen bedingten THG-Nettoemissionen aus dem Grünland 18.245,3 kt CO₂-Eq. (95 %-Konfidenzintervall: 9.668,2 kt CO₂-Eq. \pm 47,0 % - 22.660,5 kt CO₂-Eq. \pm 24,2%). Durch die Entwässerung organischer Grünlandböden wurden 26.328,9 kt CO₂, 1.116,0 kt CO₂-Eq. Methan sowie 28,2 kt CO₂-Eq. Lachgas freigesetzt; durch Zersetzung von Totholz und Streu aus der Entwaldung 7,3 kt CO₂. Die Biomasse (-1.001,5 kt CO₂) als auch die Mineralböden (-8.234,6 kt CO₂) fungierten im Grünlandsektor als Kohlenstoffsenken.

Diese Emissionen bilden die Summe aus den Unterkategorien Grünland i.e.S und Gehölze, die sich bezüglich ihrer Emissionen sowohl quantitativ, wie auch qualitativ deutlich unterscheiden. So verdeutlichen Tabelle 428 und die Abbildung 60 und Abbildung 61, dass Grünland im engeren Sinne eine deutliche CO₂-Quelle ist, deren absolute Größe von 20.274,1 kt CO₂-Eq. von den Emissionen aus den organischen Böden dominiert wird (27.235,8 kt CO₂-Eq. \pm 134,3 %), wobei der Anteil der CO₂-Emissionen (95,9 %) denen der Methan-Emissionen (4,1 %) bei weitem übertrifft. Während die Biomasse ebenfalls als Quelle fungiert und einen geringen Anteil (6,3 %) zu den Brutto-Emissionen in Höhe von 29.059,5 kt CO₂-Eq. beiträgt, stellen die Mineralböden unter Grünland i.e.S. eine anhaltende Senke für Kohlenstoff dar (Tabelle 428). Sie reduzieren die Bruttoemissionen der Unterkategorie Grünland i.e.S. um 30,2 %.

Tabelle 428: CO₂-, N₂O- und CH₄-Emissionen [kt CO₂-Eq.] aus dem Grünland 2019, unterschieden nach Unterkategorien. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls

Pool	THG	Grünland i.e.S. Emissionen 2019				
		Emission	[kt CO ₂ -Eq.] 2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	[%] 2,5 %-Perz. 97,5 %-Perz.	
Grünland i.e.S. _{total} ¹⁾		20.274,1	9.773,3	25.661,8	51,80	26,57
Mineralboden	CO ₂ ²⁾	-8.785,4	-8.628,6	-8.942,7	1,78	1,79
	N ₂ O _{direkt} ³⁾	0,22	0,00	0,84	99,99	285,55
	N ₂ O _{indirekt} ⁴⁾	0,97	0,25	2,91	74,49	200,11
Organischer Boden	CO ₂ ²⁾	26.122,5	6.280,8	35.384,3	75,96	35,46
	N ₂ O ⁵⁾	IE	IE	IE	IE	IE
	CH ₄ ⁶⁾	1.113,3	548,14	1.516,66	50,76	374,65
Biomasse	CO ₂ ²⁾	1.816,7	1.170,4	2.475,0	35,58	36,23
Tote organische Substanz	CO ₂ ²⁾	5,8	3,3	8,4	43,47	43,47
Pool	THG	Gehölze Emissionen 2019				
		Emission	[kt CO ₂ -Eq.] 2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	[%] 2,5 %-Perz. 97,5 %-Perz.	
Gehölze _{total} ⁷⁾		-2.028,9	-1.551,3	-2.520,9	23,54	24,25
Mineralboden	CO ₂ ²⁾	457,47	436,76	478,19	4,53	4,53
	N ₂ O _{direkt} ³⁾	16,92	-2,09	64,39	112,37	280,53
	N ₂ O _{indirekt} ⁴⁾	75,20	23,48	222,39	68,78	195,72
Organischer Boden	CO ₂ ²⁾	206,40	177,97	238,98	13,77	15,78
	N ₂ O ³⁾	28,24	7,19	48,86	74,55	73,01
	CH ₄ ⁶⁾	3,62	2,03	6,07	43,94	67,60
Biomasse	CO ₂ ²⁾	-2.818,2	-1.891,4	-3.762,1	32,89	33,49
Tote organische Substanz	CO ₂ ²⁾	1,5	0,5	2,5	66,71	66,71

- 1) Teilsummen der Emissionen aus den CRF-Tabellen 4.C, 4.(II).C, 4.(IV).2
- 2) Teilsumme der Emissionen CRF-Tabelle 4.C
- 3) CRF-Tabelle 4.(III).C
- 4) Die kategoriespezifischen indirekten N₂O-Emissionen werden im CRF-Tabellenwerk nicht erfasst und dargestellt; sie sind Teil der in CRF-Tabelle 4.(IV).2 dargestellten Summe aller Subkategorien
- 5) CRF-Tabelle 3.D.a.6
- 6) CRF-Tabelle 4.(II).C
- 7) Teilsummen der Emissionen aus den CRF-Tabellen 4.C, 4.(II).C, 4.(IV).2, sowie Summe aus 4.(III).C

Der Verlauf der Zeitreihe der Gesamtemissionen von Grünland i.e.S. weist 2019 Emissionen auf, die um 30 % gegenüber dem Basisjahr abgenommen haben. Der Verlauf der Zeitreihe der Gesamtemissionen wird dominiert von den Emissionen aus den Mineralböden, hauptsächlich infolge Landnutzungsänderungen von Ackerland zu Grünland i.e.S.. Die Mineralböden wirken als Senke. Diese Senkenleistung zeigt im Zeitverlauf einen hochsignifikant negativen Trend; sie hat gegenüber dem Basisjahr um 331 % abgenommen.

Die Trendumkehr im Jahr 2000 ist überwiegend auf unterschiedliche Datengrundlagen zurückzuführen. Beginnend mit dem Berichtsjahr 2000 können die Flächendaten des B-DLM des ATKIS dem Nachweis von Flächen und Landnutzung zugrunde gelegt werden. Diese weisen eine sehr viel höhere räumliche und zeitliche Auflösung auf, als die von CORINE Landcover (CLC), die für die Jahre vor 2000 zur Ausweisung der Flächennutzung herangezogen werden müssen (Kapitel 6.3.2.2). Obschon die ältere Datenreihe des CLC mittels des "Overlap Approach" (2006 IPCC Guidelines (Vol. 1 Ch. 5.3.3) an die neuere, höher auflösende Datenreihe des Basis-DLM angeglichen wurde, führt der Wechsel der Datengrundlage, vom Jahr 2000 an, zu deutlich mehr detektierbaren Landnutzungsänderungen gegenüber der Periode von 1990 - 2000, insbesondere von Ackerland zu Grünland und zwischen den Subkategorien Grünland i.e.S. und Gehölze.

Die Kurvenverläufe der Zeitreihen, insbesondere deutliche Änderungen, haben ihre Ursache vor allem in den periodischen Erhebungsterminen der Flächendaten (siehe Kapitel 6.3.5). Der Erfassung von Landnutzungsänderungen anhand räumlich expliziter Daten lagen Datensätze der Jahre 1990, 2000, 2005, 2010, 2015, 2019 zugrunde (vergl. Kap. Kapitel 6.3). Dies gilt insbesondere auch für die Unterkategorie Gehölze.

Abbildung 60: CO₂-Emissionen [kt CO₂-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus dem Grünland i.e.S. von 1990-2019, dargestellt nach Unterkategorien

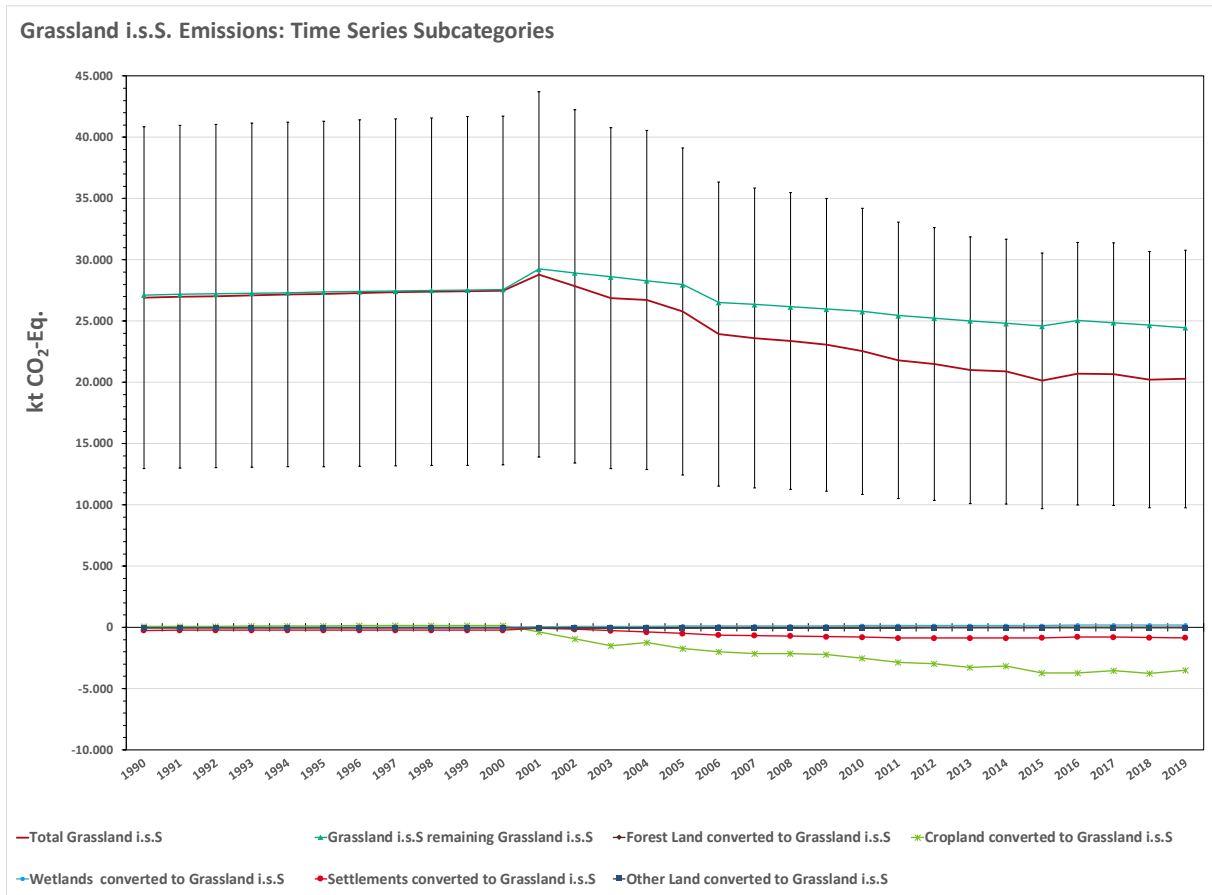
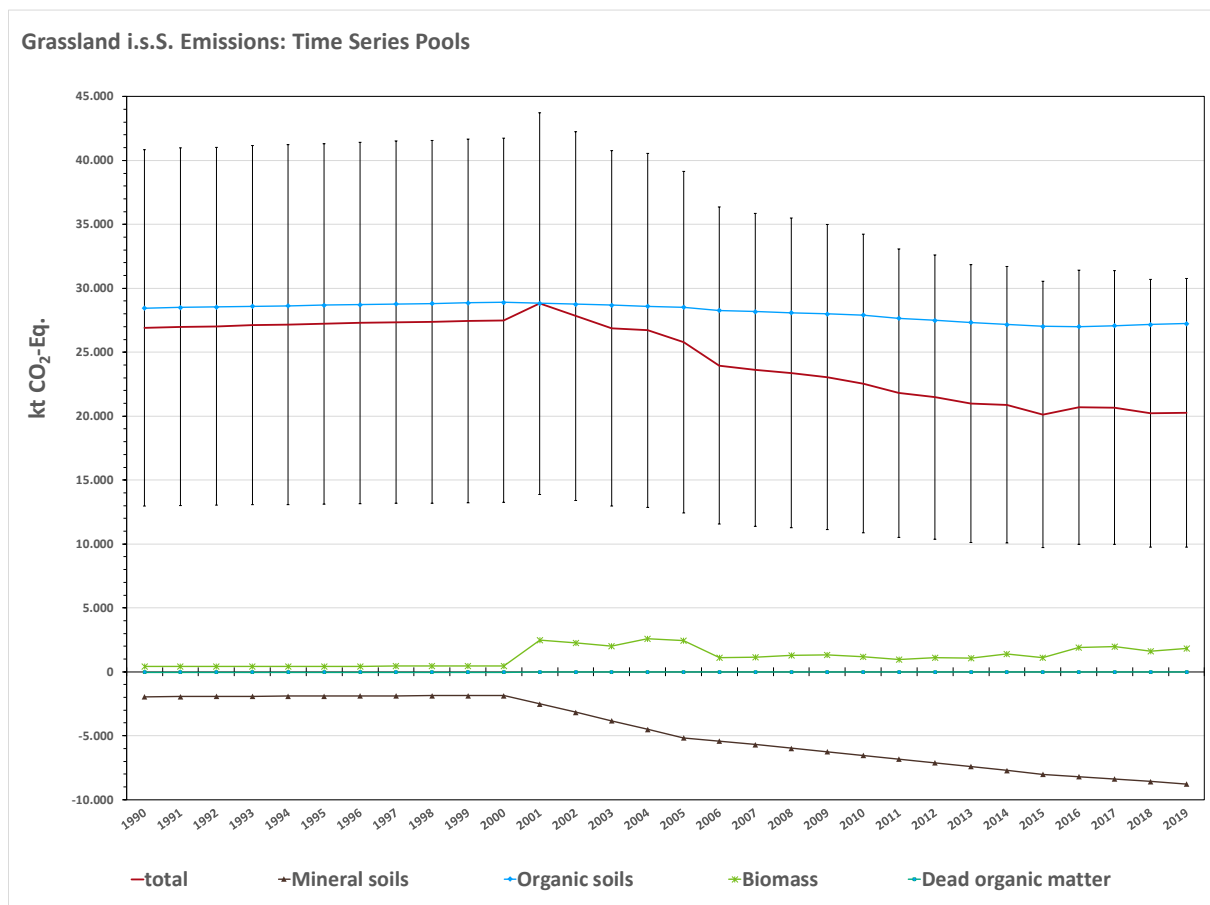


Abbildung 61: CO₂-Emissionen [kt CO₂-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus dem Grünland i.e.S. von 1990-2019, dargestellt nach Pools



In der Subkategorie Gehölze (Tabelle 428 sowie Abbildung 60 und Abbildung 61) werden die Nettoemissionen vom Pool Biomasse dominiert. Dieser fungiert 2019 mit -2.818,2 kt CO₂-Eq. als starke Senke. Diese überkompensiert die positiven Emissionen aus den organischen (238,3 kt CO₂-Eq.) und mineralischen Böden (549,6 kt CO₂-Eq.), sodass die Unterkategorie Gehölze 2019 als Kohlenstoffsенke fungiert (-2.030,40 kt CO₂-Eq.; Tabelle 428 sowie Abbildung 62 und Abbildung 63).

Die Kurvenverläufe der Zeitreihen in Abbildung 62 und Abbildung 63 zeigen, dass aus einer sehr schwachen Quelle im Basisjahr eine starke Senke wurde. Die Kurvenverläufe verdeutlichen aber auch, dass aufgrund von Landnutzungsänderungen von und zur Subkategorie Gehölze, durch den erheblichen Kohlenstoffvorrat in der Quellgruppe Biomasse, diese Kategorie sehr dynamisch ist. Da Vorratsänderungen in der Biomasse im Jahr der Landnutzungsänderung vollständig veranschlagt werden, zeigt sich der Kurvenverlauf des Biomassepools, im Gegensatz zu denen der anderen Pools, sprunghaft und zeichnet markant die Flächenänderungen zu den expliziten Erhebungsterminen nach (siehe Kapitel 6.3.5, Tabelle 378).

Abbildung 62: CO₂-Emissionen [kt CO₂-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Gehölzflächen von 1990–2018, dargestellt nach Unterkategorien

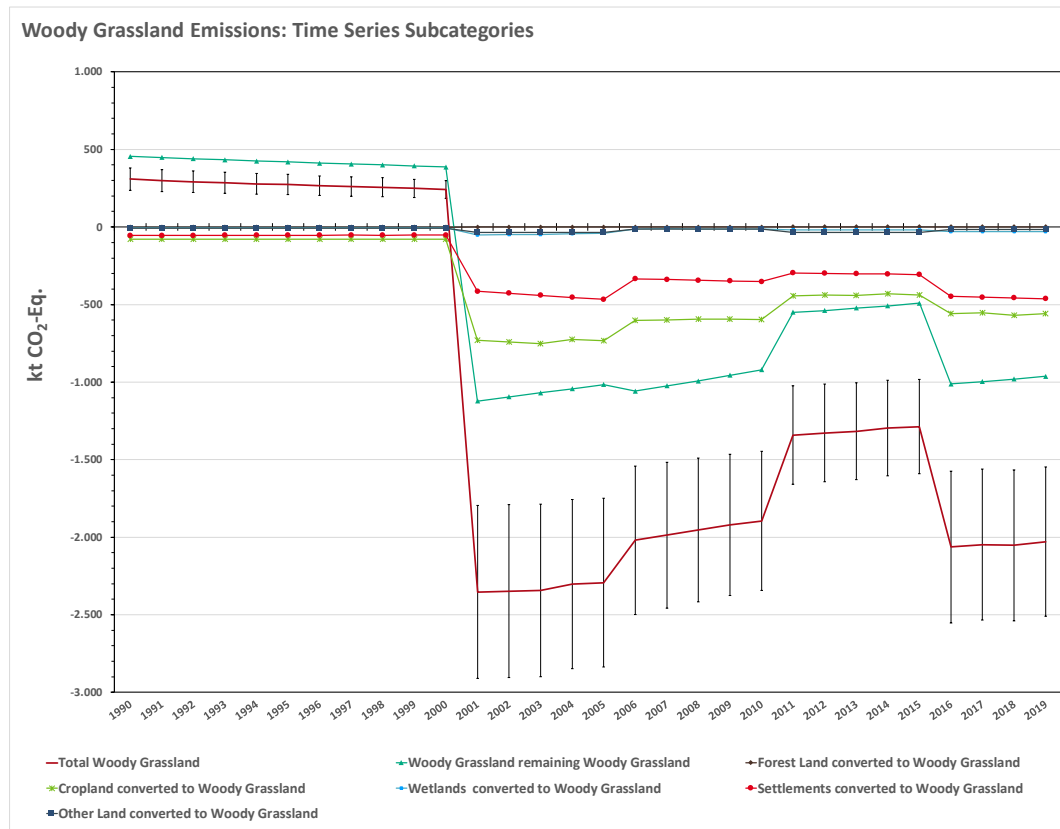
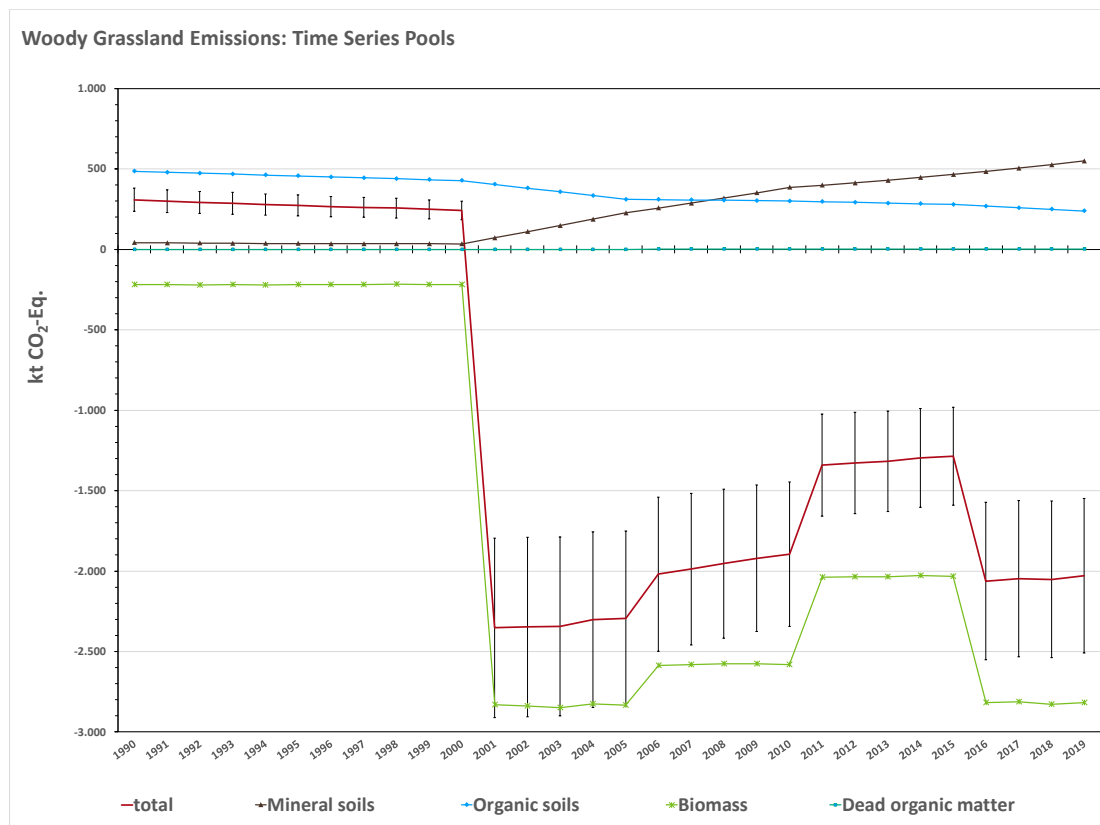


Abbildung 63: CO₂-Emissionen [kt CO₂-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Gehölzflächen von 1990-2019, dargestellt nach Pools



6.6.2 Methodische Aspekte (4.C)

6.6.2.1 Datenquellen

Es wurden folgende Datenquellen genutzt:

- Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, Reihe 3, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3b),
- Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, Reihe 3.2.1, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Wachstum und Ernte – Feldfrüchte; (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.2.1),
- Statistisches Bundesamt, Fachserie 3, Reihe 3.1.2, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, – Bodennutzung der Betriebe (Landwirtschaftlich genutzte Flächen); (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.2.1),
- 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use (IPCC, 2006),
- „Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung –DüV)“ (Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist)(Bundesgesetzblatt, 2012),
- Zwischenbericht Forschungsprojekt „Methodenentwicklung zur Erfassung der Biomasse mehrjährig verholzter Pflanzen außerhalb von Wäldern“ (Pöpken, 2011).

6.6.2.2 Biomasse

Zur Berechnung der Kohlenstoffvorratsänderung in der Biomasse bei Landnutzungsänderung von und zu Grünland wurde ein zeitlich konstanter Kohlenstoffvorrat für die Unterkategorien Grünland i. e. S. und Gehölze ermittelt. Umwandlungen von Grünland i.e.S. zu Gehölzen und umgekehrt werden wie Landnutzungsänderungen behandelt, in den CRF-Tabellen jedoch unter 4.C.1 (Grassland remaining grassland) subsummiert.

Für Flächen unter verbleibender Nutzung in den Unterkategorien Grünland i.e.S. bzw. Gehölze wird keine Änderung der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse ausgewiesen, da ein Gleichgewichtszustand auch für die Kohlenstoffflüsse mit der Gehölzbiomasse in diesen Kategorien unterstellt wird; nach der Gain-Loss Methode ist somit $\Delta C = 0$ (Equation 2.7, 2006 IPCC Guidelines). Die Gründe hierfür sind in Kapitel 6.1.2.3.1 aufgeführt.

Die Methode zur Berechnung der CO₂-Emissionen aus Biomasse infolge Landnutzungsänderung ist in Kapitel 6.1.2.3.2, die Ermittlung der Aktivitätsdaten in Kapitel 6.3 dargestellt. Die Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten zeigen für Grünland i.e.S. Tabelle 357 in Kapitel 6.1.2.3.3, und für Gehölze Tabelle 370 in Kapitel 6.1.2.3.5.

6.6.2.3 Mineralische Böden

Für Flächen unter verbleibender Nutzung wird keine Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden ausgewiesen. Die Konstanz der Kohlenstoffvorräte ist mit Ergebnissen von 42 deutschen Bodendauerbeobachtungsflächen belegt (Höper and Schäfer (2012), Fortmann et al. (2012) und BLfU (2011)). Die Langzeitbeobachtungen umfassen einen Zeitraum von 20 - 25 Jahren. Der Großteil der Untersuchungsflächen zeigte während dieses Zeitraumes keine Veränderungen in den Kohlenstoffvorräten der Mineralböden; einige der Böden zeigten geringe Abnahmen, andere leichte Zunahmen, absolut in etwa gleichem Umfang. Es gibt keine Hinweise auf deutliche Änderungen in der Bewirtschaftung von Dauergrünland seit 1990, die sich auf die Kohlenstoffvorräte in Mineralböden auswirken könnten. In der CRF-Tabelle 4.C.1 sind die Felder

„Kohlenstoffvorratsänderung in Mineralböden“ der Verbleibkategorien Grünland i.e.S. und Gehölze daher mit NO (not occurring) gekennzeichnet.

Die Berechnung der CO₂-Emissionen infolge der Umwandlung von Landflächen in Grünland i.e.S. bzw. Gehölze ist in Kapitel 6.1.2.1, die Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten auch in Tabelle 429 und Tabelle 431 in Kapitel 6.6.3 beschrieben. Die Emissionen der Verbleibkategorien werden in der CRF-Tabelle 4.C.1, die Emissionen infolge von Landnutzungsänderung in den CRF-Tabellen 4.C.2.1-4.C.2.5 ausgewiesen. Die Lachgasemissionen aus Mineralböden werden im Zahlenwerk in den CRF-Tabellen 4(III).C und 4(IV).2 eingetragen.

6.6.2.4 Organische Böden

In der Landnutzungskategorie Grünland werden CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus organischen Böden berichtet; Lachgasemissionen jedoch nur für die Subkategorie Gehölze. N₂O-Emissionen aus organischen Böden unter Grünland i.e.S. werden im Sektor „Landwirtschaft“ in der CRF-Tabelle 3.D.a.6 „Cultivation of Histosols berichtet (siehe Kapitel 6.5.2). Ausführungen zu den Flächenunterschieden bezüglich des Grünlands im LULUCF-Sektor und den in der CRF-Tabelle 3.D.a.6 „Cultivation of Histosols“ des Landwirtschaftssektors aufgeführten Werten finden sich in Kapitel 6.1.2.2.1. Die Methoden zur Berechnung der Emissionen aus organischen Böden sowie die Herleitung der Emissionsfaktoren sind in Kapitel 6.1.2.2 beschrieben.

Die jährlichen Emissionen nach Landnutzungsänderung zu Grünland i.e.S. werden wie die Emissionen aus organischen Böden der Unterkategorie Grünland i.e.S. unter verbleibender Nutzung berechnet. Gleiches gilt für die Emissionen aus organischen Böden nach Landnutzungsänderung zu Gehölzen; sie werden methodisch wie Emissionen aus Gehölzen unter verbleibender Nutzung berechnet. Die Emissionen der Verbleibkategorien werden in der CRF-Tabelle 4.C.1, die Emissionen infolge von Landnutzungsänderung in CRF-Tabellen 4.C.2.1-4.C.2.5 ausgewiesen. Die Methanemissionen aus organischen Böden und aus Draingräben sowie die Lachgasemissionen aus der Unterkategorie Gehölze werden in der CRF-Tabelle 4(II).C präsentiert.

6.6.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.C)

In Tabelle 429 bis Tabelle 432 sind die Unsicherheiten bezüglich der Emissionsfaktoren für die Unterkategorien Grünland i.e.S. und Gehölze dargestellt. Die Verteilungsfunktionen sind hauptsächlich normalverteilt, in einigen Fällen logarithmisch und triangular verteilt; sie werden durch die obere und untere Schranke charakterisiert. Die Unsicherheiten der Quellgruppe Mineralböden beider Unterkategorien, für die auf Basis der Bodeninventuren ermittelten impliziten Emissionsfaktoren, liegen in der gleichen, einstelligen Größenordnung. Die Unsicherheiten der Biomasse, insbesondere die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren in Gehölzen, fallen größer aus. Diese spiegeln die große Variationsbreite von derartigen Gehölzflächen in Deutschland wieder. Die höhere Unsicherheit der EF für Methan und Lachgas aus organischen Böden beruht auf deren extrem großer Variabilität bei den Geländemessungen und dem Umstand, dass beim Methan auch negative Emissionen auftreten können (s. Kapitel 6.1.2.2.2).

Die Unsicherheiten für die Aktivitätsdaten sind normalverteilt, mit Werten für die Hälfte des 95 % - Konfidenzintervalls zwischen 0,07-196,0 %. Auch hier ist die Unsicherheit abhängig von der Stichprobengröße, dem Flächenanteil. Flächengewichtet beträgt die Gesamtunsicherheit der Aktivitätsdaten in der Grünlandkategorie 0,069 %.

Die Gesamtunsicherheit für die Landnutzungskategorie Grünland beträgt 47,0 % [2,5 % - Perzentil] bzw. 24,2 % [97,5 % -Perzentil], die für die Subkategorien Grünland i.e.S. 51,8 % [2,5 % -Perzentil] bzw. 26,6 % [97,5 % -Perzentil] %, Gehölze 23,5 % [2,5 % -Perzentil] bzw. 24,3 %

[97,5 %-Perzentil]. In der Subkategorie Grünland i.e.S. leisten die CO₂-Emissionen aus den organischen Böden nicht nur den größten Beitrag zur Gesamtunsicherheit der Subkategorie; sie tragen auch am meisten zur Varianz des Gesamtinventars bei (vergl. Kapitel 6.1.2.10). In der Subkategorie Gehölze ist insbesondere der Biomassepool bemerkbar. Sein Beitrag zur Unsicherheit des Gesamtinventars ist jedoch marginal.

Tabelle 429: Emissionsfaktoren [t C ha⁻¹ a⁻¹] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG- Emissionen 2019 aus Grünland i. e. S.

Grünland _{i.e.S.} Landnutzung _{vor} Mineralboden CO ₂ -C ¹⁾	Landnutzung _{nach}	implizite Emissionsfaktoren		Schranken	
		[t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	[%]	obere	untere
Wald	Grünland _{i.e.S.}	1,28	5,31	5,31	
Acker _{annuell}	Grünland _{i.e.S.}	1,33	1,98	1,98	
Hopfen	Grünland _{i.e.S.}	1,30	4,93	4,93	
Weinbau	Grünland _{i.e.S.}	1,94	6,05	6,05	
Obstbau	Grünland _{i.e.S.}	0,90	5,84	5,84	
sonstiges	Grünland _{i.e.S.}	1,29	4,93	4,93	
Ackerland _{perennierend}					
Gehölze	Grünland _{i.e.S.}	1,27	4,93	4,93	
Terr. Feuchtgebiete	Grünland _{i.e.S.}	-0,75	7,42	7,42	
Gewässer	Grünland _{i.e.S.}	0,25	3,11	3,11	
Torfabbau	Grünland _{i.e.S.}	0	0,00	0,00	
Siedlungen	Grünland _{i.e.S.}	2,56	3,91	3,91	
Sonstige Fläche	Grünland _{i.e.S.}	1,69	17,19	35,66	
Biomasse²⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	
Wald	Grünland _{i.e.S.}	-3,654	23,70	23,70	
Acker _{annuell}	Grünland _{i.e.S.}	0,039	16,81	16,81	
Hopfen	Grünland _{i.e.S.}	0,229	18,43	18,43	
Weinbau	Grünland _{i.e.S.}	0,003	19,00	19,00	
Obstbau	Grünland _{i.e.S.}	-0,372	14,26	14,26	
sonstiges	Grünland _{i.e.S.}	-2,146	14,22	14,22	
Ackerland _{perennierend}					
Gehölze	Grünland _{i.e.S.}	-2,617	47,00	47,87	
Terr. Feuchtgebiete	Grünland _{i.e.S.}	-0,690	31,80	32,33	
Gewässer	Grünland _{i.e.S.}	0,422	30,30	30,30	
Torfabbau	Grünland _{i.e.S.}	1,179	30,30	30,30	
Siedlungen	Grünland _{i.e.S.}	-0,479	32,24	32,77	
Sonstige Fläche	Grünland _{i.e.S.}	0,179	30,30	30,30	
Tote organische Substanz²⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	
Wald	Grünland _{i.e.S.}	-2,560	43,47	43,47	

Wald, Acker: jährlich variabel; alle anderen Faktoren sind konstant

- 1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv \triangleq Senke; negativ \triangleq Quelle
- 2) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv \triangleq Senke; negativ \triangleq Quelle

Tabelle 430: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Grünland i. e. S. im Jahr 2019

Landnutzung Organischer Boden ¹⁾	Treibhausgas	Emissionsfaktor [t CO ₂ -Eq. ha ⁻¹ a ⁻¹]	Schranken	
			untere [%]	obere [%]
Grünland i. e. S.	CO ₂	27,49	89,18	41,62
Grünland i. e. S.	CH ₄	1,17	59,89	442,02
Grünland i. e. S.	N ₂ O	2,10	93,48	382,61

- 1) Berechnung jährlich; Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke

Tabelle 431: Emissionsfaktoren [t C ha⁻¹ a⁻¹] mit Unsicherheiten [% vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen 2019 aus Gehölzflächen

Gehölze		Emissionsfaktor	Schranken	
Landnutzung _{vor}	Landnutzung _{nach}		obere	untere
Mineralboden CO₂-C¹⁾		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Wald	Gehölze	-0,061	8,06	8,06
Acker _{annuell}	Gehölze	0,050	5,69	5,69
Hopfen	Gehölze	0	7,84	7,84
Weinbau	Gehölze	0,649	9,41	9,41
Obstbau	Gehölze	-0,412	8,46	8,46
sonstiges	Gehölze	-0,024	7,84	7,84
Ackerland_{perennierend}				
Grünland i. e. S.	Gehölze	-1,045	4,93	4,93
Terr. Feuchtgebiete	Gehölze	-1,993	9,33	9,33
Gewässer	Gehölze	0	11,09	11,09
Torfabbau	Gehölze	0	0,00	0,00
Siedlungen	Gehölze	1,277	8,16	8,16
Sonstige Flächen	Gehölze	0,365	21,72	43,97
Mineralboden N₂O_{direkt}³⁾		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Grünland i. e. S.	Gehölze	1,519	70,29	200,10
Terr. Feuchtgebiete	Gehölze	2,397	72,41	200,86
Mineralboden N₂O_{indirekt}³⁾		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Grünland i. e. S.	Gehölze	0,342	114,88	286,82
Terr. Feuchtgebiete	Gehölze	0,539	116,19	287,34
Biomasse²⁾		[t C ha⁻¹ 1 a⁻¹]	[t C ha⁻¹ 1 a⁻¹]	[%]
Wald	Gehölze	0,726	30,82	31,29
Acker _{annuell}	Gehölze	2,558	47,50	48,38
Hopfen	Gehölze	0	48,24	49,13
Weinbau	Gehölze	2,005	46,96	47,83
Obstbau	Gehölze	1,995	41,68	42,45
sonstiges	Gehölze	3,186	36,18	36,84
Ackerland_{perennierend}				
Grünland i. e. S.	Gehölze	3,000	47,00	47,87
Terr. Feuchtgebiete	Gehölze	1,816	39,78	40,52
Gewässer	Gehölze	3,676	54,21	55,21
Torfabbau	Gehölze	4,953	54,21	55,21
Siedlungen	Gehölze	2,648	43,34	44,15
Sonstige Flächen	Gehölze	1,723	54,21	55,21
Tote organische Substanz²⁾		[t C ha⁻¹ 1 a⁻¹]	[t C ha⁻¹ 1 a⁻¹]	[%]
Wald	Gehölze	-2,158	66,71	66,71

Wald, Acker: jährlich variabel; alle anderen Faktoren sind konstant

- 1) Berechnung über 20 Jahre; Vorratsänderung: positiv \triangleq Senke; negativ \triangleq Quelle
- 2) Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung; Vorratsänderung: positiv \triangleq Senke; negativ \triangleq Quelle
- 3) Berechnung über 20 Jahre; Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke

Tabelle 432: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Gehölze im Jahr 2019

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor [t CO ₂ -Eq. ha ⁻¹ a ⁻¹]	Schranken	
			untere [%]	obere [%]
Organischer Boden¹¹⁴				
Gehölze	CO ₂	9,35	20,74	24,20
Gehölze	CH ₄	0,16	68,73	106,18
Gehölze	N ₂ O	1,28	120,36	117,86

Die Berechnungen sind sowohl für Grünland i.e.S. wie für Gehölze für den gesamten Berichtszeitraum von 1990-2018 räumlich und zeitlich konsistent und vollständig.

6.6.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.C)

Details zu den diesjährigen Prüfungen finden sich in Kapitel 6.1.3.

Die zur Erstellung dieses Inventars verwendeten Datenquellen erfüllen die Prüfkriterien des QSE-Handbuchs für Datenquellen. Bezüglich der Qualitätssicherung der Eingangsdaten (ATKIS®, BÜK, Offizialstatistik) wird auf die Datenhalter verwiesen (Dokumentation in Inventarbeschreibung).

Die Ergebnisse der Emissionsberechnung der aktuellen Berichterstattung können mit anderen Datenquellen für Deutschland nicht verglichen werden, da solche flächendeckend, umfassend und unabhängig von den hier aufgeführten Methoden und Datenquellen nicht existieren.

Für eine Einordnung der deutschen Ergebnisse wurden in einem Vergleich die nationalen IEF der einzelnen Pools mit denen der Nachbarstaaten Deutschlands verglichen. Hierzu wurden die Emissionsfaktoren aus den Submissionen 2020 an das Sekretariat der Klimarahmenkonvention verwendet; Faktoren für Deutschland 2019 stammen aus der aktuellen Submission 2021. Die folgenden Tabellen zeigen, dass Deutschland, gemessen an den Nachbarländern mit ähnlich intensiver Moornutzung, wie Österreich, Dänemark, die Schweiz oder die Niederlande, einen vergleichbaren IEF für CO₂ aus der Drainage organischer Böden unter Grünlandnutzung verwendet.

In der Kategorie 4.C.1 beziehen sich Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden und Biomasse für Deutschland auf Änderungen zwischen Grünland i.e.S. und Gehölzflächen. Die mittleren Emissionsfaktoren sind sehr niedrig, da nur ein kleiner Flächenanteil betroffen ist. Diese Änderungen werden in anderen Staaten unterschiedlich gehandhabt, so dass die mittleren Emissionsfaktoren zwischen den Staaten nicht direkt vergleichbar sind.

Die Landnutzungsänderung zu Grünland führt in Deutschland zu einer starken Kohlenstoffsénke in Mineralböden des Grünlands (Ausnahme LUC von Terrestrischen Feuchtgebieten bilden eine Quelle); die Werte sind vergleichbar mit denen der meisten Nachbarstaaten in Größenordnung und Trend. Insgesamt liegt der deutsche IEF 2019 etwas über dem Mittel der anderen Staaten. Die Veränderungen der deutschen IEF_{Mineralboden} des Jahres 2019 der Grünlandkategorie gegenüber dem Vorjahr sind auf die Einführung der neuen, Inventur-basierten Emissionsfaktoren in den Subkategorien Grünland, Ackerland und Feuchtgebiete zurückzuführen (vergl. Kapitel 6.1.2.1).

Auch die deutschen IEF für die Biomasse in den Übergangskategorien finden sich im Reigen der Nachbarländer. Die Streuung der IEF der Biomasse ist allerdings deutlich größer als beim Mineralboden. Ursache hierfür sind die länderspezifischen Kategorieschwellen, somit die Zusammensetzung der Kategorie (in Deutschland Mischwert aus Grünland i.e.S. und

¹¹⁴ Berechnung jährlich, Emission: positiv $\hat{=}$ Quelle; negativ $\hat{=}$ Senke

Geholzflächen). Auffällig ist die starke Veränderung des deutschen IEF der Übergangskategorie Wald zu Grünland gegenüber dem des Vorjahres. Ursache hierfür ist die Verwendung der neuen Emissionsfaktoren für Waldbiomasse (vergl. Kapitel 6.1.2.3.4ff und Kapitel 6.4.2.2).

Tabelle 433: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2019)

Land	4.C.1. - Grassland Remaining Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2 - Land Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.1 - Forest Land Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.2 - Cropland Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.3 - Wetlands Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.4 - Settlements Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.5 - Other Land Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	NO	-0,29	-3,53	NO	NO	NO	NO
Dänemark	-0,08	-0,14	-1,18	-0,09	NO	NO	NO
Frankreich	0,02	-0,10	-1,36	0,05	NE	0,48	NE
Großbritannien	0,00	-0,09	-1,40	-0,08	2,49	0,04	NO
Niederlande	0,00	-0,06	-5,42	0,17	0,54	0,68	0,64
Österreich	NO	-0,56	-1,32	-0,04	NO	NO	NO
Polen	NO	0,21	NO	0,24	NO,IE	NO,IE	0,27
Schweiz	0,02	-0,74	-3,53	-0,08	0,50	0,14	0,47
Tschechische Republik	NO	0,03	-2,80	0,08	0,27	NO	NO
Deutschland 2018	0,007	0,13	-2,62	0,12	0,46	0,11	0,54
Deutschland 2019	0,005	0,53	-3,36	0,19	0,51	0,16	0,69

positiv: Kohlenstoffsенke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 434: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2019)

Land	4.C.1. - Grassland Remaining Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2 - Land Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.1 - Forest Land Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.2 - Cropland Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.3 - Wetlands Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.4 - Settlements Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.5 - Other Land Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	NO	-0,04	-0,43	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NO	-0,07	-1,48	NO	NO	NO	NO
Frankreich	NE	-0,02	-0,16	NE	NE	NE	NE
Großbritannien	NO	-0,01	-0,46	IE	NO,IE	NO,IE	NO
Niederlande	NA	-0,13	-2,30	NA	NA	NA	NA
Österreich	NO	-0,34	-0,84	NO	NO	NO	NO
Polen	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Schweiz	NO	-0,20	-0,90	NO	NO	NO	NO
Tschechische Republik	NO	0,00	-0,06	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2017	IE	-0,001	-1,97	IE	IE	IE	IE
Deutschland 2018	IE	-0,001	-2,46	IE	IE	IE	IE

positiv: Kohlenstoffsенke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 435: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.C.1. - Grassland Remaining Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2 - Land Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.1 - Forest Land Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.2 - Cropland Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.3 - Wetlands Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.4 - Settlements Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.5 - Other Land Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	0,18	1,68	-0,82	2,02	-0,33	1,73	NO
Dänemark	NO,IE	0,01	0,22	IE	NO	NO	NO
Frankreich	0,00	0,91	0,03	1,02	NO	1,85	NE
Großbritannien	0,12	0,63	-1,29	0,59	NO,IE	1,79	NO
Niederlande	0,00	0,73	0,53	0,78	0,04	0,60	3,73
Österreich	0,00	0,92	0,81	1,00	NO	NO	NO
Polen	-0,01	1,03	NO	1,30	NO	NO	NO
Schweiz	0,00	0,42	-1,01	0,36	1,87	2,05	1,68
Tschechische Republik	0,02	0,49	0,03	0,50	NO	0,51	NO
Deutschland 2018	0,006	0,86	1,12	1,26	-0,01	1,11	1,39
Deutschland 2019	0,008	1,36	0,96	1,27	0,03	2,31	1,38

positiv: Kohlenstoffsенke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 436: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Grünland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.C.1. - Grassland Remaining Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2 - Land Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.1 - Forest Land Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.2 - Cropland Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.3 - Wetlands Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.4 - Settlements Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.C.2.5 - Other Land Converted To Grassland [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	-1,89	NO	NO	NO	NO	NO	-1,89
Dänemark	-5,64	-8,94	-8,94	IE	NO	NO	-5,64
Frankreich	IE	NO	NO	NO	NO	NO	IE
Großbritannien	-0,03	-0,25	NO,IE	NO,IE	-0,25	NO,IE	-0,03
Niederlande	-4,12	-3,80	-2,48	-3,85	-3,92	-3,93	-4,12
Österreich	-6,40	NO	NO	NO	NO	NO	-6,40
Polen	-0,25	-0,25	NO	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25
Schweiz	-9,08	-8,91	-7,90	-9,33	-7,89	-2,06	-9,08
Tschechische Republik	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2017	-6,75	-7,18	NO	-6,77	-6,36	-6,35	-6,75
Deutschland 2018	-7,31	-7,93	-9,74	-8,13	-5,97	-7,33	-7,31

positiv: Kohlenstoffsенke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

6.6.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.C)

Mit der diesjährigen Submission werden quellspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2019 vorgelegt. Ursache für die Neuberechnung der Emissionen waren neue, verbesserte Datenquellen, Methodenänderungen und Fehlerkorrekturen im Rahmen der Verbesserung des Inventars. Auswirkungen auf die Ergebnisse der Emissionsberechnungen für die Landnutzungskategorie Grünland hatten folgende Maßnahmen:

- Implementierung einer neuen Methode zur Berechnung der Emissionen aus organischen Böden in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand (Kapitel 6.1.2.2.1)
- Modifikation der Methode zur Erhebung der Flächen von Entwässerungsgräben für organische Böden (Kapitel 6.1.2.2.1)

- Einführung einer neuen Methode zur Berechnung von Mineralbodenemissionsfaktoren infolge Landnutzungsänderungen von/zu Siedlungen sowie damit verbunden die Einführung neuer Emissionsfaktoren (s. Kapitel 6.1.2.1.6)
- Einführung neuer Emissionsfaktoren für die Biomasse von Wald (s. Kapitel 6.1.2.3.4ff und Kapitel 6.4.2.2)
- Einführung neuer Emissionsfaktoren für Totholz (s. Kapitel 6.4.2.3)

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubmission findet sich für die Kategorie Grünland in Tabelle 437 (Flächen) und Tabelle 438 (Emissionen).

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind zum einen auf die Änderung der Methode zur Erfassung der Fläche von Entwässerungsgräben organischer Böden zurückzuführen; zum anderen auf Korrekturalgorithmen, die eine Konsistenz der Flächennutzungszeitreihen mit den neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres gewährleisten. Es wird davon ausgegangen, dass neueste Daten die beste Qualität haben und daher die vorangegangene Zeitreihe, falls notwendig, angepasst (s. auch Kapitel 6.3 ff).

Die Unterschiede in den Emissionen sind im Wesentlichen auf die veränderten Emissionsfaktoren zurückzuführen, die sich durch die neue Methode zur Berechnung der Emissionen aus organischen Böden ergeben haben. Allein in der Verbleibkategorie Grünland i.e.S. der vorliegenden Submission, ist der IEF für die CO₂-Emissionen, im Mittel über den gesamten Berichtszeitraum, um durchschnittlich 2,59 t CO₂ ha⁻¹ a⁻¹ \cong 10,3 % größer als in der Vorjahressubmission.

Tabelle 437: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Grünlandkategorie

CRF-Nr	Area [kha]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.C	Grasland	2020	6.803,87	6.725,99	6.648,08	6.764,71	6.808,75	6.788,21	6.788,46	6.780,23	6.772,00
		2021	6.801,27	6.723,20	6.645,09	6.761,19	6.824,96	6.796,21	6.789,88	6.783,53	6.777,17
		Differenz	-2,60	-2,79	-2,99	-3,52	16,21	8,01	1,42	3,30	5,17
		in %	0,0%	0,0%	0,0%	-0,1%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%

Tabelle 438: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO₂-eq] aus der Kategorie Grünland der aktuellen und der Vorjahressubmission

CRF-Nr	TH G	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.C	CO ₂	2020	23.546,60	23.699,78	24.004,04	20.156,11	17.606,38	16.222,55	15.990,39	15.914,32	15.334,56
		2021	26.094,43	26.363,18	26.590,39	22.334,11	19.420,19	17.603,19	17.401,39	17.387,31	16.921,52
		Differenz	2.547,83	2.663,41	2.586,36	2.178,00	1.813,81	1.380,64	1.411,00	1.472,98	1.586,96
		in %	9,8%	10,1%	9,7%	9,8%	9,3%	7,8%	8,1%	8,5%	9,4%
	CH ₄	2020	528,63	533,11	537,59	528,61	516,12	506,83	505,84	506,47	507,10
		2021	1.063,20	1.074,14	1.084,77	1.080,79	1.123,84	1.126,00	1.129,50	1.125,61	1.121,63
		Differenz	534,57	541,03	547,19	552,18	607,72	619,17	623,66	619,14	614,53
		in %	50,3%	50,4%	50,4%	51,1%	54,1%	55,0%	55,2%	55,0%	54,8%
	N ₂	2020	44,25	41,68	38,81	64,27	89,15	100,96	103,72	107,21	110,84
		2021	66,62	62,27	58,49	79,09	102,55	112,63	114,59	116,78	119,03
	O	Differenz	22,37	20,58	19,69	14,82	13,41	11,67	10,86	9,57	8,20
		in %	33,6%	33,1%	33,7%	18,7%	13,1%	10,4%	9,5%	8,2%	6,9%

6.6.6 Geplante Verbesserungen, kategorie-spezifisch (4.C)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungsmaßnahmen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

6.7 Feuchtgebiete (4.D)

6.7.1 Beschreibung der Kategorie (4.D)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	4 D, Wetlands		CO ₂	3.668,3	0,3	4.333,8	0,5	18,1 %
-/-	4 D, Wetlands		CH ₄	363,1	0,0	506,3	0,1	39,4 %
-/-	4 D, Wetlands		N ₂ O	34,1	0,0	42,0	0,0	23,2 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 2	RS/NS	CS
N ₂ O	Tier 2	RS/NS	CS
CH ₄	Tier 2	RS/NS	CS

Die Kategorie *Feuchtgebiete* ist für CO₂ eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

In der Kategorie Feuchtgebiete finden sich für Deutschland im Wesentlichen die Moorstandorte und sonstigen Feuchtgebiete, die keiner der anderen Landnutzungskategorien zuzuordnen sind, im vorliegenden Bericht zusammengefasst unter dem Überbegriff "Terrestrische Feuchtgebiete", sowie „Gewässer und überflutete Landflächen“, und „Torfabbauf Flächen“ zur Gewinnung von Gartenbautorfen.

Die quantifizierte Flächenzuordnung zu den einzelnen Unterkategorien, sowie Ausführungen über die gemäß der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) und der 2013 IPCC Wetland Supplements (IPCC et al., 2014b) zu berichtenden Pools und Treibhausgase aus den Verbleib- und Übergangskategorien, finden sich in Kapitel 6.2.4.

Die Ergebnisse der Emissionsberechnungen für das Jahr 2019 sind in Tabelle 439 und der Verlauf der Emissionen in der Zeit unterschieden nach Kategorien und Unterkategorien in Abbildung 64 und Abbildung 65 dargestellt.

Tabelle 439: CO₂-, N₂O- und CH₄-Emissionen [kt CO₂-Eq.] aus Feuchtgebieten Deutschlands 2019. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranken der 95 % - Konfidenzintervalle

terrestrische Feuchtgebiete						
Pool	THG	[kt CO ₂ -Eq.]			[%]	
		Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
Terrestrische Feuchtgebiete _{total}		2.367,7	1.268,1	3.592,0	46,44	51,71
Mineralboden	CO ₂	-41,95	-35,35	-48,54	15,73	15,73
	N ₂ O	0,00	0,00	0,00		
Organischer Boden	CO ₂	1.990,1	770,47	3.333,8	61,28	67,52
	N ₂ O	34,50	8,33	104,43	75,86	202,75
	CH ₄	439,20	158,63	802,45	63,88	82,70
Biomasse	CO ₂	-83,95	-67,58	-100,58	19,51	19,80
Streu/Totholz	CO ₂	29,85	21,00	38,69	29,64	29,64
Gewässer						
Pool	THG	[kt CO ₂ -Eq.]			[%]	
		Emission	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
Gewässer _{total}		299,6	257,2	342,2	14,13	14,13
Mineralboden	CO ₂	NO	NO	NO	NO	NO
	N ₂ O	NO	NO	NO	NO	NO
Organischer Boden	CO ₂	NO	NO	NO	NO	NO
	N ₂ O	NO	NO	NO	NO	NO
	CH ₄	64,29	42,52	86,05	33,86	33,86
Biomasse	CO ₂	203,39	167,30	239,88	17,75	17,94
Streu/Totholz	CO ₂	31,9	23,2	40,6	27,31	27,31

Pool	THG	Torfabbau			[%]	
		Emission	[kt CO ₂ -Eq.]		2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
Torfabbau _{total}		2.214,7	1.386,1	3.043,3	37,41	37,41
Mineralboden	CO ₂	NO	NO	NO	NO	NO
	N ₂ O _{direkt}	NO	NO	NO	NO	NO
Organischer Boden	CO ₂	2.182,0	2.002,4	2.386,8	8,23	9,38
	N ₂ O	7,49	3,67	11,32	51,06	51,06
	CH ₄	2,76	1,13	5,09	58,92	84,42
Biomasse	CO ₂	21,9	16,00	27,80	26,8	27,1
Streu/Totholz	CO ₂	0,5	0,12	0,94	78,1	78,1

Aus Feuchtgebieten wurden im Jahr 2019 4.882,0 kt CO₂-Eq. (95 %-KI: 3.473,52 – 6.403,7 kt CO₂-Eq.) freigesetzt. Tabelle 439 verdeutlicht, dass die Emissionen aus der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete im Wesentlichen auf die CO₂-Freisetzung aus organischen Böden zurückzuführen sind (85,5 %). Diese werden wiederum zu ähnlichen Teilen durch die CO₂-Freisetzung infolge des Torfabbaus (44,7 %) und der Entwässerung terrestrischer organischer Böden (40,8 %) verursacht. Die Freisetzung von Methan (10,4 %) und Lachgas (0,9 %) ist gemessen an der Summe der Gesamtemissionen sehr gering, genau wie die CO₂-Freisetzung aus der Biomasse (2,9 %); letztere wirkt in der Unterkategorie Gewässer als Quelle, in der Unterkategorie „Terrestrische Feuchtgebiete“ als Senke. Die Emissionen aus Mineralböden sind negativ und wirken folglich als Senke. Ihr Anteil ist aber sehr gering (- 0,9 %).

Die Emissionen aus industriellem Torfabbau unterteilen sich in Emissionen, die auf Abbaufächen während der Torfgewinnung entstehen (on-site-Emissionen) sowie denjenigen, welche durch Ausbringung der gewonnenen Torfprodukte freigesetzt werden (off-site-Emissionen). Die off-site-Emissionen betragen 2.097,2 ± 822,1 kt CO₂-Eq. und waren demnach maßgeblich für die Höhe der Gesamtemissionen aus dem Torfabbau (94,7 %). Die on-site-Emissionen sind mit 95,0 kt CO₂-Eq. (-12,0 % / +15,6 %) demgegenüber gering und werden dominiert vom CO₂ (69,1 %), gefolgt vom Methan (23,0 %) und Lachgas (7,9 %).

Die Emissionen aus industriellem Torfabbau unterteilen sich in Emissionen, die auf Abbaufächen während der Torfgewinnung entstehen (on-site-Emissionen) sowie denjenigen, welche durch Ausbringung der gewonnenen Torfprodukte freigesetzt werden (off-site-Emissionen). Die off-site-Emissionen betragen 2.007,6 ± 750,9 kt CO₂-Eq. und waren demnach maßgeblich für die Höhe der Gesamtemissionen aus dem Torfabbau (93,9 %). Die on-site-Emissionen sind mit 130,7 kt CO₂-Eq. (-9,9 % ±11,5 %) demgegenüber gering und werden dominiert vom CO₂ (89,7 %); Methan- (4,3 %) und Lachgasemissionen (6,1 %) sind marginal.

Der Verlauf der Zeitreihen in Abbildung 64 und Abbildung 65 verdeutlicht, dass die Gesamtemissionen im Jahr 2019 gegenüber dem Basisjahr zugenommen haben (20,1 %), infolge einer zwischenzeitlich verstärkten Umwidmung von Grünland-, Wald- und Siedlungsflächen. Die Emissionszunahme ist im wesentlichen den Pools organische Böden und Biomasse zuzuschreiben (Abbildung 64). Der Trendkurvenverlauf wird durch die Emissionen infolge Torfabbau und Drainage der organischen Böden der Unterkategorie Terrestrische Feuchtgebiete dominiert. Während erstere die jährlichen Torfproduktionsmengen widerspiegeln und über die Jahre eine ähnliche Größenordnung aufweisen, zeigen die Emissionen aus den organischen Böden der Subkategorie Terrestrische Feuchtgebiete eine stringente Zunahme (+36,6 %).

Abbildung 64: CO₂-Emissionen [kt CO₂-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Feuchtgebieten von 1990-2019, dargestellt nach Unterkategorien

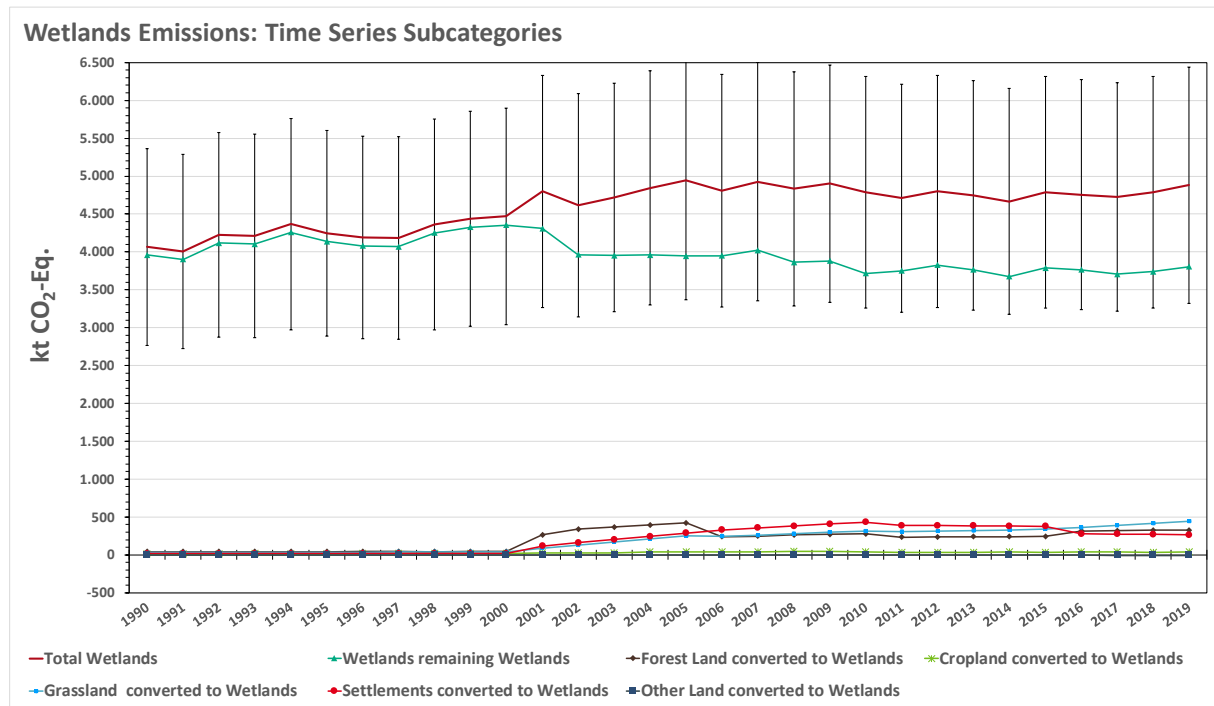
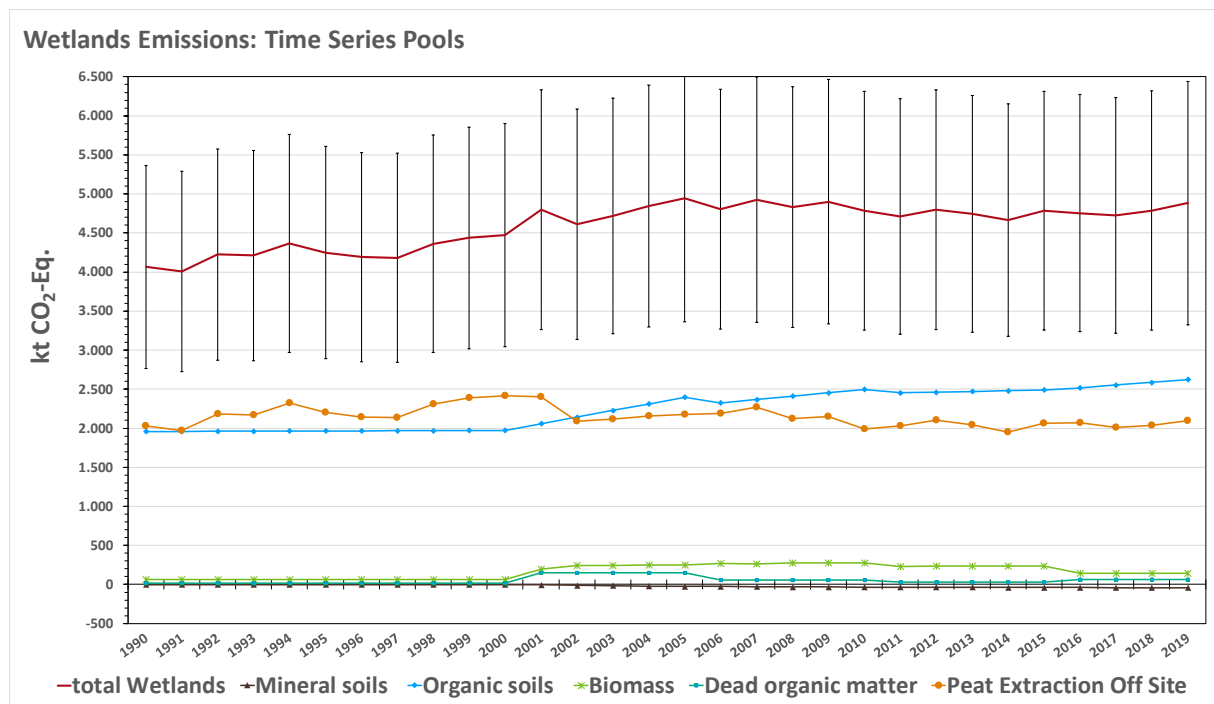


Abbildung 65: CO₂-Emissionen [kt CO₂-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus den Feuchtgebieten von 1990-2019, dargestellt nach Pools



6.7.2 Methodische Aspekte (4.D)

6.7.2.1 Datenquellen

Die Produktionsmengen für Torf aus industriellem Torfabbau entstammen der deutschen Officialstatistik (Statistisches Bundesamt, FS 4, R 3.1).

Weitere Quellen siehe Kapitel 6.3.2 und 6.2.

6.7.2.2 Biomasse

Gewässerflächen sind vegetationslos, so dass der Kohlenstoffvorrat in der Biomasse Null ist und in den CRF-Tabellen immer mit NO (not occurring) ausgewiesen wird.

Für die Unterkategorie „Terrestrische Feuchtgebiete“ erfolgt die Berechnung der Veränderungen im Kohlenstoffvorrat der Biomasse infolge von Landnutzungsänderungen mittels der in Kapitel 6.1.2.3 beschriebenen Verfahren und Methoden.

Terrestrische Feuchtgebiete sind in der Regel mit Gehölzen (einzelne Büsche bis Wälder), Moosen und Gräsern bewachsen, von denen letztere überwiegen. Aufgrund dessen wird im Inventar folgende Annahme für die Flächenverteilung der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse unterstellt: 1/3 Gehölzanteil und 2/3 Moos-/Grasanteil.

Da für derartige Flächen keine Biomasseerhebungen in Deutschland vorliegen, werden die Werte für Gehölze und Grünland i.e. S. näherungsweise zugrunde gelegt. Daher werden die in Kapitel 6.6.2.2 beschriebenen Methoden verwendet.

Der Kohlenstoffvorrat terrestrischer Feuchtgebiete berechnet sich dann nach Gleichung 48. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 440.

Gleichung 48:

$$\text{C-Vorrat}_{\text{terr. Feuchtgebiete}} = \text{C-Vorrat}_{\text{Gehölze}} * 0,333 + \text{C-Vorrat}_{\text{Grünland i.e.S.}} * 0,667$$

Tabelle 440: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha⁻¹] für Biomasse in Terrestrischen Feuchtgebieten (95%-Konfidenzintervall)

Terr. Feuchtgebiete	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]		
	Bio _{total}	Bio _{oberirdisch}	Bio _{unterirdisch}
Terr. Feuchtgebiete	18,93 (10,84 - 27,16)	13,42 (6,04 - 20,91)	5,51 (2,65 - 8,49)

Die impliziten Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten sind in Tabelle 442 (Kapitel 6.7.3) dargestellt.

Im Sinne der Aussagen von Kapitel 6.6.2.2 wird für lebende Biomasse und tote organische Substanz in den jeweiligen Verbleibkategorien der CRF-Tabelle 4.D.1 NO (not occurring) berichtet.

6.7.2.3 Mineralböden

Bei Landnutzungsänderungen zu Gewässern werden keine Änderungen im Kohlenstoffvorrat von Mineralböden angenommen (NO in CRF-Tabelle 4.D.1).

Für die Unterkategorie „Terrestrische Feuchtgebiete“ erfolgt die Berechnung der Veränderungen im Kohlenstoffvorrat der Mineralböden infolge von Landnutzungsänderungen mittels der in Kapitel 6.1.2.1 beschriebenen Verfahren und Methoden.

Die impliziten Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten werden in Tabelle 442 (Kapitel 6.7.3) gezeigt.

6.7.2.4 Organische Böden

Die Emissionsberechnung erfolgt nach den in Kapitel 0 beschriebenen Methoden.

6.7.2.5 Torfabbau

Die Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Torfabbau erfolgte gemäß den Vorgaben der 2006 IPCC Guidelines nach einem Tier-2-Ansatz. Berechnet werden die Gesamtemissionen aus den on-site- und off-site-Emissionen nach den Gleichungen 7.2 - 7.5 der 2006 IPCC-Guidelines (IPCC, 2006). In der Unterkategorie Torfabbau werden CO₂- (on-site: Emission und DOC, off-site: Produzierter und ausgebrachter Torf), CH₄- (Emission und Grabendrainung) und N₂O-Emissionen (on-site) berichtet; die Herleitung der Emissionsfaktoren ist in Kapitel 6.1.2.2 dargestellt. Als Aktivitätsdaten liegen der Abschätzung zugrunde:

- Berechnung der on-site-Emissionen: Die Ermittlung der industriellen Torfabbauflächen, sowie die Ermittlung der Flächenwanderung von und zu diesen, erfolgte mittels des Basis-DLM (siehe Kapitel 6.3). Diese Datensätze wurden erst vom Jahr 2008 an vollständig in das Basis-DLM übernommen. Daher wird die für 2008 ermittelten Torfabbauflächen für alle Jahre vor 2008 zur Berechnung der on-site-Emissionen herangezogen; von 2008 an, die jeweils für die Erhebungstichjahre aktuellen Werte.
- Berechnung der off-site - Emissionen: Die jährlichen Produktionsmengen; diese entstammen der deutschen Officialstatistik (Statistisches Bundesamt, FS 4, R 3.1).

Gleichung 7.3 (IPCC, 2006):

$$\text{CO}_2\text{-Eq}_{\text{Torfabbau}} = \text{CO}_2\text{-Eq}_{\text{on-site}} + \text{CO}_2\text{-Eq}_{\text{off-site}}$$

CO₂-Eq_{Torfabbau}: THG-Emissionen aus dem Torfabbau [t C-Eq a⁻¹]

CO₂-Eq_{on-site}: THG-Emissionen, die während der Produktion vor Ort entstehen [t C-Eq a⁻¹]

CO₂-Eq_{off-site}: THG-Emissionen durch produzierte, zu Gartenbauzwecken ausgebrachten Torfen [t C-Eq a⁻¹]

In Deutschland werden ausschließlich Hochmoortorfe abgebaut daher wurde Gleichung 7.4 (IPCC, 2006) folgendermaßen modifiziert:

$$\text{CO}_2\text{-Eq}_{\text{on-site}} = A_{\text{Torf-nährstoffarm}} \times (\text{EF}_{\text{Torf-nährstoffarm_CO}_2} + \text{EF}_{\text{Torf-nährstoffarm_N}_2\text{O}} + \text{EF}_{\text{Torf-nährstoffarm_CH}_4})$$

CO₂-Eq_{on-site}: on-site-Emissionen, die während der Produktion vor Ort entstehen [t CO₂-Eq. a⁻¹]

A_{Torf-nährstoffarm}: Torfabbaufläche für Hochmoortorfe [ha]

EF_{Torf-nährstoffarm_(CO₂, N₂O, CH₄)}: Landesspezifische Emissionsfaktoren für Hochmoortorfe im Abbau [t CO₂-Eq. ha⁻¹ a⁻¹]
(s. Kapitel 6.1.2.2)

Die Berechnung der off-site-Emissionen erfolgte nach Gleichung 7.5 (IPCC, 2006):

$$\text{CO}_2\text{-Eq}_{\text{off-site}} = \text{Vol}_{\text{Torf_trocken}} \times \text{Cfraction}_{\text{vol_Torf}}$$

CO₂off-site: CO₂-Eq.-Emissionen durch produzierte, zu Gartenbauzwecken ausgebrachten Torfen [t CO₂-Eq. a⁻¹]

Vol_{Torf_trocken}: Volumen des lufttrockenen Torfes [m³]

C_{fractionvol_Torf}: Kohlenstoffanteil bezogen auf das Volumen luftgetrockneten Torfs [0,2567 t CO₂-Eq. m³ luftgetrockneter Torf (IPCC (2006), Tab. 7.5)]

Die Emissionsfaktoren für die on-site Emissionen sind in Tabelle 445 (Kapitel 6.7.3) aufgeführt; die off-site Emissionen, berechnet aus den Torfproduktionsmengen, sowie die IEF für die off-site Emissionen in Tabelle 441.

Tabelle 441: Torfabbau: IEF_{off-site} [t CO₂-Eq. ha⁻¹ a⁻¹] und off-site Emissionen [kt CO₂-Eq.]

Torfabbau Jahr	IEF [t CO ₂ -Eq. ha ⁻¹ a ⁻¹]	Off-site Emissionen [kt CO ₂ -Eq.]
1990	95,5	2.029,5 ± 795,6
1995	103,7	2.203,9 ± 863,9
2000	113,7	2.416,2 ± 947,2
2005	102,5	2.179,6 ± 854,4
2010	97,8	1.991,5 ± 780,7
2011	100,3	2.030,5 ± 796,0
2012	104,7	2.106,0 ± 825,6
2013	102,1	2.042,0 ± 800,5
2014	98,3	1.952,7 ± 765,5
2015	104,7	2.066,4 ± 810,0
2016	107,4	2.069,5 ± 811,2
2017	106,5	2.007,6 ± 787,0
2018	111,1	2.035,9 ± 798,1
2019	117,5	2.097,2 ± 822,1

6.7.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.D)

Die Zeitreihen für die Aktivitätsdaten zum Torfabbau vom Statistischen Bundesamt sind konsistent und für die gesamte Berichtsperiode verfügbar. Die Unsicherheiten für diese Aktivitätsdaten sind laut Statistischem Bundesamt 0, da es sich bei diesen Daten um eine Vollerhebung mit Auskunftspflicht handelt. Nichtsdestotrotz wird nach den 2006 IPCC Guidelines eine Unsicherheit von 20 % unterstellt, die im Wesentlichen auf der Unsicherheit der Umrechnung von Volumen- auf Masseeinheiten für Torfe beruht. Die in Tabelle 442 und Tabelle 445 aufgeführten Unsicherheiten bis 40 % für den Torfabbau sind auf die Unsicherheitenfortpflanzung und insbesondere auf die großen Unsicherheiten der genutzten IPCC Standardwerte zurückzuführen. Bezüglich der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Methan und Lachgas gelten die Ausführungen in den Kapiteln 6.5.3 und 6.6.3.

Die Aktivitäts- bzw. Flächendaten sind normalverteilt und weisen je nach Flächen- bzw. Stichprobengröße Unsicherheiten von 0,27 - 196 % auf. Die Gesamtunsicherheit für die Flächendaten der Kategorie Feuchtgebiete beträgt 0,23 %.

Die Gesamtunsicherheit für die Emissionen der Landnutzungskategorie Feuchtgebiete beträgt -28,9 % / +31,2% [95-% Perzentile], die für die Subkategorien Terrestrische Feuchtgebiete -46,4 % / +51,7%, Gewässer -14,1 % / +14,2% und Torfabbau -37,4 % / +37,4%. Der Beitrag der Kategorie Feuchtgebiete zur Gesamtemission bzw. -unsicherheit des LULUCF-Sektors ist sehr gering. Lediglich die Werte im Zusammenhang mit dem Torfabbau und der organischen Böden aus der Subkategorie Terrestrische Feuchtgebiete sind wahrnehmbar.

Tabelle 442: Implizite Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus terrestrischen Feuchtgebieten 2019, unterschieden nach Pools und Unterkategorien

Feuchtgebiete _{terrestrisch}		implizite Emissionsfaktoren	Schranken	
Landnutzung _{vor}	Landnutzung _{nach}		untere	obere
Mineralboden CO ₂ -C ¹¹⁵		[t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	[%]	[%]
Wald	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	2,36	9,33	9,33
Acker _{annuell}	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	2,32	8,52	8,52
Hopfen	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0	9,33	9,33
Weinanbau	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0	10,41	10,41
Obstanbau	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0	9,42	9,42
sonstige Ackerlandkulturen _{perennierend}	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0	9,33	9,33
Grünland _{i.e.S.}	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	1,06	7,42	7,42
Gehölze	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	1,95	9,33	9,33
Siedlungen	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	3,45	10,31	10,31
Gewässer	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0,28	13,25	13,25
Sonstiges Land	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	2,69	17,40	32,52
Mineralboden N₂O_{direkt}¹¹⁶		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Grünland _{i.e.S.}	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0	70,51	200,18
Mineralboden N₂O_{indirekt}¹¹⁷		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Grünland _{i.e.S.}	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0	99,99	286,87
Biomasse¹¹⁸		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Wald	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	-0,67	22,82	22,96
Acker _{annuell}	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0,35	31,74	32,31
Hopfen	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0	32,79	33,37
Weinanbau	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0	31,40	31,95
Obstanbau	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0	25,42	25,85
sonstige Ackerlandkulturen _{perennierend}	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0	21,11	21,42
Grünland i.e.S.	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0,93	31,80	32,33
Gehölze	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	-1,79	39,78	40,52
Feuchtgebiete _{terrestrisch}	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0	41,84	42,59
Gewässer	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	2,29	41,84	42,59
Torfabbau	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	2,96	41,84	42,59
Siedlungen	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0,02	31,38	31,95
Sonstiges Land	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	0	41,84	42,59
Tote organische Substanz		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]
Wald	Feuchtgebiete _{terrestrisch}	-0,801	29,64	29,64

positiv: Senke; negativ: Quelle

¹¹⁵ Berechnung über 20 Jahre, Vorratsänderung: positiv \triangleq Senke; negativ \triangleq Quelle

¹¹⁶ Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke,

¹¹⁷ Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke,

¹¹⁸ Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung

Tabelle 443: Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus Gewässern 2019, unterschieden nach Pools und Unterkategorien

Gewässer		implizite Emissionsfaktoren [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	Schranken	
Landnutzung _{vor} Mineralboden CO ₂ -C ¹¹⁹	Landnutzung _{nach}		obere [%]	untere [%]
Wald	Gewässer		keine Emission	
Acker _{annuell}	Gewässer		keine Emission	
Hopfen	Gewässer		keine Emission	
Weinanbau	Gewässer		keine Emission	
Obstanbau	Gewässer		keine Emission	
sonstige Ackerlandkulturen _{perennierend}	Gewässer		keine Emission	
Grünland _{i.e.s.}	Gewässer		keine Emission	
Gehölze	Gewässer		keine Emission	
Siedlungen	Gewässer		keine Emission	
Gewässer	Gewässer		keine Emission	
Sonstiges Land	Gewässer		keine Emission	
Mineralboden N ₂ O _{direkt} ¹²⁰	[%]		[kg N ₂ O ha ⁻¹ a ⁻¹]	
Grünland _{i.e.s.}	Gewässer		keine Emission	
Mineralboden N ₂ O _{indirekt} ¹²¹	[%]		[kg N ₂ O ha ⁻¹ a ⁻¹]	
Grünland _{i.e.s.}	Gewässer		keine Emission	
Biomasse ¹²²		[t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	[%]	[%]
Wald	Gewässer	-1,86	27,18	27,18
Acker _{annuell}	Gewässer	-0,29	11,14	11,14
Hopfen	Gewässer	0	16,54	16,54
Weinanbau	Gewässer	0	22,88	22,88
Obstanbau	Gewässer	-0,57	14,92	14,92
sonstige Ackerlandkulturen _{perennierend}	Gewässer	-4,88	16,10	16,10
Grünland i.e.S.	Gewässer	-0,43	30,30	30,30
Gehölze	Gewässer	-3,00	54,21	55,21
Feuchtgebiete _{terrestrisch}	Gewässer	-1,24	41,84	42,59
Gewässer	Gewässer	0	0	0
Torfabbau	Gewässer	0	0	0
Siedlungen	Gewässer	-0,26	47,00	47,87
Sonstiges Land	Gewässer	0	0	0
Tote organische Substanz	[%]	[t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	[%]	[%]
Wald	Gewässer	-1,061	27,31	27,31

positiv: Senke; negativ: Quelle

¹¹⁹ Berechnung über 20 Jahre, Vorratsänderung: positiv \triangleq Senke; negativ \triangleq Quelle

¹²⁰ Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke,

¹²¹ Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke,

¹²² Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung

Tabelle 444: Emissionsfaktoren mit Unsicherheiten [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der THG-Emissionen aus Torfabbau 2019, unterschieden nach Pools und Unterkategorien

Torfabbau		implizite Emissionsfaktoren [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	Schranken	
Landnutzung _{vor} Mineralboden CO ₂ -C ¹²³	Landnutzung _{nach}		obere [%]	untere [%]
Wald	Torfabbau		keine Emission	
Acker _{annuell}	Torfabbau		keine Emission	
Hopfen	Torfabbau		keine Emission	
Weinanbau	Torfabbau		keine Emission	
Obstanbau	Torfabbau		keine Emission	
sonstige Ackerlandkulturen _{perennierend}	Torfabbau		keine Emission	
Grünland _{i.e.s.}	Torfabbau		keine Emission	
Gehölze	Torfabbau		keine Emission	
Siedlungen	Torfabbau		keine Emission	
Gewässer	Torfabbau		keine Emission	
Sonstiges Land	Torfabbau		keine Emission	
Mineralboden N₂O_{direkt}¹²⁴				
Grünland _{i.e.s.}	Torfabbau		keine Emission	
Mineralboden N₂O_{indirekt}¹²⁵				
Grünland _{i.e.s.}	Torfabbau		keine Emission	
Biomasse¹²⁶		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Wald	Torfabbau	-3,96	27,18	27,18
Acker _{annuell}	Torfabbau	-0,83	11,14	11,14
Hopfen	Torfabbau	0	16,54	16,54
Weinanbau	Torfabbau	0	22,88	22,88
Obstanbau	Torfabbau	0	14,92	14,92
sonstige Ackerlandkulturen _{perennierend}	Torfabbau	-4,19	16,10	16,10
Grünland i.e.S.	Torfabbau	-0,90	30,30	30,30
Gehölze	Torfabbau	-3,08	54,21	55,21
Feuchtgebiete _{terrestrisch}	Torfabbau	-3,18	41,84	42,59
Gewässer	Torfabbau	0	0	0
Torfabbau	Torfabbau	0	0	0
Siedlungen	Torfabbau	-2,43	47,00	47,87
Sonstiges Land	Torfabbau	0	0	0
Tote organische Substanz		[t C ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Wald	Torfabbau	-2,254	78,1	78,1

positiv: Senke; negativ: Quelle

Tabelle 445: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Feuchtgebiete und Torfabbau im Jahr 2019

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor [t CO ₂ -Eq. ha ⁻¹ a ⁻¹]	Schranken	
			untere %	obere %
Organischer Boden¹²⁷				
Feuchtgebiete _{terrestrisch}	CO ₂	5,06	61,28	67,52
Feuchtgebiete _{terrestrisch}	N ₂ O	0,32	75,86	202,75
Feuchtgebiete _{terrestrisch}	CH ₄	4,09	63,88	82,70
Torfabbau	CO ₂	1,30	8,23	9,38
Torfabbau	N ₂ O	0,15	51,06	51,06
Torfabbau	CH ₄	0,42	58,92	84,42

¹²³ Berechnung über 20 Jahre, Vorratsänderung: positiv \triangleq Senke; negativ \triangleq Quelle

¹²⁴ Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke,

¹²⁵ Berechnung über 20 Jahre Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke,

¹²⁶ Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung

¹²⁷ Berechnung jährlich, Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke

Die Berechnungen sind für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2019 räumlich und zeitlich konsistent und vollständig.

6.7.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.D)

Details zu den diesjährigen Prüfungen finden sich in Kapitel 6.1.3.

Die zur Erstellung dieses Inventars verwendeten Datenquellen erfüllen die Prüfkriterien des QSE-Handbuchs für Datenquellen. Bezüglich der Qualitätssicherung der Eingangsdaten (ATKIS®, BÜK, Officialstatistik) wird auf die Datenhalter verwiesen (Dokumentation in Inventarbeschreibung).

Die Ergebnisse der Emissionsberechnung der aktuellen Berichterstattung können mit anderen Datenquellen für Deutschland nicht verglichen werden, da solche flächendeckend, umfassend und unabhängig von den hier aufgeführten Methoden und Datenquellen nicht existieren.

Der Vergleich der mittleren Emissionsfaktoren Deutschlands in der Kategorie Feuchtgebiete (Wetlands) mit denen der europäischen Nachbarstaaten (Tabelle 446) zeigt, dass die IEF aufgrund der Zusammenfassung der Bodentypen nur schwer vergleichbar sind. So weist Deutschland im Pool Organische Böden in der Kategorie 4.D.1 den zweitgeringsten Emissionsfaktor auf, der allerdings sehr nah an den Werten Dänemarks und der Schweiz liegt. Die Kategorie Wetlands ist stark von der nationalen Definition abhängig, in Deutschland fließt z.B. der Torfabbau einschließlich der off-site-Emissionen mit ein, so dass die nationalen Verhältnisse und daher auch die mittleren Emissionsfaktoren eine große Streuung zeigen.

Für diesen Vergleich wurden Werte der Nachbarstaaten aus der Submission 2020 (Berichtsjahr 2018) der Länder an das Sekretariat der Klimarahmenkonvention verwendet. Die Werte für Deutschland stammen aus der vorliegenden Submission 2021 (Berichtsjahr 2019).

Tabelle 446: Kohlenstoffvorratsveränderung verschiedener Pools in Wetland verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.D.1. - Wetlands Remaining Wetlands				4.D.2 - Land Converted To Wetland			
	Biomasse [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	Tote Organische Masse [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	Organische Böden [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	Biomasse [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	Tote Organische Masse [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	Mineralische Böden [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	Organische Böden [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	
Belgien	NO	NO	NO	-0,69	-0,07	1,38	NO	
Dänemark	NO	NO	-3,92	NO	NO	NO	NO	
Frankreich	NE	NO	NE	-0,51	-0,06	NO	NE	
Großbritannien	0,00	NO,NA	-23,93	NO	NO	NO	-0,20	
Niederlande	NO,NA	NO,NA	NO,NA	-0,65	-0,09	0,82	-0,34	
Österreich	NO,NE	NO,NE	NO,NE	-0,55	-0,15	NO	NO	
Polen	NO	-0,29	0,01	-0,45	-1,61	NO,NA	-1,10	
Schweiz	0,00	NO,IE	-4,85	-1,09	-0,18	-0,68	-4,33	
Tschechische Republik ¹⁾	NA	NA	NA	-0,42	-0,01	NA	NA	
Deutschland 2018	0,004	IE	-3,79	-0,39	-0,11	0,10	-3,90	
Deutschland 2019	0,013	IE	-4,56	-0,30	-0,11	0,11	-3,79	

positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

¹⁾ „Land Converted to Wetland“-Werte nur für „FL, CL, GL converted to other wetlands“

6.7.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.D)

Mit der diesjährigen Submission werden quellenspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2019 vorgelegt. Ursache für die Neuberechnung der Emissionen waren neue, verbesserte Datenquellen, Methodenänderungen und Fehlerkorrekturen im

Rahmen der Verbesserung des Inventars. Auswirkungen auf die Ergebnisse der Emissionsberechnungen für die Landnutzungskategorie Ackerland hatten folgende Maßnahmen:

- Implementierung einer neuen Methode zur Berechnung der Emissionen aus organischen Böden in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand (Kapitel 6.1.2.2ff)
- Modifikation der Methode zur Erhebung der Flächen von Entwässerungsgräben für organische Böden (Kapitel 6.1.2.2.1)
- Einführung einer neuen Methode zur Berechnung von Mineralbodenemissionsfaktoren infolge Landnutzungsänderungen von/zu Siedlungen sowie damit verbunden die Einführung neuer Emissionsfaktoren (s. Kapitel 6.1.2.1.6)
- Einführung neuer Emissionsfaktoren für die Biomasse von Wald (s. Kapitel 6.1.2.3.4ff und Kapitel 6.4.2.2)
- Einführung neuer Emissionsfaktoren für Totholz (s. Kapitel 6.4.2.3)

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubvention findet sich für die Kategorie Feuchtgebiete in Tabelle 447 (Flächen) und Tabelle 448 (Emissionen).

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind zum einen auf die Änderung der Methode zur Erfassung der Fläche von Entwässerungsgräben organischer Böden zurückzuführen; zum anderen auf Korrekturalgorithmen, die eine Konsistenz der Flächennutzungszeitreihen mit den neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres gewährleisten. Es wird davon ausgegangen, dass neueste Daten die beste Qualität haben und daher die vorangegangene Zeitreihe, falls notwendig, angepasst (s. auch Kapitel 6.3 ff).

Die Unterschiede bezüglich der Zunahme der Emissionen sind hauptsächlich auf die Änderung der Berechnungsmethodik für Treibhausgase aus organischen Böden zurückzuführen. Besonders deutlich zeigt sich dies in der Kategorie Feuchtgebiete auch bei den Methanemissionen. Diese haben gegenüber der Vorjahressubmission deutlich zugenommen. Ursache hierfür ist

- zum einen die georeferenzierte Erfassung der Fläche der Entwässerungsgräben. Diese konnte deutlich genauer bestimmt werden als mit der Default-Methode und hat deutlich zugenommen (2006 IPCC Guidelines; (Wetlands Supplement ((IPCC, 2014)))
- zum anderen die Berechnung der Methanemissionen in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand

Tabelle 447: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Feuchtgebiete

CRF-Nr	Area [kha]	Sub-mission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.D	Wetlands	2020	648,55	650,00	651,47	676,49	708,32	728,92	731,65	734,63	737,61
		2021	648,42	649,93	651,45	676,48	707,25	728,46	731,50	734,56	737,65
		Differenz	-0,13	-0,07	-0,02	-0,01	-1,07	-0,46	-0,15	-0,07	0,03
		in %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-0,2%	-0,1%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabelle 448: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO₂-eq] aus der Kategorie Feuchtgebiete der aktuellen und der Vorjahressubmission

CRF-Nr	TH G	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	
4.D	Wet-lands	CO ₂	2020	1.431,45	1.437,74	1.444,22	1.882,15	1.919,73	1.969,53	1.984,02	2.044,82	2.071,72
			2021	1.578,01	1.583,72	1.590,21	2.135,21	2.050,89	1.969,96	1.988,32	2.018,70	2.050,18
			Differenz	146,56	145,98	145,99	253,06	131,16	0,42	4,30	-26,12	-21,53
		in %	9,3%	9,2%	9,2%	11,9%	6,4%	0,0%	0,2%	-1,3%	-1,1%	
		CH ₄	2020	33,00	33,14	33,27	40,06	43,57	44,57	44,85	45,37	45,89
			2021	363,06	363,91	364,72	353,84	436,95	480,05	494,89	498,69	502,35
	Differenz		330,06	330,78	331,45	313,78	393,38	435,48	450,04	453,32	456,46	
	in %	90,9%	90,9%	90,9%	88,7%	90,0%	90,7%	90,9%	90,9%	90,9%		
	N ₂	2020	83,44	85,44	86,70	303,19	380,95	231,33	232,27	233,06	229,24	
		2021	94,88	96,66	98,44	278,11	306,32	268,52	201,14	200,97	198,60	
		Differenz	11,44	11,22	11,74	-25,08	-74,63	37,19	-31,13	-32,09	-30,65	
	in %	12,1%	11,6%	11,9%	-9,0%	-24,4%	13,8%	-15,5%	-16,0%	-15,4%		

6.7.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.D)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

6.8 Siedlungen (4.E)

6.8.1 Beschreibung der Kategorie (4.E)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	4 E, Settlements		CO ₂	2.429,1	0,2	4.122,1	0,5	69,7 %
-/-	4 E, Settlements		N ₂ O*	96,7	0,0	275,6	0,0	184,9 %
-/-	4 E, Settlements		CH ₄ **	48,0	0,0	69,6	0,0	45,0 %

* Lachgasemissionen, direkt und indirekt aus Mineralböden, aus organischen Böden

** Methanemissionen aus organischen Böden

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	Tier 2	RS/NS	CS
N ₂ O	Tier 2	RS/NS	CS/D
CH ₄	Tier 2	RS/NS	D

Die Kategorie *Siedlungen* ist für CO₂ eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

In der Landnutzungskategorie Siedlungen wird über CO₂-Emissionen/-Festlegung der Pools Boden, Biomasse und tote organische Substanz von Flächen berichtet, die zu Siedlungs- und Verkehrszwecken ausgewiesen sind. Genaue Definitionen und Kategoriezuordnungen sind in Kapitel 6.2 aufgeführt. In der Subkategorie 4.H werden die N₂O-Emissionen aus drainierten Böden berichtet, da im CRF Reporter zu 4.E keine Untertabellen dazu angelegt worden sind. Die Ergebnisse der Abschätzung der Treibhausgasemissionen sind in Tabelle 449 und in Abbildung 66 und Abbildung 67 dargestellt.

Tabelle 449: CO₂-, N₂O- und CH₄-Emissionen [kt CO₂-Eq.] aus Siedlungsflächen 2019. Dargestellt sind Summen sowie obere und untere Schranke des 95 % - Konfidenzintervalls

Kategorie	THG	Siedlungen Emissionen 2019				
		Emission	[kt CO ₂ -Eq.]		[%]	
			2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.	2,5 %-Perz.	97,5 %-Perz.
Siedlungen_{total} ¹⁾		4.467,2	3.797,2	4.918,6	15,00	10,10
Mineralboden	CO ₂	1.322,1	1.167,0	1.477,2	11,73	11,73
	N ₂ O _{direkt}	33,11	8,83	93,09	73,34	181,17
	N ₂ O _{indirekt}	147,15	79,74	333,55	45,81	126,67
Organischer Boden	CO ₂	2.379,7	1.507,3	2.814,3	36,66	18,26
	N ₂ O	95,30	33,60	347,75	64,75	264,88
	CH ₄	69,57	43,89	109,96	36,91	58,06
Biomasse	CO ₂	-12,30	-10,36	-14,27	15,76	16,00
Streu/Totholz	CO ₂	432,69	325,08	540,30	24,87	24,87

1) Summe der Emissionen aus den CRF-Tabellen 4.E, 4.(II).H, 4.(III).E, 4.(IV).2

2) CRF-Tabelle 4.E

3) CRF-Tabelle 4.(III).E

4) Die kategoriespezifischen indirekten N₂O-Emissionen werden im CRF-Tabellenwerk nicht erfasst und dargestellt; sie sind Teil der in CRF-Tabelle 4.(IV).2 dargestellten Summe aller Unterkategorien

5) CRF-Tabelle 4.(II).H

Im Jahr 2019 betragen die Treibhausgasemissionen aus den Siedlungs- und Verkehrsgebieten Deutschlands infolge von Landnutzung und Landnutzungsänderung 4.467,2 kt CO₂ (Tabelle 449); Quelle für den größten Teil dieser Emissionen sind die Böden, die 99,6 % der Nettoemissionen der Landnutzungskategorie betragen, wobei die Emissionen aus den organischen (62,9 %) Böden dominieren (Mineralböden 37,1 %). Die Biomasse fungiert mit -12,3 kt CO₂-Eq. als Senke.

Gegenüber dem Basisjahr weisen die Emissionen im Jahr 2019 eine Nettozunahme von 1.893,5 kt CO₂-Eq. \cong 73,6 % (Abbildung 66, Abbildung 67). Der Trend ist zunehmend und wird vor allem durch die Umwidmung von Grünlandflächen, aber auch Wald und Ackerland, zu Siedlungszwecken geprägt. Während bezüglich der Flächennutzungsänderung von Grünland zu Siedlung die Emissionen aus den Mineralböden treibende Kraft der Zunahme sind, ist es bezüglich der Umnutzung von Ackerland die abnehmende Senkenfunktion durch die Biomasse. Insgesamt ist die Kategorie Siedlungen die dynamischste aller Landnutzungsformen und zeigt relativ die mit Abstand größte Zunahme der Nettoemissionen.

Die Kurvenverläufe der Zeitreihen, insbesondere die deutlichen Änderungen, sind vor allem auf die sich zu den entsprechenden expliziten Erhebungsterminen ändernden Flächendaten zurückzuführen (siehe Kapitel 6.3.5). Auch in der Kategorie Siedlungen zeigt sich der mehrfach beschriebene Übergang zwischen den unterschiedlichen Datenquellen; CORINE (1990 - 2000), B-DLM des ATKIS®(2000 - 2019) (s. Kapitel 6.3.2.2).

Abbildung 66: THG-Emissionen [kt CO₂-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Siedlungen von 1990 – 2019, dargestellt nach Unterkategorien

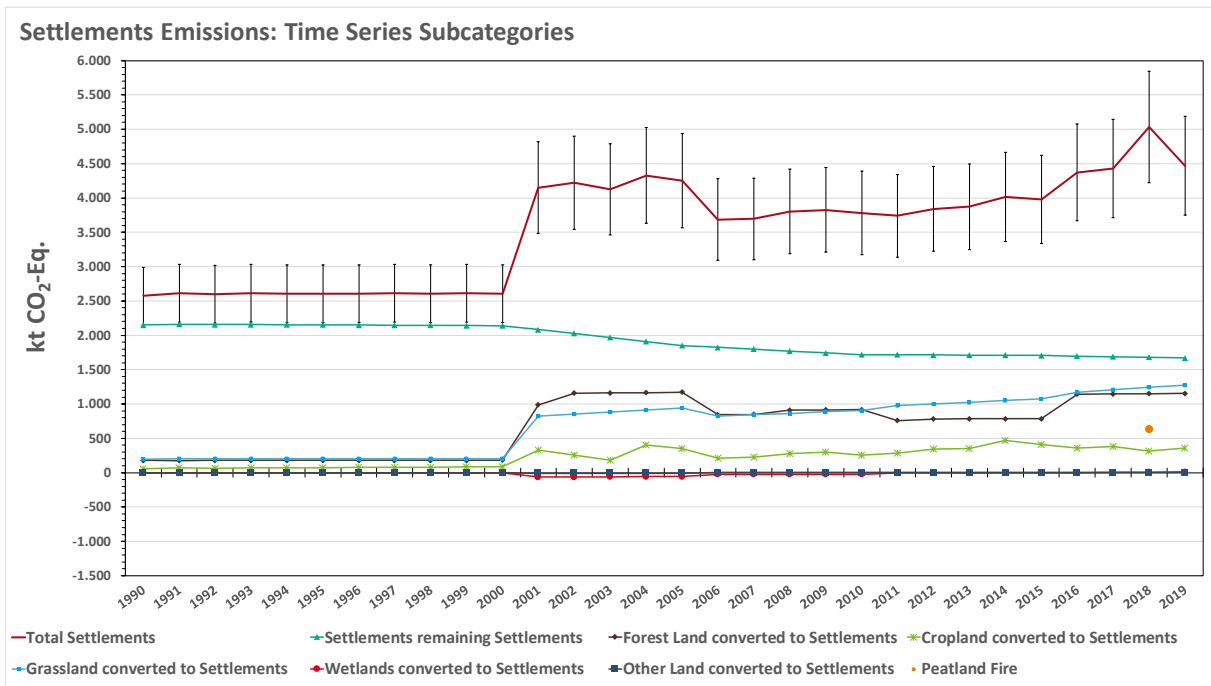
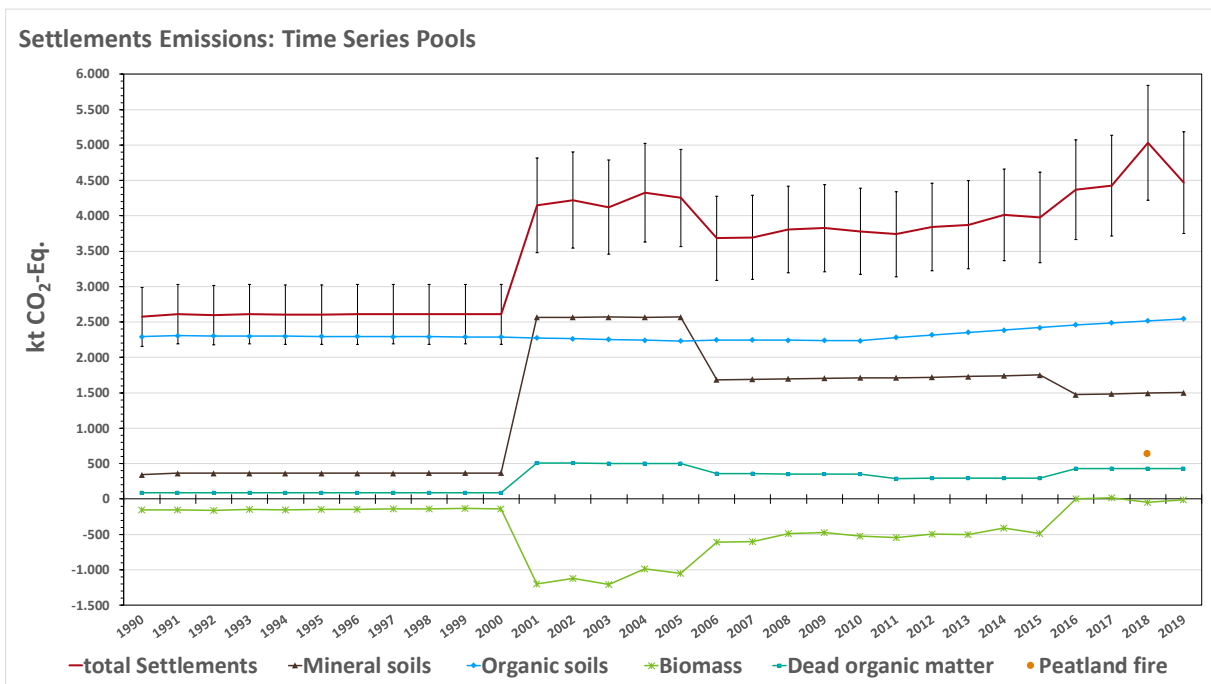


Abbildung 67: THG-Emissionen [kt CO₂-Eq.] infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung aus Siedlungen Deutschlands von 1990 – 2019, dargestellt nach Pools



6.8.2 Methodische Aspekte (4.E)

6.8.2.1 Datenquellen

Nähere Angaben zu Datenquellen sind unter Kapitel 6.3.2 zu finden.

6.8.2.2 Biomasse

Flächen im Siedlungs- und Verkehrsbereich weisen erhebliche Anteile an unversiegelten, mit Vegetation bedeckten Flächen auf. Stichprobenuntersuchungen des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung haben ergeben, dass der Anteil der überbauten und versiegelten Fläche an der ausgewiesenen Siedlungs- und Verkehrsfläche zwischen 40 – 50 % beträgt (Einig et al., 2009). Daher wird die begrünte Fläche im deutschen Inventar im Mittel auf 50 % der Siedlungsfläche festgelegt.

Da über die Biomasse bzw. den Kohlenstoffvorrat auf diesen Flächen keine spezifisch erhobenen Daten vorliegen, wird angenommen, dass die begrünte Fläche zur Hälfte aus Gehölzen, zur anderen Hälfte aus Grünflächen vergleichbar mit Grünland i. e. S. besteht. Diese Annahmen entsprechen in etwa den Werten, die in der Schweiz diesbezüglich zugrunde gelegt werden. Mit Methoden der Fernerkundung wurde hier der Anteil an Bäumen (32,1 %) und Büschen (15,3 %) am Pflanzenbedeckungsgrad mit 47,4 % ermittelt (FOEN, 2010). Da im Siedlungs- und Verkehrsbereich die Variation der anzutreffenden Gehölze sehr groß ist - vom Kleingartengehölz über Hecken jeglicher Ausstattung bis zu Straßen- und Waldbäumen, wurde bezüglich der Biomasse dieser Gehölze in dieser Landnutzungskategorie der landesspezifische Wert für Gehölze zugrunde gelegt. Daher werden für die Verbleibkategorie von Siedlungsflächen keine Kohlenstoffvorratsänderungen in der Gehölzmasse berichtet (NO in CRF-Tabelle 4.E.1 für lebende Biomasse und tote organische Substanz). Auch gelten die Berechnungsregeln im Sinne von Kapitel 6.6.2.2. Der Kohlenstoffvorrat für die Biomasse einer Siedlungsfläche ergibt sich dann nach Gleichung 49. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 450.

Gleichung 49:

$$C\text{-Vorrat}_{\text{Siedlungen}} = (C\text{-Vorrat}_{\text{Gehölze}} * 0,5 + C\text{-Vorrat}_{\text{Grünland i.e.S.}} * 0,5) * 0,5$$

Tabelle 450: Flächenbezogener Kohlenstoffvorrat [t C ha⁻¹] von Biomasse auf Siedlungsflächen (95%-Konfidenzintervall)

Siedlungen	Kohlenstoffvorrat [t C ha ⁻¹]		
	Bio _{total}	Bio _{oberirdisch}	Bio _{unterirdisch}
Siedlungen	12,49 (6,62 - 18,47)	9,12 (3,55 - 14,77)	3,38 (1,51 - 5,32)

6.8.2.3 Mineralische Böden

Bei verbleibenden Siedlungsflächen wird unterstellt, dass keine Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden auftreten. Bei Landnutzungsänderungen zu Siedlungen hingegen werden Kohlenstoffvorratsänderungen berichtet. Nähere Angaben zu den angewendeten Methoden sind unter Kapitel 6.1.2.1 zu finden. Die Herleitung und Verifizierung des Emissionsfaktors unter Berücksichtigung der versiegelten Fläche sind in Kapitel 6.1.2.1.6 aufgeführt.

6.8.2.4 Organische Böden

Für organische Böden in Siedlungsgebieten wird davon ausgegangen, dass sie drainiert sind. Da über die Drainage von organischen Böden in Siedlungen keine spezifisch erhobenen Daten vorliegen, wird angenommen, dass die Böden wie Grünland gedraint werden und der entsprechende Emissionsfaktor verwendet wird (Kapitel 6.6.2.4).

Bei Landnutzungsänderung zu Siedlungen wird sofort der Wert für verbleibende Siedlungen verwendet.

6.8.2.5 Flächenbrände

Anthropogen verursachte Flächenbrände, vergleichbar dem Moorbrand im Jahr 2018 (NIR 2020, Kap. 6.8.2.5), traten im Jahr 2019 nicht auf.

6.8.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.E)

Die Zeitreihenkonsistenz ist bezüglich der Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren gesichert.

Die Emissionsfaktoren und Unsicherheiten für die Landnutzungskategorie Siedlungen sind in Tabelle 451 und Tabelle 452 dargestellt mit Ausnahme des EF für CO₂ aus organischen Böden, der eine rechtssteile Verteilung aufweist, sind die anderen EF für CO₂ aus Böden i.d.R. normal, Lachgas und Methan durchgängig lognormal verteilt. Für die großen Unsicherheiten bezüglich der direkten und indirekten Stickstoffemissionen gelten die Ausführungen in Kapitel 6.5.3.

Die Unsicherheiten betragen für die Aktivitätsdaten in Abhängigkeit von der Flächengröße für das Jahr 2019 0,09 - 196 %. Die Gesamtunsicherheit für die Aktivitätsdaten der Siedlungskategorie beträgt 0,085 %.

Die Gesamtunsicherheit für die Landnutzungskategorie Siedlungen beträgt -15,0 % / +10,1% (95-% Perzentile) und wird hauptsächlich von den Emissionen aus den organischen Böden bestimmt.

Tabelle 451: Implizite Emissionsfaktoren und Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [in % vom Lagemaß] zur Berechnung der Treibhausgasemissionen aus Siedlungs- und Verkehrsflächen Deutschlands 2019, unterschieden nach Pools und Unterkategorien

Siedlungen Landnutzung _{vor} Mineralboden CO ₂ -C ¹²⁸	Fläche Landnutzung _{nach}	Emissionsfaktor [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	Schranken	
			obere [%]	untere [%]
Wald	Siedlungen	-0,44	22,07	22,07
Acker _{annuell}	Siedlungen	-0,22	18,82	18,82
Hopfen	Siedlungen	-0,55	21,78	21,78
Weinanbau	Siedlungen	-0,23	24,69	24,69
Obstanbau	Siedlungen	-0,21	22,55	22,55
sonstiges Ackerland _{perennierend}	Siedlungen	-0,70	21,78	21,78
Grünland i. e. S.	Siedlungen	-0,48	19,00	19,00
Gehölze	Siedlungen	-0,52	21,78	21,78
Terr. Feuchtgebiete	Siedlungen	-0,80	22,95	22,95
Gewässer	Siedlungen	0	18,74	18,74
Sonstige Flächen	Siedlungen	-0,08	48,34	94,73
Mineralboden N ₂ O _{direkt} ¹²⁹		[kg N ₂ O ha ⁻¹ a ⁻¹]	[%]	[%]
Wald	Siedlungen	0,091	99,99	289,81
Acker _{annuell}	Siedlungen	0,070	99,99	289,76
Hopfen	Siedlungen	0,179	99,99	287,27
Weinanbau	Siedlungen	0,077	99,99	291,42
Obstanbau	Siedlungen	0,067	99,99	289,87
sonstiges Ackerland _{perennierend}	Siedlungen	0,228	99,99	290,09
Grünland i.e.S.	Siedlungen	0,154	99,99	288,75
Gehölze	Siedlungen	0,173	99,99	290,09
Terr. Feuchtgebiete	Siedlungen	0,217	99,99	288,85

¹²⁸ Berechnung über 20 Jahre, Vorratsänderung: positiv ≙ Senke; negativ ≙ Quelle

¹²⁹ Berechnung über 20 Jahre, Emission: positiv ≙ Quelle; negativ ≙ Senke

Siedlungen Landnutzung _{vor}	Fläche Landnutzung _{nach}	Emissionsfaktor	Schranken	
			obere	untere
Mineralboden N₂O_{indirekt}¹³⁰		[kg N₂O ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Wald	Siedlungen	0,407	74,38	204,37
Acker _{annuell}	Siedlungen	0,312	73,44	204,29
Hopfen	Siedlungen	0,794	74,99	204,77
Weinanbau	Siedlungen	0,342	77,94	206,65
Obstanbau	Siedlungen	0,299	75,18	204,46
sonstiges Ackerland _{perennierend}	Siedlungen	1,012	74,99	204,77
Grünland i.e.S.	Siedlungen	0,683	72,39	202,86
Gehölze	Siedlungen	0,770	74,99	204,77
Terr. Feuchtgebiete	Siedlungen	0,964	74,02	203,01
Biomasse¹³¹		[kt C ha⁻¹ 1 a⁻¹]	[%]	[%]
Wald	Siedlungen	-1,43	23,55	23,64
Acker _{annuell}	Siedlungen	0,21	31,77	32,34
Hopfen	Siedlungen	0,62	33,23	33,83
Weinanbau	Siedlungen	0,23	31,53	32,07
Obstanbau	Siedlungen	-0,02	24,13	24,53
sonstiges Ackerland _{perennierend}	Siedlungen	-1,08	19,79	20,06
Grünland i. e. S.	Siedlungen	0,31	32,24	32,77
Gehölze	Siedlungen	-2,40	43,34	44,15
Terr. Feuchtgebiete	Siedlungen	-0,92	31,38	31,95
Gewässer	Siedlungen	0,96	47,00	47,87
Torfabbau	Siedlungen	2,71	47,00	47,87
Sonstige Flächen	Siedlungen	0,17	47,00	47,87
Tote organische Substanz¹³²		[kt C ha⁻¹ 1 a⁻¹]	[kt C ha⁻¹ 1 a⁻¹]	[%]
Wald	Siedlungen	-1,24	24,87	24,87

Tabelle 452: Unsicherheiten von Emissionsfaktoren [2,5 %- und 97,5%-Perzentil in % vom Lagemaß] aus organischen Böden für Siedlungen im Jahr 2019

Landnutzung	Treibhausgas	Emissionsfaktor	Schranken	
			untere	obere
Organischer Boden¹³³		[t CO₂-Eq. ha⁻¹ a⁻¹]	[%]	[%]
Siedlungen	CO ₂	27,13	55,35	28,41
Siedlungen	CH ₄	0,58	46,88	258,59
Siedlungen	N ₂ O	1,26	99,38	222,68

6.8.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.E)

Details zu den diesjährigen Prüfungen finden sich in Kapitel 6.1.3.

Die zur Erstellung dieses Inventars verwendeten Datenquellen erfüllen die Prüfkriterien des QSE – Handbuchs für Datenquellen. Intern wird die Prozessierung von Daten nach Thünen-Institut (2012) überprüft. Bezüglich der Qualitätssicherung der Eingangsdaten (ATKIS®, BÜK, Officialstatistik) wird auf die Datenhalter verwiesen (Dokumentation in der Inventarbeschreibung).

Die Ergebnisse der Emissionsberechnung der aktuellen Berichterstattung können mit anderen Datenquellen für Deutschland nicht verglichen werden, da solche flächendeckend, umfassend und unabhängig von den hier aufgeführten Methoden und Datenquellen nicht existieren.

Die folgenden Tabellen vergleichen die mittleren Emissionsfaktoren der Kategorie Siedlungen mit denen europäischer Nachbarländer. Für diesen Vergleich wurden Werte aus den Submissionen 2020 der Nachbarstaaten an das Sekretariat der Klimarahmenkonvention verwendet. Die Werte für Deutschland stammen aus der vorliegenden Submission 2021.

¹³⁰ Berechnung über 20 Jahre, Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke

¹³¹ Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung, Vorratsänderung: positiv \triangleq Senke; negativ \triangleq Quelle

¹³² Berechnung nur im ersten Jahr der Landnutzungsänderung, Vorratsänderung: positiv \triangleq Senke; negativ \triangleq Quelle

¹³³ Berechnung jährlich, Emission: positiv \triangleq Quelle; negativ \triangleq Senke

Nur Deutschland, die Schweiz, die Niederlande und Großbritannien berichten CO₂-Emissionen aus drainierten organischen Böden in Siedlungsflächen. Die mittleren Emissionsfaktoren sind auf die Gesamtsiedlungsfläche bezogen, so dass sie u.a. den Flächenanteil organischer Böden widerspiegeln. Weitere Kohlenstoffquellgruppen werden im deutschen Inventar nur bei Landnutzungsänderungen zu Siedlungsflächen berechnet (4.E.2). Die Emissionen aus Böden stellen in diesen Subkategorien eine Quelle dar, Ausnahme ist in allen Ländern die Konversion von Sonstigem Land zu Siedlungen. Der IEF für Biomasse der aktuellen Submission weisen die Übergangskategorien insgesamt als schwache Quelle aus; Ursache hierfür ist die Dominanz des IEF der Übergangskategorie von Wald. In allen anderen Fällen stellt der Übergang zu Siedlung bezüglich Biomasse in Deutschland eine Senke dar. In diesen Subkategorien ist die Variation in den Nachbarländern sehr groß (von Quelle bis Senke); lediglich die Entwaldung fungiert in allen Ländern als Quelle.

Tabelle 453: Kohlenstoffvorratsveränderung der lebenden Biomasse in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.E.1. - Settlements Remaining Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2 - Land Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.1 - Forest Land Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.2 - Cropland Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.3 - Grasslands Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.4 - Wetlands Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.5 - Other Land Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	NO	-0,28	-2,79	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NO	-0,21	-2,42	-0,10	-0,32	-0,55	NO
Frankreich	-0,03	-0,69	-3,78	-0,03	-0,34	NE	NE
Großbritannien	NO	-0,25	-4,35	-0,11	-0,03	-3,18	NO
Niederlande	NA	-0,91	-6,43	-0,21	-0,63	NO,NE	NO,NE
Österreich	NO	0,49	-0,80	0,57	0,56	NO	NO
Polen	0,05	-0,82	-1,73	-0,04	-2,20	NO	NO
Schweiz	0,00	-0,52	-4,56	-0,17	-0,14	0,12	0,02
Tschechische Republik	NO	-0,26	-2,85	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2018	0,00	-0,05	-2,39	0,24	0,07	0,98	0,10
Deutschland 2019	NO	0,003	-1,43	0,20	0,06	0,72	0,17

positiv: Kohlenstoffsенке; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 454: Kohlenstoffvorratsveränderung der toten organischen Masse in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.E.1. - Settlements Remaining Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2 - Land Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.1 - Forest Land Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.2 - Cropland Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.3 - Grasslands Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.4 - Wetlands Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.5 - Other Land Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	NO	-0,06	-0,59	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NO	-0,11	-2,70	NO	NO	NO	NO
Frankreich	NE	-0,06	-0,46	NE	NE	NE	NE
Großbritannien	NO	-0,05	-1,24	IE,NA	NO,IE	-0,37	NO
Niederlande	NA	-0,14	-1,97	NA	NA	NA	NA
Österreich	NO	-0,03	-0,56	NO	NO	NO	NO
Polen	NO	0,00	-0,03	NO	NO	NO	NO
Schweiz	NO	-0,08	-0,90	NO	NO	NO	NO
Tschechische Republik	NO	-0,01	-0,06	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2018	IE	-0,08	-1,38	IE	IE	IE	NO
Deutschland 2019	IE	-0,11	-1,24	IE	IE	IE	IE

positiv: Kohlenstoffsенке; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 455: Kohlenstoffvorratsveränderung der mineralischen Böden in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.E.1. - Settlements Remaining Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2 - Land Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.1 - Forest Land Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.2 - Cropland Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.3 - Grasslands Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.4 - Wetlands Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.5 - Other Land Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	NO	-1,03	-2,21	NO	-1,60	-2,35	NO
Dänemark	NO	-1,03	-1,66	-0,99	-1,74	0,00	NO
Frankreich	NE	-0,97	-1,57	-0,16	-1,62	NO	NE
Großbritannien	-0,41	-3,22	-6,31	-1,89	-3,68	NO	NO
Niederlande	NA	-0,20	-0,39	0,51	-0,51	-0,30	2,17
Österreich	NO	-1,19	-2,91	-0,52	-1,52	NO	NO
Polen	NO	-1,68	-0,91	-1,69	-2,56	NO	NO
Schweiz	0,06	-0,51	-0,96	-0,35	-0,53	0,16	0,44
Tschechische Republik	NO	-0,14	-0,37	-0,05	-0,44	NO	NO
Deutschland 2018	0,00	-0,59	-0,16	-0,20	-1,16	-0,18	0,15
Deutschland 2019	NO	-0,35	-0,44	-0,22	-0,48	-0,03	-0,08

positiv: Kohlenstoffsенке; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 456: Kohlenstoffvorratsveränderung der organischen Böden in Siedlungen verschiedener Länder (Deutschland für 2018 & 2019, übrige Länder für 2018)

Land	4.E.1. - Settlements Remaining Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2 - Land Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.1 - Forest Land Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.2 - Cropland Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.3 - Grasslands Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.4 - Wetlands Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]	4.E.2.5 - Other Land Converted To Settlements [t C ha ⁻¹ a ⁻¹]
Belgien	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Dänemark	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Frankreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Großbritannien	-3,97	-6,44	-7,90	NO,IE	-5,00	-7,90	NO
Niederlande	-4,16	-4,06	-3,80	-3,96	-4,10	-3,96	-3,19
Österreich	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Polen	-1,00	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Schweiz	-2,53	-5,23	-6,88	-5,24	-5,19	-5,76	NO
Tschechische Republik	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Deutschland 2018	-7,4	-7,4	-7,4	-7,4	-7,4	-7,4	-7,4
Deutschland 2019	-7,21	-7,25	-6,68	-7,61	-7,13	-7,30	-6,78

positiv: Kohlenstoffsенke; negativ: Kohlenstoffquelle; Quelle: (UNFCCC, 2020b)

6.8.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.E)

Mit der diesjährigen Submission werden quellenspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2019 vorgelegt. Ursache für die Neuberechnung der Emissionen waren neue, verbesserte Datenquellen, Methodenänderungen und Fehlerkorrekturen im Rahmen der Verbesserung des Inventars. Auswirkungen auf die Ergebnisse der Emissionsberechnungen für die Landnutzungskategorie Siedlungen hatten folgende Maßnahmen:

- Implementierung einer neuen Methode zur Berechnung der Emissionen aus organischen Böden in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand (Kapitel 6.1.2.2ff)
- Modifikation der Methode zur Erhebung der Flächen von Entwässerungsgräben für organische Böden (Kapitel 6.1.2.2.1)
- Einführung einer neuen Methode zur Berechnung von Mineralbodenemissionsfaktoren infolge Landnutzungsänderungen von/zu Siedlungen sowie damit verbunden die Einführung neuer Emissionsfaktoren (s. Kapitel 6.1.2.1.6)
- Einführung neuer Emissionsfaktoren für die Biomasse von Wald (s. Kapitel 6.1.2.3.4ff und Kapitel 6.4.2.2)
- Einführung neuer Emissionsfaktoren für Totholz (s. Kapitel 6.4.2.3)

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubvention findet sich für die Kategorie Siedlungen in Tabelle 457 (Flächen) und Tabelle 458 (Emissionen).

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind zum einen auf die Änderung der Methode zur Erfassung der Fläche von Entwässerungsgräben organischer Böden zurückzuführen; zum anderen auf Korrekturalgorithmen, die eine Konsistenz der Flächennutzungszeitreihen mit den neu hinzugekommen Daten des letzten Zeitreihenjahres gewährleisten. Es wird davon ausgegangen, dass neueste Daten die beste Qualität haben und daher die vorangegangene Zeitreihe, falls notwendig, angepasst (s. auch Kapitel 6.3ff).

Die Unterschiede zwischen der aktuellen und der Vorjahressubmission gründen bezüglich des CO₂ zum größten Teil auf den Änderungen der Methodik zur Bestimmung der Emissionen aus Mineralböden. Infolge dieser sind im Siedlungsbereich die CO₂-Emissionen aus Mineralböden deutlich geringer als in der Vorjahressubmission. Die geringere Mineralisierung organischer Bodensubstanz beeinflusst auch die N₂O-Emissionen; diese zeigen sich in der aktuellen Submission geringer als im Vorjahr. Der Einfluss der Modifikation der Methode zur Berechnung der Emissionen aus der organischen Substanz ist in der Landnutzungskategorie Siedlungen gering. In Tabelle 458 zeigt sich lediglich eine Zunahme der Methanemissionen in der aktuellen gegenüber der Vorjahressubmission; diese ist aber auch auf die verbesserte Erfassung der Entwässerungsgrabenflächen zurückzuführen.

Tabelle 457: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Siedlungen (4.E)

CRF-Nr	Area [kha]	Sub- mission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.E	Settlement	2020	3.843,61	3.859,80	3.875,98	4.124,31	4.311,86	4.497,95	4.533,20	4.561,56	4.589,92
		2021	3.842,00	3.858,30	3.874,59	4.122,81	4.286,05	4.501,28	4.529,34	4.557,41	4.585,46
		Differenz	-1,60	-1,50	-1,39	-1,50	-25,81	3,33	-3,86	-4,14	-4,46
		in %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	-0,6%	0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%

Tabelle 458: Vergleich der Treibhausgasemissionen [kt CO₂-eq] aus der Kategorie Siedlungen (4.E) der aktuellen und der Vorjahressubmission

CRF-Nr	THG	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	
4.E	CO ₂	2020	2.632,88	2.645,11	2.614,12	3.347,50	3.798,73	4.287,93	4.384,44	4.484,81	4.587,66	
		2021	2.429,08	2.429,97	2.433,25	4.697,15	3.430,93	3.612,79	4.040,08	4.091,21	4.599,46	
		Differenz	-203,80	-215,13	-180,87	1.349,65	-367,80	-675,14	-344,36	-393,60	11,79	
		in %	-8,4%	-8,9%	-7,4%	28,7%	-10,7%	-18,7%	-8,5%	-9,6%	0,3%	
		CH ₄	2020	46,61	46,32	46,04	45,43	45,91	48,92	49,55	50,05	50,55
			2021	47,97	46,51	45,35	56,19	58,68	63,73	63,73	65,75	159,98
	Differenz		1,36	0,18	-0,69	10,76	12,77	14,81	14,17	15,70	109,43	
	in %	2,8%	0,4%	-1,5%	19,2%	21,8%	23,2%	22,2%	23,9%	68,4%		
	N ₂ O	2020	166,12	169,22	165,91	271,78	332,41	387,14	397,69	409,23	421,11	
		2021	96,71	129,96	129,61	396,33	291,38	303,75	268,55	271,12	584,91	
		Differenz	-69,41	-39,25	-36,30	124,55	-41,03	-83,39	-129,14	-138,11	163,80	
	in %	-71,8%	-30,2%	-28,0%	31,4%	-14,1%	-27,5%	-48,1%	-50,9%	28,0%		

6.8.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.E)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

6.9 Sonstiges Land (4.F)

6.9.1 Beschreibung der Kategorie (4.F)

Da es sich bei den unter der Kategorie „Sonstiges Land“ geführten Flächen per Definition um vom Menschen nicht bewirtschaftetes Land handelt, werden nur die Flächengrößen zur Vervollständigung der Flächenmatrix aufgeführt. Emissionen im Sinne der IPCC Richtlinien können nicht auftreten und damit nicht berichtet werden. Daher findet sich der Vermerk NO in allen Rubriken der CRF-Tabelle 4.F mit Ausnahme des Feldes für die Fläche der Verbleibkategorie.

6.9.2 Methodische Aspekte (4.F)

Sonstige Flächen werden nur als Ausgangskategorie von Landnutzungsänderungen zu anderen Kategorien in der Emissionsberechnung berücksichtigt. Rückumwandlungen zu Sonstigen Flächen finden nicht statt, da definitionsgemäß einmal genutztes Land nicht mehr in eine ungenutzte Landnutzungskategorie überführt werden kann.

Die Kohlenstoffvorräte in den Kategorien Biomasse und toter organischer Substanz in Sonstigen Flächen sind Null.

Die Kohlenstoffvorräte in Mineralböden in Sonstigen Flächen sind in Kapitel 6.1.2 ausgewiesen.

Organische Böden in Sonstigen Flächen sind nicht drainiert.

6.9.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.F)

Die Bestimmung der Unsicherheiten für Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten erfolgten gemäß der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006). Nähere Erläuterungen hierzu finden sich in Kapitel 6.1.2.1.

Die Zeitreihe ist vollständig und konsistent.

6.9.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.F)

Details zu den diesjährigen Prüfungen finden sich in Kapitel 6.1.3.

6.9.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.F)

Mit der diesjährigen Submission werden quellenspezifische Rückrechnungen für den gesamten Berichtszeitraum von 1990 – 2019 vorgelegt. Ursache für die Neuberechnung der Flächen waren neue, verbesserte Datenquellen, Methodenänderungen und Fehlerkorrekturen im Rahmen der Verbesserung des Inventars. Auswirkungen auf die Ergebnisse der Flächenberechnungen für die Landnutzungskategorie Sonstiges Land hatte folgende Maßnahme:

- Modifikation der Methode zur Erhebung der Flächen von Entwässerungsgräben für organische Böden (Kapitel 6.1.2.2.1)

Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der aktuellen Rückrechnung mit denen der Vorjahressubmission findet sich für die Flächen der Kategorie Sonstiges Land in Tabelle 459.

Geringe Unterschiede zwischen den Flächendaten der aktuellen und der Vorjahressubmission sind im Wesentlichen auf Korrekturalgorithmen zurückzuführen, die eine Konsistenz der Flächennutzungszeitreihen mit den neu hinzugekommenen Daten des letzten Zeitreihenjahres gewährleisten. Es wird davon ausgegangen, dass neueste Daten die beste Qualität haben und daher die vorangegangene Zeitreihe, falls notwendig, angepasst (s. auch Kapitel 6.3 ff).

Tabelle 459: Vergleich der Flächendaten [kha] der aktuellen und der Vorjahressubmission der Kategorie Sonstiges Land

CRF-Nr	Area [kha]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
4.F	Other Land	2020	68,08	62,77	57,47	47,38	41,11	38,43	38,15	37,51	36,89
		2021	67,76	62,44	57,14	46,06	41,22	38,66	38,13	37,60	37,07
		Differenz	-0,32	-0,33	-0,33	-1,32	0,11	0,23	-0,02	0,09	0,19
		in %	-0,5%	-0,5%	-0,6%	-2,9%	0,3%	0,6%	-0,1%	0,2%	0,5%

6.9.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.F)

Entfällt, da in dieser Kategorie keine Treibhausgasquellen und -senken berichtet werden.

6.10 Holzprodukte (4.G)

6.10.1 Beschreibung der Kategorie (4.G)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	4 G, Harvested Wood Products		CO ₂	-1.330,4	-0,1	-4.150,5	-0,5	212,0 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CO ₂	CS/Tier 2	IS/NS	D

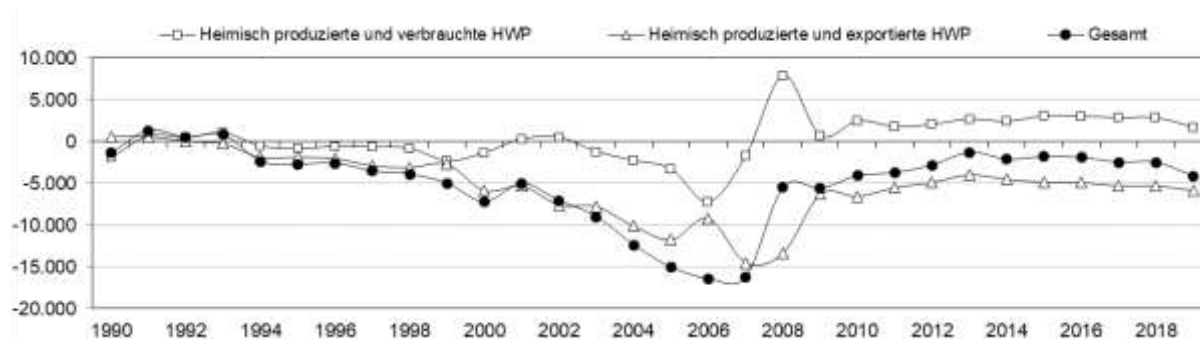
Die Kategorie Holzprodukte ist eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

Wie in den Vorjahren, wurde die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten in Deutschland zu den Emissionen nach Quellen und Einbindungen nach Senken von Treibhausgasen im Landnutzungssektor in dem Modell WoodCarbonMonitor mit einem Berechnungsansatz auf Basis der Daten zur Produktion von Holzprodukten vorgenommen. Die Abschätzung umfasst alle in Deutschland produzierten Holzprodukte, deren Holz aus heimischem Einschlag stammt und die stofflich genutzt werden.

Aus Konsistenzgründen folgt die Berechnung den methodischen Vorgaben des Kapitels 2.8 des 2013 IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a), da gemäß der Fußnote 12 im Tabellenblatt 4.G s1 des Gemeinsamen Berichterstattungsformats im Annex II der Entscheidung 24/CP.19 über die Überarbeitung des gemeinsamen Berichterstattungsformats¹³⁴ (UNFCCC, 2014) für den auf Produktionsdaten basierenden und hier verwendeten Ansatz (Ansatz B) neben den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) auch andere IPCC Leitlinien genutzt werden können, die diesen Ansatz widerspiegeln. Die in den Regeln des 2013 IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) beschriebenen Systemgrenzen zur Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten entsprechen den Systemgrenzen des in Tabelle 12.1 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) mit der Variable 2A umschriebenen Ansatzes (Produktionsansatz für stofflich genutzte Holzprodukte).

Um eine transparente Darstellung zu gewährleisten, werden die stofflich genutzten Holzprodukte gemäß Berichterstattungstabelle 4.Gs1 unterschieden in Produkte, welche nach ihrer Herstellung in Deutschland verbraucht werden, und in Produkte, die anschließend exportiert werden. Eine Kohlenstoffspeicherwirkung von Holz in Deponien wird nicht berücksichtigt. Die Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen wird in Deutschland ausschließlich energetisch (siehe Kategorie 1.A, Kapitel 3.2) genutzt und deshalb nicht unter Holzprodukte (HWP) berichtet.

Abbildung 68: Netto CO₂-Emissionen und Einbindungen in Holzprodukten [kt CO₂]



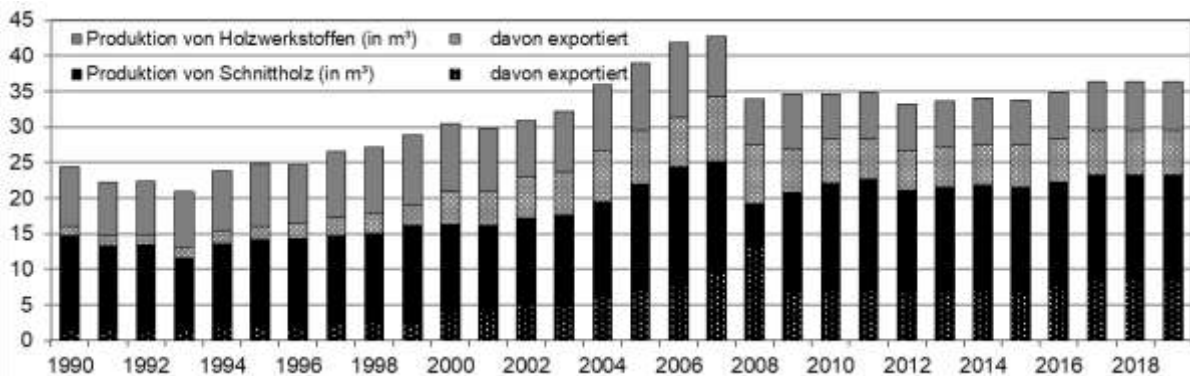
¹³⁴ Fußnote 12 des CRF-Tabellenblatts 4.G s1

6.10.2 Methodische Aspekte (4.G)

6.10.2.1 Aktivitätsdaten

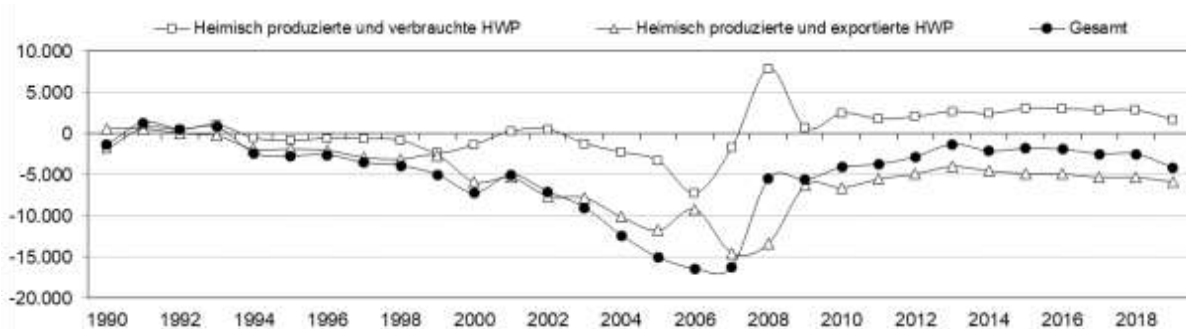
Abbildung 69 zeigt die Entwicklung der Produktionsmengen der Holzhalbwarengruppen Schnittholz und Holzwerkstoffe, getrennt nach den in Deutschland verbleibenden (Produktion abzüglich Export) und den exportierten Holz mengen (Export) seit 1990 nach den Daten der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (FAO, 2020b). Diese Zeitreihen entsprechen den in den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) vorgeschlagenen Daten für die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten auf Basis einer Tier-1-Berechnung (Kap. 12.2.1, IPCC (2006): 12.9).

Abbildung 69: In Deutschland produziertes Schnittholz und Holzwerkstoffe [Mm³] (FAO, 2020b)



Gemäß der IPCC Leitlinien wurde zunächst der Rohstoffanteil der Holzprodukte aus heimischem Holzeinschlag berechnet. Dafür wurde in einem ersten Schritt die nationale Holzeinschlagstatistik (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.3.1), die den jährlichen Rohholzeinschlag um circa 30 % unterschätzt, mit den Daten aus den Waldinventuren über den Abgang von Derbholz aus den Wäldern (vgl. Kapitel 6.4.2.1.1) kalibriert (Abbildung 70). Gründe für die statistische Unterschätzung des Einschlags liegen sowohl in abhanden gekommenem bzw. ungenutztem Rohholz als auch in der Erzeugung von Brennholz z.B. durch private Haushalte (Selbstwerber), das nicht statistisch erfasst wird. Details über die weitere Verwendung der inventurdatenkalibrierten Zeitreihe zum Rohholzeinschlag gemäß der Bestimmungen des IPCC et al. (2014a) finden sich in RÜTER (2017).

Abbildung 70: Nationale Holzeinschlagstatistik und ihre Kalibrierung mittels Daten zum Derbholzverlust aus den Waldinventurdaten, (Statistisches Bundesamt, FS 3, R 3.3.1) und Kapitel 6.4.2.1.1)



In einem zweiten Schritt wurde ein heimischer Rohstofffaktor $f_{DP}(i)$ bestimmt, der für die Halbwarenkategorien Schnittholz und Holzwerkstoffe auf den FAO-Daten zur

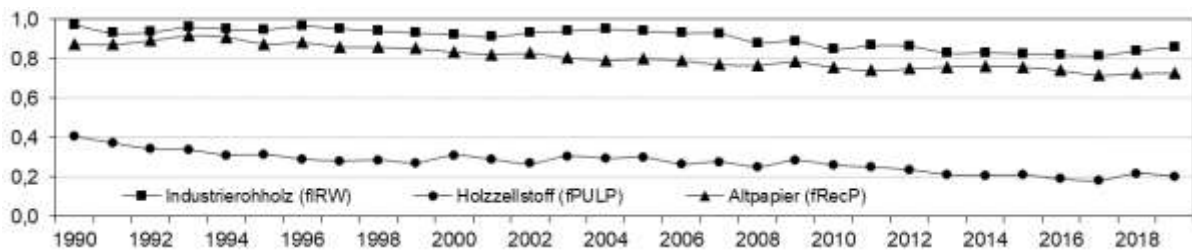
Holzrohstoffkategorie Industrierohholz (industrial roundwood) basiert. Für die Berechnung des aus heimischem Einschlag stammenden Anteils der Produktkategorie Papier und Pappe, wurde neben der im 2013 IPCC KP Supplement IPCC et al. (2014a) vorgeschlagenen Rohstoffkategorie Holzzellstoff (wood pulp) auch die Verwendung von Altpapier bei der Papierherstellung berücksichtigt, da sich der Anteil von Altpapier in Papier und Pappe in Deutschland auf über 70% beläuft. Ebenso wie in den vorherigen Berichtsjahren wurde der Anteil p von Altpapier in Papierprodukten über das Verhältnis des rechnerischen Verbrauchs von Holzzellstoff und Altpapier in Deutschland ermittelt (vgl. Kap. 6.10.5).

Neben den Faktoren für Industrierohholz (f_{IRW}) und Holzzellstoff (f_{PULP}), die gemäß der Gleichungen 2.8.1 und 2.8.2 des 2013 IPCC KP Supplement berechnet wurden (IPCC et al. (2014a): 2.115), wurde auf Basis der gleichen Vorgehensweise mit Hilfe von FAO Daten ein weiterer Faktor für Altpapier (recovered paper) ermittelt (f_{RecP}) (Abbildung 71). Dieser wurde bei der Berechnung der aus heimischem Einschlag stammenden Produktanteile mit Hilfe der Gleichung 2.8.4 des 2013 IPCC KP Supplement (IPCC et al. (2014a): 2.118) für die HWP-Kategorie 'Papier und Pappe' mit

$$f_{DP}(i) = \{f_{IRW}(i) * (1 - p) * f_{PULP}(i)\} + p * f_{RecP}(i)$$

berücksichtigt.

Abbildung 71: Entwicklung des heimischen Rohstofffaktors $f_{DP}(i)$ der berücksichtigten Rohstoffkategorien (FAO, 2020b)



Abschließend wurde der in den Produkten enthaltene Kohlenstoff den jeweiligen Landnutzungsklassen zugeordnet, aus dem der Rohstoff stammt (IPCC et al. (2014a): Kap. 2.8.1.2). Hierfür lässt sich die inventurdatenkalibrierte Einschlagsmenge an Rohholz der verbleibenden Waldfläche (Quellgruppe 4.A.1, Kapitel 6.2.1) und den Flächen, die einer Landnutzungsänderung von Wald in andere Kategorien unterliegen, zuordnen (s. Tabelle 460), zuordnen. Holzprodukte aus Entwaldung werden gemäß den Vorgaben des IPCC auf Basis einer sofortigen Emission berücksichtigt (vgl. Kap. 2.8.3, IPCC et al. (2014a)), so dass sich als Ergebnis der für Deutschland verfügbaren Inventurinformationen und der Gleichung 2.8.3 (IPCC et al. (2014a): 2.116) die jährlichen Holzeinschlagsanteile aus bewirtschafteten Waldflächen $f_{FM}(i)$ berechnen.

Tabelle 460: Jährlicher Anteil des Einschlags aus verbleibender Waldfläche

Zeitraum	$f_{FM}(i)$
1990 – 2002	0,98989
2003 – 2007	0,99202
2008 – 2012	0,98881
2013 – 2017	0,98137

6.10.2.2 Emissionsfaktoren

Für die Berechnung der Kohlenstoffabflüsse aus dem Kohlenstoffspeicher, werden die in Tabelle 2.8.2 des 2013 IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) gelisteten Standardwerte verwendet, welche auf den in Tabelle 3a.1.3 der 2003 IPCC GPG (IPCC, 2003) genannten Werten beruhen.

6.10.2.3 Verwendete Berechnungsmethode

Für die Berechnung des Beitrags der stofflichen Holznutzung zur verzögerten Freisetzung von CO₂-Emissionen auf Basis von Kohlenstoffspeicheränderungen verwendet Deutschland die in den IPCC Leitlinien beschriebene exponentielle Zerfallsfunktion für die in Tabelle 2.8.1 des 2013 IPCC KP Supplement beschriebenen Produktkategorien. Dies entspricht der in den 2006 IPCC Leitlinien beschriebenen Standardmethode (Gleichung 12.1, IPCC (2006):12.11) bzw. der unter Tier 2 beschriebenen Standardmethode im 2013 IPCC KP Supplement (Gleichung 2.8.5). Für die Kohlenstoffumrechnung werden für die Produktkategorien „Holzwerkstoffe“ die detaillierten und für die Kategorie „Papier und Pappe“ der aggregierte Wert der in Tabelle 2.8.1 enthaltenen Faktoren verwendet (IPCC et al., 2014a). Die Kohlenstoffmengen in den Produktkategorien ‚Laub- und Nadelschnittholz‘ werden auf Basis der in Rüter (2011) beschriebenen Faktoren berechnet (vgl. auch UNFCCC (2011)), um die in Deutschland typischerweise verwendeten Holzarten bei der Schnittholzerstellung zu reflektieren. Für Nadelschnittholz beträgt der Faktor 0,225 Mg C/m³ und für Laubschnittholz 0,335 t C/m³.

Da erst seit der Wiedervereinigung Deutschlands im Jahr 1990 Zeitreihen zu Holzprodukten und den verwendeten Rohstoffkategorien mit ausreichender Datenqualität vorliegen und um mit den Daten verbundene Unsicherheiten zu reduzieren, wird der Anfangswert des Kohlenstoffspeichers in Holzprodukten auf Basis der Gleichung 2.8.6 (IPCC et al., 2014a) mit $C(t_0) = 1990$ berechnet.

Weitergehende detaillierte Informationen zur verwendeten Methodik finden sich in RÜTER (2017).

6.10.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (4.G)

Die Zeitreihen für die Aktivitätsdaten zu Holzprodukten aus der Datenbank der FAO sind konsistent und für die gesamte Berichtsperiode verfügbar. Die Unsicherheiten dieser Zeitreihen belaufen sich nach Angaben in dem entsprechenden Kapitel des 2103 IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) auf -25/+5 % (siehe auch Kapitel 11.3.1.5.3).

6.10.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (4.G)

Mit dem Berechnungsmodell WoodCarbonMonitor wurde bereits in 2011 der Beitrag von Holzprodukten zum Referenzwert für die zweite Verpflichtungsperiode unter dem Kyoto-Protokoll auch für weitere EU Mitgliedsstaaten ermittelt. Nach einem Abgleich mit nationalen Daten und z. T. vorhandenen Modellen, verwendeten 16 weitere Länder die Daten zur Submission an das Klimasekretariat (Belgien, Bulgarien, Dänemark, Estland, Frankreich, Griechenland, Italien, Lettland, Litauen, Niederlande, Polen, Rumänien, Slowakei, Spanien, Tschechische Republik und Ungarn), wo sie in der Folge zusammen mit dem Modell und den

zugrundeliegenden Annahmen von einem internationalen Expertenteam evaluiert wurden (Rüter (2011) und UNFCCC (2011)).

Die in der Folge notwendige Anpassung der gemeldeten Zeitreihen an die beschlossenen Berechnungsregeln für Holzprodukte gemäß Entscheidung 2/CMP.7 wurde im Rahmen der Erstellung des Kapitels 2.8 'Harvested Wood Products' im 2013 IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) ebenfalls mit dem Modell begleitet (Rüter et al. (2014) und RÜTER (2017), s. Kapitel 3.2.2, 4.4 und Anhang).

Im Rahmen der Evaluierung der Referenzwert-Projektionen der EU Mitgliedsstaaten gemäß VO 2018/841 (European Parliament and Council of the European Union, 2018) wurde das Modell in 2019 wiederholt in Kombination mit dem Modell G4M verwendet, um im Auftrag der EU Kommission einen Abgleich der länderspezifischen Holzprodukte-Berechnungen inklusive der zugrundeliegenden Daten und Annahmen vornehmen zu können (Forsell et al. (2018) und Forsell et al. (2019)).

Weitere allgemeine Informationen zu der auch für Holzprodukte durchgeführten Qualitätskontrolle (QK) und Qualitätssicherung (QS) finden sich in Kapitel 10.4.

6.10.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (4.G)

Ebenso wie in den vorangegangenen Jahren wurden auch im laufenden Berichtsjahr die im Vorjahr verwendeten Statistikdaten der FAOSTAT 2019 für mehrere Produktkategorien korrigiert (vgl. FAO (2020b)), da die in der Produktionsstatistik enthaltenen Werte des jeweils aktuellen Meldejahres (d.h. hier 2019 in FAO (2020b)) immer nur vorläufiger Natur sind und erst im darauffolgenden Jahr als endgültige Werte vorliegen. Zugleich wurde die Zeitreihe zur Rundholzproduktion in der FAOSTAT rückwirkend bis zum Jahr 1995 korrigiert (vgl. Kapitel 6.4.2.1.1). Dies wirkt sich auf die Berechnung des Rohstofffaktors für Rundholz ($f_{IRW}(i)$, vgl. Abbildung 69) und damit auf die ermittelten Netto-Emissionszeitreihen aus.

Die entsprechenden Änderungen gegenüber dem Vorjahr sind in Tabelle 461 abgebildet.

Tabelle 461: Gegenüberstellung der HWP Netto-CO₂-Emissionen in den Submissionen 2020 und 2021

Netto-Emissionen [kt CO ₂]	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
aus exportierten Holzwerkstoffen	-389	-2.707	-5.136	-1.769	-1.838	-1.769	-1.996	-1.870
aus heimischen Holzwerkstoffen	-694	-1.102	-1.486	2.667	2.598	2.268	2.277	2.231
Sub.2020 aus exportiertem Papier und Pappe	-1.017	-1.248	-2.190	-817	-417	-91	40	-154
aus heimischem Papier und Pappe	-188	-346	-359	264	434	567	602	609
aus exportiertem Schnittholz	-408	-1.922	-4.410	-3.181	-2.589	-3.027	-3.339	-3.823
aus heimischem Schnittholz	7	122	-1.462	-454	29	142	-39	-233
aus exportierten Holzwerkstoffen	-390	-2.691	-5.179	-2.567	-1.824	-1.756	-1.983	-1.840
aus heimischen Holzwerkstoffen	-699	-1.066	-1.535	2.653	2.619	2.287	2.296	62
Sub.2021 aus exportiertem Papier und Pappe	-1.018	-1.236	-2.195	-817	-462	-69	29	162
aus heimischem Papier und Pappe	-189	-333	-361	265	412	587	601	-126
aus exportiertem Schnittholz	-409	-1.911	-4.447	-3.207	-2.578	-3.017	-3.329	-3.902
aus heimischem Schnittholz	1	160	-1.526	-503	51	163	-18	-287

6.10.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (4.G)

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

6.11 Andere Bereiche (4.H)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2018 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2018
-/-	4.H. Other	0	N ₂ O				%	%

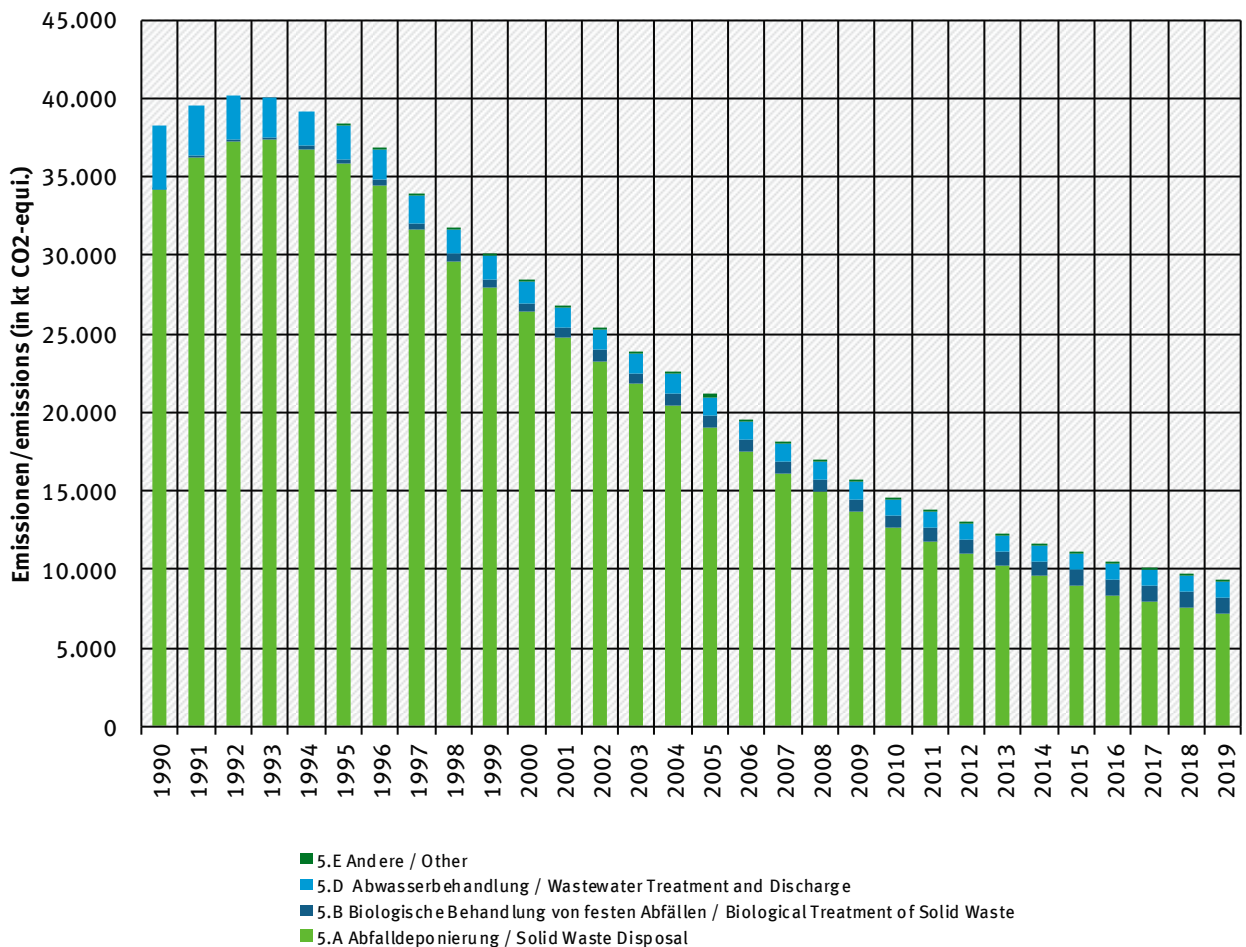
Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
-	-	-	-

Unter 4.H werden behelfsmäßig N₂O-Emissionen, die durch die Bewirtschaftung organischer Böden verursacht werden, aus der Kategorie *Settlements* (28.399,4 kt CO₂-Eq. für 2019) für Tabelle 4 (II) berichtet, da die CRF-Tabellen des CRF Reporters diese so nicht vorsehen. CO₂- und CH₄-Emissionen werden behelfsmäßig als included elsewhere (IE) in Tabelle 4 E berichtet. Die Ergebnisse werden im vorliegenden NIR im Kapitel Siedlungen ausgeführt (Kapitel 6.8.1).

7 Abfall und Abwasser (CRF Sektor 5)

7.1 Übersicht (CRF Sektor 5)

Abbildung 72: Übersicht über die Treibhausgas-Emissionen des CRF-Sektors 5



7.2 Abfalldeponierung (5.A)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
L/T	5 A, Solid Waste Disposal		CH ₄	34.200,2	2,7	7.189,3	0,9	-79,0 %

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	Tier 2	NS	CS

Die Kategorie *Abfalldeponierung* ist für CH₄-Emissionen eine Hauptkategorie nach der Emissionshöhe und dem Trend.

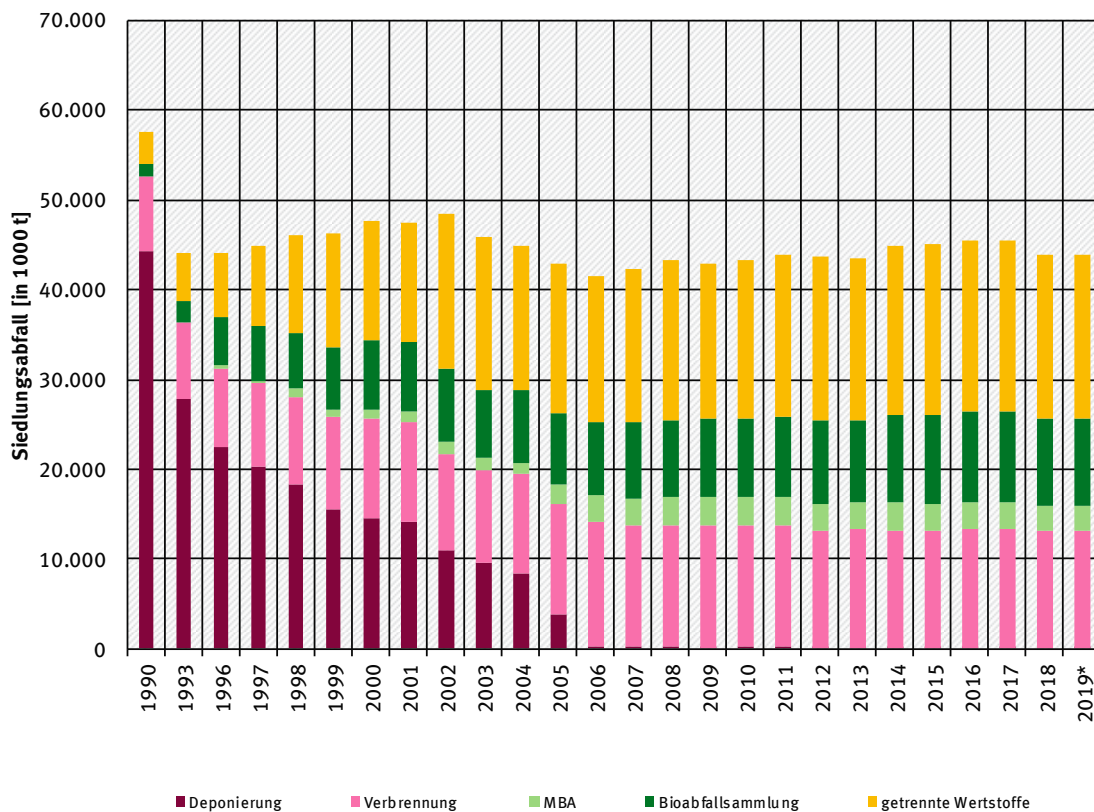
Für die deutsche Emissionsberichterstattung unter CRF 5.A ist nur die geordnete Deponierung (5.A.1) von Relevanz. Die so genannte wilde Deponierung (CRF 5.A.2) ist in Deutschland gesetzlich verboten.

7.2.1 Geordnete Deponierung – Deponierung von Siedlungsabfällen (5.A.1)

7.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.A.1)

Seit 1990 und auch schon davor wurden in der Abfallwirtschaft in Deutschland eine Reihe von gesetzlichen Regelungen erlassen und organisatorische Maßnahmen in die Wege geleitet, welche die Entwicklung der Emissionen aus der Abfalldeponierung stark beeinflusst haben. Hierzu gehören die verstärkte Sammlung von Bioabfällen aus Haushalten und Gewerbe, die verstärkte Sammlung von anderen Wertstoffen wie Glas, Papier/Pappe, Metalle und Kunststoffe und die getrennte Sammlung von Verpackungen und deren Verwertung. Daneben wurde die Verbrennung von Siedlungsabfällen ausgeweitet sowie die mechanisch-biologische Behandlung von Restabfällen eingeführt. Alle diese Maßnahmen hatten zur Folge, dass sich die Menge der deponierten Siedlungsabfälle von 1990 bis 2006 sehr stark reduziert hat (siehe Abbildung 73). Aus der Abbildung wird deutlich, dass in Deutschland heute mehr als die Hälfte der anfallenden Siedlungsabfälle stofflich verwertet wird (getrennte Wertstoffe und Bioabfallsammlung) und nicht verbrannt oder deponiert werden. Bei den Emissionen aus der Deponierung hat diese Veränderung aber nur einen sehr geringfügigen Einfluss auf die Gesamtemissionen im jeweils aktuellen Berichtsjahr, da diese vor allem durch die in der Vergangenheit abgelagerten Abfälle bestimmt werden.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden im Jahre 2004 etwa 330 Deponien für Siedlungsabfall betrieben. Strenge rechtliche Anforderungen verlangten bereits zu diesem Zeitpunkt technische Einrichtungen zur Fassung und Behandlung des Deponiegases und gewährleisteten eine weitgehende Minderung der Methanemissionen dieser Anlagen. Durch die neuen, weitergehenden Anforderungen der Abfallablagerungs- und der Deponieverordnung wurden im Juni 2005 mehr als die Hälfte der Deponien geschlossen, so dass gegenwärtig nur noch etwa 150 Siedlungsabfalldeponien betrieben werden. Seit Juni 2005 ist zudem die Deponierung von biologisch abbaubaren Abfällen nicht mehr zugelassen, was bedeutet, dass eine Deponierung von Abfällen mit signifikanter Methanbildung seitdem nicht mehr erfolgt. Zur Einhaltung dieser Anforderungen ist eine Vorbehandlung der Siedlungsabfälle und anderer biologisch abbaubarer Abfälle durch thermische oder mechanisch-biologische Verfahren vorgeschrieben. Die Ablagerungen nach dem Jahr 2006 tragen daher nur gering und von diesen nur wenig Abfallkomponenten mit sehr geringem Methanbildungspotenzial (z.B. Behandlungsrückstände der MBA, geringe Holzgehalte aus aufbereitetem Bauschutt) zur Deponiegasbildung bei. Mit dem Abklingen der Deponiegasbildung älterer Ablagerungen werden sich die Methanemissionen aus Deponien nochmals sehr weitgehend mindern und langfristig auf einem sehr niedrigen Niveau stabilisieren.

Abbildung 73: Die Veränderung der Entsorgungspfade der Siedlungsabfälle ab 1990, mit Zwischenjahren

Mit der Minderung der Methanemissionen aus Deponien von rd. 1400 kt CH₄ im Jahr 1990 auf rd. 280 kt im Jahr 2019 leistete die Abfallwirtschaft in Deutschland einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz. Die Erfahrungen der deutschen Abfallwirtschaft zeigen, dass die Reduktion der abgelagerten Mengen biologisch abbaubarer Abfälle deutlich höhere Beiträge zum Klimaschutz erbringen kann als die Fassung und Behandlung des Deponiegases.

7.2.1.2 Methodische Aspekte (5.A.1)

In den *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC (2006): Kapitel 3.2.1.1) basiert die Berechnung der CH₄-Emissionen aus der Deponierung auf der sogenannten „First Order Decay Methode“ (kurz: FOD-Methode). Die in Deutschland angewendete Detaillierung liegt zwischen Tier 2 und Tier 3. Die Tier 3 Methode erfordert nationale Aktivitätsdaten, sowielandesspezifische Werte für DOC, DOC_F und Halbwertzeiten (k-Werte). Deutschland verwendet derzeit nationale Aktivitätsdaten und DOC_F, aber nur teilweise landesspezifische DOC- und k-Werte. Für die fehlenden Werte verwendet Deutschland Default-Werte der IPCC-Guidelines.

Im Folgenden wird die FOD-Methode zur Bestimmung der Methanerzeugung auf Deponien und die verwendeten Parameter näher erläutert.

Die FOD-Methode wird nach den folgenden Gleichungen berechnet:

Gleichung 50: (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Kapitel 3.2.1.1, Gleichung 3.6)

$$CH_4 \text{ erzeugt im Jahr } t \left(\frac{kt}{\text{Jahr}} \right) = DDOCm \text{ decomp}_t \times F \times 16/12$$

Mit:

CH_4 erzeugt:im Jahr t	= Menge an CH_4 , welche durch die biologisch abbaubaren Abfälle erzeugt wird.
$DDOC_m$ decomp $_T$	= Masse des im Jahr T abgebauten abbaubaren DOC
F	= Anteil des CH_4 am Deponiegas
$16/12$	= stöchiometrische Umrechnung von C zu CH_4
t	= Inventarjahr

Dabei gilt:

Gleichung 51: (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Kapitel 3.2.1.1, Gleichung 3.2)

$$DDOC_m = W \times DOC \times DOC_f \times MCF$$

Mit:

$DDOC_m$	= Masse des abbaubaren und abgelagerten DOC, (kt)
W	= Masse des abgelagerten Abfalls, kt
DOC	= Anteil des abbaubaren organischen Kohlenstoffs im Jahr der Ablagerung (kt C/kt Abfall)
DOC_f	= Anteil des DOC, der unter anaeroben Bedingungen biologisch abbaubar ist
MCF	= Methankorrekturfaktor für den Anteil des unter aeroben Bedingungen abgebauten DOC für das Jahr x

Nach den gesetzlichen Vorschriften ist in der alten Bundesrepublik seit 1972 nur noch eine geordnete Deponierung von Abfällen zulässig. Im Zuge der deutschen Wiedervereinigung wurden diese Standards 1989/90 auf die neuen Bundesländer übertragen. In der Inventarberechnung werden alle seit 1950 abgelagerten Abfälle berücksichtigt, unabhängig ob diese auf bereits stillgelegten oder noch betriebenen Deponien liegen

Für die Emissionsbeiträge aller Abfälle, die zwischen 1950 und 1972 abgelagert wurden, wird mit einem MCF von 0,6 gerechnet (Default-Wert für nicht zugeordnete Deponien, siehe Kapitel 7.2.1.2.3). Für den Zeitraum 1973-1989 wird für die neuen Bundesländer derselbe MCF von 0,6 und für die alten Bundesländer ein MCF von 1 angesetzt. Für die Emissionsberechnung im Inventar wird in diesem Zeitraum ein MCF ermittelt, der sich anhand der Gewichtung der jeweiligen Abfallmengen für Gesamtdeutschland ergibt. Die Emissionen aus den Abfällen die seit 1990 abgelagert wurden werden mit einem MCF von 1 berechnet.

Deutschland verwendet das IPCC Waste Model, das auf Basis der Gleichungen 3.4 und 3.5 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) entwickelt wurde. Dabei wird für jedes einzelne Jahr die Gesamtmenge an abbaubarem DOC in den Deponien berechnet um daraus die Menge an DOC zu berechnen, die in jedem Jahr zu CH_4 und CO_2 abgebaut wird:

Gleichung 52: (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Kapitel 3.2.1.1, Gleichung 3.2)

$$DDOCma_t = DDOCmd_t + (DDOCma_{t-1} * e^{-k})$$

mit:

t	= Inventarjahr
-----	----------------

$DDOCma_t$	= in der Deponie akkumulierte DDOCm am Ende des Jahres t, kt
$DDOCma_{t-1}$	= in der Deponie akkumulierte DDOCm am Ende des Jahres t-1, kt
$DDOCmd_t$	= in der Deponie abgelagerte DDOCm im Jahr t, kt
k	= Reaktionskonstante - Methanerzeugungsrate (1/Jahr) = $\ln(2)/t_{1/2}$ (Jahr ⁻¹)
$t_{1/2}$	= Halbwertszeit (Jahr)

Gleichung 53: (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Kapitel 3.2.1.1, Gleichung 3.5)

$$DDOCm_{decomp_t} = DDOCma_{t-1} \times (1 - e^{-k})$$

mit:

t	= Inventarjahr
$DDOC_{decomp_t}$	= in der Deponie im Jahr t abgebauter DDOCm, kt

Es wurde ein Multi-Phasen-Modell verwendet, das für die einzelnen Abfallfraktionen mit verschiedenen Halbwertszeiten rechnet und anschließend summiert.

Für das Endergebnis der CH₄-Emissionen wird dann das gefasste und abgepackelte oder energetisch genutzte Methan abgezogen, außerdem wird ein Korrekturfaktor angewandt, der die Oxidierung des Methans in den Deckschichten der Deponien berücksichtigt, wie Gleichung 3.1 (IPCC, 2006) widerspiegelt:

Gleichung 54: (2006 IPCC Guidelines, Kapitel 3.2.1.1, Gleichung 3.1):

$$CH_4 \text{ emittiert in Jahr } t \text{ (kt/Jahr)} = (CH_4 \text{ erzeugt in Jahr } t - R(t)) \cdot (1 - OX)$$

Wobei:

$R(t)$	= CH ₄ -Erfassung im Jahr t
OX	= Oxidationsfaktor (Anteil)

Im IPCC Waste Model können die Nutzer einen Zeitraum bestimmen, in welchem der abgelagerte Abfall zunächst noch nicht mit der Gasbildung beginnt, sondern erst nach dieser zeitlichen Verzögerung. Der in den 2006 IPCC Richtlinien (IPCC, 2006) empfohlene Standardwert für diese Verzögerungszeit beträgt 6 Monate. Nach Diskussionen mit nationalen Abfallexperten und basierend auf Erfahrungen mit gemessener CH₄-Entstehung nach erfolgter Ablagerung wurde dieser Wert auf 3 Monate festgelegt. Die Emissionsberechnung wird hierdurch nur geringfügig beeinflusst.

Für die Berechnung müssen die Mengen an Siedlungsabfall (MSW_T) sowie der Anteil des deponierten Siedlungsabfalls (MSW_F) bestimmt werden. Für die FOD-Methode muss das Aufkommen an Siedlungsabfall für die letzten Dekaden ermittelt werden. Der deponierte Siedlungsabfall sollgemäß der 2006 IPCC Guidelines (ebd.) differenziert nach Abfallarten geschätzt werden, da die Emissionsberechnungen im Weiteren darauf basieren, dass die einzelnen Abfallarten unterschiedliche DOC-Werte aufweisen.

7.2.1.2.1 Deponierte Abfallmengen

Das FOD-Modell berechnet die Emissionen aus dem deponierten Siedlungsabfall, dem deponierten Industrieabfall und dem deponierten Klärschlamm.

Das Aufkommen dieser deponierten Abfälle wird den Statistiken des Statistischen Bundesamtes entnommen. Daten bis zum Jahr 2018 wurden vom Statistisches Bundesamt (FS 19, R1). Die Veröffentlichung der FS 19, R1 wurde danach eingestellt. Die für die Berichterstattung erforderlichen Daten ab 2019 werden dem Umweltbundesamt aber im unveränderten Tabellenformat für die Berichterstattung zur Verfügung gestellt. Hierfür findet eine

Totalerhebung statt, die auf jährlichen Erhebungen der Art, Herkunft und Verbleib der Abfälle und auf zweijährigen Erhebungen bestimmter Ausstattungsmerkmale der befragten Abfallanlagen beruhen. Die Aktivitätsdaten für das jeweils aktuelle Berichtsjahr müssen allerdings geschätzt werden, da die offizielle Abfallstatistik mit einem Jahr Verzug erscheint. Zur Abschätzung werden die Daten der letzten zwei Vorjahre extrapoliert. Die Schätzung wird im jeweils folgenden Jahr durch die statistisch erhobene Zahl ersetzt. Regelmäßige Rückrechnungen sind daher jährlich für das vorvergangene Jahr erforderlich.

Die Erhebungen der deponierten Mengen an Siedlungsabfällen in den alten Bundesländern begannen auf Grundlage des Umweltstatistikgesetzes von 1974 im Jahr 1975. Die Abfallmengen für den Zeitraum von 1950 bis 1975 wurden auf Grundlage der Bevölkerungsdaten extrapoliert.

Für die neuen Bundesländer liegen für die Jahre 1990 und 1993 nach Bundesländern differenzierte Daten zu den deponierten Siedlungsabfallmengen vor. Für die 80er Jahre der DDR hat Andreas (2000) Daten vorgelegt, die Aufschluss über die deponierten Abfallmengen pro Kopf, die Abfallzusammensetzung, die Deponietypen und die Art der Ablagerung gibt. Die deponierten Abfallmengen pro Kopf lagen mit 190 kg/Person in der ehemaligen DDR deutlich niedriger als in den alten Bundesländern (330 kg/Person, Jahr). Dies hängt mit einem hohen Verwertungsgrad der Abfälle in der ehemaligen DDR zusammen. 1990, im Jahr der Wiedervereinigung, stiegen die deponierten Abfallmengen in den neuen Bundesländern sehr stark und die Pro-Kopf-Mengen lagen sogar über den alten Bundesländern, weil in diesem Jahr einerseits die bestehenden Verwertungssysteme zusammenbrachen, andererseits eine Flut neuer Produkte verfügbar war, die zu hohen Ersatzkäufen und zu einer stark erhöhten Menge an Verpackungsabfällen führte. Nach 1990 nähern sich dann die Abfallmengen pro Person in beiden Teilen Deutschlands langsam an.

In den Inventarberechnungen sind die abgelagerten Klärschammengen der alten und neuen Bundesländer (frühere Bundesrepublik und ehemalige DDR) für den gesamten Zeitraum ab 1950 enthalten. Für die Ablagerungen in den neuen Bundesländern/DDR liegen keine statistischen Daten vor. Die Abfallzusammensetzung (auch der Klärschlammanteil) wurde aus Ergebnissen eines Forschungsprojektes abgeschätzt, in dem in den 1990er Jahren das Abfallinventar von DDR-Deponien untersucht wurde.

Die nicht verwerteten Abfallmengen wurden in der ehemaligen DDR vollständig deponiert.

Die deponierten Abfallmengen aus der Industrie zwischen 1975 und 1996 wurden auf Basis der gesamten deponierten Abfallmengen abgeleitet. Die Gesamtmengen umfassen die Industrieabfälle, weisen diese allerdings nicht gesondert aus. Seit 1996 veröffentlicht das Statistische Bundesamt differenzierte Daten zur Abfalldeponierung in der Industrie. Im Inventar werden die deponierten Abfallmengen aus folgenden Industriebranchen berücksichtigt:

- Abfälle aus der Landwirtschaft, Gartenbau, Forstwirtschaft, Fischerei und der Verarbeitung von Nahrungsmitteln
- Abfälle aus der Holzverarbeitung
- Abfälle aus der Herstellung von Zellstoff, Papier und Karton
- Abfälle aus der Textilindustrie
- Verpackungsabfälle, Aufsaug- u. Filtermaterialien, Wischtücher und Schutzkleidung
- Die Holzanteile aus Bau- und Abbruchabfällen (Daten seit 1975)

Extrapolationen zwischen Abfallaufkommen und Produktionsdaten der betroffenen Sektoren für den Zeitraum 1996 bis 2002 ergaben keine befriedigenden statistischen Zusammenhänge. Während die Produktionsdaten steigen, sank das Abfallaufkommen teilweise deutlich, weil Veränderungen in den Produktionsprozessen stattfanden. Aufgrund des fehlenden statistischen

Zusammenhanges wurden die deponierten Abfallmengen zwischen 1950 und 1975 konstant gehalten. Auf die Emissionen des Basisjahres wirken sich Veränderungen der Annahmen zu den industriellen Abfällen im Zeitraum 1950 bis 1970 nur sehr marginal aus.

Für den gesamten Zeitraum ab 1950 liegen damit für alle zu berücksichtigten Abfälle, einschließlich Klärschlämme, vollständige und durchgängige Datenreihen vor, die auf den für die jeweiligen Zeiträume besten verfügbaren Grundlagen beruhen.

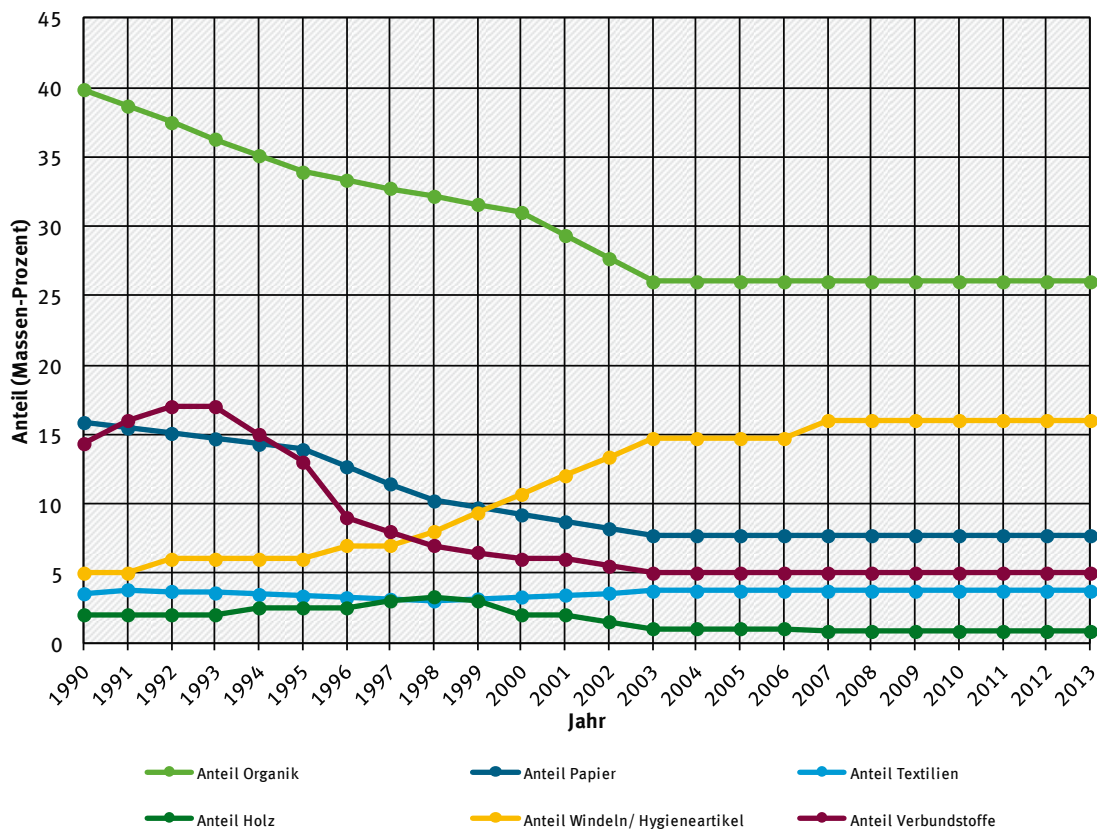
7.2.1.2.2 Abfallzusammensetzung

Die Inventarberechnungen gemäß FOD-Methode erfordern eine Aufteilung in die deponierten Abfallfraktionen Organik, Garten- und Parkabfälle, Papier, Holz, Windeln und Textilien, Verbundstoffe, Klärschlamm und MBA Output. Diese sind teilweise separat in der Abfallstatistik ausgewiesen, allerdings enthält die Statistik auch eine deponierte Menge an gemischten Siedlungsabfällen, die für die Berechnungen in die oben genannten Fraktionen aufgeteilt werden muss. Zu diesem Zweck wurden zahlreiche Studien zur Abfallzusammensetzung der gemischten Siedlungsabfälle ausgewertet, um die Abfallfraktionen (Organik, Garten- und Parkabfälle, Papier, Holz, Windeln und Textilien, Verbundstoffe) im historischen Verlauf zu bestimmen. In den Jahren 1980 und 1985 wurde die Abfallzusammensetzung der gemischten Abfälle für das gesamte Gebiet der ehemaligen Bundesrepublik ermittelt (Barghorn et al., 1986; Greiner et al., 1983). Für den nachfolgenden Zeitraum gibt es eine sehr große Zahl an Studien einzelner Städte, Landkreise oder Bundesländer, die teilweise bereits in übergreifenden Studien ausgewertet und zusammengefasst wurden. Aus diesen Angaben wurden Zeitreihen der Abfallzusammensetzung zwischen 1980 und 2013 bestimmt (siehe Abbildung 74) für deren Ableitung eine Auswertung vorhandener Studien sowohl für Hausmüll, als auch für hausmüllähnliche Gewerbeabfälle und für Sperrmüll durchgeführt wurde (diese werden in den nationalen Statistiken getrennt ausgewiesen). Im Jahr 2014 wurde die bisherige Auswertung an Studien zur Abfallzusammensetzung überprüft und neuere Studien über die Restmüllzusammensetzung für den Zeitraum 2006 bis 2013 recherchiert (6 Studien) und ausgewertet. Diese neueren Studien bestätigten die bisherigen Annahmen zur Zusammensetzung der gemischten Müllfraktionen, so dass diese ab 2014 konstant fortgeschrieben wurden. Aufgrund der weiter oben geschilderten gesetzlichen Veränderungen ist die Deponierung von gemischtem Siedlungsabfällen nach 2005 sehr stark zurückgegangen (von 5,8 Mio. Tonnen im Jahr 2004 auf 2000 Tonnen im Jahr 2013). Aus diesem Grund ist die genaue Erfassung der Restmüllfraktionen für den Zeitraum ab 2005 auch weniger relevant und es wurden von Bund, Ländern, Landkreisen und Städten eine geringere Zahl von Untersuchungen zur Zusammensetzung in Auftrag gegeben. Für die Abfallzusammensetzung der neuen Bundesländer wurden die Angaben aus ANDREAS (2000) für die 80er Jahre der ehemaligen DDR übernommen (Zusammensetzung des Hausmülls: 28 % Vegetabilien, 14 % Papier/Pappe, 2,3 % Holz, Gummi, Verbundstoffe, 3 % Textilien; der Hausmüll machte aber nur 16 % der gesamten deponierten Abfallmengen aus). Die deponierten Siedlungsabfälle in der ehemaligen DDR sind durch einen geringeren Anteil an biologisch abbaubaren Materialien und durch hohe anorganische Fraktionen (vor allem Asche aus dem Hausbrand) charakterisiert. Nahrungsmittelabfälle wurden gesammelt und als Futtermittel verwertet, deren Verfügbarkeit während bestimmter Zeiträume knapp war. Papier wurde gesammelt und war ebenfalls eine knappe Ressource. Holz und Papier wurden häufig in Öfen zu Heiz- und Kochzwecken verfeuert. Das SERO-Verwertungssystem erfasste effizient den relativ geringen Anteil an Kunststoffverpackungen, Glas gab es in Pfandsystemen bzw. wurde ebenfalls gesammelt. Insgesamt war die Ökonomie der ehemaligen DDR vor allem durch die Knappheit von Ressourcen gekennzeichnet, was zu einer effizienten Abfallverwertung führte. Die deponierten Abfallmengen der Haushalte bestanden zu großen Anteilen aus Asche aus dem Hausbrand.

Abbildung 74: Trend in der Zusammensetzung des Hausmülls zwischen 1990 und 2013

Zusammensetzung des Hausmülls

gasbildungsrelevant



Die auf Deponien abgelagerten Abfallmengen werden vom Statistischen Bundesamt getrennt nach Abfallschlüssel erfasst. Für die Emissionsberechnung werden alle Abfallarten, die zur Deponiegasbildung beitragen können, einbezogen und jede Abfallart getrennt auf die Abfallzusammensetzung beurteilt. In Tabelle 462 sind alle für die Deponiegasbildung relevanten Abfälle enthalten, für die Bau- und Abbruchabfälle sind die Holzfraktionen berücksichtigt. Die gefassten Deponiegasmengen beruhen auf Daten der offiziellen Statistik.

Seit dem 1. Juni 2005 dürfen in Deutschland nur noch Abfälle mit einem Gesamtkohlenstoffgehalt < 3 % und mechanisch-biologisch behandelte Siedlungsabfälle abgelagert werden. Die nach diesem Zeitpunkt abgelagerten Abfallmengen sind stark zurückgegangen und tragen nur noch in sehr geringem Maße zur Gasbildung bei. Tabelle 462 beschreibt die Entwicklung der Mengen der biologisch abbaubaren Abfälle, die deponiert wurden. Für das aktuelle Inventarjahr liegen regelmäßig noch keine Daten vor, weshalb die Entwicklung der Abfallmengen und –zusammensetzungen der letzten zwei Vorjahre linear extrapoliert und im folgenden Jahr rekalkuliert werden.

Tabelle 462: Mengen an biologisch abbaubaren Abfällen, nach Abfallfraktionen

Abfallfraktion	Einheit	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Organik	[kt]	16.844	7.515	3.202	813	6	1	2	1	0	0
Garten- und Parkabfälle	[kt]	0	0	54	26	0	0	0	0	2	3
Papier	[kt]	9.095	4.372	1.421	426	7	1	4	9	8	8
Holz	[kt]	2.658	1.889	1.037	238	0	0	0	0	0	0
Windeln + Textilien	[kt]	3.572	2.082	2.241	519	5	2	3	2	2	2
Verbundstoffe	[kt]	5.587	2.644	621	155	1	0	0	0	0	0
Klärschlamm	[kt]	2.494	1.024	452	634	27	81	57	16	26	37
MBA-Output	[kt]	0	0	370	1170	991	714	618	610	515	435

2011/12 wurden die Restgasemissionen aus der Ablagerung mechanisch-biologische behandelter Abfälle in einem Sachverständigengutachten (Stegmann & Partner, 2012) quantifiziert. Das Gutachten bestätigt die in der Emissionsberechnung ermittelten geringen Emissionsbeiträge aus der Ablagerung der MBA Abfälle und damit die in der Berechnung verwendeten nationalen Werte. Das Verfahren der mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) wird in Kapitel 7.6.1 beschrieben.

Entsprechend der Empfehlungen aus der Inventarüberprüfung 2010 (Paragraph 146, UNFCCC (2010)) werden seit der Berichterstattung 2011 zusätzliche Informationen zur Verfügung gestellt. Tabelle 463 stellt die deponierte Abfallmenge und Tabelle 451 das Gesamtaufkommen an Siedlungsabfällen, jeweils pro Kopf und Tag, ab 1990 dar.

In Deutschland hat die Deponierung von Siedlungsabfällen seit 2005 sehr stark abgenommen; dieser Trend spiegelt sich auch in der Pro-Kopf-Rate des deponierten Hausmülls wider. Diese Abfälle werden nahezu vollständig in Verbrennungsanlagen (Abfallverbrennungsanlagen oder Mitverbrennung in industriellen Feuerungsanlagen) und mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) entsorgt.

Tabelle 463: Pro-Kopf-Mengen an deponierten Hausmüll

	Einheit	1990	1991	1992	1993	1994
Deponierte Abfallmenge pro Kopf	kg/Kopf/Tag	1,604	1,415	1,222	1,034	0,944
	Einheit	1995	1996	1997	1998	1999
Deponierte Abfallmenge pro Kopf	kg/Kopf/Tag	0,855	0,765	0,614	0,543	0,568
	Einheit	2000	2001	2002	2003	2004
Deponierte Abfallmenge pro Kopf	kg/Kopf/Tag	0,551	0,513	0,446	0,391	0,339
	Einheit	2005	2006	2007	2008	2009
Deponierte Abfallmenge pro Kopf	kg/Kopf/Tag	0,181	0,051	0,053	0,053	0,044
	Einheit	2010	2011	2012	2013	2014
Deponierte Abfallmenge pro Kopf	kg/Kopf/Tag	0,041	0,040	0,031	0,028	0,040
	Einheit	2015	2016	2017	2018	2019
Deponierte Abfallmenge pro Kopf	kg/Kopf/Tag	0,031	0,025	0,025	0,021	0,023

Tabelle 464: Pro-Kopf Mengen an Siedlungsabfall

	Einheit	1995	1996	1997	1998	1999
Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf	kg/Kopf/Tag	1,715	1,767	1,814	1,785	1,762
	Einheit	2000	2001	2002	2003	2004
Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf	kg/Kopf/Tag	1,776	1,750	1,772	1,667	1,629
	Einheit	2005	2006	2007	2008	2009
Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf	kg/Kopf/Tag	1,568	1,567	1,620	1,641	1,650
	Einheit	2010	2011	2012	2013	2014
Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf	kg/Kopf/Tag	1,680	1,715	1,693	1,681	1,715
	Einheit	2015	2016	2017	2018	2019
Aufkommen an Siedlungsabfällen pro Kopf	kg/Kopf/Tag	1,693	1,731	1,714	1,659	1,681

7.2.1.2.3 MCF (Methankorrekturfaktor)

Abfälle wurden in der Bundesrepublik Deutschland bis zur Schaffung des ersten Abfallgesetzes 1972 zumeist auf ungeordnete Deponien gebracht, die nach 1972 geschlossen wurden. Nach 1972 wurden die Abfälle auf geordnete Deponien verbracht. Für den MCF wird daher bis 1972

für die ABL der Default-Wert von 0.6 für „nicht zugeordnete Deponien“ angenommen (Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006), nach 1972 der Default-Wert für geordnete anaerobe Deponien von 1 genutzt.

Für das Gebiet der ehemaligen DDR liegt eine Erhebung aus dem Jahre 1989 vor, nach der 120 geordnete Deponien, ca. 1000 kontrollierte Ablagerungen und ca. 10.000 wilde Müllkippen erfasst wurden (Institut für Umweltschutz (1990): S. 56, Tabelle 12). Für das Gebiet der ehemaligen DDR wurde daher für den Zeitraum von 1950 bis 1989 ein MCF von 0.6 (Default-Wert für nicht zugeordnete Deponien; Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006) angenommen. Mit der Wiedervereinigung wurde das bundesdeutsche Abfallgesetz auf die Gebiete der Neuen Bundesländer ausgedehnt und Übergangsregelungen stellten sicher, dass sowohl stillgelegte als auch in Betrieb befindliche Anlagen, in denen Abfälle erzeugt oder entsorgt wurden bzw. werden, erfasst wurden und dass erforderliche Sanierungsmaßnahmen eingeleitet wurden (BMU (1990): S. 46). Wilde Mülldeponien wurden 1990 geschlossen, weiter zu betreibende Anlagen wurden gesichert, saniert und nach Standard des bundesdeutschen Abfallrechtes ausgebaut sowie neue Standorte für neu zu errichtende Anlagen gesucht.

Ab dem Jahr 1990 erfasst das Statistische Bundesamt beide Gebietsteile. Für die Berechnung wird nach 1990 ein MCF von 1 (Default-Wert für geordnete anaerobe Deponien) für das gesamte Bundesgebiet angenommen. Der IPCC Default Wert für geordnete anaerobe Deponien wird von den Experten des Umweltbundesamtes als geeigneter Wert für Deponien in Deutschland eingestuft.

7.2.1.2.4 DOC

Für DOC, den Anteil des abbaubaren organischen Kohlenstoffs im Abfall, werden nationale Daten sowie Default-Faktoren des IPCC verwendet. Alle DOC-Werte beziehen sich auf feuchten Abfall, da die statistischen Daten der abgelagerten Mengen in Deutschland für feuchte Abfälle erhoben werden. Eine Übersicht über die verwendeten DOC-Werte ist in Tabelle 465 enthalten.

Auf Basis von Reviewergebnissen aus dem ARR 2015/2016 und 2018 bemühte sich Deutschland intensiv darum die Quellen für die in Tabelle 465 wiedergegebenen Daten zu eruieren:

- Für Garten- und Parkabfälle, Papier und Pappe, Holz und Stroh, Textilien und Windeln werden IPCC Default-Werte genutzt (Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006). Für diese Abfälle liegen keine ausreichend belastbaren nationalen Werte vor. Die Default-Werte werden von Experten des Öko-Institutes und des Umweltbundesamtes in ihrer Größenordnung als realistisch beurteilt.
- Der DOC für Organik wurde aus nationalen Untersuchungen (Wallmann, 1999) übernommen und ist mit 18 % etwas höher als der Default-Wert.
- Für Verbundstoffe enthalten die Guidelines keine Default-Werte. Der nationale Wert wurde in einem Forschungsprojekt zur Vorbereitung des ICR 2010 vom Forschungsnehmer (Öko-Institut) auf 10 % geschätzt und während des ICR vom zuständigen IPCC-Experten akzeptiert.

- Für Klärschlamm geben die 2006 IPCC Guidelines (Chap. 2.3.2, (IPCC, 2006) bezogen auf die Trockenmasse einen Default DOC von 50% an. In Deutschland wurden zwischen den 1980er Jahren und 2005 nahezu ausschließlich mechanisch entwässerte Klärschlämme mit einem durchschnittlichen Trockenmassegehalt von etwa 30% abgelagert. Auf Basis dieses durchschnittlichen Trockenmassegehaltes der deponierten kommunalen und industriellen Klärschlämme und des Default-Wertes für trockenen Klärschlamm wurde ein DOC Mittelwert von 15% abgeleitet und für den Zeitraum bis 2005 als nationaler Wert genutzt. Seit dem 1. Juni 2005 dürfen in Deutschland nur noch Abfälle mit einem Gesamtkohlenstoffgehalt < 3 % auf Deponien abgelagert werden. Dies gilt auch für Klärschlamm, so dass ab 2006 mit einem nationalen Wert für DOC von 3% DOC gerechnet wird.
- Für mechanisch-biologisch behandelte Abfälle (MBA-Abfälle) enthalten die Guidelines keine Default-Werte. Eine vom Umweltbundesamt beauftragte Studie (Stegmann & Partner, 2012) zeigt, daß mit der mechanisch-biologischen Behandlung die DOC-Gehalte der Abfälle sehr weitgehend reduziert werden. Nach einer solchen Behandlung enthält die Deponiefraktion weniger als 10 % des ursprünglich in den behandelten Abfällen enthaltenen prozentualen DOC-Gehaltes. In MBA wird das gesamte Spektrum der Restsiedlungsabfälle und hausmüllähnlicher Gewerbeabfälle behandelt. Der durchschnittliche DOC der mechanisch- biologisch behandelten Abfälle wird auf 23 % geschätzt, bei einer 90 % Reduktion im Behandlungsprozess ergibt sich ein nationaler DOC-Wert von 2,3 % in den abgelagerten MBA Abfällen.

Tabelle 465: Verwendete DOC-Werte

Fraktion	DOC-Werte		Quelle
	IPPC 2006 Default (wet waste)	Verwendet	
Organik	15 %	18%	(Wallmann, 1999)
Garten- und Parkabfälle	20 %	20%	Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006)
Papier und Pappe	40 %	40%	Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006)
Holz und Stroh	43 %	43%	Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006)
Textilien	24 %	24%	Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006)
Windeln	24 %	24%	Table 2.4, Chap. 2.3.1, (IPCC, 2006)
Verbundstoffe	k.A.	10%	In Country Review 2010 (Öko-Institut)
Klärschlamm	50 % (trocken)	bis 2005 15% ab 2006 3%	Rechnerisch aus IPCC default für Klärschlamm, bezogen auf Trockenmasse, ermittelt; nach 2006 wird ein DOC von 3% angenommen
MBA Abfälle	k.A.	2,3%	Nationaler Wert (10 % des durchschnittlichen DOCs der deponierten Fraktionen aus dem aktuellen Jahr); (Stegmann & Partner, 2012)

7.2.1.2.5 DOC_F

DOC_F , der Anteil des in Deponiegas umwandelbaren DOC, wird für Siedlungsabfall mit 50 % angenommen, was auf einer nationalen Studie (Rettenberger et al. (1997): S. 277) basiert. Dieser Wert liegt im Rahmen der IPCC Defaults von 0.5 (Chap. 3.2.3, (IPCC, 2006)).

7.2.1.2.6 F = Anteil des CH_4 am Deponiegas

Für F wird bei der Berechnung der Methanbildung der IPCC Default-Wert von 50% über die gesamte Zeitreihe verwendet (ebd.). Dieser Wert wurde durch ein nationales Forschungsvorhaben bestätigt (Schön et al., 1993).

Tabelle 466: Anteil CH₄ am Deponiegas

Anteil CH ₄ am Deponiegas	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Deponien in Ablagerungs- und Stilllegungsphase	49 %	50 %	49 %	48 %	48 %	47 %	45 %	42
Deponien in Nachsorgephase	k.A.	k.A.	k.A.	42 %	40 %	38 %	32 %	32

Quelle: (Statistisches Bundesamt, 2018) , Tabelle 1.5

In den letzten Jahren sind die Methankonzentrationen im gefassten Deponiegas (Tabelle 466) allerdings rückläufig. Dieser Rückgang der Methankonzentrationen ist vermutlich auf Oxidationseffekte die durch das Gasfassungssystemen verursacht werden zurückzuführen, wobei sich dieser Effekt mit rückläufiger Gasbildung zunehmend verstärkt.

7.2.1.2.7 Halbwertszeit

Das Berechnungsmodell ist ein Multi-Phasen-Modell, das die unterschiedlichen Halbwertszeiten der verschiedenen Abfallfraktionen berücksichtigt. Tabelle 467 dokumentiert die verwendeten Halbwertszeiten sowie die Methanerzeugungsrate für die Abfallfraktionen. Um der Empfehlung aus der Inventarüberprüfung in 2010 zu entsprechen (Paragraph 146, FCCC/ARR/2010/DEU), wurden für die Berichterstattung ab 2011 zusätzliche Informationen aufbereitet. Die konstante Methanerzeugungsrate, die in der FOD-Methode auftaucht, entspricht der Zeit, die für die Zersetzung des abbaubaren organischen Kohlenstoffs im Abfall auf die Hälfte seiner Ausgangsmasse benötigt wird. Sie kann daher aus den jeweiligen Halbwertszeiten der unterschiedlichen Fraktionen entsprechend Gleichung 55 abgeleitet werden.

Die geringfügigen Unterschiede der k-Werte zwischen default und nationalen Werten basieren auf dem folgenden Umstand: Die früheren Versionen der IPCC-Tabellen zur Schätzung der Methanemissionen aus der Deponierung fester Abfälle aus Deponien basierten auf den Halbwertszeiten (die bei der Veröffentlichung der IPCC-Richtlinien 2006 verteilten Versionen) und erst später wurde dies in anderen Versionen des IPCC-Tabellenmodells geändert. In der Auswahl für Parameter konnte man in dieser Version nur Halbwertszeiten und keine k-Werte auswählen (leider ist keine Versionsnummerierung als Teil der Datei vorgesehen). Die ursprüngliche Version des IPCC-Tabellenmodells beinhaltet auch ein Tabellenblatt „Halbwertszeit“ mit einer eingebetteten Berechnung von k-Werten auf Basis von Halbwertszeiten und umgekehrt. Somit sind die in Tabelle 467 dargestellten Halbwertszeit-Standardwerte die in der frühen Version des IPCC-Tabellenmodells dargestellten Standardparameter. Die in dieser Tabelle dargestellten k-Werte stellen das Ergebnis der Berechnung von k auf der Grundlage der Standard-Halbwertszeiten bei Verwendung des eingebetteten Kalkulationstools im Tabellenmodell dar. Bis zum ARR 2018 wurde davon ausgegangen, dass die grundlegende Konvertierung im IPCC-Tabellenwerkzeug korrekt dargestellt ist, weshalb die durchgeführten Rundungen daher bis dahin nicht überprüft worden sind. Im ARR wurde nun auf Inkonsistenzen hingewiesen. Der Grund dafür ist auf Unterschiede zwischen Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4 der IPCC-Richtlinien 2006 zurückzuführen. Wir haben die Werte der Tabelle 3.4 für Lebensmittelabfälle und Klärschlamm verwendet, die 4 Jahre betragen. Dies entspricht einem k von 0,173. In Tabelle 3.3 ist k für Lebensmittelabfälle jedoch 0,185 (und nicht 0,173), was einer Halbwertszeit von 3,747 entspricht. Somit sind die Tabellen 3.3 und 3.4 für Lebensmittelabfälle und Klärschlamm inkonsistent (alle anderen Werte sind korrekt). Da wir die Berechnung auf der Grundlage des älteren Tabellenmodells begonnen haben, haben wir Tabelle 3.4 feuchtes gemäßigt Abfallklima als Grundlage für die Berechnungen verwendet.

Zur Berechnung wurden die weitgehend an den IPCC Default Werten orientierten nationalen Werte genutzt. Nach Einschätzung der Experten im Umweltbundesamt ergeben diese nationalen

Werte im Berechnungsmodell realistische Ergebnisse zur Methanbildung von Deponien, auf denen biologisch abbaubare Abfälle abgelagert werden. Bei Deponien auf denen über längere Zeiträume keine biologisch abbaubaren Abfälle mehr abgelagert wurden ist zunehmend erkennbar, dass die aktuelle Berechnung zu einer Überschätzung der Methanbildung führen, die eine Überprüfung und Anpassung der Halbwertszeiten bzw. K-Werte erfordern.

Die aktuell resultierenden Abweichungen von den Vorgaben sind minimal und werden sich ohnehin mit der angekündigten Weiterentwicklung (siehe Kapitel 7.2.1.6) ausgleichen. Aus diesem Grund wurde vom zuständigen Reviewexperten im ARR 2018 entschieden, dass mit der Anpassung der Berechnung, auf die Ergebnisse der anhängigen Forschungsvorhaben gewartet werden kann.

Gleichung 55: (2006 IPCC Guidelines)

$$k = \ln 2 / t_{1/2}$$

Tabelle 467: Halbwertszeiten und konstante Methanerzeugungsrate der Abfallfraktionen

Abfallart	Halbwertszeit (Jahre)		CH ₄ Erzeugungsrate (k-Wert)	
	IPCC Default Wert*	Nationaler Wert	IPCC Default Wert*	Nationaler Wert
Nahrungsmittelabfälle	4		0,185	0,173
Garten/Parkabfälle	7		0,1	0,099
Papier / Pappe	12		0,06	0,058
Holz	23		0,030	0,030
Textilien / Windeln	12		0,06	0,058
Verbundstoffe	--	12	---	0,058
Klärschlamm	4		0,185	0,173
MBA-Abfälle	--	12	--	0,058

* Wet temperature

7.2.1.2.8 Deponiegasnutzung

Mit der TA Siedlungsabfall von 1993¹³⁵ wurde die Gasfassung auf den Siedlungsabfalldeponien Teil der Genehmigungsvoraussetzung. In der Neufassung des Umweltstatistikgesetzes in 2005 wurde verankert, dass das Statistische Bundesamt künftig die Deponiegaserfassung in seinen Umfragen berücksichtigt und veröffentlicht. Für die Jahre 2004, 2006 und 2008 wurden in der Fachserie 19 vom 12.07.2012 nur Daten zur Deponiegasfassung und -nutzung auf Deponien in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase veröffentlicht. Daten zur Gasfassung für den gesamten Deponiebestand, d.h. einschließlich der Deponien in der Nachsorgephase wurden erstmals für das Jahr 2010 erhoben. Für die Berechnung der gefassten Deponiegasmengen werden vom statistischen Bundesamt Daten für das gefasste Deponiegasvolumen und dem Methananteil in Vol.-% erhoben. Der Methananteil entspricht den in Kapitel 7.2.1.2.6 wiedergegebenen Werten (dort zur Verifikation enthalten). Aus diesen Daten werden die gefassten Methangasmengen für die Klimaberichterstattung im NIR berechnet.

In Deutschland müssen Deponiebetreiber aufgrund der Monitoringanforderungen der Deponieverordnung die gefassten Deponiegasmengen und die Methangehalte im Deponiegas messen und in Jahresberichten dokumentieren. Entsprechende Daten werden vom statistischen Bundesamt auf Grundlage des Umweltstatistikgesetzes alle zwei Jahre erhoben.

Aus diesem Grund ist für den NIR auch keine Rückrechnung des gefassten Deponiegases aus Energiedaten notwendig.

¹³⁵ Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von >Siedlungsabfälle (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz) vom 14. Mai 1993

Bis einschließlich 2010 wurden bei der Ermittlung der gesamten gefassten Deponiegasmengen - aufgrund der oben beschriebenen Datenlücken - Daten aus dem Energiesektor und der Fachserie 19 zusammengeführt.

Die in Tabelle 468 gelisteten gefassten Methanmengen beinhalten die energetisch genutzten und die abgepackelten Deponiegasmengen.

Tabelle 468: Methanfassung auf Deponien

Jahr	Methanbildung in Gg	Gefasste Methanmenge in Gg			Erfassungsrate in %
		Ablagerungs- u. Stilllegungsphase in Gg	Nachsorgephase in Gg	Gesamtmenge in Gg	
1990	1614			94	5,8
1991	1715			105	6,1
1992	1772			115	6,5
1993	1787			125	7,0
1994	1770			136	7,7
1995	1738			146	8,4
1996	1690			160	9,5
1997	1629			222	13,6
1998	1559			242	15,5
1999	1490			247	16,6
2000	1423			251	17,6
2001	1353			252	18,7
2002	1288			254	19,7
2003	1222			254	20,8
2004	1158	236	11	247	21,3
2005	1094			247	22,6
2006	1018	231	11	242	23,8
2007	937			220	23,5
2008	865	190	11	201	23,2
2009	800			191	23,8
2010	741	171	11	181	24,4
2011	689			167	24,2
2012	641	140	14	154	24,0
2013	598			143	24,0
2014	559	121	13	134	24,0
2015	523			126	24,0
2016	490	107	11	118	24,1
2017	460			107	23,2
2018	432	85	12	97	22,3
2019	407			87	21,5

Quelle: Statistisches Bundesamt (FS 19, R1)

Da nur für einzelne Jahre offizielle Statistische Daten vorliegen mussten Datenlücken durch Intra-/Extrapolation und qualifizierte Schätzungen geschlossen werden.

Für die Jahre bis einschließlich 1998 wurden prozentualen Gaserfassungsraten aus früheren Schätzungen weiter verwendet (Quellen und Datenherleitung siehe NIR 2012) und die gefasste Methanmenge aus der Methanbildung und der jeweiligen prozentualen Erfassungsraten berechnet.

Für die Jahre 1999 bis 2003 wurden die prozentualen Erfassungsraten zwischen den Werten aus 1998 (alter Ansatz) und 2004 interpoliert. Die gefasste Methanmengemenge wurde aus der gesamten Methanbildung und der jeweiligen prozentualen Erfassungsraten berechnet.

Für die Jahre 2004, 2006 und 2008 liegen STBA-Daten nur für Deponien in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase vor. Für die Ermittlung der gesamten gefassten Methanmengen aller Deponien wurden die für 2010 ermittelten Methanmengen aus Deponien der Nachsorgephase zu den Jahreswerten der Ablagerungs- und Stilllegungsphase für 2004, 2006 und 2008 addiert.

Für die geraden Jahre ab 2010 liegen vollständige Daten des statistischen Bundesamtes für die Deponiegasfassung aller Deponien vor, da die Datenerhebung durch das statistische Bundesamt

nur in jedem zweiten Jahr erfolgt. Die prozentualen Deponiegaserfassungsraten wurden aus diesem Grunde zwischen dem vorhergehenden und dem nachfolgenden Jahr interpoliert und die gefassten Gasmengen aus der Gasbildung und der prozentualen Erfassungsrate berechnet. Für das jeweils aktuelle Jahr wird die prozentuale Erfassungsrate aus den letzten beiden Vorjahren extrapoliert. Sobald die zugrundeliegende Statistik aktualisiert wurde wird der Wert rekalkuliert.

7.2.1.2.9 Fackeln

Im Jahr 2018 wurden mit dem Deponiegas 97 Gg Methan erfasst, von denen ein nicht für die energetische Nutzung geeigneter Anteil von rd 20 Gg in Fackeln verbrannt wurde. Für Deponiegasfackeln gelten in Deutschland über die TA Luft aber sehr strenge Anforderungen: Verbrennung in einer isolierten Hochtemperaturfackel, Verweilzeit mindestens 0,3 Sekunden bei einer Verbrennungstemperatur von über 1000°C. Deponiegasfackel erreichen daher einen sehr hohen Ausbrand und entsprechend geringe Methanemissionen auf. Die Hersteller garantieren für diese Fackeln einen Ausbrand >99,9 %.

Da die Treibhausgas-Emissionen aus der Kategorie Deponiegas-Fackeln in 5.A weniger als 0,05 % des Gesamtinventars (ohne LULUCF) darstellen und 500 kt CO₂-Äquivalente nicht überschreiten (Erfassungsuntergrenzen gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1) und eine jährliche Erfassung nicht gewährleistet werden kann (gemäß FCCC/SBSTA/2013/L.29/Add.1, para 37), wird auf eine entsprechende Berichterstattung verzichtet (IPCC, 2006). Eine einmalig durchgeführte quantitative Abschätzung der somit nicht im Inventar berücksichtigten Emissionen aus Deponiegas-Fackeln ergibt eine Menge von etwa 0,5 kt CO₂-äquivalent. Eine Zusammenstellung aller als not estimated erfasster Quellen erfolgt darüber hinaus in Annex 5 (Anhang-Kapitel 21) dieses Berichtes.

7.2.1.2.10 Oxidationsfaktor

Für den Faktor zur Bestimmung des Anteils an CH₄, der in der Deponiedeckschicht oxidiert wird, wurde der IPCC-Default-Wert von 0,1 für die gesamte Zeitreihe angenommen. In den frühen 90er Jahren ist zwar einerseits ein höherer Anteil an ungeordneten Deponien aus der ehemaligen DDR zu erwarten, aus einem Forschungsprojekt wurden jedoch für die Deponien der ehemaligen DDR ein nur geringes CH₄-Bildungspotential nachgewiesen, so dass für diesen Zeitraum ebenfalls der Faktor 0,1 verwendet wurde (BMBF & UBA, 1998). Der IPCC-Default-Wert für den Oxidationsfaktor wird von den Experten des Umweltbundesamtes in ihrer Größenordnung als realistisch beurteilt.

7.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.A.1)

Über den langen Zeitraum von dreißig Jahren der Aktivitätsdaten entstehen zwangsläufig Inkonsistenzen der Zeitreihen, da im Laufe der Zeit mehrfach die Abfallkategorien und die Art der Befragung verändert wurde, weil die Gesetzgebung und die Abfallstatistik weiterentwickelt wurden. In Deutschland ergeben sich besondere Probleme vor allem durch die deutsche Wiedervereinigung und die Zusammenführung zweier verschiedener Wirtschafts- und statistischer Systeme. Daher mussten mit erheblichem Aufwand die Konsistenz der Daten und die Zuordnung zu den berichteten Kategorien überprüft werden, um einen möglichst konsistenten Zeitverlauf zu erhalten.

Seit einigen Jahren verstärken sich in Deutschland Indizien, dass die nach dem FOD Modell des IPCC berechnete Deponiegasbildung und die daraus resultierenden Methanemissionen gegenüber dem realen Deponieverhalten erheblich überschätzt werden. Die Unsicherheiten der Berechnungen der Methanemissionen aus Deponien werden von den Experten des Umweltbundesamt daher auf +10% und -50 % geschätzt.

7.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.A.1)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Zur Verifizierung der Ergebnisse wurden die im GHG-Locator abgeleiteten impliziten Emissionsfaktoren (IEF) mit den Daten anderer Staaten verglichen. Im Ergebnis hat Deutschland in der Berichterstattung 2020 mit 0,41 den zweithöchsten Wert im internationalen Vergleich. Dieser vergleichsweise hohe Wert erklärt sich durch die seit den 1990er Jahren stark rückläufigen abgelagerten Abfallmengen mit biologisch abbaubaren Anteilen und einer Gasbildung, die nahezu vollständig aus Abfällen erfolgt die vor 2005 auf Deponien abgelagert wurden (siehe Kapitel 7.2.1.2.2).

International ist die Ablagerung von biologisch abbaubaren Abfällen noch weitverbreitet. Eine mit Deutschland vergleichbare Verringerung der Ablagerung biologisch abbaubarer Abfälle erfolgte nur in sehr wenigen Ländern. Österreich und die Schweiz haben zeitgleich mit Deutschland ähnliche abfallrechtliche Anforderungen für Deponien erlassen. Österreich steht im IEF-Vergleich dementsprechend an dritter Stellen und weist mit 0,26 einen ähnlich hohen Wert wie Deutschland auf. Für die Schweiz liegen keine Vergleichsdaten vor.

7.2.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.A.1)

Regelmäßige Rückrechnungen sind jährlich für das vorvergangene Jahr erforderlich, da die Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes mit einem Jahr Verzug für die Daten für die abgelagerten Abfallmengen und -zusammensetzungen erscheint und Daten zu den gefassten Deponiegasmengen im zweijährigen Abstand erhoben werden, so dass das aktuelle Berichtsjahr deshalb geschätzt werden muss. Die Schätzung wird im jeweils folgenden Jahr mit den dann aktuellen Daten ersetzt. Da die daraus notwendige Rekalkulation insgesamt in jedem Jahr sehr gering ist, wird sie hier nicht mehr zusätzlich berichtet.

Bei der diesjährigen Berichterstattung gab es zusätzlich zu den oben beschriebenen Gründen Korrekturbedarf. Für 2016 wurde in der Vergangenheit mit einem fehlerhaften CH₄-Gehalt (41% statt 45 %) für Deponien in der Ablagerungs- und Stilllegungsphase gerechnet, was sich auch für die Jahre 2015 und 2017 sowohl auf die Menge an gefasstem Methan als auch auf die Methan-Emissionen aus Deponien auswirkt. Zusätzlich gab es einen marginalen Berechnungsfehler bei der Summenbildung der deponierten Klärschlämme. Aus den genannten Gründen wurde eine Rekalkulation notwendig.

Tabelle 469: Rekalkulation: Methan-Emissionen aus Deponien [kt]

Jahr	2015	2016	2017	2018
NIR 2021	357,50	334,91	317,97	302,23
NIR 2020	362,05	343,44	322,52	303,14

Tabelle 4703: Rekalkulation: Menge an gefasstem Methan [kt]

Jahr	2015	2016	2017	2018
NIR 2021	125,53	117,93	106,72	96,55
NIR 2020	120,48	108,45	101,66	95,55

7.2.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.A.1)

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet. Darüber hinaus sind keine Verbesserungen geplant.

7.3 Biologische Abfallbehandlung (5.B)

In der Kategorie 5.B werden die Emissionen aus Kompostierungsanlagen (5.B.1) und aus der Vergärung von Bioabfall in Biogasanlagen (5.B.2) berichtet. Beide Anlagentypen in der Kategorie 5.B behandeln getrennt gesammelte Bioabfälle und stellen Kompost oder Gärrest her, der anschließend in der Landwirtschaft oder im Gartenbau verwertet wird. Dies ist der Unterschied zur mechanisch-biologischen Behandlung in der Kategorie 5.E. Diese Anlagen setzen gemischte Siedlungsabfälle (Restabfälle) ein. Die Rückstände aus diesen Anlagen werden deponiert oder verbrannt.

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/T	5 B, Biological Treatment of Solid Waste		CH ₄	25,3	0,0	701,4	0,1	2.668,1 %
-/T2	5 B, Biological Treatment of Solid Waste		N ₂ O	16,0	0,0	306,2	0,0	1.817,8 %

Die Kategorie *Biologische Abfallbehandlung* ist eine Hauptkategorie für CH₄-Emissionen nach dem Trend sowie für N₂O-Emissionen nach der Approach-2-Trend-Analyse.

7.3.1 Kompostierungsanlagen (5.B.1)

7.3.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.B.1)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	Tier 2	NS	CS
N ₂ O	Tier 2	NS	CS

In der Bundesrepublik werden jährlich zunehmende Anteile der biologisch abbaubaren Abfälle getrennt gesammelt und behandelt. Die unter 5.B.1 berichteten Emissionen stammen aus Kompostierungsanlagen die vor allem getrennt gesammelte Bioabfälle aus Haushalten sowie Garten und Parkabfälle kompostieren, Komposte, die aus diesen Abfällen erzeugt werden, werden anschließend in der Landwirtschaft oder im Gartenbau verwertet.

Neben der zentralen Kompostierung von getrennt gesammelten Bioabfällen gibt es auch die private Kompostierung im eigenen Garten (Eigenkompostierung). Hierzu liegen jedoch weder belastbare Daten zu den Mengen noch zu den verursachten Emissionen vor. Daher wird über diese Emissionen nicht berichtet.

7.3.1.2 Methodische Aspekte (5.B.1)

Über Lachgas- und Methanemissionen aus der Kompostierung von Küchen- und Grünabfällen wird gemäß den IPCC Guidelines 2006 (IPCC, 2006) berichtet. Allerdings werden eigene nationale Emissionsfaktoren verwendet, die Ergebnisse eines Forschungsprojektes (Cuhls et al., 2015) sind. Die Berechnung der Methan- und Lachgasemissionen erfolgt nach folgender Formel:

$$E = M * EF$$

E = Emissionen in kg

M = Masse Bioabfall [kt]

EF = Emissionsfaktor [kg/kt]

Die in Kompostierungsanlagen verwerteten Abfallmengen werden seit 1980 in unterschiedlicher Form vom Statistischen Bundesamt erhoben und veröffentlicht (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1, Tabelle 7). Hierfür findet eine Totalerhebung bei den Abfallbehandlungsanlagen statt. Zur Berechnung der in Kompostierungsanlagen behandelten Bioabfälle werden derzeit aus dort enthaltener Tabelle 7.1 (ebd.) die Abfallmengen der Zeilen „Bioabfallkompostierungsanlagen“, Grünabfallkompostierungsanlagen“ und Klärschlammkompostierungsanlagen“ addiert. Zusätzlich wird der Anteil der in „sonstigen biologischen Behandlungsanlagen“ kompostiert wird errechnet und hinzuaddiert. Für diese Berechnung wird der prozentuale Anteil der in diesen

Anlagen erzeugten Komposte am Gesamtprodukt der „sonstigen biologischen Behandlungsanlagen“ (Komposte und Gärrückstände) aus Tabelle 7.3 (ebd.) herangezogen und auf die eingesetzte Abfallmenge angewendet.

In den Jahren 1990 bis 2005 erfolgte die statistische Erfassung der Abfallmengen weniger detailliert, nicht immer in derselben Art und Weise und in unterschiedlichen jährlichen Abständen. Aus diesem Grund mussten einzelne Werte teilweise unterschiedlich interpoliert bzw. in die Vergangenheit extrapoliert werden.

Die Aktivitätsdaten für das aktuelle Berichtsjahr müssen geschätzt werden, da die offizielle Abfallstatistik mit zwei Jahren Verzug erscheint. Aus diesem Grund wird die gesamte in Kompostierungsanlagen eingesetzte Abfallmenge auf Basis des Trends der vorhergehenden 3 Jahre extrapoliert und im jeweils folgenden Jahr durch die statistisch erhobene Zahl ersetzt. Rückrechnungen sind daher jährlich erforderlich.

Im Vorfeld der Entscheidung für dieses Vorgehen wurde auch untersucht, wie sich diese Extrapolationsmethode auswirkt, wenn sie bei jeder Behandlungsanlagenart getrennt durchgeführt wird. Im Ergebnis kann es hier aufgrund unklarer Trendverläufe zu teilweise starken Schwankungen der berechneten Aktivitätsdaten kommen, die fachlich als nicht valide eingestuft werden. Wird hingegen nur die addierte Abfallmenge extrapoliert, erzeugt dies einen Wert, der nach Experteneinschätzung, aller Voraussicht nach, näher am erwartbaren zukünftigen Wert liegt.

Emissionsfaktoren

Für die Kompostierung von Bioabfällen wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes Emissionsfaktoren ermittelt (Cuhls et al., 2015). Im Rahmen dieses Projektes wurden sowohl für Methan als auch für Lachgas und Ammoniak Emissionsmessungen an 19 Kompostierungsanlagen durchgeführt. Aus den Messergebnissen und den Ergebnissen von Literaturrecherchen wurden aggregierte Emissionsfaktoren für den Anlagenbestand in Deutschland abgeleitet. Diese berücksichtigen sowohl die verschiedenen in Deutschland verwendeten Anlagentechniken als auch die unterschiedlichen als Einsatzstoffe verwendeten Bioabfälle. Bei einigen Anlagen gab es sehr hohe Emissionsmesswerte, die zu einem sehr hohen Mittelwert führten. An den meisten Anlagen gab es mehrere Messphasen, um unterschiedliche atmosphärische/meteorologische Bedingungen (Sommer/Winter) zu berücksichtigen bzw. als Ursache für besonders hohe oder niedrige Werte ausschließen zu können. Im Rahmen eines Peer-Reviews (Forschungsnehmer, UBA, Fachexperten) wurden die sehr hohen Werte schließlich als Ausreißer identifiziert und als nicht repräsentativ eingestuft. Aus diesem Grund wurde zusammen mit dem Forschungsnehmer (Cuhls) beschlossen, die Medianwerte als Emissionsfaktoren zu verwenden. In die Ableitung der Medianwerte gingen alle gemessenen Emissionswerte ein. Die EF selbst wurden abgeleitet, indem zunächst EF für jede Behandlungstechnologie ermittelt wurden. Anschließend wurde jede Behandlungstechnologie in Abhängigkeit von der Menge der Abfälle, die in den zugehörigen Anlagen in Deutschland behandelt werden, gewichtet (siehe Cuhls et al, Tabelle 5-1, die die verschiedenen Technologien und ihren Anteil am behandelten Bioabfall darstellt) und die verschiedenen EF mit Hilfe der ermittelten Gewichtungsfaktoren zu den aktuell verwendeten EF zusammengefasst.

Für die Kompostierung von Bioabfall wurden die folgenden Emissionsfaktoren ermittelt:

$$EF\text{-CH}_4 = 1.400 \text{ g CH}_4/\text{t Bioabfall}$$

$$EF\text{-N}_2\text{O} = 74 \text{ g N}_2\text{O}/\text{t Bioabfall}$$

Hierbei ist anzumerken, dass ein weiteres Ergebniss der Studie ist, dass der Gehalt an C und N keine relevante Rolle für die Emissionen von CH₄ und N₂O spielt. Zu Beginn der Studie wurden

Garten- und Küchenabfälle aufgrund des unterschiedlichen Gehalts an C und N getrennt. Die Studie zeigte jedoch, dass beide keine relevanten Faktoren sind. Wichtigste Treiber für die Emissionen sind die Behandlungsbedingungen in der Kompostieranlage. Für die Bildung von CH₄ und N₂O während des Kompostierungsprozesses sind die Belüftung und die Temperatur die Schlüsselfaktoren und der Feuchtigkeitsgehalt spielt eine Rolle. Im Forschungsprojekt wird daher folgerichtig nicht zwischen den verschiedenen Abfallarten, sondern zwischen den verschiedenen Behandlungstechnologien unterschieden. In einfachen Kompostieranlagen ohne intensivierte Belüftung findet aufgrund des hohen Feuchtigkeitsgehalts und des geringen Gehalts an strukturellen Bestandteilen keine alleinige Behandlung von Küchenabfällen statt. In diesen Anlagen werden meist Grünabfälle (aus Gärten und Parks) oder eine Mischung mit geringem Anteil an Küchenabfällen kompostiert. Küchenabfälle hingegen werden meist in geschlossenen Anlagen mit Zwangsbelüftung kompostiert.

In den genannten nationalen Emissionsfaktoren sind sowohl die Emissionen aus dem Kompostierungsprozess, und der Lagerung als auch die Emissionen aus der Anwendung des Kompostes enthalten. Diese umfasst auch die Ausbringung und die spätere Mineralisierung des Stickstoffs im Boden. Allgemein ist zu beachten, dass die Lachgasemissionen nach der Düngung mit Kompost sehr gering sind, da der darin enthaltene Stickstoff organisch gebunden ist und sehr langsam mineralisiert wird. Durch diese langsame Stickstofffreisetzung wird er weitgehend von den Pflanzen aufgenommen und es gibt kaum direkt verfügbaren Stickstoff (z.B. Nitrat), der in Distickstoffmonoxid umgewandelt werden könnte (Cuhls et al., 2015). Weitere Informationen zu diesem Thema sind in Kategorie 3.D (Kapitel 5.1.3.6.5 und 5.1.4) zu finden.

7.3.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.B.1)

Aktivitätsdaten

Die Unsicherheiten bei den kompostierten Abfallmengen werden als sehr gering (2 %) geschätzt, da es sich um eine Totalerhebung handelt.

Emissionsfaktoren

Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren sind hoch und hängen von der Art der Anlage der Zusammensetzung der Abfälle und der Wirkung der eingesetzten Biofilter ab. Die Angaben aus der Literatur und aus anderen Staaten schwanken sehr stark, so dass hier von einer Unsicherheit von +400 % bis -69 % für CH₄ und von mindestens +177 % bis -46 % für N₂O ausgegangen wird. Die Unsicherheiten wurden im Rahmen des o.g. Forschungsprojektes ermittelt (Cuhls et al., 2015).

7.3.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.B.1)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Für die Aktivitätsdaten werden Zahlen aus der Abfallstatistik des Bundes verwendet. Umfassendere oder genauere Daten sind nicht verfügbar.

Bei den Emissionsfaktoren wurde neben den durchgeführten Messungen auch eine Auswertung der vorhandenen Literatur durchgeführt und ist in die Ermittlung der Emissionsfaktoren eingeflossen. Auch eine von Oonk and Lambert (2017) durchgeführte Literaturrecherche hat keine neueren Daten zu Emissionen von Bioabfallbehandlungsanlagen ergeben und die von Deutschland verwendeten Emissionsfaktoren bestätigt.

Der verwendete Emissionsfaktor für Methan liegt mit 1,4 g CH₄/kg Abfall unter dem Defaultwert von 4 g, er liegt jedoch innerhalb der Bandbreite des letzteren von 0,03 bis 8 g CH₄/kg Abfall.

Auch der verwendete Emissionsfaktor für Lachgas liegt mit 0,074 g N₂O/kg Abfall unter dem Defaultwert von 0,3 g, jedoch ebenfalls innerhalb der Bandbreite des letzteren von 0,06 bis 0,6 g N₂O/kg Abfall. Ein wichtiger Grund für den niedrigen ermittelten Emissionsfaktor sind wahrscheinlich die hohen technischen Standards bei den Behandlungsanlagen in Deutschland (aktive Belüftung, Temperaturüberwachung und Steuerung, regelmäßiges Umsetzen der Mieten).

Aus demselben Grund liegt auch der IEF für CH₄ und N₂O deutlich im unteren Drittel der berichtenden Staaten (GHG Locator 2020). Der IEF für Methan liegt in vergleichbarer Größenordnung wie der Wert aus Italien und über dem Wert vergleichbarer Länder wie den Niederlanden und der Schweiz. Der IEF für Lachgas liegt im unteren Bereich aber in ähnlicher Größenordnung wie die Werte aus der Schweiz und den Niederlanden.

Ein für die Berichterstattung 2020 durchgeführter Vergleich der verwendeten Emissionsfaktoren (siehe Tabelle 471) mit denen von Österreich, Belgien und Dänemark zeigt, dass der deutsche CH₄-EF im Mittelfeld liegt. Für Lachgas liegt der EF etwas niedriger als der von Österreich und Belgien aber ebenfalls in der gleichen Größenordnung.

Tabelle 471: Vergleich der Emissionsfaktoren für die Kompostierung

EF in g/t	Deutschland	Österreich	Belgien	Dänemark
Methan CH ₄	1400	750	750	4000 (4200)
Lachgas N ₂ O	74	100	96	240 (120)

Quelle: aktuelle Submission für Deutschland, für andere Länder Submission 2019 (UNFCCC, 2020b)

Anmerkung zur Tabelle: Angaben für Dänemark EF für Bioabfall (EF für Grünabfall)

7.3.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.B.1)

Bei der Erarbeitung der jeweils aktuellen Inventardaten liegen statistische Daten (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1) für die abgelagerten Abfallmengen immer nur für das vorhergehende Berichtsjahr vor, da die Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes mit zwei Jahren Verzug erscheint. Das aktuelle Berichtsjahr wird daher, wie oben beschrieben, auf Basis des Trends der Aktivitätsdaten der vergangenen drei Jahre extrapoliert. Diese Extrapolation wird im jeweils folgenden Jahr durch die dann statistisch erhobenen Daten ersetzt. Aus diesem Grund wären jährliche Rückrechnungen für das vorvergangene Jahr erforderlich. Da die daraus notwendige Rekalkulation aber in jedem Jahr vernachlässigbar gering ist, wird sie hier nicht mehr zusätzlich berichtet.

7.3.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.B.1)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

7.3.2 Vergärungsanlagen (5.B.2)

7.3.2.1 Beschreibung der Kategorie (5.B.2)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	Tier 2	NS	CS
N ₂ O	Tier 2	NS	CS

In der Bundesrepublik werden jährlich zunehmende Anteile der biologisch abbaubaren Abfälle getrennt gesammelt und behandelt. Die unter 5.B.2 berichteten Emissionen stammen aus

Vergärungsanlagen die vor allem getrennt gesammelte Bioabfälle aus Haushalten, Speiseabfälle aus Kantinen und Restaurants sowie Bioabfälle aus der Lebensmittelproduktion und -verarbeitung vergären. Die Klärschlammfäulung ist nicht enthalten. In einigen Bioabfallvergärungsanlagen werden auch Wirtschaftsdünger (vor allem Gülle) eingesetzt. Diese Mengen werden bei den eingesetzten Abfällen aber herausgerechnet, da deren Emissionen bereits unter der CRF-Kategorie 3 B erfasst werden (siehe auch Kapitel 5.1.3.6.5 und 5.1.4, NIR 2018).

Die Vergärung wird gezielt zur Biogasgewinnung und damit zur Erzeugung eines Energieträgers betrieben (im Gegensatz zur Kompostierung). Aus diesem Grund wird ein Großteil des erzeugten Biogases gefasst und energetisch verwertet und nur ein geringer Teil abgefackelt. Beide Gasmengen werden direkt an den Anlagen statistisch erfasst und alle zwei Jahre erhoben. Die Ergebnisse sind in der jährlichen Abfallstatistik dargestellt ((Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1), Tabelle 1.5). Die Methanemissionen aus der Verbrennung des Biogases zur Energiegewinnung werden im Energiesektor unter 1.A.1.a berichtet.

Gärreste, die aus diesen getrennt gesammelten Abfällen erzeugt werden, werden anschließend in der Landwirtschaft oder im Gartenbau verwertet. Die Vergärung von Bioabfällen in Biogasanlagen wird erst seit 1999 statistisch erfasst (Statistisches Bundesamt, ebd.). Berichtet wird allerdings seit 1998, aufbauend auf einer Expertenschätzung, nach der die AR halb so groß wie 1999 war. In den Jahren davor war die Bioabfallvergärung im Prinzip vernachlässigbar und gewinnt seitdem aber zunehmend an Bedeutung. Seit dem NIR 2015 wird daher in Übereinstimmung mit den 2006 IPCC Guidelines auch über die Bioabfallvergärung in Biogasanlagen berichtet.

7.3.2.2 Methodische Aspekte (5.B.2)

Über Lachgas- und Methanemissionen aus der Vergärung von Bioabfällen wird entsprechend den 2006 IPCC Guidelines berichtet. Allerdings werden eigene nationale Emissionsfaktoren verwendet, die Ergebnisse eines Forschungsprojektes (Cuhls et al., 2015) sind. Die Berechnung der Methan- und Lachgasemissionen erfolgt nach folgender Formel:

$$E = M * EF$$

E = Emissionen in kg

M = Masse Bioabfall [kt]

EF = Emissionsfaktor [kg/kt]

Daneben wird die aus der Bioabfallvergärung stammende energetisch genutzte Gasmenge und die abgefackelte Gasmenge berichtet, die seit 2004 alle zwei Jahre direkt in der Abfallstatistik erfasst wird ((Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1), Tabelle 1.5).

Aktivitätsdaten

Die in Bioabfallvergärungsanlagen verwerteten Abfallmengen werden seit 1999 regelmäßig vom Statistischen Bundesamt erhoben und jährlich in unterschiedlicher Form veröffentlicht (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1). Hierfür findet eine Totalerhebung bei den Abfallbehandlungsanlagen statt. Zur Berechnung der in Vergärungsanlagen behandelten Bioabfälle werden derzeit aus dort enthaltener Tabelle 7.1 (ebd.) die Abfallmengen der Zeilen „Biogas- und Vergärungsanlagen“ und „Kombinierte Kompostierungs- und Vergärungsanlagen“ addiert. Zusätzlich wird der Anteil an den „sonstigen biologischen Behandlungsanlagen“, der vergoren wird, errechnet und hinzuaddiert. Für diese Berechnung wird der prozentuale Anteil der in diesen Anlagen erzeugten Gärrückstände am Gesamtprodukt der „sonstigen biologischen Behandlungsanlagen“ (Komposte und Gärrückstände) aus Tabelle 7.3 (ebd.) herangezogen und auf die eingesetzte Abfallmenge angewendet.

Von den gesamten in Bioabfallvergärungsanlagen eingesetzten Abfällen wird die Menge an Wirtschaftsdünger (vor allem Gülle), die in diese Anlagen geht, abgezogen, da diese bereits in der CRF-Kategorie 3B erfasst wird. Hierfür wird die in der Abfallstatistik unter dem Abfallschlüssel 020106 erfasste Menge von der Gesamtmenge abgezogen. Diese Vorgehensweise ist zur Vermeidung einer Doppelzählung mit den Verantwortlichen für Kategorie 3 abgestimmt.

In den Jahren 1990 bis 2005 erfolgte die statistische Erfassung der Abfallmengen weniger detailliert, nicht immer in derselben Art und Weise und in unterschiedlichen jährlichen Abständen. Aus diesem Grund mussten einzelne Werte teilweise unterschiedlich interpoliert bzw. in die Vergangenheit extrapoliert werden.

Die Aktivitätsdaten für das aktuelle Berichtsjahr müssen geschätzt werden, da die offizielle Abfallstatistik mit zwei Jahren Verzug erscheint. Zur Abschätzung wird die gesamte Abfallmenge, die in Vergärungsanlagen behandelt wird, auf Basis des Trends der vorhergehenden 3 Jahre extrapoliert und im jeweils folgenden Jahr durch die statistisch erhobene Zahl ersetzt. Ebenso wird mit der gewonnenen und der abgepackelten Gasmenge verfahren. Rückrechnungen sind daher jährlich erforderlich.

Im Vorfeld der Entscheidung für dieses Vorgehen wurde auch untersucht, wie sich diese Extrapolationsmethode auswirkt, wenn sie bei jeder Behandlungsanlagenart getrennt durchgeführt wird. Im Ergebnis kann es hier aufgrund unklarer Trendverläufe zu teilweise starken Schwankungen der berechneten Aktivitätsdaten kommen, die fachlich als nicht valide eingestuft werden. Wird hingegen die addierte Abfallmenge extrapoliert, erzeugt dies einen Wert, der nach Experteneinschätzung, aller Voraussicht nach, näher am erwartbaren zukünftigen Wert liegt.

Emissionsfaktoren

Für die Vergärung von Bioabfällen wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes Emissionsfaktoren ermittelt (Cuhls et al., 2015). Im Rahmen dieses Projektes wurden sowohl für Methan als auch für Lachgas und Ammoniak Emissionsmessungen an 16 Vergärungsanlagen durchgeführt. Aus den Messergebnissen und den Ergebnissen von Literaturrecherchen wurden aggregierte Emissionsfaktoren für den Anlagenbestand in Deutschland abgeleitet. Diese berücksichtigen sowohl die verschiedenen in Deutschland verwendeten Anlagentechniken als auch die unterschiedlichen als Einsatzstoffe verwendeten Bioabfälle. Bei einigen Anlagen gab es sehr hohe Emissionsmesswerte, die zu einem sehr hohen Mittelwert führten. An den meisten Anlagen gab es mehrere Messphasen, um unterschiedliche atmosphärische/meteorologische Bedingungen (Sommer/Winter) zu berücksichtigen bzw. als Ursache für besonders hohe oder niedrige Werte ausschließen zu können. Im Rahmen eines Peer-Reviews (Forschungsnehmer, UBA, Fachexperten) wurden die sehr hohen Werte schließlich als Ausreißer identifiziert und als nicht repräsentativ eingestuft. Deshalb wurde zusammen mit dem Forschungsnehmer (Cuhls) beschlossen, die Medianwerte als Emissionsfaktoren zu verwenden. In die Ableitung der Medianwerte gingen alle gemessenen Emissionswerte ein. Die EF selbst wurden abgeleitet, indem zunächst EF für jede Behandlungstechnologie ermittelt wurden. Anschließend wurde jede Behandlungstechnologie in Abhängigkeit von der Menge der Abfälle, die in den zugehörigen Anlagen in Deutschland behandelt werden, gewichtet (siehe Cuhls et al, Tabelle 5-1, die die verschiedenen Technologien und ihren Anteil am behandelten Bioabfall darstellt) und die verschiedenen EF mit Hilfe der ermittelten Gewichtungsfaktoren zu den aktuell verwendeten EF zusammengefasst.

Für die Vergärung von Bioabfall wurden die folgenden Emissionsfaktoren ermittelt:

$$EF\text{-CH}_4 = 2.800 \text{ kg CH}_4/\text{kt Bioabfall}$$

EF-N₂O = 67 kg N₂O/kt Bioabfall

In den genannten nationalen Emissionsfaktoren, sind sowohl die Emissionen aus dem Vergärungsprozess, und der Lagerung als auch die Emissionen aus der Anwendung der Gärrückstände enthalten. Diese umfasst auch die Ausbringung und die spätere Mineralisierung des Stickstoffs im Boden. Allgemein ist zu beachten, dass die Lachgasemissionen nach der Düngung mit Gärrückständen sehr gering sind, da der darin enthaltene Stickstoff organisch gebunden ist und sehr langsam mineralisiert wird. Durch diese langsame Stickstofffreisetzung wird er weitgehend von den Pflanzen aufgenommen und es gibt kaum direkt verfügbaren Stickstoff (z.B. Nitrat), der in Distickstoffmonoxid umgewandelt werden könnte (Cuhls et al., 2015). Weitere Informationen zu diesem Thema sind in Kategorie 3.D (Kapitel 5.1.3.6.5 und 5.1.4) zu finden.

7.3.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.B.2)

Aktivitätsdaten

Die Unsicherheiten bei den in Vergärungsanlagen behandelten Abfallmengen werden als sehr gering (2 %) geschätzt, da es sich um eine Totalerhebung handelt. Dies gilt auch für die statistisch erhobenen verwerteten und abgefackelten Gasmengen aus Bioabfallvergärungsanlagen.

Emissionsfaktoren

Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren sind hoch und hängen von der Art der Anlage der Zusammensetzung der Abfälle und der Wirkung der eingesetzten Biofilter ab. Die Angaben aus der Literatur und aus anderen Staaten schwanken sehr stark, so dass hier von einer Unsicherheit von +179 % bis -77 % für CH₄ und von mindestens +320 % bis -37 % für N₂O ausgegangen wird. Die Unsicherheiten wurden im Rahmen des o.g. Forschungsprojektes ermittelt (Cuhls et al., 2015).

7.3.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.B.2)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Bei den Aktivitätsdaten werden Zahlen aus der Abfallstatistik des Bundes verwendet. Umfassendere oder genauere Daten sind nicht verfügbar.

Bei den Emissionsfaktoren wurde neben den durchgeführten Messungen auch eine Auswertung der vorhandenen Literatur durchgeführt und ist in die Ermittlung der Emissionsfaktoren eingeflossen. Auch eine von Oonk and Lambert (2017) durchgeführte Literaturrecherche hat keine neueren Daten zu Emissionen von Bioabfallbehandlungsanlagen ergeben und die von Deutschland verwendeten Emissionsfaktoren bestätigt.

Die im Forschungsprojekt ermittelten Emissionsfaktoren für Methan und Lachgas umfassen neben der anaeroben Behandlung der Bioabfälle auch die aerobe Nachrotte der Gärreste. Daher ist der verwendete Wert für Methan mit 2,8 g CH₄/kg Abfall deutlich höher als der IPCC-Defaultwert von 1 g CH₄/kg Abfall, er liegt jedoch innerhalb der Bandbreite des letzteren von 0 – 8 g CH₄/kg Abfall. Für Lachgas geben die Guidelines gar keinen Emissionsfaktor an, weil vermutlich nur der anaerobe Prozess betrachtet wird.

Beim Vergleich des CH₄-IEF mit den IPCC-Default-Werten fällt auf, dass er deutlich über den letzteren liegt. Dies ist darin begründet, dass nach der im CRF angegebenen IEF-Berechnungsroutine der IEF wie folgt berechnet wird $IEF = (CH_4\text{-Emissionen} + CH_4\text{ gefasst} + CH_4\text{ abgefackelt}) / \text{Jahresabfallmenge in Vergärungsanlagen}$. Die deutschen CH₄-Emissionen basieren

jedoch ausschließlich auf den Emissionen die während der Behandlung entstehen. Die Mengen an CH₄, die gefasst und abgefackelt werden stammen aus nationalen Statistiken und sind für die Emissionsberechnung nicht relevant, da sie energetisch genutzt werden oder vernachlässigbar gering sind. Damit ist das IEF-Berechnungsverfahren des CRF irreführend, zumindest aber nicht hilfreich für einen Vergleich zwischen den Staaten, da Länder, die CH₄ gar nicht fassen und abfackeln die EF-Defaults erreichen. Länder die CH₄ fassen und energetisch nutzen erreichen die Defaults aber nicht. Sie überschreiten sie bei weitem, da die gefasste und abgefackelte Menge an CH₄ die Menge an diffus emittiertem CH₄ naturgemäß bei weitem überschreitet.

Diesen Umstand bestätigt auch ein Blick auf die IEF der berichtenden Länder (GHG Locator 2020) - die Werte bewegen sich in einem extrem breiten Spektrum, Vergleichbarkeit ist nicht gegeben.

Wie oben schon beschrieben, werden in den Guidelines keine EF für N₂O angegeben, weil die Emissionen als vernachlässigbar eingestuft werden. Dementsprechend berichtet außer Deutschland nur noch die Niederlande Emissionen - beide IEF-Werte liegen nah beieinander.

Ein für die Berichterstattung 2020 durchgeführter Vergleich der deutschen Emissionsfaktoren für Methanemissionen aus Bioabfallvergärungsanlagen mit denen der Länder Österreich und Dänemark zeigt, dass diese ihre Emissionen als Verlust in Prozent der gesamten gebildeten Methanmenge angeben. Die Umrechnung des deutschen Emissionsfaktors ergibt einen Verlust von 5,7%. Dieser Wert ist mit denen der beiden genannten Länder direkt vergleichbar.

Über Lachgasemissionen aus Vergärungsanlagen wird von keinem der Länder berichtet.

Tabelle 472: Vergleich der Emissionsfaktoren für die Vergärung

EF in g/t	Deutschland	Österreich	Dänemark
Methan CH ₄	2800 (5,7%)	5%	4%
Lachgas N ₂ O	74	-	-

Quelle: aktuelle Submission für Deutschland, für andere Länder Submission 2019 (UNFCCC, 2020b)

7.3.2.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.B.2)

Bei der Erarbeitung der jeweils aktuellen Inventardaten liegen statistische Daten (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1) für die abgelagerten Abfallmengen immer nur für das vorhergehende Berichtsjahr vor, da die Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes mit zwei Jahren Verzug erscheint. Das aktuelle Berichtsjahr wird daher, wie oben beschrieben, auf Basis des Trends der Aktivitätsdaten der vergangenen 3 Jahre extrapoliert. Diese Extrapolation wird im jeweils folgenden Jahr durch die dann statistisch erhobenen Daten ersetzt. Aus diesem Grund wären jährliche Rückrechnungen für das vorvergangene Jahr erforderlich. Da die daraus notwendige Rekalkulation aber in jedem Jahr vernachlässigbar gering ist, wird sie hier nicht mehr zusätzlich berichtet.

Im aktuellen Berichtsjahr wird eine fehlerhafte Berechnung der Gasmengen (gewonnene und abgefackelte Gasmenge) in den Jahren 2013 bis 2017 korrigiert. Da die offizielle Statistik diese Gasmengen nur alle zwei Jahre angibt, müssen die Zwischenjahre interpoliert werden. 2013, 2015 und 2017 wurden die Gasmengen fälschlicherweise mit dem Wert vom Vorjahr fortgeschrieben. Die Folge dieser Korrektur und die entsprechende Rückrechnung ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 473: Rückrechnungen CRF 5.B.2

Bezeichnung	Einheit	Berichts- jahr	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Biogasgewinnung zur energetischen Nutzung, CH ₄	kg	2021	277.822.320	301.467.325	324.659.460	293.997.476	262.081.776	254.653.455	247.062.960
		2020	277.822.320	277.822.320	324.659.460	324.659.460	262.081.776	262.081.776	262.081.776
Biogas, Fackelverluste, CH ₄	kg	2021	3.903.632	3.520.035	3.142.524	2.761.612	2.365.664	2.769.130	3.179.040
		2020	3.903.632	3.903.632	3.142.524	3.142.524	2.365.664	2.365.664	2.365.664

Für das Jahr 2010 ist zusätzlich ein Fehler bei der berichteten Abfallmenge aufgefallen. Dieser Fehler wird in der aktuellen Berichterstattung korrigiert. Statt der wie in 2020 berichteten 3.416,300 kt Bioabfall wurden in den Vergärungsanlagen 3.416,944 kt eingesetzt. Die Treibhausgasemissionen aus der Bioabfallvergärung steigen damit im Jahr 2010 von 307,350 kt auf 307,409 kt. Ergänzend wurden marginale Rundungsfehler in den Jahren 2011 und 2013 korrigiert, die aufgrund ihrer Geringfügigkeit hier nicht wiedergegeben werden.

7.3.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.B.2)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

7.4 Abfallverbrennung (5.C)

Die anlagenbasierte Abfallverbrennung erfolgt in Deutschland entweder vollständig unter energetischer Nutzung oder ist den Krematorien zuzuordnen. Die bei der Abfallverbrennung mit energetischer Nutzung entstehenden Emissionen werden zur Vermeidung von Doppelzählungen im Energieteil (CRF 1.A.1.a, Kapitel 3.2.6) berichtet. Unter 5.C werden lediglich die Emissionen an NO_x, SO₂ und NMVOC aus Krematorien (Anlagen) und NO_x, SO₂, CO und NMVOC aus Brauchtumsfeuern (offene Verbrennung) berichtet.

7.4.1 Krematorien

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
NO _x , SO ₂ , NMVOC	Tier 1	AS	CS

Die Daten zu Feuerbestattungen werden aus Angaben des Bundesverbandes Deutscher Bestatter e.V. und den offiziellen Sterbezahlen für Deutschland berechnet (W. Statistisches Bundesamt, 2020b). Wegen des steigenden Anteils an Feuerbestattungen (Bundesverband Deutscher Bestatter, 2020) und damit steigender absoluter Anzahl (angestiegen auf über 600.000) werden steigende Emissionen ausgewiesen. Da im CRF-Reporter für Aktivitätsdaten die fest vorgegebene Einheit „kt“ gefordert ist, findet sich in den CRF-Tabellen eine errechnete Angabe. Die Umrechnung wird aus Pietätsgründen hier nicht näher beschrieben, erfolgt aber vergleichbar zu anderen Veröffentlichungen.

Folgende Angaben geben einen Überblick über die tatsächliche Anzahl an Kremierungen:

Kremierungen	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019
Anzahl (in Tausend)	169	316	328	365	427	574	658

Emissionsberechnungen erfolgen nicht für Treibhausgase, berücksichtigt werden aber die Vorläufersubstanzen NO_x, SO₂, CO und NMVOC. Zur Berechnung dieser Emissionen werden die EF Default-Werte aus dem EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2013 verwendet.

Es ist geplant, die Eignung von Emissionsfaktoren nach EMEP-Guidebook 2016 zu prüfen sowie neueste Messergebnisse zu berücksichtigen.

7.4.2 Brauchtumsfeuer und ähnliche offene Verbrennungen

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
NO _x , SO ₂ , CO, NMVOC	Tier 1	M, Q	C

Aus der offenen Verbrennung von Holz und Grünschnitt zu Traditionszwecken, sogenanntem Brauchtum wie z.B. dem Entfachen von Osterfeuern werden neben biogenem Kohlendioxid Emissionen an NO_x, SO₂, CO und NMVOC berücksichtigt.

Die Erhebung der Anzahl an solchen Brauchtumsfeuern erfolgte durch ein Sachverständigenprojekt (Wagner & Steinmetzer, 2018) mit Befragung von Gemeinden und statistischen Hochrechnungen für Deutschland für das Jahr 2016. Auf Grund des Gutachtertutums wird eine sinkende Entwicklung für die gesamte betrachtete Zeit angenommen.

Rekalkulationen waren nicht notwendig und es sind keine weiteren Verbesserungen geplant.

7.5 Abwasserbehandlung (5.D)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/T	5 D 1, Domestic Wastewater		CH ₄	2.563,2	0,2	450,6	0,1	-82,4 %
L2/T2	5 D 1, Domestic Wastewater		N ₂ O	1.389,9	0,1	485,5	0,1	-65,1 %
-/-	5 D 2, Industrial Wastewater		N ₂ O	31,6	0,0	27,1	0,0	-14,2 %
-/-	5 D 2, Industrial Wastewater		CH ₄	9,3	0,0	46,4	0,0	401,5 %

Die Kategorie *Abwasserbehandlung - Kommunale Abwasserbehandlung* ist für CH₄-Emissionen eine Hauptkategorie nach dem Trend sowie für N₂O-Emissionen nach der Approach-2-Level- & Trend-Analyse. Aufgrund der seit 1990 sehr stark fallenden Emissionen und des dadurch erreichten sehr geringen Emissionsniveaus hat die Nationale Koordinierungsstelle aus Gründen der Ressourcenpriorisierung entschieden, die für Hauptkategorien vorgesehenen höheren Ansprüche an die Methodik für diese Kategorie nicht umzusetzen.

7.5.1 Kommunale Abwasserbehandlung (5.D.1)

7.5.1.1 Methanemissionen der kommunalen Abwasserbehandlung (5.D.1 Abwasserbehandlung)

7.5.1.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Abwasserbehandlung)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	D/CS	NS	D/CS
N ₂ O	D/CS	NS	D/CS

Die Kategorie *Abwasserbehandlung - Kommunale Abwasserbehandlung* ist für CH₄-Emissionen eine Hauptkategorie nach dem Trend.

99,5% der jährlichen Abwassermenge in Deutschland wird in zentralen Kläranlagen behandelt (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 2.1.3). Dabei entsteht Methan, auch wenn die Behandlung meist aerob erfolgt. Zur Emission tragen voraussichtlich alle Prozessschritte bei, allerdings haben die Schlammfäulung und die Faulschlammstapelung die größten Anteile. Die Schlammeindickung, der Sandfang und die Denitrifikation verzeichnen deutlich niedrigere Werte. Allerdings ist eine Verschiebung dieser Anteile über den Betrachtungszeitraum der Berichterstattung anzunehmen.

Die restlichen 0,5 % der Abwassermenge bildet die Behandlung der Abwassermengen von Einwohnern (human sewage), die nicht an die Kanalisation angeschlossen sind. Deren Abwasser

wird in Kleinkläranlagen behandelt oder bis zum Abtransport in eine zentrale Kläranlage überwiegend in abflusslosen Gruben gesammelt. In abflusslosen Gruben können unkontrollierte Prozesse (teils aerob, teils anaerob) ablaufen, die zur Methanbildung führen. Die organische Fracht, die in abflusslose Gruben geleitet wird, reduzierte sich seit 1990 drastisch, da sich der Anschlussgrad an Kläranlagen stetig erhöht hat.

Zusätzlich wurde die bis Anfang der 90er Jahre in den neuen Bundesländern durchgeführte offene Schlammfäulung zur Schlammstabilisierung schrittweise reduziert und 1994 eingestellt (siehe Kapitel 7.5.1.2.1). Aus dieser Konstellation resultiert ein stark abfallender Trend der CH₄-Emissionen dieses Sektors.

7.5.1.1.2 Methodische Aspekte (5.D.1 Abwasserbehandlung)

Die von IPCC empfohlene Gleichung 6.1 (IPCC (2006): Vol. 5, Kapitel 6.2.2.) zur **Berechnung von CH₄-Emissionen aus dem kommunalen Abwasser** ist in Deutschland nicht anwendbar. Von den in Tabelle 6.5 der IPCC-Guidelines (ebd.) vorgestellten Anteilen der Bevölkerung (fraction of population, U_i) tragen zwei Gruppen (rural und urban-high) zu den Emissionen bei. Gleichzeitig wird der Primär- und Sekundärschlamm zur CH₄-Erzeugung in Faultürmen genutzt. Das entstehende Methan wird gefasst, wodurch die dabei produzierte CH₄-Gesamtmenge weit über den mittels Gleichung 6.1 berechneten CH₄-Emissionen liegen und damit auch der aus der IPCC-Gleichung entstehende Wert negativ wäre. Der Klärschlamm wird zudem erst nach der Klärgasgewinnung, also ausgefault, einer weiteren Verwertung zugeführt (z.B. Verbrennung oder Weiterverwertung in Landwirtschaft oder im Landschaftsbau), weshalb im Sinne der Guidelines nicht von „sludge removed“ gesprochen werden kann, da der Klärschlamm bereits ausgefault ist und keinen BSB₅ mehr enthält (siehe auch Kapitel 7.5.1.2.1). Darüber hinaus sind die in Deutschland vorliegenden Daten für die angeschlossenen Personen präziser, als die mit Tabelle 6.5 der Guidelines ableitbaren Werte für U_i und T_{i,j} (degree of utilisation of treatment system). Alles in allem ist die 2006 Guidelines-Methode zu eingeschränkt für die in Deutschland real vorliegende Situation. Aus den beschriebenen Gründen wird anstelle der IPCC 2006 Gleichung nach der 1996 IPCC -Methode verfahren, die allerdings um die Anforderungen der 2006 IPCC Guidelines ergänzt wurde.

Die Berechnung der Methanemissionen aus Kläranlagen beruht auf einer begrenzten Anzahl von Messungen aus Becker et al. (2012). Aus der Veröffentlichung lässt sich ein Emissionsfaktor von 0,26 kg Methan pro Jahr und Einwohner ableiten. Die Messungen wurden an drei Anlagen durchgeführt und umfassen in ihrer Gesamtheit alle potentiell emissionsrelevanten mechanischen sowie biologischen Verfahrensstufen der Abwasserbehandlung (Sandfang, Nitrifikation, Denitrifikation, P-Elimination), inklusive der Schlammbehandlung (Primär- und Überschussschlamm, Schlammfäulung, Schlammstapelung). Aufgrund der Anlage der Studie und der sehr begrenzten Anzahl der Messungen ist der EF allerdings eher als ein Ergebnis von Stichproben denn als repräsentativer Emissionsfaktor einzuordnen. Er ist aus wissenschaftlicher Sicht nur eingeschränkt belastbar sowie auf der Basis der IPCC-Qualitätsstandards für Literaturquellen eher vorsichtig zu bewerten. Während des In Country Review 2016 wurde Deutschland dennoch zur Anwendung des obigen EF verpflichtet. Aufgrund der Bandbreite der Messwerte und ihrer geringen Anzahl, ergibt sich zusätzlich eine recht hohe Unsicherheit.

Aufgrund der überwiegend gleichen Ausstattung der kommunalen Kläranlagen, bezogen auf die biologische Abwasserbehandlung, in Deutschland, wird dieser Emissionsfaktor auf alle Kläranlagen angewendet.

Ein derzeit laufendes Forschungsvorhaben soll Daten zur exakteren Ermittlung der nationalen Emissionsfaktoren, auch für Lachgasemissionen, liefern und so auch die Genauigkeit der Daten deutlich verbessern. Da so gut wie alle Einwohner (ca. 97%) in Deutschland an eine der ca. 9100

(Statistisches Bundesamt, FS 19, R 2.1.2) Kläranlagen angeschlossen sind, wird die Gesamtbevölkerungszahl als Aktivitätsrate genutzt. Durch die Verwendung der Gesamteinwohnerzahl kommt es hier aufgrund der Mitberücksichtigung der Kleinkläranlagen und abflusslosen Gruben zu einem als konservativ einzustufenden Ergebnis. Von den Kleinkläranlagen wäre, aufgrund der nicht vorhandenen Schlammbehandlung, ein vermutlich geringerer Emissionsfaktor zu erwarten. Die Abwässer aus den abflusslosen Gruben werden zwar in die kommunalen Kläranlagen verbracht und müssen auch an dieser Stelle betrachtet werden, sind zu diesem Zeitpunkt allerdings schon teilweise ausgefault. Es kommt hier also zu einer Überschneidung der Emissionswerte aus den Kläranlagen und den abflusslosen Gruben, die sich mangels Daten nicht exakt beziffern lässt, gleichzeitig ist die Relevanz aber sehr gering und daher vernachlässigbar. Der der Trendentwicklung des Emissionsfaktors zugrundeliegende Verlauf ab 1990 beruht auf einem Fachbeitrag (Grün et al., 2013), dessen spezifische Betrachtungen für den Einzugsbereich des „Emschersystems“ (Nordrhein-Westfalen) generalisiert und auf Basis von Expertenschätzungen der Studienautoren als auch für Deutschland repräsentativ eingestuft wurde. Dies kann aufgrund eines sehr ähnlichen Standes der Anlagentechnik und des Anlagenmanagements auf kommunalen Kläranlagen als plausibel angesehen werden. Der Fachbeitrag geht von einer Halbierung der Emissionen aufgrund von Verbesserungen der Anlagentechnik und des Anlagenmanagements im Zeitraum 1990 bis 2020 aus. Hierbei ist anzumerken, dass sich diese Entwicklung rein aus den zuvor genannten Verbesserungen der Kläranlagen ableitet und nicht die spezifische Reduktion der Emissionen aufgrund des Umbaus von zuvor offenen Kanalsystemen im Einzugsgebiet der Emscher miteinbezieht. Dies bedeutet, dass diese grundlegende Besonderheit des Emschersystems (im Vergleich zum Durchschnitt der deutschen Kläranlagen) nicht in die ermittelte Trendentwicklung eingeht. Zur Berechnung der einzelnen Emissionsfaktoren für die Jahre ab 1990 wird der oben beschriebene Emissionsfaktor für das Jahr 2011 als fester Ausgangswert verwendet. Der Emissionsfaktor für 1990 wird mittels Geradengleichung und der Annahme, der Wert für 2020 sei halb so groß wie der Wert für 1990, bestimmt. Die Emissionsfaktoren für die übrigen Jahre lassen sich durch lineare Interpolation ermitteln. Aufgrund der hier beschriebenen Berechnungsmethode zur Ermittlung des Emissionsfaktors für Emissionen aus Kläranlagen, bei der reale Messwerte verwendet werden, ist die Verwendung eines Methankorrekturfaktors (MCF) nicht zielführend.

Die organische Fracht der **abflusslosen Gruben** wird entsprechend der IPCC-Methode ermittelt, indem die an Gruben angeschlossenen Personen (P) mit der durchschnittlichen organischen Fracht pro Einwohner multipliziert werden. Für die durchschnittliche tägliche organische Fracht wird 60 g BSB₅ pro Einwohner angenommen (Gujer, 2006). Dabei handelt es sich um den für Deutschland spezifischen Wert, der zusätzlich aber auch europaweit als statistischer Mittelwert verwendet wird (91/271/EWG, 1991). Der IPCC Default Wert für Deutschland liegt mit 62 g in derselben Größenordnung (2006 IPCC Guidelines, (2006): Vol. 5, Kapitel 6, Tabelle 6.4).

Die Methanemissionen aus abflusslosen Gruben werden ebenfalls entsprechend der IPCC Methode ermittelt. Es wird der IPCC Default-Wert für das Methanbildungspotenzial (0,6 kg CH₄/kg BSB₅) verwendet. Gemäß IPCC (IPCC (2006): Vol. 5, Kapitel 6.1., Seite 6.7) ist die Höhe des Methankorrekturfaktors (MCF) temperaturabhängig. Bei Temperaturen unterhalb von 15°C findet demgemäß keine signifikante Methanproduktion statt.

Ausgehend von der langjährigen mittleren Bodentemperatur in Deutschland (DWD, 2013) in 1 m Tiefe liegt in den Sommermonaten die gemittelte Bodentemperatur bei Werten zwischen 15 und 18° C. Eine Methanbildung ist in dieser Zeit somit möglich, da die Gruben durchschnittlich in einer Tiefe von etwa 0,5 - 2,5m liegen. Der MCF für diesen Zeitraum (etwa 3,5 Monate) wird in Anlehnung an Gibbs and Woodbury (1993) konservativ auf 0,35 geschätzt. Für den Rest des

Jahres liegen die Temperaturen teilweise signifikant unter der 15° C-Grenze des IPCC. Sie sinken bis auf etwa 3,8° C. Der MCF für diesen Zeitraum (etwa 8,5 Monate) wird in Anlehnung an Gibbs and Woodbury (1993) konservativ auf 0,1 geschätzt (nach IPCC wäre ein MCF von 0 gerechtfertigt). Da die Gruben zusätzlich regelmäßig zur Entsorgung des Abwassers in der Kläranlage geleert werden und demzufolge keine Sedimentation oder Schlammanreicherung stattfindet, wird davon ausgegangen, dass die verwendeten Werte realistisch bis konservativ einzuschätzen sind. Die Angaben aus Gibbs and Woodbury (1993) beziehen sich auf Untersuchungen zur Methanbildung von tierischem Wirtschaftsdünger (Gülle). Da entsprechende Daten für menschliche Ausscheidungen sowohl national als auch international nicht vorliegen und die diesbezüglichen IPCC-Default Werte in Deutschland nicht anwendbar sind, werden die dort (ebd.) ermittelten MCF-Werte für die Ermittlung des nationalen MCF als übertragbar angenommen. Der MCF beschreibt das Potential der angewendeten Technik zur Methanbildung. Bei der Güllelagerung handelt es sich um meist nicht durchmischte Systeme, die regelmäßig aber diskontinuierlich über einen Zulauf und eine Entnahme verfügen. Dies erscheint mit abflusslosen Gruben hinreichend vergleichbar. Auch der Einfluss des Substrates bezieht sich, bezüglich des MCF, rein auf den technischen Aspekt. Da das Potential des Substrates zur Methanbildung durch den B_0 beschrieben wird, ist hier eine Vergleich der Trockensubstanz (Massenanteil) ausreichend. Dieser wird für Schweinegülle mit 5% und für Rindergülle mit 7,5% angenommen (Bayern, 2009). Für bereits eingedickten Primärschlamm aus der Abwasserbehandlung liegt diese bei ca. 5-10% (DWA, 2007). Es ist also anzunehmen, dass Rohabwasser, selbst im eher wassersparsameren dezentralen Bereich, eher unterhalb 5% und somit auch unterhalb der Trockensubstanz der Gülle liegt. Durch den Zufluss von Grauwasser und Toilettenspülwasser im Abwasserbereich und die Verwendung von Einstreu im Tierzuchtbereich erscheint dies zudem plausibel. Es ist also anzunehmen, dass sich aufgrund der dünneren Suspension (impliziert eine geringere Sauerstoffzehrung) erst später anaerobe Verhältnisse als bei der Güllelagerung einstellen und die Umsetzung zu Methan verzögert abläuft. Zudem verfügen abflusslose Gruben nur über eine Ventilationsöffnung, wohingegen Güllelagertanks oft komplett offen sind. Dies deutet auf einen eher konservativen Ansatz hin. Die Betrachtung des im Thünen-Report Nr. 77 (Haenel, 2020) berichteten MCF für die Lagerung von Schweinegülle (0,25) unterstreicht die Konservativität des von uns gewählte MCF (0,35). Da keine spezifischen Daten zur Übertragbarkeit vorliegen, wurde hier eine Unsicherheit von 20% (siehe Kapitel 7.5.1.1.3) geschätzt. Mittels eines in 2018 abgeschlossenen Forschungsprojektes (unveröffentlicht) wurde überprüft, ob national wie auch international bessere Daten für die Ableitung eines landesspezifischen MCF vorliegen. Hierfür wurde eine umfangreiche Literaturstudie durchgeführt und nationale Hersteller abflussloser Gruben, sowie nationale wissenschaftliche und universitäre Einrichtungen dazu befragt, ob Messergebnisse über die Methanbildung in abflusslosen Gruben vorliegen. Die Studie kommt zu dem Schluß, dass die sehr wenigen in der internationalen Literatur veröffentlichten Messergebnisse keine Rückschlüsse auf die Ableitung eines nationalen MCF zulassen. Zusätzlich liegen den Herstellern und auch den befragten Institutionen keine Informationen zur Methanbildung vor. Aus diesem Grund wird der hier vorgestellte MCF auch zukünftig, bzw. bis zum vorliegen verwertbarer Messergebnisse, genutzt werden.

Die oben beschriebenen Verhältnisse und die Temperaturverteilung im Boden ergeben einen mathematisch gemittelten MCF für Deutschland von 0,173.

Der MCF wird wie folgt ermittelt:

$$MCF = (0,35 * 3,5 \text{ Monate} + 0,1 * 8,5 \text{ Monate}) / 12 \text{ Monate}$$

0,35 Schätzung von (Gibbs and Woodbury 1993) für Temperaturen > 15° C und 0,1 für Temperaturen < 15° C

Die Emissionen werden folgendermaßen berechnet:

$$CH_4 = BSB_{5\text{Jahr}} \times B_0 \times MCF$$

$$BSB_{5Y} = P_{\text{Grube}} \times BSB_5 \times 365 \times 0,001$$

Wobei:

$$MCF = \text{Methankorrekturfaktor, } 0,173$$

$$B_0 = \text{Default - max. CH}_4 \text{ Bildungskapazität, } 0,6 \text{ kg CH}_4 / \text{kg BSB}_5$$

$$P_{\text{Grube}} = \text{an Gruben angeschlossene Personen}$$

$$BSB_{5\text{Jahr}} = \text{BSB}_5 \text{ in g / Jahr}$$

$$BSB_5 = 60 \text{ g / Tag} \times \text{Person}$$

Eine Berechnung mit höheren Tiermethoden, wie für Hauptkategorien gefordert, ist nicht möglich, da die Stoffströme der abflusslosen Gruben nicht separat erfasst werden. Zur Verifikation des verwendeten MCF siehe Kapitel 7.5.1.1.4.

Die folgende Tabelle zeigt die Einwohnerwerte deutschlandweit und für Einwohner mit Anschluss an abflusslose Gruben. Die Werte wurden für die Jahre 1990-2015 im fünfjährigen Rhythmus und ab 2017 durchgehend dokumentiert und dienen der Nachvollziehbarkeit der in diesem Abschnitt beschriebenen Berechnungen.

Tabelle 474: Einwohner Deutschland gesamt und mit Anschluss an abflusslose Gruben

Einwohner [1000 kpf]	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019
Abflusslose Gruben	8234,425	6434,800	1266,667	875,667	575,000	448,609	408,191	387,982	367,773
Deutschland gesamt	79753,227	81307,715	81456,617	81336,663	80284,071	82175,684	82792,351	83019,213	83166,711

Die **Gesamtemissionen an Methan** aus dem Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung ergeben sich durch Summenbildung der detailliert beschriebenen Emissionen aus Kläranlagen, abflusslosen Gruben und offener Schlammfäulung (siehe Kapitel 7.5.1.2.2.3).

7.5.1.1.3 Unsicherheit und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Abwasserbehandlung)

Der MCF wurde an die klimatischen Verhältnisse (langjährige mittlere Bodentemperatur), wie unter 7.5.1.1.2 beschrieben, in Deutschland angepasst. Die Unsicherheit des Wertes beträgt $\pm 20\%$ (Expertenschätzung).

Des Weiteren werden folgende Unsicherheiten verwendet (Expertenschätzungen):

- Emissionsfaktor Methan aus Kläranlagen = $\pm 25\%$
Die Unsicherheit ergibt sich aus der in der Literatur (Becker et al. (2012)) angegebenen Bandbreite der CH₄-Emissionen ($\pm 28,6\%$) und dem daraus abgeleiteten wahrscheinlichen 95'er Perzentil.
- Einwohner mit abflusslosen Gruben = $\pm 3\%$
- BSB₅ = $\pm 30\%$
- B₀ = $\pm 30\%$

Die Aktivitätsraten der organischen Fracht in abflusslosen Gruben basieren auf Angaben des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 2.1.3). Die Anzahl der Einwohner, die nicht an die öffentliche Kanalisation angeschlossen sind und deren Abwasser über abflusslose Gruben entsorgt wird, wird vom Statistischen Bundesamt alle drei Jahre, ohne Angabe von Unsicherheiten, erhoben. Fehlende Jahre werden linear interpoliert, bzw.

extrapoliert. Eine alternative Datenquelle existiert nicht. Die Ergebnisse dieser Erhebungen sind, da es sich um eine Totalerhebung handelt, als sehr genau einzustufen.

Bis zum Jahr 1995 wurden die Daten für die alten und neuen Bundesländer getrennt ermittelt, seither wird ein gesamtdeutscher Wert bestimmt. Dies hat auf die Zeitreihenkonsistenz keine Auswirkung.

7.5.1.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Abwasserbehandlung)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Da es in dem oben beschriebenen Forschungsprojekt nicht gelungen ist einen landesspezifischen MCF für die Berechnung der Emissionen aus den abflusslosen Gruben zu ermitteln und die derzeit verwendete Literaturquelle (Gibbs and Woodbury (1993)) unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten problematisch erscheint, wurde der daraus abgeleitete nationale MCF einer mehrstufigen Verifikation unterzogen.

Die Verifikation erfolgte in einem ersten Ansatz anhand der in den, noch nicht in Kraft getretenen, IPCC Refinements (2019) (IPCC, 2019)} wiedergegebenen Betrachtungen und Angaben, sowie der dort zitierten Literatur. Selbst bei Anwendung der dortigen Vorgaben bezüglich der Temperaturgrenze der biologischen Aktivität von 12 °C, der Verwendung der Lufttemperatur anstatt der Bodentemperatur und der Anwendung des MCF von 0,4 (unterer Wert für abflusslose Gruben), ergäbe sich für Deutschland ein nur wenig abweichender MCF von 0,225 ($0,4 \cdot 5 \text{ Monate} + 0,1 \cdot 7 \text{ Monate} = 0,225$). Die in den Refinements hierzu zitierte Studie (Leverenz, 2010) ermittelte im Ergebnis einen MCF von 0,22. Dieser insgesamt nur leicht höhere Wert stützt die grundlegende Plausibilität des für Deutschland abgeleiteten MCF von 0,173. Zusätzlich gibt es in Deutschland einige ganz grundlegende Aspekte, die einen niedrigeren MCF, als den bei Leverenz ermittelten, zur Folge haben. Zum einen ist die leichte Abweichung mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf die abweichenden klimatischen Bedingungen zurückzuführen, da die durchschnittlichen jährlichen Lufttemperaturen in Deutschland (ca. 1 bis 18°C) insgesamt niedriger sind als die in San Francisco, Kalifornien (9,9 bis 18,6°C). Darüber hinaus werden in Deutschland abflusslose Gruben unter der Erdoberfläche verbaut. Die Mindesteinbautiefe beträgt 0,5 m, was bedeutet, dass nur der Schornstein (direkt über der Bodenoberfläche gelegen) für den Gasausgleich mit der Atmosphäre in Kontakt steht - Luftströmungen von außen in das Innere des Behälters sind also nicht zu erwarten und die Beeinflussung durch evtl. eingetragenen Sauerstoff bleibt außerordentlich gering. Zusätzlich bleiben auch die Temperaturen im Inneren des Behälters von den im Sommer typischerweise hohen atmosphärischen Temperaturen völlig unbeeinflusst. Darüber hinaus sind die mittleren Bodentemperaturen in Deutschland im Sommer insgesamt niedriger als die Lufttemperaturen und somit auch noch einmal niedriger als die Lufttemperaturen in San Francisco. Der Eintrag von warmem Wasser wird als wenig relevant bewertet, da es insgesamt ein geringes Volumen hat und zudem die Kühlwirkung des umgebenden Erdreichs deutlich höher ist als bei umgebender Atmosphäre. Außerdem werden in der Studie von LEVERENZ et al (Leverenz, 2010). Systeme mit anschließender Bodenverrieselung betrachtet. In Deutschland handelt es sich hingegen um abflusslose Gruben, die entsprechend häufiger mittels Tankwagen entleert werden müssen. Dies zieht nach sich, wie auch in (Leverenz, 2010) gezeigt, dass es mehrere Monate benötigt bis eine Methanogenese möglich wird und somit bei häufigerer Entleerung ein niedrigerer MCF zu erwarten ist.

Die Ergebnisse von (Leverenz, 2010) wurden im Folgejahr von (Diaz-Valbuena, 2011) bestätigt, wo die BSB₅-Belastung zusätzlich mit 85 bis 90 g BSB₅/EW/d angegeben wurde. Der deutsche

BSB₅-Wert beträgt 60 g BSB₅/EW/d, was bedeutet, das im Vergleich auch weniger organisches Material für die Methanogenese zur Verfügung steht.

In der Gesamtschau der wiedergegebenen Berechnungen und Argumente betrachten wir den deutschen MCF als bestätigt.

Die Verifikation des MCF erfolgte in einem zweiten Ansatz anhand alternativer AR. Hierbei wurde anstelle einer Berechnung der organischen Jahresfracht mittels BSB₅=60g/d*EW eine Berechnung über den spezifischen Abwasseranfall pro Einwohner im dezentralen Bereich (83l/d*EW) und eine mittlere BSB₅-Zulaufkonzentration (750 mg/l) ermittelt (BDZ, 2017). Die alternativen AR wurden aus einer Studie zu Kleinkläranlagen entnommen. Da angenommen werden kann, dass, aufgrund der kostenpflichtigen Abholung des Abwassers aus abflusslosen Gruben, weniger Wasser als bei Nutzern von Kleinkläranlagen verbraucht wird, wurde der obere Wert für die BSB₅-Konzentration angenommen. Die so ermittelten Werte sind fast identisch zu den für die Berichterstattung ermittelten Werten.

Tabelle 475: Verifikation CH₄ aus abflusslosen Gruben

CH ₄ aus abflusslosen Gruben [kt]	2015	2016	2017	2018	2019
über BSB ₅ - Fracht / EW (Gujer)	1,020	0,974	0,928	0,882	0,836
über BSB ₅ - Konzentration und Abwasseranfall (BDZ)	1,058	1,010	0,963	0,915	0,867

Der Vergleich mit der IPCC-Methodik und den Default-Werten zeigt für die Betrachtung der abflusslosen Gruben ca. eine Verdreifachung der Emissionen an. Dieser wird, aufgrund der durch die Umgebungstemperatur eingeschränkten Methanogenese als nicht anwendbar eingestuft. Deshalb wurde ein landesspezifischer MCF abgeleitet. Die Anwendung der IPCC Guideline für die Berechnung der Emissionen aus der zentralen Abwasserbehandlung ist, wie bereits erläutert, nicht anwendbar. Auch hier kommt eine landesspezifische Methode, basierend auf Messungen, zur Anwendung.

Die Verifikation des MCF von abflusslosen Gruben erfolgte in einem dritten Ansatz anhand eines generellen Vergleichs mit der Vorgehensweise anderer Länder. Dabei wird die gesamte Abwasserbehandlung betrachtet, der MCF (soweit vorhanden) ist ein Teil dieser Betrachtung. Die Methodik und resultierende Emissionsfaktoren wurde mit Ländern, die über einen ähnlichen Stand der Abwassertechnik verfügen, verglichen. Es wurde jeweils der NIR 2020 betrachtet, die Vergleichbarkeit der verwendeten Parameter ist insgesamt gut. Im Detail zeigte sich Folgendes:

- Österreich: Analoge Methodik zur Ermittlung der Emissionen aus abflusslosen Gruben mit geringfügig höherem MCF (0,27). Dieser ist auf abweichende Temperaturen zurückzuführen, wobei unklar ist, ob hier Luft- oder Bodentemperaturen herangezogen wurden. Keine Berücksichtigung von Emissionen aus der Abwasserbehandlung auf Kläranlagen bzw. Schlammbehandlung.
- Schweiz: Keine Berücksichtigung der nicht ans öffentliche Kanalnetz angeschlossenen Einwohner. Aufgrund des geringen Anteils werden diese als vernachlässigbar angesehen. Ein weiteres Argument für die Vernachlässigung sind die, wie auch in Deutschland, zumeist unterirdische Installation der Anlagen sowie die niedrige Durchschnittstemperatur. Die Emissionen aus zentralen Kläranlagen werden zusammengefasst für kommunales und industrielles Abwasser betrachtet. Zur Berechnung werden die IPCC-Methodik und Default-Werte herangezogen. Insgesamt ergibt dies einen EF von 0,89 kg CH₄/EW*a. Der EF für Deutschland (für 2018 0,21 kg CH₄/EW*a) liegt in der gleichen Größenordnung, ist allerdings niedriger.

- Niederlande: Berücksichtigung von abflusslosen Gruben. Diese werden gemäß IPCC-Guideline berechnet. Die Emissionen aus der zentralen Abwasserbehandlung werden anhand der IPCC-Guidelines mittels landesspezifischen EF berechnet. Auf die Einwohner bezogen ergibt sich ca. ein EF = 0,46 kg CH₄/EW*a. Dieser liegt nahe dem für Deutschland eingesetzten EF.
- Dänemark: Berechnung für zentrale und dezentrale Systeme, sowie anaerobe Systeme (z.B. Klärschlammstabilisierung) inklusive industrielles Abwasser. Zur Berechnung werden die Methoden nach IPCC-Guidelines, allerdings unter Bezug auf landesspezifische EF, angewendet. Der EF für die gesamten Emissionen aus dem Abwasserbereich bezogen auf die Einwohnerzahl entspricht EF = 0,35 kg CH₄ /EW*a. Auch dieser Wert liegt nahe dem für Deutschland entsprechenden EF.

Der Vergleich des IEF im Bereich der Methanemissionen mit den IEF anderer Länder (GHG Locator 2020) zeigt einen leicht höheren Wert, als bei den meisten vergleichbaren Ländern. Dies wird auf die beschriebene, von den IPCC-Guidelines abweichende, Berechnungsmethode und die zusätzliche Berücksichtigung des teilweise ausgefaulten Abwassers aus abflusslosen Gruben und Kleinkläranlagen bei der Betrachtung der Emissionen aus der zentralen Abwasserbehandlung zurückgeführt.

In einem nationalen Forschungsvorhaben werden für Methan- und Lachgasemissionen aus dem Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung Emissionsfaktoren auf Grundlage von Messungen abgeleitet. Das Vorhaben ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Eine anschließende Diskussion und ggf. Übernahme in die Berechnungsmethodik stehen ebenfalls aus.

7.5.1.1.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.1 Abwasserbehandlung)

Der auf Messungen beruhende EF für die kommunale Abwasserbehandlung wurde in der Vergangenheit fälschlicherweise für das Jahr 2014 verwendet und nicht für das Jahr der Messungen (2011). Dieser Fehler wurde mit der diesjährigen Berichterstattung korrigiert. Für die Methanemissionen aus Kläranlagen ergeben sich dadurch in der gesamten Zeitreihe nur geringfügige Änderungen, die in folgender Tabelle dargestellt sind..

Tabelle 476: Rückrechnung der CH₄-Emissionen aufgrund des korrigierten Einsatzes des EF

Bezeichnung	Einheit	NIR	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2014	2015	2018
Einwohner D. ges.	[kpf] in 1000		79753	81308	81457	81337	80284	80275	81198	82176	83019
Emissionsfaktor (0,26)	[kg CH ₄ /EW*a]	2021	0,400	0,367	0,333	0,300	0,267	0,260	0,240	0,233	0,213
	[kg CH ₄ /EW*a]	2020	0,433	0,397	0,361	0,325	0,289	0,282	0,260	0,253	0,231
CH ₄ aus Kläranlagen	[kt]	2021	31,901	29,813	27,152	24,401	21,409	20,871	19,487	19,174	17,711
	[kt]	2020	34,560	32,297	29,415	26,434	23,193	22,611	21,111	20,772	19,187
CH ₄ Gesamt	[kt]	2021	102,530	44,441	30,032	26,392	22,716	22,113	20,553	20,194	18,593
	[kt]	2020	105,188	46,925	32,294	28,425	24,500	23,853	22,177	21,792	20,069
CO ₂ -Äquivalent	[kt]	2021	2563,249	1111,014	750,790	659,790	567,905	552,836	513,828	504,853	464,818
	[kt]	2020	2629,710	1173,124	807,358	710,625	612,507	596,319	554,427	544,799	501,716

7.5.1.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Abwasserbehandlung)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

7.5.1.2 Methanemissionen der kommunalen Schlammbehandlung (5.D.1 Schlammbehandlung)

7.5.1.2.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Schlammbehandlung)

Die Behandlung von kommunalem Schlamm besteht in aller Regel aus zwei Behandlungsschritten:

- Entwässerung: maschinelle Verfahren (Kammerfilterpresse, Zyklon), Verdunstung in Schlammmentwässerungsbecken oder Trockenbeeten
- Stabilisierung: Aerobe Stabilisierung (offenes Becken mit Sauerstoffeinleitung) oder anaerobe Stabilisierung im Faulturm;
- (Bis 1993: Offene Schlammfäulung)

Bezogen auf die Einwohnerwerte stellt die maschinelle *Entwässerung* vor bzw. nach Behandlung im Faulturm derzeit das überwiegende Behandlungsverfahren dar (Ausnahme: kleine ländliche Kläranlagen). Dazu kommt, dass der Schlamm vor der weiteren Verwendung noch stabilisiert wird.

Die Schlammstabilisierung erfolgt, um eine unkontrollierte Fäulung zu verhindern. Bei Anlagen <10.000 EW erfolgt diese in der Regel aerob unter Energieverbrauch, bei Anlagen > 30.000 EW hingegen erfolgt sie in der Regel anaerob unter Gewinn von Faulgas¹³⁶. Die Menge an Faulgas hängt insbesondere von der Zusammensetzung des Schlammes, der Temperatur sowie den Reaktionsbedingungen ab. Das entstehende Gas wird in der Regel energetisch in Blockheizkraftwerken (BHKW) genutzt und unter 1.A.1 berichtet.

Noch bis Anfang der 90er Jahre wurde in den neuen Bundesländern die offene Schlammfäulung zur Schlammstabilisierung betrieben, die zur Emission von Methan führte. Die offene Schlammfäulung hat heutzutage keine Relevanz mehr. Sie wurde schrittweise reduziert und 1994 eingestellt. Die Emissionen aus der offenen Schlammfäulung sind jedoch auch heute noch der Grund, weshalb in den CRF unter diesem Punkt NO berichtet wird, anstelle von IE (für die energetische Nutzung unter 1.A.1 – siehe oben), denn bis einschließlich 1993 gab es diese Technik und die damit verbundenen Emissionen.

Der bei der Abwasserbehandlung entstehende Sekundär- bzw. Überschussschlamm sowie der Primärschlamm werden gemeinsam im Faulturm anaerob behandelt und damit anaerob stabilisiert. Dabei entsteht Faulschlamm, der nach weiterer Aufbereitung die Abwasserbehandlungsanlage als Klärschlamm verlässt. Mit diesem Verfahren ist sichergestellt, dass der Klärschlamm keine leicht biologisch abbaubaren Stoffe mehr enthält.

Der Klärschlamm sowie das behandelte Abwasser sind die Endprodukte der Abwasserbehandlung.

Der nach der biologischen Abwasserbehandlung anfallende Klärschlamm wird in Deutschland (ggf. nach der Entwässerung und Stabilisierung) den folgenden Entsorgungswegen zugeführt:

- Thermische Verwertung: Es entstehen keine Methanemissionen. Die thermische Verwertung erfolgt unter energetischer Nutzung und geht daher in CRF 1 ein.
- Stoffliche Verwertung: Zur stofflichen Verwertung des Klärschlammes zählen insbesondere die Verwertung in der Landwirtschaft laut Klärschlammverordnung sowie Nutzung bei landschaftsbaulichen Maßnahmen und Sonstigem.

¹³⁶ Im Jahr 2016 wurde in 1.258 Abwasserbehandlungsanlagen Faulgas gewonnen (Statistisches Bundesamt, 2017).

Tabelle 477: Verwertung von Klärschlamm

Klärschlamm						
Trockenmasse TM [t]	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Gesamtmenge	1.787.871	1.809.166	1.803.087	1.773.186	1.713.185	1.747.230
<i>Thermische Verwertung</i>	<i>1.034.771</i>	<i>1.084.108</i>	<i>1.148.679</i>	<i>1.142.893</i>	<i>1.190.156</i>	<i>1.295.188</i>
- Monoverbrennung	230.581	431.286	432.516	460.411	478.493	496.463
- Mitverbrennung	250.326	400.115	446.871	615.928	648.108	761.959
- unbekannt	553.864	252.707	269.292	66.554	63.555	36.766
<i>Deponie</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Stoffliche Verwertung</i>	<i>748.868</i>	<i>722.416</i>	<i>651.410</i>	<i>624.000</i>	<i>516.158</i>	<i>436.146</i>
- Landwirtschaft	484.464	470.882	427.736	423.497	311.905	280.325
- Landschaftsbauliche Maßnahmen	203.712	216.148	190.127	169.439	171.633	122.615
- Kompostierung	0	0	0	0	0	0
- Sonstiges	60.692	35.386	33.547	31.064	32.620	33.206
sonstige direkte Verwertung	4.232	2.642	2.998	6.293	6.871	15.896

Die Aktivitätsraten der Klärschlammverwertung basieren auf Angaben des Statistischen Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, ab 2010). Dieser Bericht erscheint 3-jährlich. Für die Zwischenjahre wird auf die Veröffentlichung „Wasserwirtschaft Öffentliche Abwasserentsorgung Klärschlammbehandlung aus der biologischen Abwasserbehandlung“ (Statistisches Bundesamt, ab 2013) zurückgegriffen. Für die Zeit vor 1998 und die Jahre 1999-2000, 2002-2003 sowie 2005 existieren keine Daten. Eine Interpolation ist nicht möglich, da eine Summenbildung auf 100% aufgrund einer statistischen Umstellung ab 2007 nicht möglich ist (Wiechmann et al., 2013). Zahlen für das aktuelle Inventarjahr liegen nicht vor, weshalb an dieser Stelle nur die Daten der Vorjahre aufgeführt werden können. Für 2013 berichtete das Statistische Bundesamt zum ersten Mal unter „sonstige direkte Verwertung“¹³⁷.

Die Aktivitätsraten der Klärschlammverwertung für die vorigen Jahre können den entsprechenden Fassungen des NIR entnommen werden.

7.5.1.2.2 Methodische Aspekte (5.D.1 Schlammbehandlung)

7.5.1.2.2.1 Faulgas

Wie oben beschrieben, wird das bei der Faulung entstehende Faulgas gefasst und zur Energieerzeugung verwendet. Der Gehalt an Methan im Faulgas beträgt annähernd 65 % (Schön et al., 1993). Die Ermittlung der Methanmenge im Rohgasvolumen (Statistisches Bundesamt, ab 2012) erfolgt auf folgende Weise:

$$M_{\text{Methan}} = V_{\text{Rohgas}} \times 0,65 \times \sigma \times 0,000001$$

Wobei:

M_{Methan} = Masse erzeugtes Methan bei der Faulung (kt)

V_{Rohgas} = Volumen erzeugtes Faulgas (m³)

0,65 = Umrechnungsfaktor Gehalt Methan im Faulgas

σ = Dichte Methan (0,717 kg/m³) (Vogel & Synowietz, 1974)

7.5.1.2.2.2 Faulgasverluste

Die Daten zur Faulgasgewinnung und zur Klärschlammverwertung werden auf Grundlage des Energiestatistikgesetzes jährlich durch die Betreiber an das Statistische Bundesamt berichtet. Rückfragen bei einigen Abwasserbehandlungsanlagen mit Faulgasgewinnung ergaben, dass die Verluste der Anlagen bei 5 % liegen. Dies bestätigen auch die Angaben des Statistischen

¹³⁷ Hierzu zählt auch die Abgabe an Trocknungsanlagen, wenn die weitere Entsorgung nicht bekannt ist.

Bundesamtes (Statistisches Bundesamt, ab 2012). Es wird angenommen, dass die Gasverluste überwiegend über Fackeln verbrannt werden. Diese Fackelverluste entstehen bei der Gasfassung durch technischen Schwierigkeiten, Havarien und Instandhaltungsmaßnahmen. Für solche Fälle ist aus Sicherheitsaspekten eine Abfackelung vorgesehen. Die Gasfackeln werden so ausgelegt, dass sie im Notfall das gesamte anfallende Gas verbrennen können und sind mit einer automatischen Zündung ausgerüstet. Ein weiterer Grund für die berichteten Verluste können die unterschiedlichen Messgenauigkeiten zwischen den Messungen an den Gasanfall- und den Verbrauchsstellen sein. Eine gesonderte Messung des über die Fackel geführten Gases erfolgt i.d.R. nicht, so dass an dieser Stelle keine genauere Aussage über die Art der Verluste getroffen werden kann.

Ggf. auftretende Verluste auf den Anlagen werden durch die unter 7.5.1.1.2 beschriebenen Berechnungen abgedeckt, da der Bereich der Schlammbehandlung bei der Ermittlung des Emissionsfaktors mit einbezogen wurde.

7.5.1.2.2.3 Offene Schlammfäulung

Für die offene Schlammfäulung in den neuen Bundesländern wird ein Emissionsfaktor von 210 kg CH₄/t TS angesetzt, basierend auf Ergebnissen der Studie Schön et al. (1993)¹³⁸. Die Aktivitätsraten für die Jahre 1990 bis 1992 wurden dem Umweltbundesamt persönlich durch den damaligen Hauptinspekteur der Wasseraufbereitungsbetriebe der DDR mitgeteilt.

Vor dem Hintergrund, dass in der Bundesrepublik Deutschland die offene Schlammfäulung verboten ist, wurde diese Art der Behandlung in den neuen Bundesländern schrittweise abgeschafft und ab dem Jahr 1994 komplett eingestellt.

Die oben beschriebenen Daten für die Jahre 1990-1994 sind in tabellarischer Form letztmalig im NIR 2015 aufgeführt.

7.5.1.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Schlammbehandlung)

7.5.1.2.3.1 Faulgas

Die Unsicherheiten bei der Ermittlung und Berechnung der Methanmenge werden wie folgt eingeschätzt (Expertenschätzung):

Erzeugtes Faulgasvolumen = ± 5 %

Unsicherheiten liegen in der Messgenauigkeit der Messgeräte begründet

Methangehalt im Faulgas = ± 15 %

variiert mit der Zusammensetzung des jeweiligen Abwassers und damit des Schlammes

Dichte = ± 30 %

die Angaben zur Dichte von Methan in der Literatur variieren (abhängig von Temperatur usw.)

Die Angabe der erzeugten Faulgasmenge beruht auf Angaben des statistischen Bundesamtes. Die Zeitreihen sind in sich konsistent. Die Erhebungen erfolgen jährlich. Die Ergebnisse dieser Erhebungen sind als genau einzustufen.

7.5.1.2.3.2 Offene Schlammfäulung

Die Unsicherheiten der offenen Schlammfäulung wurden bislang noch nicht abgeschätzt, weshalb auf die Default-Werte (Konservative Faktoren) der UNFCCC Decision 20/CMP.1 (UNFCCC, 2006) zurückgegriffen wird. Die Aktivitätsraten zwischen 1990 und 1992 basieren auf

¹³⁸ Der Emissionsfaktor wurde ermittelt, indem die Differenz aus den Methanemissionen der psychrophilen Schlammstabilisierung in den neuen Bundesländern und der anfallenden Klärschlammmenge gebildet wurde.

einer persönlichen Mitteilung, die für 1993 hingegen auf einer Abschätzung des Umweltbundesamtes. Daher ist eine hohe Konsistenz der Zeitreihe nicht gesichert.

7.5.1.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Schlammbehandlung)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Der für die Ermittlung des Methangehalts im Klärgas verwendete durchschnittliche Methangehalt von Klärgas von 65 % (Schön et al., 1993) wurde mit Daten des Statistischen Bundesamtes überprüft (Statistisches Bundesamt, ab 2012). Für 2015 wurde ein durchschnittlicher Methangehalt in Klärgas von 63,17 % ermittelt. Der verwendete Wert gilt damit als verifiziert.

Vergleichbare Emissionsdaten für Deutschland oder alternative Daten zur Methangewinnung aus Kläranlagen sind nicht bekannt.

7.5.1.2.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.1 Schlammbehandlung)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

7.5.1.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Schlammbehandlung)

Zurzeit erscheinen Verbesserungen als nicht notwendig oder möglich, da keine weiteren Aktivitätsdaten verfügbar sind.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

7.5.1.3 Lachgasemissionen aus dem kommunalen Abwasser (5.D.1 Lachgas kommunal)

7.5.1.3.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.1 Lachgas kommunal)

Kommunales Abwasser enthält eine Vielzahl Stickstoffverbindungen. Im Verlauf bakterieller Abbauprozesse wird ein Teil des organisch verfügbaren Stickstoffs wieder in Biomasse umgewandelt.

Direkte Emissionen: Um auch den verbleibenden Stickstoff weitestgehend zu eliminieren, werden in Deutschland, ergänzend zur biologischen Abwasserbehandlung, nahezu alle kommunalen Kläranlagen mit einer zusätzlichen Nitrifikations- und Denitrifikationsstufe betrieben. Bei der Nitrifikation werden unter aeroben Bedingungen die im Abwasser enthaltenen Stickstoffverbindungen in Nitrat und bei der Denitrifikation wird der im Nitrat gebundene Stickstoff zu molekularem Stickstoff und Stickoxiden umgewandelt. Unter ungünstigen Bedingungen (siehe auch Kapitel 7.5.2.2.1) kann dabei auch Lachgas (N_2O) als Nebenprodukt/Zwischenprodukt bei beiden Prozessen entstehen, wobei die Denitrifikation als Quelle zu dominieren scheint (IPCC (2006): Vol. 5, Kapitel 6.1 Seite 6.8).

Indirekte Emissionen: Der nach Abschluss der Abwasserbehandlung im Abwasser verbleibende Stickstoff gelangt in die Gewässer. Dort finden ebenfalls mikrobielle Abbauprozesse statt, in deren Verlauf u.a. Lachgas gebildet und emittiert werden kann.

Für die Ermittlung der Gesamtemissionen an Lachgas, die aus dem kommunalen Abwasser entstehen, werden die direkten Lachgasemissionen (N_2O_{PLANTS}) und die indirekten Lachgasemissionen ($N_2O_{EFFLUENT}$) bestimmt. Die Gesamtemission ergibt sich wie folgt:

$$N_2O_{\text{Gesamt}} = N_2O_{\text{PLANTS}} + N_2O_{\text{Effluent}}$$

Der Trend der Emissionen war aufgrund des starken Ausbaus der Denitrifikationstechnik in den Abwasserbehandlungsanlagen im Zeitraum von 1990 bis etwa 2001 stark fallend. Ursache hierfür war die Umsetzung der Abwasserverordnung (91/271/EWG, 1991), die Anfang der 1990er Jahre die Nährstoffelimination in Kläranlagen zum Stand der Technik machte. Mit dem erreichten hohen Niveau dieser Technologie seit etwa 2005 hat sich der Trend der Emissionen als leicht fallend etabliert.

7.5.1.3.2 Methodische Aspekte (5.D.1 Lachgas kommunal)

Direkte Emissionen

Gemäß 2006 IPCC Guidelines müssen direkte Emissionen nur von Ländern berichtet werden, die über fortschrittliche zentrale Abwasserbehandlungsanlagen verfügen. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie über Nitrifikations- und Denitrifikationsstufen verfügen. Wie Eingangs beschrieben entstehen Lachgasemissionen gemäß IPCC (ebd.) überwiegend bei der Denitrifikation. Aus diesem Grund wird im Folgenden der Grad der Ausstattung der deutschen Kläranlagen mit Denitrifikationstechnologien zur Berechnung herangezogen (T_{Plant}) und nicht der mit Nitrifikationstechnologien. 97 % der Kläranlagen besitzen eine Nitrifikation und 96 % eine Denitrifikation (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 2.1.3). Für die Berechnung der Lachgasemissionen werden zentrale Kläranlagen berücksichtigt, die mit einer Denitrifikation ausgestattet sind.

Gemäß 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 5, Kapitel 6.3.1.3, Gleichung 6.9) werden die Lachgasemissionen wie folgt berechnet:

$$N_2O_{\text{PLANTS}} = P \cdot T_{\text{PLANT DENI}} \cdot F_{\text{IND-COM}} \cdot EF_{\text{PLANT}}$$

Wobei:

N_2O_{PLANTS}	=	gesamte jährliche N_2O Emission der Anlagen in $kg N_2O/Jahr$
P	=	Bevölkerung
$T_{\text{PLANT DENI}}$	=	Grad der Nutzung moderner zentraler Kläranlagen mit Denitrifikation in %/100 (d.h. bezogen auf die gesamte Abwasserfracht in Deutschland)
$F_{\text{IND-COMM}}$	=	Anteil des industriellen / kommerziellen, mit dem Abwasser entsorgten Proteins, Default = 1.25
EF_{PLANT}	=	Emissionsfaktor, $3.2 g N_2O/Person \times Jahr$

Während für den Lachgasemissionsfaktor und für den Anteil des über kommunale Anlagen entsorgten Eiweißes aus Industriebetrieben und Betrieben des produzierenden Gewerbes ($F_{\text{IND-COMM}}$) die IPCC Default-Werte verwendet werden, sind die Zahl der Einwohner ($P = \text{Bevölkerung}$) und auch der Grad der Nutzung moderner zentralisierter Abwasserbehandlungsanlagen mit Denitrifikation ($T_{\text{PLANT DENI}}$) landesspezifisch ermittelte Werte.

Indirekte Emissionen

Gemäß der in der 2006 IPCC Guidelines vorgeschlagenen Vorgehensweise wird zunächst die Jahresgesamtmenge Stickstoff im Abwasserablauf ermittelt. Dies hat für Länder mit modernen zentralen Kläranlagen unter Berücksichtigung des N_{WWT} zu erfolgen:

$$N_{\text{EFFLUENT}} = (P \times \text{Protein} \times F_{\text{NPR}} \times F_{\text{NON-CON}} \times F_{\text{IND-COM}}) - N_{\text{SLUDGE}} - N_{\text{WWT}}$$

(IPCC (2006): Vol. 5, Kapitel 6.3.1.3. Gleichung: 6.8)

Wobei:

N_{EFFLUENT}	=	Jahresgesamtmenge Stickstoff im Abwasserablauf in $kg N/Jahr$
P	=	Bevölkerung

Protein	=	Protein-Pro-Kopf -Verbrauch in kg/Person/Jahr
F_{NPR}	=	Stickstoffanteil im Protein, Default = 0.16 kg N/kg Protein
$F_{NON-CON}$	=	Faktor des nicht konsumierten Proteins im Abwasser, Default = 1,1
$F_{IND-COM}$	=	Faktor des industriellen / kommerziellen, mit dem Abwasser entsorgten Proteins, Default = 1.25
N_{SLUDGE}	=	Mit dem Schlamm entfernter Stickstoff, Default = 0 in kg N/Jahr
N_{WWT}	=	Stickstoffanteil, des bei der Abwasserbehandlung entstehenden Lachgases
	=	$N_2O_{PLANTS} \times 28/44$ in kg N/Jahr
28/44	=	Umrechnungsfaktor N_2O in N_2

Nach Experteneinschätzung ist diese Methodik aber fehlerhaft und allein nicht zielführend, da sie die N-Eliminationsleistung der Denitrifikationsstufe in den Kläranlagen nicht berücksichtigt. Um realistische Ergebnisse zu erzeugen, muss daher die obige Gleichung wie folgt angepasst werden.

Für die Jahre 2006-2013 liegen Daten zum durchschnittlichen N-Gehalt des Abwassers in Deutschland im Zulauf (N_{Zulauf}) und Ablauf (N_{Ablauf}) der deutschen Kläranlagen vor (DWA, ab 1988 - jährlich). Aus diesen Daten wurde eine durchschnittliche N-Eliminationsleistung der biologischen Kläranlagen in Deutschland von 81,2 % für die genannten Jahre berechnet. Für die Ermittlung von $T_{Plant\ Deni}$ wurden die Kläranlagen mit Denitrifikation herangezogen, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu erhalten. Im Folgenden muss zum einen die Eliminationsleistung der Kläranlagen mit Denitrifikation¹³⁹ und zum anderen die N-Fracht des Anlagenbestands ohne biologische Behandlung berücksichtigt werden. Der N_{WWT} reicht hierfür nicht aus, denn er berücksichtigt nur den Stickstoffanteil des entstehenden Lachgases (direkte Emissionen), nicht aber den N-Anteil des bei der Denitrifikation entstehenden molekularen Stickstoffs. Der N_{WWT} wird daher aus der Gleichung entfernt. Zusätzlich wird auch der Faktor N_{SLUDGE} entfernt, da der von Deutschland verwendete Wert für N_{SLUDGE} gleich 0 ist und die Entfernung des Stickstoffs aus dem Schlamm bereits durch den neuen $F_{ELIMINATION}$ berücksichtigt wird:

$$N_{EFFLUENT} = (P \times \text{Protein} \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM})$$

Diese Formel gilt für Anlagen ohne Stickstoffelimination.

Zur Berechnung der N-Fracht ($N_{EFFLUENT\ mit}$) im Ablauf von Anlagen mit Stickstoffelimination wird nun der Eliminationsfaktor $F_{ELIMINATION}$ eingeführt. Die Formel lautet wie folgt:

$$N_{EFFLUENT\ mit} = (P \times \text{Protein} \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) \times (1 - F_{ELIMINATION}) \times T_{PLANT\ Deni}$$

Wobei:

$F_{ELIMINATION}$ = Faktor für die Eliminationsleistung von Stickstoff in Abwasserbehandlungsanlagen = $N_{Ablauf} / N_{Zulauf} = 81,2 / 100$
(DWA, ab 1988 - jährlich)

$T_{PLANT\ Deni}$ = Grad der Nutzung moderner zentraler Kläranlagen in %/100 (d.h. bezogen auf die gesamte Abwasserfracht in Deutschland)

$N_{EFFLUENT\ mit}$ = N-Fracht im Ablauf von Kläranlagen

$N_{EFFLUENT\ ohne}$ = N-Fracht im Ablauf von Kläranlagen

Die N-Fracht ($N_{EFFLUENT\ ohne}$) im Ablauf von Kläranlagen ohne biologische Behandlung wird wie folgt berechnet:

$$N_{EFFLUENT\ ohne} = (P \times \text{Protein} \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) \times (1 - T_{PLANT\ Deni})$$

¹³⁹ Es werden nur die Anlagen mit Denitrifikatin betrachtet, da hier die Bildung von Lachgas wahrscheinlicher ist. Der DWA unterscheidet bei seiner Erfassung nicht in einzelne Behandlungsstufen.

Im Anschluss werden die Stickstofffrachten im Abwasserablauf für Kläranlagen mit Denitrifikation und für Kläranlagen ohne biologische Behandlung addiert und ergeben die Gesamt N-Fracht im Ablauf aller Kläranlagen:

$$\begin{aligned} N_{\text{EFFLUENT}} &= N_{\text{EFFLUENT mit}} + N_{\text{EFFLUENT ohne}} \\ &= (P \times \text{Protein} \times F_{\text{NPR}} \times F_{\text{NON-CON}} \times F_{\text{IND-COM}}) \times (1 - F_{\text{ELIMINATION}}) \times T_{\text{PLANT Deni.}} + \\ &\quad (P \times \text{Protein} \times F_{\text{NPR}} \times F_{\text{NON-CON}} \times F_{\text{IND-COM}}) \times (1 - T_{\text{PLANT Deni.}}) \end{aligned}$$

Das Ergebnis des oben beschriebenen Vorgehens konnte durch Heranziehung alternativer Daten (UBA, 2016) verifiziert werden und erscheint damit korrekt (siehe Kapitel 7.5.1.3.6).

Für den Lachgasemissionsfaktor, den Stickstoffanteil im Eiweiß und auch für den Anteil des über kommunale Anlagen entsorgten Eiweißes aus Industriebetrieben und Betrieben des produzierenden Gewerbes ($F_{\text{IND-COM}}$) werden die IPCC Default-Werte verwendet. Für die durchschnittliche Pro-Kopf Eiweißzufuhr sowie die Zahl der Einwohner werden landesspezifisch ermittelte Werte verwendet. Der Wert für nichtkonsumiertes Eiweiß ($F_{\text{NON-CON}}$) ist so niedrig, da die Abfallentsorgung über das Abwasser (Küchenabfallzerkleinerer) in Deutschland nicht verbreitet ist¹⁴⁰

Seit dem Jahr 2015 werden ausschließlich die Daten der Datenbank FAOSTAT (FAOSTAT, ab 2015) für die Ermittlung der durchschnittlichen Eiweißzufuhr pro Person und Tag für den gesamten Berichtszeitraum verwendet. Die Daten unterscheiden sich nur marginal von den Daten des Statistical Yearbook der FAO. Anzumerken ist, dass es hier zu einer Überschätzung kommt, da die FAO Daten zur Proteinversorgung und nicht zum eigentlichen Verbrauch liefert und Abfälle von nicht verzehrten Lebensmittel i.d.R. nicht in das Abwassersystem gelangen. Der Sachverhalt wird in den Unsicherheiten berücksichtigt.

Die Lachgasemissionen werden gemäß IPCC- wie folgt ermittelt.

$$N_2O_{\text{Emissions}} = N_{\text{EFFLUENT}} \times EF_{\text{EFFLUENT}} \times 44/28$$

Wobei:

$N_2O_{\text{emissions}}$ = N_2O Emissionen in, kg N_2O /Jahr

N_{EFFLUENT} = Stickstoff, der in die aquatische Umwelt ausgetragen wird in kg N/Jahr

EF_{EFFLUENT} = Emissionsfaktor für N_2O Emissionen, die ins Abwasser ausgetragen werden in kg N_2O -N/kg N (Default = 0,005)

44/28 = Umrechnungsfaktor von N_2O -N in N_2O

Eine Berechnung mit höheren Tier-Methoden ist aufgrund der Vielzahl an Anlagen nicht möglich. Zudem werden die Stoffströme der Kläranlagen vom Statistischen Bundesamt nicht separat ausgewiesen.

Die **Gesamtemissionen an Lachgas** aus dem Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung ergeben sich durch Summenbildung der detailliert beschriebenen direkten und indirekten Emissionen.

7.5.1.3.3 Unsicherheit und Zeitreihenkonsistenz (5.D.1 Lachgas kommunal)

Es werden folgende Unsicherheiten verwendet (alle Expertenschätzung):

¹⁴⁰ Es gibt in Deutschland kein nationales Verbot für Küchenabfallzerkleinerer, einzelne Gemeinden verbieten aber Abfälle, auch zerkleinerte, in ihrer Abwasserordnung.

<https://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BChenabfallzerkleinerer> 28.07.2016

P (Bevölkerungszahlen)	=	± 5 %
T _{PLANT DENI} (Kläranlagen mit Denitrifikation)	=	± 5 %
F _{IND-COMM}	=	± 25 %
Proteinversorgung	=	- 40 % / +10%

Die Aktivitätsraten basieren auf Angaben des Statistischen Bundesamtes. Die Bevölkerungszahl in Deutschland wird jährlich, die Menge des in Abwasserbehandlungsanlagen mit Denitrifikation behandelten Abwassers alle drei Jahre, ohne Angabe von Unsicherheiten, erhoben. Die Ergebnisse der Erhebungen sind, da es sich um eine Totalerhebung handelt, als sehr genau einzustufen. Werte für die Jahre vor 1998 wurden extrapoliert und sind plausibel, da mit Beginn der 1990er Jahre in Deutschland die Stickstoffelimination in Kläranlagen ausgebaut wurde. Die Jahre nach 2013 wurden fortgeschrieben. Alle sonstigen fehlenden Daten wurden linear interpoliert.

Die Unsicherheiten für den EF_{Plant} werden den (IPCC (2006):, Vol. 5, Tabelle 6.11) entnommen und liegen bei - 37,5 % und + 150 %. Dieser Wert scheint aus Expertensicht plausibel zu sein.

Für die durchschnittliche N-Eliminationsleistung der deutschen Kläranlagen wird die Unsicherheit auf ± 5 % geschätzt.

Die durchschnittliche tägliche Proteinversorgung ab 1990 ist der Datenbank (FAOSTAT, ab 2015) entnommen. Der Wert musste mangels aktuellerer Daten ab 2017 fortgeschrieben werden. Es wird von einer Unsicherheit von - 40 % / + 10 % ausgegangen (Expertenschätzung). Die höhere Abweichung nach unten ist dadurch begründet, dass die Proteinversorgung deutlich größer ist als der tatsächliche Proteinverbrauch.

Der Anteil an Stickstoff im Eiweiß (F_{NPR}) beträgt im Mittel 16 % ± 1%. Dieser Wert bezieht sich auf Rinderserumalbumin (Bovine serum albumin) als Standardprotein. Die Unsicherheit läge entsprechend der oben genannten Standardabweichung (± 1%) bei rund ± 6 % (bezogen auf den 16%-Anteil), wird aber auf insgesamt ± 7 % geschätzt, da im Abwasser ein breiteres Eiweißspektrum enthalten ist (Expertenschätzung).

Des Weiteren werden folgende Unsicherheiten verwendet (alle Expertenschätzung)

$$F_{\text{NON-CON}} = \pm 30 \%$$

$$F_{\text{IND-COM}} = \pm 25 \%$$

Die Unsicherheiten für den EF_{EFFLUENT} werden den (IPCC (2006): Vol. 5, Tabelle 6.11) entnommen.

7.5.1.3.4 Quellgruppenspezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.1 Lachgas kommunal)

Eine allgemeine und kategoriespezifische Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Verifikation der mittels $F_{\text{ELIMINATION}}$ angepassten Formel zur Ermittlung des N-Ablauf in das Gewässer erfolgte mit den im Leistungsvergleich kommunaler Abwasserbehandlungsanlagen veröffentlichten Durchschnittswerten für die N-Einleitung in Gewässer (DWA, ab 1988 - jährlich). Derzeit wird mit Daten für die Jahre 2006-2015 verifiziert. Als weitere Datenquelle zur Verifizierung werden die Daten der Kommunalabwasserrichtlinie (Berichterstattung der Bundesregierung an die EU gemäß 91/271/EWG (UBA, 2016)) verwendet. Beide Datenquellen sind vollständig unabhängig von den für die oben dargestellte Berechnungsmethode verwendeten Daten. In der nachfolgenden Tabelle werden die Ergebnisse der Berechnungen des N_{Effluent} (indirekte Emissionen) auf Basis der IPCC 2006 Methode, der angepassten IPCC Methode

(Stickstoffeliminationsfaktor $F_{\text{Elimination}}$), den vom DWA erfassten Messergebnissen, nach einer Mischmethode aus DWA-Daten und Daten des Statistischen Bundesamtes und zusätzlich nach den Daten der Kommunalabwasserrichtlinie, präsentiert.

Tabelle 478: Vergleich N_{EFFLUENT} nach verschiedenen Quellen; (kt N/Jahr)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Nach IPCC 2006										
N_{EFFLUENT}	646,3	666,4	656,6	662,6	656,7	665,0	658,1	658,7	673,7	686,6
Angepasste Methode IPCC 2006										
N_{EFFLUENT}	157,3	154,2	150,7	150,8	148,3	148,8	145,9	144,7	150,3	155,6
N-Ablauf & Abwassermenge DWA										
N_{EFFLUENT}	71,5	86,1	86,5	82,7	87,0	77,9	79,1	81,7	72,8	72,3
N-Ablauf DWA & Abwassermenge Statistisches Bundesamt										
N_{EFFLUENT}	80,8	90,6	95,4	95,1	92,9	90,4	88,9	87,4	84,8	84,1
Auf Basis von (UBA 2016)										
N_{EFFLUENT}			87,3	-	82,6	-	83,1	-	75,1	-

Die N-Fracht im Effluent (N_{EFFLUENT}) nach der oben vorgestellten modifizierten Methode liegt deutlich unter den Werten der IPCC-Methode. Die mit der angepassten IPCC-Methode berechneten Werte werden durch die zur Verifizierung herangezogenen Datenquellen bestätigt - die Ergebnisse liegen alle in der gleichen Größenordnung, wobei die angepasste Methode insgesamt die höchsten Werte erzeugt und damit auch als konservativ eingeschätzt werden kann. Die bestehende, etwas deutlichere Abweichung der angepassten Methode lässt sich auf den verwendeten IPCC-Default-Emissionsfaktor zurückführen, der im Lichte dieser Verifikation als zu hoch eingeschätzt werden muss. Dennoch liegt er mit einer wahrscheinlichen Überschätzung der realen N-Fracht im Ablauf und der damit möglichen N_2O -Emissionen im Bereich der Unsicherheiten.

Alternative Datenquellen für die durchschnittliche Eiweißzufuhr pro Person und Tag sind:

- In der Lebensmitteltabelle für die Praxis von 1991 (Senser & Scherz, 1991) wird eine durchschnittliche Eiweißzufuhr von 94 g/ Einwohner und Tag angegeben.
- Im Ernährungsbericht der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE, 2008)¹⁴¹ wurde anhand der geschätzten Lebensmittelverzehrdaten für das Jahr 2005 / 2006 u.a. die mittlere tägliche Zufuhr an Proteinen abgeschätzt. Aus diesen Daten konnte ein gemittelter Wert von ca. 79 g Eiweiß/ Person und Tag¹⁴² abgeleitet werden.
- Zur Bestimmung der N_2O -Emissionen des Abwassers wird seit dem NIR 2017 auf die FAOSTAT-Datenbank (FAOSTAT, ab 2015) zurückgegriffen, da es sich hierbei um eine konsistente Zeitreihe handelt. Sie ist international vergleichbar und wird regelmäßig aktualisiert. Es liegen dem Umweltbundesamt keine Hinweise vor, dass die länderspezifischen Werte der Lebensmitteltabelle sowie des Ernährungsberichtes 2008 eine höhere Genauigkeit bzw. nationale Akzeptanz aufweisen. Darüber hinaus wird in vielen Ländern auf die Datenbasis der FAO zurückgegriffen, so dass die Emissionsermittlung in Deutschland international vergleichbar ist. Der angenommene tägliche Eiweißbedarf liegt im europäischen Vergleich im Mittelfeld. Die Daten der FAO berücksichtigen nicht den Eiweißanteil der nicht verzehrt, sondern beim Gebrauch entsorgt wird. Der WWF (2015) geht bei Fleisch, Eiern und Milch von Konsumverlusten von bis zu 16 % aus.

¹⁴¹ Der Ernährungsbericht wird im vierjährigen Rhythmus herausgegeben.

¹⁴² Der Wert wurde ermittelt mit der groben Abschätzung, dass es sich jeweils um 50% Männer (90,8 g/Tag) und Frauen (66,7 g/Tag) in Deutschland handelt.

Die von der FAO verwendeten Daten zum Eiweißkonsum werden auf der Basis von Produktionsdaten (Lieferant Statistisches Bundesamt) und Handelsdaten (EUROSTAT) abgeleitet. Hierbei werden fünf verschiedene, entlang der Wertschöpfungskette einander nachgelagerte Einbußen abgedeckt und untersucht, wie Ernte-, Nachernte-, Prozess-, Verteilungs- und Konsumverluste (WWF, 2015).

Die IPCC-Methodik zur Ermittlung der Lachgasemissionen ist, wie beschrieben, nur teilweise anwendbar, da es durch die Nichtberücksichtigung der durch die Denitrifikation eliminierten Stickstofffracht zu einem deutlich überschätzten Ergebnis kommen würde. Daher wird eine angepasste Methodik angewandt. Die EF der 2006 IPCC Guidelines werden als Default-Wert herangezogen. Daten zu einer Ermittlung eines landesspezifischen EF, wie im Bereich Methan, liegen derzeit nicht vor.

Ein Vergleich des IEF für Lachgasemissionen im Bereich kommunale Abwasserbehandlung mit internationalen IEF (GHG Locator 2020) zeigt eine gute Übereinstimmung mit den meisten anderen Staaten. Dies wird auf die Anwendung der Berechnungsmethode gemäß IPCC-Guidelines zurückgeführt. Erkennbar höhere IEF können am Beispiel Österreich mit der Verwendung einer landesspezifischen Methode in Verbindung gebracht werden.

Die Methodik und resultierende Emissionsfaktoren konnten mit Ländern, die über einen ähnlichen Stand der Abwassertechnik verfügen, verglichen werden. Es wurde jeweils der NIR 2020 betrachtet. Hierbei zeigte sich Folgendes:

- Österreich: Die Berechnung erfolgt analog den IPCC-Guidelines. Allerdings kann anstelle der Verwendung des Proteinverbrauchs auf gemessene Stickstoffwerte zurückgegriffen werden. Für die Berechnung der Emissionen aus der zentralen Abwasserbehandlung wird ein landesspezifischer, auf Messungen beruhender, EF verwendet. Dieser ist mit $43\text{g N}_2\text{O}/\text{EW}^*\text{a}$ deutlich höher als der für Deutschland eingesetzte IPCC_Default Wert von $3,2\text{g N}_2\text{O}/\text{EW}^*\text{a}$. Für die Ermittlung der Emissionen aus dem Effluenten wird, wie auch für Deutschland, der Default-Wert ($0,005\text{kg N}_2\text{O-N}/\text{kg N}$) genutzt.
- Schweiz: Die Berechnungen für Emissionen aus der Abwasserbehandlung und dem Effluenten erfolgen gemäß IPCC-Guideline. Zur Berücksichtigung der über den Klärschlamm entfernten N-Fracht kann auf landesspezifische Daten zurückgegriffen werden. Es werden, wie auch für Deutschland, die EF entsprechend der Default-Werte angewandt. Der resultierende $\text{EF} = 0,039\text{ kg N}_2\text{O}/\text{EW}^*\text{a}$ liegt in der gleichen Größenordnung, wie der für Deutschland abgeleitete Wert ($0,019\text{ kg N}_2\text{O}/\text{EW}^*\text{a}$).
- Niederlande: Es werden die Default-Werte in Verbindung mit landesspezifischen Aktivitätsraten angewandt. Auf die Einwohnerzahl bezogen ergibt sich ein $\text{EF} = 0,015\text{ kg N}_2\text{O}/\text{EW}^*\text{a}$. Dieser ist mit dem für Deutschland abgeleiteten $\text{EF} = 0,019\text{ kg N}_2\text{O}/\text{EW}^*\text{a}$ gut vergleichbar.
- Dänemark: Bei der Berechnung kann auf landesspezifische Aktivitätsraten zurückgegriffen werden. Die Berechnung für Emissionen aus den Kläranlagen erfolgt mit einem landesspezifischen $\text{EF} = 0,0032\text{ kg N}_2\text{O-N}/\text{kg N}$, der aufgrund der Einheit nicht direkt vergleichbar ist. Zur Ermittlung der Emissionen aus dem Effluenten wird der Default-EF ($0,005\text{ kg N}_2\text{O-N}/\text{kg N}$) angewandt. Die insgesamten Emissionen bezogen auf die Einwohnerzahl ergeben, ohne Industrieabwasser, einen $\text{EF} = 0,034\text{ kg N}_2\text{O}/\text{EW}^*\text{a}$.

In einem nationalen Forschungsvorhaben werden für Methan- und Lachgasemissionen aus dem Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung Emissionsfaktoren auf Grundlage von Messungen abgeleitet. Das Vorhaben ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Eine anschließende Diskussion und ggf. Übernahme in die Berechnungsmethodik stehen ebenfalls aus.

7.5.1.3.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.1 Lachgas kommunal)

Aufgrund aktualisierter Daten für die Proteinversorgung durch die FAO ab dem Jahr 2014 steigen die Emissionen aus dem Effluenten und damit auch die Gesamtemissionen leicht an.

Tabelle 479: Rückrechnung der N₂O-Emissionen

Eiweißzufuhr	Einheit	NIR	2014	2015	2016	2017	2018
Protein-Versorgung	[g/kpf/d]	NIR 2021	103,36	104,08	104,95	104,20	104,20
		NIR 2020	101,59	101,59	101,59	101,59	101,59
pro Einwohner und Jahr	[kg/kpf/a]	NIR 2021	37,726	37,989	38,307	38,033	38,033
		NIR 2020	37,080	37,080	37,080	37,080	37,080
N ₂ O Effluent	Einheit		2014	2015	2016	2017	2018
NEFFLUENT Real	[kt]	NIR 2021	150,30	155,57	160,01	161,89	164,89
		NIR 2020	147,73	151,85	154,89	157,84	160,76
N ₂ O Emissionen	[kt]	NIR 2021	1,181	1,222	1,257	1,272	1,296
		NIR 2020	1,161	1,193	1,217	1,240	1,263
N ₂ O Gesamt	Einheit		2014	2015	2016	2017	2018
Gesamt N ₂ O	[kt]	NIR 2021	1,49	1,54	1,57	1,58	1,61
		NIR 2020	1,47	1,51	1,53	1,55	1,58
CO ₂ -Äquivalente	[kt]	NIR 2021	444,531	457,570	467,917	472,195	479,028
		NIR 2020	438,504	448,856	455,922	462,700	469,357

7.5.1.3.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.1 Lachgas kommunal)

Derzeit sind keine Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

7.5.2 Industrielle Abwasserbehandlung (5.D.2)

7.5.2.1 Methanemissionen der industriellen Abwasserbehandlung (5.D.2)

7.5.2.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.2 CH₄)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	Tier2/CS	NS	CS
N ₂ O	Tier 2/CS	NS	CS

Die Emissionen der industriellen Abwasserbehandlung sind keine Hauptkategorie.

Die hier berichteten CH₄-Emissionen beziehen sich gemäß IPCC (2006) ausschließlich auf den Teil des Abwassers, der in industriellen Abwasserbehandlungsanlagen behandelt wird. Der Teil des industriellen Abwassers, der kommunalen Anlagen zugeleitet wird, wird unter 5.D.1 (Kommunale Abwasserbehandlung) durch einen Aufschlag von 25 Prozent mitberücksichtigt

Die Grundlagen für die Berechnungen für CH₄ aus der industriellen Abwasserbehandlung werden im zugrunde liegenden Forschungsbericht Austermann-Haun and Witte (2014) ausführlich beschrieben.

Die biologische Stufe der industriellen Abwasserbehandlung wird in Deutschland teils aerob teils anaerob betrieben. Beim anaeroben Abbau der organischen Abwasserinhaltsstoffe entsteht Faulgas, welches größtenteils aus CO₂ und CH₄ besteht.

In Deutschland werden heutzutage Industrieabwässer in vielen Branchen, vor allem in der Lebensmittelindustrie, anaerob behandelt. Daten zur Anlagentechnik werden in Deutschland nicht systematisch erhoben. Eine Auswertung von Austermann-Haun and Witte (2014) ergibt

allerdings, dass derzeit in Deutschland 184 Anaerobanlagen bei 136 Betrieben in 26 Wirtschaftszweigen von der Gemüseverarbeitung über Zucker- und Papierherstellung bis hin zur Herstellung von Reinigungsmitteln in Betrieb sind. Die größten CSB-Frachten, die anaerob behandelt werden, stammen aus der Papier- und Zellstoffherstellung, der Zuckerherstellung und aus den Brauereien.

Zur anaeroben Industrieabwasserbehandlung kommen vor allen Dingen Schlammbettreaktoren (UASB- und EGSB-Reaktoren) sowie das anaerobe Belebungsverfahren zum Einsatz. Alle Anlagen verfügen vorschriftsgemäß über eine Gasfackel mit automatischer Zündung. Lediglich ein einziger (relativ kleiner) Betrieb der Zuckerherstellung behandelt sein Abwasser in anaeroben Teichen.

Das entstehende Faulgas wird nahezu vollständig gefasst, im Betrieb verfeuert und substituiert somit Stadtgas oder es wird zur Stromerzeugung verwendet. Die energetische Nutzung wird unter CRF 1.A.1 berichtet. Die vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten Daten zur Klärgasmenge beinhalten sowohl das in dieser Kategorie entstehende Faulgas, als auch das der kommunalen Anlagen (Telefonat DESTATIS, 23.8.2016).

Für Deutschland existieren daher lediglich die CH_4 -Emissionen, die durch ungewollte Verluste entstehen. Diese ungewollten Verluste können sein:

- CH_4 , welches im Ablauf der Methanreaktoren in der Flüssigphase enthalten ist (die Löslichkeit von Methan ist temperaturabhängig, siehe Abschnitt „Methodische Aspekte“),
- Verluste in Gasspeichern,
- Verluste über den abgezogenen Schlamm in Pellettspeichern (Speicher für den granulierten Schlamm von Schlammbettreaktoren),
- Gas, welches in einer nicht belüfteten Teichanlage der Zuckerindustrie entsteht,
- Gas, welches in Versäuerungsreaktoren entsteht,
- Verluste aus Leckagen/Störfällen/Fackelverlusten.

Gasfackeln sind ausschließlich als Notfackeln im Einsatz, für den Fall, dass beispielsweise Wartungsarbeiten am BHKW vorgenommen werden müssen. Die Gasfackeln werden so ausgelegt, dass sie im Notfall das gesamte anfallende Gas verbrennen können. Die Gasmenge, die über die Gasfackeln geht, wird nicht erfasst. Die Fackeln werden als Notfackeln verwendet, die verbrannte Gasmenge liegt in diesem Anwendungsbereich nahe Null. Gasfackeln sind mit einer automatischen Zündung ausgerüstet, um in Störfällen sicher das anfallende Gas zu verbrennen. Während der Anfahr- und Abfahrphase von Vergärungsanlagen wird das entstehende Methan auf Grund zu geringer Methankonzentrationen auch über die Gasfackeln verbrannt, bei Kampagnenbetrieben also jeweils zum Kampagnenbeginn und -ende. Methanemissionen aus Hochleistungsfackeln werden in Fachkreisen mit Null bewertet.

Störfälle, die mit Gasverlusten einhergehen, sind nach Expertenschätzung (Austermann-Haun & Witte, 2014) in den letzten Jahrzehnten auf dem Gebiet der anaeroben Industrieabwasserbehandlung zweimal in Form von Undichtigkeiten des Methanreaktors im Gasraum aufgetreten. Wegen der mit Leckagen verbundenen Gerüche, werden Leckagen schnell gesucht, gefunden und beseitigt. Im Jahr 1992 wurde durch Geruchsprobleme auf der Kläranlage ein Leck in der GFK-Abdeckung (GFK; Glasfaserverstärkter Kunststoff; glass-fibre reinforced plastic) des Methanreaktors gefunden. Ein zweiter Fall einer Undichtigkeit trat 2013 im Dach eines Methanreaktors aus Stahl auf. Aufgrund der wenigen Störfälle (2 in 30 Jahren bei Betrieb von nunmehr 184 Methanreaktoren), werden die Methanemissionen aus Störfällen als vernachlässigbar eingestuft.

Andere Störfälle, die z.B. zu einer Hemmung der Methanbakterien führen, führen zu keinen Methanemissionen.

7.5.2.1.2 Methodische Aspekte (5.D.2 CH₄)

Die gewählte Berechnungsmethode entspricht Tier 2.

Für 20 der 26 relevanten Wirtschaftszweige wurde gemäß folgender Formel (IPCC (2006): Vol. 5, Kapitel 6.2.3.3, Gleichung 6.6) die CSB-Jahresfracht des Wirtschaftszweigs errechnet. Hierzu wurde für jeden Wirtschaftszweig die Produktionsmenge des Jahres 2013 sowie der spezifische Abwasseranfall aus der Bundesstatistik (Statistisches Bundesamt, FS 4, R 3.1)) ermittelt und mit dem im Forschungsbericht benannten spezifischen CSB-Gehalt des Rohabwassers verrechnet. Zu beachten ist hierbei, dass die Abwasserstatistik nur alle drei Jahre aktualisiert wird. Aus diesem Grunde werden die Zwischenjahre interpoliert, die Folgejahre werden jeweils bis zur nächsten Aktualisierung konstant fortgeschrieben und im Nachgang rekalkuliert.¹⁴³ Von 6 Wirtschaftszweigen (Mahl- und Schälmaschinen (WZ 10.61), Herstellung von Fertiggerichten (WZ 10.85), Herstellung von sonstigen organischen Grundstoffen und Chemikalien (WZ 20.14), Herstellung von Düngemitteln und Stickstoffverbindungen (WZ 20.15), Herstellung von Kunststoffen (WZ 20.16) und Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermitteln (WZ 20.41)) waren in der Literatur keine Daten zum spezifischen Abwasseranfall verfügbar, daher konnte dort nicht die CSB-Jahresfracht errechnet werden.

$$TOW_i = P_i \cdot W_i \cdot COD_i$$

mit

TOW_i	= gesamte organisch abbaubare Substanz im Abwasser des Wirtschaftszweigs i (CSB-Jahresfracht), kg CSB/a (total organically degradable material in wastewater for industry i , kg COD/yr)
i	= Wirtschaftszweig (industrial sector)
P_i	= gesamte jährliche Produktionsmenge im Wirtschaftszweig i , t/a (total industrial product for industrial sector i , t/yr)
W_i	= spez. Abwasseranfall im Wirtschaftszweig i , m ³ /t (wastewater generated, m ³ /t _{product})
COD_i	= chemischer Sauerstoffbedarf, kg CSB/m ³ (chemical oxygen demand (industrial degradable organic component in wastewater), kg COD/m ³)

Da es gute Praxis ist, mit länderspezifischen Daten zu rechnen und für Deutschland spezifische Daten vorliegen, wird für die Kalkulation der gesamten Methan-Emissionen vom Berechnungsansatz des IPCC (IPCC (2006): Vol. 5, Kapitel 6.2.3.1, Gleichung 6.4) abgewichen und ein eigener Ansatz erarbeitet. Die gesamten Methan-Emissionen aus der Industrieabwasserreinigung errechnen sich nach folgender Formel.

$$CH_4 \text{ Emissions} = \sum_i \left[(TOW_i \cdot \omega_{ANR,i} \cdot \omega_{CSB,i} \cdot EF_{CH_4, \text{gelöst},i}) + E_{CH_4,GS,i} + E_{CH_4,PS,i} + E_{CH_4,AT,i} \right]$$

mit:

$CH_4 \text{ Emissions}$	= CH ₄ -Emissionen im Inventarjahr in kg CH ₄ /a
TOW_i	= gesamte organisch abbaubare Substanz im Abwasser des Wirtschaftszweigs i (CSB-Jahresfracht), kg CSB/a
i	= Wirtschaftszweig
$\omega_{ANR,i}$	= prozentualer Anteil der anaeroben Reinigung im Wirtschaftszweig i
$\omega_{CSB,i}$	= CSB-Abbaugrad in der anaeroben Reinigung im Wirtschaftszweig i

¹⁴³ Auf die berichteten Methanemissionen haben diese Änderungen keinen Einfluss, da diese, wie im Folgenden beschrieben, auf anderem Wege berechnet werden. Die Aktualisierung der Abwasserstatistik wird generell erst nach Redaktionsschluss des NIR durch das Statistische Bundesamt bereitgestellt.

$EF_{CH_4, gelöst, i}$	= Emissionsfaktor für das im Wasser gelöste CH ₄ im Wirtschaftszweig i in kg CH ₄ /kg CSB _{eliminiert}
$E_{CH_4, GS, i}$	= CH ₄ -Emissionen aus den Gasspeichern im Wirtschaftszweig i, in kg CH ₄ /a
$E_{CH_4, PS, i}$	= CH ₄ -Emissionen aus den Pelletspeichern im Wirtschaftszweig i, in kg CH ₄ /a
$E_{CH_4, AT, i}$	= CH ₄ -Emissionen aus den Abwasserteichen im Wirtschaftszweig i, in kg CH ₄ /a

Die spezifischen Emissionsfaktoren $EF_{CH_4, gelöst, i}$ des in der Wasserphase gelösten Methans errechnen sich auf Grundlage des Henry-Dalton-Gesetzes und werden im Forschungsbericht benannt. Es wird ein Druck von 1,043 bar zu Grunde gelegt. Die Temperatur ist jeweils branchenspezifisch und liegt zwischen 32°C und 37°C.

Die Emissionen aus den Gasspeichern haben als Grundlage die zulässigen Leckageraten aus Gasspeichern. Auf dieser Basis wurden pro Gasspeicher CH₄-Emissionen von 20 m³ CH₄/a errechnet.

Die Emissionen aus den Pelletspeichern (Speicher für den anaeroben granulierten Schlamm) wurden gleich 0 kg CH₄/a gesetzt, da die Emissionen aus diesem Bereich als vernachlässigbar angesehen werden (Expertenschätzung). Ebenso werden die CH₄-Emissionen aus Störfällen zu 0 kg CH₄/a angesetzt.

Auf Grund ungünstiger Methanbildungsbedingungen sind die Methanemissionen aus Versäuerungsreaktoren vernachlässigbar und mit 0 kg CH₄/a angesetzt.

Der Emissionsfaktor aus den Abwasserteichen wurde nach Formel 6.5 und Tabelle 6.8 aus (IPCC (2006): Vol. 5, Kapitel 6) ermittelt, wobei für Bo der IPCC Default Wert angenommen wird und der MCF mit 0,2 bei einer Teichtiefe von maximal 2 Metern angesetzt wird.

Die Zeitreihe ab 1990 wurde anhand der Entwicklung der anaeroben Industrieabwasserreinigung im Bezug auf die Kapazitäten zur Behandlung von CSB-Frachten ermittelt. Die vollständige Zeitreihe von 1990 bis 2013 ist im NIR 2015 veröffentlicht. Bis zur nächsten Aktualisierung der Datengrundlage werden die Daten ab 2014 mit einem Wachstum von 2 Prozent pro Jahr fortgeschrieben - unter der Annahme, dass ein moderater Zubau an Anaerobanlagen erfolgen wird (Expertenschätzung). Eine Übersicht über die Zeitreihe ist in der folgenden Tabelle gegeben. Die dargestellten Prozentwerte geben die Änderungen im Vergleich zum Bezugsjahr 2013 an. In der Tabelle sind zusätzlich die der Berechnung zu Grunde gelegten CSB Jahresfrachten dargestellt. Hieraus ergibt sich ein impliziter Emissionsfaktor von 1,86 kg CH₄/t CSB.

Tabelle 480: Zeitreihe der CH₄-Emissionen aus der Industrieabwasserreinigung

Jahr	Anaerob behandelte CSB-Jahresfrachten [t/a]	CH ₄ -Emission [kg CH ₄ /a]
1990	198.477	22 %
1995	332.950	37 %
2000	493.357	56 %
2005	744.371	84 %
2010	854.374	96 %
2013	888.757	100 %
2014	906.532	102 %
2015	924.307	104 %
2016	942.083	106 %
2017	959.857	108 %
2018	977.632	110 %
2019	995.407	112 %

Der TOW der einzelnen betrachteten Unterbranchen ist in Austermann-Haun and Witte (2014)/ Tabelle 9 dokumentiert. Für die Chemische Industrie, die Nahrungsmittelindustrie, sowie die Papier- und Zellstoffindustrie wurde auf Basis eines mittleren CSB-Gehaltes und der absoluten Abwassermenge zusätzlich der Gesamt-TOW ermittelt (Tabelle 482). Allerdings wird dieser Gesamt-TOW nach der Formel $TOW_i = P_i \cdot W_i \cdot COD_i$ für die Berechnung der CH₄-Emissionen nicht genutzt, weil diese wie oben beschrieben nach einer länderspezifischen Methode auf Basis der subbranchenspezifischen TWO_i berechnet wurden. Im länderspezifischen Ansatz wurde gemäß des oben angegebenen Formelterms $TOW_i \cdot \omega_{ANR,i} \cdot \omega_{CSB,i} \cdot EF_{CH_4,gelöst,i}$ jeweils der Anteil des in den einzelnen Branchen bzw. Unterbranchen anaerob behandelten Abwassers $\omega_{ANR,i}$ berücksichtigt und der branchenspezifische erzielbare Abbaugrad $\omega_{CSB,i}$ sowie der temperatur- und branchenabhängige Anteil des gelösten Methans $EF_{CH_4,gelöst,i}$ auf den branchenspezifischen TWO_i angewendet. Die branchenspezifischen Parameter sind in der folgenden Tabelle 481 aufgeführt (siehe auch Tabelle 12 in Austermann-Haun and Witte (2014)).

In den verschiedenen Unterbranchen werden unterschiedliche Anteile des Abwassers (vgl. $\omega_{ANR,i}$ in Tabelle 481) und damit des gesamt TOW in anaeroben Anlagen behandelt. Nur diese behandelte TOW-Menge kann zu Methan-Emissionen führen. Bei der Ableitung des IEF ist allerdings die gesamte TOW-Menge der Quellgruppe und nicht nur die in anaerob behandelte TOW Menge die Bezugsgröße. Dies führt im Vergleich zu sehr geringen IEF.

Tabelle 481: Verwendete Parameter zur Bestimmung der Emissionen des gelösten Methans aus der anaeroben Behandlung von Industriellem Abwasser (Bezugsjahr 2013)

WZ Code	TOW _i [t CSB/a] (gerundet)	$\omega_{ANR,i}$ [%]	$\omega_{CSB,i}$ [EF _{CH₄,gelöst,i}]	[kg CH ₄ /kg CSB _{eli}]%]
10.20 Fischverarbeitung	12.000	9,0	77,5	0,00455
10.31 Kartoffelverarbeitung	47.000	35,6	85	0,00244
10.32 Herstellung von Frucht- u. Gemüsesäften	12.000	96,3	80	0,00838
10.39 Sonstige Verarbeitung von Obst u. Gemüse	80.000	8,7	85	0,00097
10.51 Milchverarbeitung	109.000	7,3	77,5	0,00615
10.52 Herstellung von Speiseeis	17.000	8,2	80	0,00196
10.61 Mahl- und Schälmaschinen	NN	NN	80	NN
10.62 Herstellung von Stärke und Stärkeerzeugnissen:				
- Kartoffelstärke	1.000	94,0	75	0,00087
- Weizenstärke	18.000	36,0	75	0,00087

WZ Code	TOWi [t CSB/a] (gerundet)	$\omega_{ANR,i}$ [%]	$\omega_{CSB,i}$ [EF _{CH4, gelöst,i}]	[kg CH ₄ /kg CSB _{eli}][%]
10.71 Herstellung von Backwaren	268.000	0,2	80	0,00093
10.81 Herstellung von Zucker	64.000	95,1	95	0,00085
10.82 Herstellung von Süßwaren	43.000	10,1	95	0,00165
10.83 Verarbeitung von Kaffee und Tee, Herstellung von Kaffee- Ersatz	49.000	2,1	75	0,00067
10.84 Herstellung von Würzmitteln u. Soßen	12.000	0,2	80	0,00395
10.85 Herstellung von Fertiggerichten	NN	NN	80	NN
10.89 Herstellung von sonstigen Nahrungsmitteln				
- Backhefen	2.000	86,2	90	0,00223
- Andere Hefen	7.000	32,1	90	0,00223
10.9 Herstellung von Futtermitteln	24.000	3,5	70	0,00258
11.02 Herstellung von Traubenwein	18.000	1,0	90	0,00177
11.05 Herstellung von Bier	88.000	28,0	85	0,00748
11.06 Herstellung von Malz	4.000	1,1	80	0,01236
11.07 Herstellung von Erfrischungsgetränken; Gewinnung natürlicher Mineralwässer	21.000	5,2	80	0,00656
17.1 Herstellung von Holz- und Zellstoff, Papier, Karton und Pappe	759.000	39,1	70	0,00578
20.14 Herstellung von sonstigen organischen Grundstoffen und Chemikalien	NN	NN	80	NN
20.15 Herstellung von Düngemitteln und Stickstoffverbindungen	NN	NN	80	NN
20.16 Herstellung von Kunststoffen	NN	NN	72	NN
20.41 Herstellung von Seifen, Wasch-, Reinigungs- und Poliermitteln	NN	NN	80	NN
Summe (gerundet)	1.653.000			

Für weitere Branchen konnten keine durchschnittlichen CSB-Mengen ermittelt werden. In den 2006 IPCC Guidelines werden zusätzlich zu bisher berücksichtigten Branchen auch Default Werte für „Organic Chemicals“, „Plastic & Resins“ sowie „Soap & Detergents“ benannt. In der deutschen Statistik werden diese Quellen anders zusammengefasst: Unter der Überschrift „Chemische Erzeugnisse“ werden in der Abwasserstatistik Erzeugnisse mit dem WZ 2008 Code 20 zusammengefasst. Hierunter fallen auch die organische Chemie (WZ 2008 Code 20.14), Kunststoffe und Harze (Code 20.1) sowie Seife und Reinigungsmittel (Code 20.4). Im Unterschied zu Code 20.4 in welchem Vorprodukte berichtet werden, werden unter Code 22 Kunststoff- und Gummiwaren (Endprodukte) gelistet. Der in IPCC 2006 berichtete Default Wert (IPCC (2006): Vol. 5, Kapitel 6) bezieht sich auf die Vorprodukte. Somit enthält die bisherige Berichterstattung bereits die geforderten zusätzlichen Produktkategorien. (IPCC, 2006) merkt an, dass die Default-Werte mit Vorsicht zu nutzen sind, da sie industrie-, prozess- und landesspezifisch sind.

Tabelle 482: Berechnung des TOW für das Jahr 201, Direkteinleiter

Industriebereich	Mittlerer CSB [kg/m ³]	Abwassermenge (2019) [m ³]	TOW (2019) [t CSB/Jahr]
Chemische Industrie	3 ¹⁾	265.964.683	770.894
Nahrungsmittelindustrie	3 ²⁾	63.109.135	179.407
Papier- und Zellstoffindustrie	2 ²⁾	199.996.920	399.994
			1.350.295

1) 2006 IPCC Guidelines, IPCC (2006): Vol. 5, Kapitel 6, Table 6.9

2) Expertenschätzung UBA

7.5.2.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.2 CH₄)

Die Unsicherheit der gesamten Methanemissionen wird u.a. aufgrund fehlender Daten für einige Wirtschaftszweige, unterschiedlichen Betriebsdrücken der Methanreaktoren, unterschiedlichen Membranen bei den Gasspeichern und der nicht bekannten Zahl von Gasspeichern mit ± 50 % als Expertenschätzung bewertet.

7.5.2.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.2 CH₄)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Ein Vergleich der Ergebnisse nach der gewählten landesspezifischen Methode mit Ergebnissen nach der Methode beschrieben in IPCC (2006) ist nicht sinnvoll möglich, da auf Grund der technischen Realität (siehe „Beschreibung der Quellgruppe“) und der vorliegenden Datensituation nur der gewählte Ansatz durchführbar ist. Ein Abgleich der Ergebnisse mit Daten aus dem ETS ist nicht möglich, da die beschriebenen Anlagen nicht dem Emissionshandel unterliegen.

Zusätzlich wurde versucht Vergleichsdaten aus den Inventarberichten anderer Länder zur Plausibilisierung heranzuziehen. Hierzu wurden für den Inventarbericht 2021 aus den Inventarberichten 2020, verschiedene Länder mit ähnlichen klimatischen, sowie strukturell/technischen Rahmenbedingungen wie in Deutschland ausgewählt:

- In Österreich wurde die Methodik im NIR 2020 geändert. Die Methan-Emissionen aus der industriellen Abwasserreinigung werden nun mit 1 % der in Anaerobanlagen erzeugten CH₄ Menge angenommen.
- In den Niederlanden werden die Methan-Emissionen auf Basis der IPCC-Default-Werte in Verbindung mit landesspezifischen Daten zum TOW und weiteren spezifischen Anpassungen berichtet. Es liegen keine aktuellen Informationen zur in industriellen Abwasseranlagen behandelten CSB Menge vor. Somit ist auch hier die Datenverfügbarkeit der limitierende Faktor. Ein direkter Datenvergleich ist nicht möglich. Es wurden keine methodischen Änderungen im Vergleich zu den Vorjahren vorgenommen.
- In Dänemark wird nicht zwischen industriellen und kommunalen Anlagen unterschieden. Die Methode folgt dem IPCC Handbuch.

Beim Vergleich der IEF für Methan mit den Berichten anderer Länder fällt auf, dass der hier beschriebene IEF teilweise deutlich geringer ausfällt als in anderen Ländern. Dies ist darauf zurück zu führen, dass eine landesspezifische Methode zur Ermittlung der Methan-Emissionen verwendet wird und wie oben beschrieben nur der in anaerob-Anlagen behandelte TOW zu Methan-Emissionen führen kann.

Eine weitergehende Verifizierung ist nicht möglich, da keine weiteren spezifischen Daten dieser Quellgruppe für Deutschland verfügbar sind.

7.5.2.1.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.2 CH₄)

Rückrechnungen sind nicht erforderlich.

7.5.2.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.2 CH₄)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

7.5.2.2 Lachgasemissionen der industriellen Abwasserbehandlung (5.D.2 N₂O)

7.5.2.2.1 Beschreibung der Kategorie (5.D.2 N₂O)

Lachgasemissionen können als Nebenprodukt bei der biologischen Abwasserreinigung mit gezielter Stickstoffelimination, hauptsächlich bei der Denitrifikation, aber vermutlich auch bei der Nitrifikation, entstehen. (vgl. IPCC (2006), Vol. 5, Kapitel 6.1, Seite 6.8) Es wird vermutet, dass der Reduktionsschritt von N₂O zu N₂ durch verschiedene Einflussfaktoren, wie z.B. freiem Sauerstoff, hohen Nitrit-, Ammonium- und/oder Sulfidgehalten, gehemmt wird und dadurch N₂O entsteht (Austermann-Haun and Carozzi (2011): Seite 2-12 ff).

Der überwiegende Teil des industriellen Abwassers wird in kommunalen Kläranlagen gereinigt und entsprechend in 5.D.1 berücksichtigt (Aufschlag von 25 Prozent). Unter 5.D.2 werden aus diesem Grunde nur die industriellen Direkteinleiter betrachtet.

7.5.2.2.2 Methodische Aspekte (5.D.2 N₂O industriell)

Seitens der 2006 IPCC Guidelines gibt es keine Vorschrift und auch keine Pflicht zur Berechnung der N₂O-Emissionen des industriellen Bereichs (IPCC (2006): Vol. 5, Kapitel 6.3.4). Es existiert kein decision tree und auch keine höheren Tier-Berechnungsmethoden. Die Einordnung der im Folgenden vorgestellten Berechnungsmethodik erfolgt daher in Anlehnung an den decision tree und die Tier Klassifizierung für CH₄ (industriell). Der hier verwendete Ansatz entspricht demgemäß einer Tier 2 Berechnungsmethode.

Für den Inventarbericht 2021 wurden die statistischen Eingangsdaten für 2019 eingepflegt. Wegen der außerordentlich geringen Relevanz der Kategorie, aus Ressourcengründen und aufgrund der Vielzahl der verwendeten Datenquellen, können die statistischen Eingangsdaten allgemein nur in unregelmäßigen Abständen aktualisiert werden. In allen anderen Jahren erfolgen daher Fortschreibungen auf Basis des letzten aktualisierten Jahres.

Zur Ermittlung der Lachgasemissionen aus der industriellen Abwasserbehandlung wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes Daten zum produktspezifischen Abwasseranfall, zur Stickstoffkonzentration und zum CSB-Gehalt (Chemischer Sauerstoffbedarf) aller Industriebereiche zusammengetragen und anhand der Jahresproduktionszahlen jährliche Stickstofffrachten errechnet. Die zu Grunde liegenden Stickstofffrachten entstammen aus Merkblättern der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) und stellen den anerkannten Stand der Wissenschaft dar. Die verwendeten statistischen Daten werden von DESTATIS jährlich veröffentlicht und sind in der UBA-internen Berechnungsgrundlage dokumentiert. Bis auf wenige Ausnahmen werden die Aktivitätsdaten direkt durch das Statistische Bundesamt per Datenlieferung zur Verfügung gestellt. Ergänzend werden Abfragen über das Internetportal Genesis-Online des Statistischen Bundesamtes gestellt.

Zudem werden Statistiken zur Brauwirtschaft herangezogen und Informationen zur Milchverarbeitung und Zuckerherzeugung bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung abgerufen. Daten zur Verarbeitung tierischer Nebenprodukte werden bei der Servicegesellschaft Tierische Nebenprodukte mbH abgerufen. Die genaue Vorgehensweise zur Berechnung der Lachgasemissionen ist in UBA 2011b dokumentiert. Ein CSB:N-Verhältnis < 40 war das Entscheidungskriterium dafür, einen Stickstoffüberschuss im Abwasser der Branche anzunehmen, der in der anschließenden biologischen Abwasserbehandlung Lachgasemissionen verursachen kann. Erst wenn so viel Stickstoff im Abwasser vorliegt, dass nach Einbau in die Biomasse noch ein Rest vorhanden ist, der durch die biologische Stickstoffelimination entfernt werden muss, kann davon ausgegangen werden, dass möglicherweise Lachgas bei der biologischen Abwasserreinigung emittiert wird. Ähnliche Werte werden im ATV-DVKK-Arbeitsblatt A 131 für die Auslegung der Denitrifikation angegeben. Dabei wird die Stickstofffracht vereinfacht mit 2 bis 2,5 % der CSB-Konzentration berücksichtigt (2,5 % entspricht einem CSB:N-Verhältnis von 40:1). Durch die Zusammenstellung der Daten konnten die 6 relevantesten Industriebereiche identifiziert werden, die gemeinsam ca. 75 % der Stickstofffracht aus der industriellen Abwasserbehandlung liefern (Austermann-Haun & Carozzi, 2011). Diese sind:

- Schlachten und Fleischverarbeitung,
- Milchverarbeitung,
- Verarbeitung tierischer Nebenprodukte,
- Herstellung von Bier,
- Zuckerherstellung,
- Weizenstärkeherstellung.

Auf die Aufnahme der Textilindustrie (7,5 % an Gesamtstickstofffracht) und Kartoffelverarbeitung (2,6 % Anteil an der Gesamtstickstofffracht) wurde verzichtet, da das Abwasser ein CSB:N Verhältnis größer als 40 aufweist und somit eine Lachgasbildung gemäß den Ergebnissen des Forschungsberichtes nicht erfolgt. Die Herstellung von Kartoffelstärke wird als nicht Lachgas-relevant angesehen – der Anteil an der Gesamtstickstofffracht im Abwasser liegt bei unter 0,4 %. Die verbleibenden rund 15 % der Gesamtstickstofffracht verteilen sich auf viele Einzelbranchen mit unklarer Datensituation (insbesondere CSB:N-Verhältnis). Ein großer Teil dieser Branchen leitet als Indirekteinleiter die Stickstofffracht in kommunale Kläranlagen ein und wird bereits über die Emissionsberichterstattung unter 5.D.1 berücksichtigt.

Auf Basis der mittleren produktspezifischen Stickstofffracht der 6 genannten Industriebereiche und anhand der jährlichen Produktionszahlen wird die Jahresstickstofffracht ermittelt, die ins Rohwasser emittiert wird. Dabei wird angenommen, dass auf Grund von organisatorischen und technischen Maßnahmen eine schrittweise Reduktion auf den Stand von 2010 erfolgte und die ins Abwasser abgegebene Stickstoffmenge im Jahr 1990 um 30 % höher lag (Expertenschätzung). Dabei wird für die Jahre von 1990 bis 2000 eine jährliche Reduktion der Stickstofffracht um 2 Prozentpunkte angenommen, von 2000 bis 2010 um einen Prozentpunkt (Expertenschätzung). Ab 2010 wird die Stickstofffracht pro Kubikmeter Abwasser als konstant angenommen (Expertenschätzung).

Die Berechnung der Aktivitätsrate AD erfolgte folgendermaßen:

$$AD = \sum_B [NF_B \times PZ_B \times 10^{-6}]$$

Wobei:

AD	= Gesamt-Aktivitätsrate [t N _z /a] = mittlere N-Fracht im Zulauf = N _z
NF _B	= mittlere spez. N-Fracht der Branche [g N pro Einheit]
PZ _B	= Produktionszahlen für das Jahr 2010 der Branche [Anzahl Einheiten/a]

10^{-6} = Faktor zur Umrechnung von g in t

Zur Ermittlung des N₂O-Emissionsfaktors wurden im oben genannten Forschungsprojekt verschiedene Daten aus der Literatur ausgewertet. Aus den dort angegebenen Daten wurde ein gewichteter Mittelwert gebildet. Das Ergebnis war, dass 1 % der Stickstofffracht in einer Kläranlage als N₂O-N emittiert wird (siehe auch Kapitel 7.5.2.2.4).

$$N_2O = EF \times AD \times 44/28$$

Wobei:

N₂O = N₂O Emissionen in t N₂O/a

EF = Emissionsfaktor 0,01 t N₂O-N/t N

44/28 = Stöchiometrischer Umrechnungsfaktor N₂O-N in N₂O

Zusätzlich wurde für die einzelnen Branchen der Anteil der Direkteinleiter ermittelt und in der Berechnung berücksichtigt.

Aus der oben genannten Formel ergibt sich der IEF:

$$IEF[N_2O-N]: EF \times 44/28 = 0,01 \times 44/28 \text{ kg N}_2\text{O/kg N} = 0,0157 \text{ kg N}_2\text{O/kg N}$$

Die Lachgasbildungsrate in den betrachteten Branchen unterscheidet sich signifikant von der Bildungsrate in kommunalen Kläranlagen, sie liegt in den industriellen Kläranlagen um den Faktor 100 über dem von kommunalen Kläranlagen. Dies ist auf das oben bereits beschriebene CSB:N Verhältnis und die daraus resultierenden besseren N₂O Bildungsbedingungen zurück zu führen.

7.5.2.2.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.D.2 N₂O)

Die Unsicherheiten der Produktionszahlen entstammen der Bundesstatistik bzw. anderen Statistiken, denen eine Vollerhebung zugrunde liegt. Die Daten sind somit voraussichtlich mit sehr geringen Unsicherheiten behaftet. Die Produktionsstatistiken werden jährlich aktualisiert, die Abwasserstatistiken alle drei Jahre. Die Abwasserstatistik mit Daten für das aktuelle Berichtsjahr erscheint erst nach Redaktionsschluss des NIR.

Der N₂O-Emissionsfaktor wurde durch Expertenschätzung im Rahmen des oben genannten Forschungsprojektes mit einer sehr hohen Unsicherheit von - 99,9 %/+ 300 % bewertet.

Die mittleren spezifischen Stickstofffrachten der verschiedenen Branchenbesitzen nachfolgende Unsicherheiten (Tabelle 483), die durch Expertenschätzung ermittelt wurden. Als Unsicherheit für die Gesamtstickstofffracht (Aktivitätsrate) werden unter konservativen Gesichtspunkten - 50 %/+50 % angenommen (Expertenschätzung).

Tabelle 483: Unsicherheiten der mittleren spezifischen Stickstofffracht der 4 relevantesten Industriebereiche

Mittlere spez. N-Fracht des Industriebereichs	Unsicherheit obere Schranke	Unsicherheit untere Schranke
Schlachtung von Schweinen	40	40
Schlachtung von Schafen	50	50
Schlachtung von Ziegen	50	50
Schlachtung von Rindern	40	40
Schlachtung von Pferden	50	50
Schlachtung von Geflügel	40	40
Fleischverarbeitung	40	40
Verarbeitung tierischer Nebenprodukte	20	20
Milchverarbeitung	15	15
Herstellung von Bier	30	30
Herstellung von Zucker	30	30
Herstellung von Weizenstärke	30	30

7.5.2.2.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/ -kontrolle und Verifizierung (5.D.2 N₂O)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Die Aktivitätsdaten stammen im Wesentlichen aus der nationalen Statistik und wurden auf auffällige Änderungen im Vergleich zum Vorjahr überprüft. Größere Abweichungen sind durch klimatische Effekte (Auswirkungen auf die Ernte) und strukturelle Änderungen erklärbar.

Beim Vergleich des im Zuge nationaler Berechnungen ermittelten N₂O-IEF (siehe Kapitel 7.5.2.2.2) mit denen der anderen berichtenden Staaten (aktueller GHG Locator) fällt auf, dass er klar innerhalb der Bandbreite fast aller berichtenden Staaten liegt.

Ein Abgleich der Ergebnisse mit Daten aus dem ETS ist nicht möglich, da die beschriebenen Anlagen nicht dem Emissionshandel unterliegen. Die beschriebenen Aktivitätsdaten entstammen der öffentlichen Statistik des Statistischen Bundesamtes bzw. im Falle der Verarbeitung tierischer Nebenprodukte dem Bericht der „Servicegesellschaft tierische Nebenprodukte“. Weitere Aktivitätsdaten zur Plausibilisierung liegen nicht vor.

Zusätzlich wurde versucht Vergleichsdaten aus den Inventarberichten anderer Länder zur Plausibilisierung heranzuziehen. Hierzu wurden, für den Inventarbericht 2021, aus den Inventarberichten 2020, Länder mit ähnlichen klimatischen, sowie strukturell/technischen Rahmenbedingungen wie in Deutschland ausgewählt:

- In Österreich werden N₂O-Emissionen der industriellen Abwasserreinigung erstmalig auf Basis einer landesspezifischen Methode ermittelt. Ein detaillierter Vergleich ist nicht möglich, da die Methode in einem unveröffentlichten Bericht aus dem Jahr 2019 beschrieben wird.
- In den Niederlanden wurden die N₂O-Emissionen aus der industriellen Abwasserreinigung hingegen als irrelevant im Vergleich zu den N₂O-Emissionen aus der kommunalen Abwasserreinigung eingestuft und daher nicht berichtet, somit war ein Vergleich nicht möglich.
- In Dänemark wird die industrielle Abwasserreinigung mit einer landesspezifischen Methode betrachtet. Die Methode ähnelt der in Deutschland angewendeten Vorgehensweise. Es wurde ein Emissionsfaktor EF_{N₂O} direkt von 0.0032 verwendet.

In Austermann-Haun and Carozzi (2011) wurde eine Literaturstudie zu Lachgasemissionen aus der Abwasserreinigung durchgeführt. Die hier verwendeten Emissionsfaktoren wurden aus dieser Literaturstudie abgeleitet.

Eine weitergehende Verifizierung ist nicht möglich, da keine weiteren spezifischen Daten dieser Quellgruppe für Deutschland verfügbar sind.

Der verwendete Ansatz unterscheidet sich vom IPCC Default in IPCC (2006), Vol. 5, Kapitel 6.3.1.2, Seite 6.25. IPCC gibt dort eine Wertespanne von 0.0005 – 0.25 kg N₂O-N/kg –N (Default 0,005 kg N₂O-N/kg –N) an. Im Ergebnis des weiter oben beschriebenen Forschungsprojekts wurde ein länderspezifischer Emissionsfaktor von 0,01 kg N₂O-N/kg –N ermittelt und für die Emissionsberichterstattung verwendet. Der verwendete Emissionsfaktor liegt somit um Faktor zwei höher als der Default-Wert, aber immer noch in der angegebenen Bandbreite.

7.5.2.2.5 Quellgruppenspezifische Rückrechnungen (5.D.2 N₂O)

Vereinzelte Produktionszahlen durch das Statistische Bundesamt für 2018 aktualisiert. Betroffen sind hiervon Aktivitätsdaten zu Schlachtungen und zur Zuckerproduktion. Dadurch ergeben sich für das Jahr 2018 um 23 kg (0,026%) niedrigere N₂O-Emissionen als im NIR 2020 berichtet.

7.5.2.2.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.D.2 N₂O)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

7.6 Andere Bereiche (5.E)

KC	Category	Activity	EM of	1990 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	2019 (kt CO ₂ -e.)	(fraction)	Trend 1990-2019
-/-	5 E, Other		CH ₄	-	-	2,4	0,0	-
-/-	5 E, Other		N ₂ O	-	-	33,6	0,0	-

Die Kategorie 5.E - Weitere ist keine Hauptkategorie.

In der Kategorie 5.E Other werden derzeit ausschließlich die Emissionen aus der Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlung berichtet.

Weiterhin sind dieser Kategorie die Emissionen aus unbeabsichtigten Bränden von Gebäuden und Fahrzeugen zugeordnet, was aber derzeit für die Treibhausgase keine Relevanz hat, da die Emissionen aus unbeabsichtigten Bränden von Gebäuden und Fahrzeugen weniger als 0,05 % des Gesamtinventars (ohne LULUCF) betragen. Zudem unterschreiten sie eine Menge von 500 kt CO₂-Äquivalente deutlich, und zusätzlich kann eine jährliche Erfassung nicht gewährleistet werden (UNFCCC, 2013a). Die sich theoretisch ergebende Zeitreihe liegt unterhalb 100 kt CO₂-Äquivalente pro Jahr unter der Annahme, dass weniger als 20 Prozent des verbrannten Materials fossilen Ursprungs sind (Expertenschätzung ohne geeignete Aktivitätsdaten). Eine methodische Beschreibungen zur Berechnung der Vorläufersubstanzen ist im Inventarbericht für die Genfer Luftreinhaltekonvention¹⁴⁴ hinterlegt.

¹⁴⁴ Informative Inventory Report (IIR): www.iir.umweltbundesamt.de

7.6.1 Andere Bereiche - Mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) (5.E Other MBA)

7.6.1.1 Beschreibung der Kategorie (5.E Other MBA)

Gas	Angewandte Methode	Quelle der Aktivitätsdaten	genutzte Emissionsfaktoren
CH ₄	Tier 2	NS	CS
N ₂ O	Tier 2	NS	CS

In Deutschland wird unterschieden in die biologische Behandlung von getrennt gesammelten Bioabfällen (siehe 7.3) und die von Restabfällen. Die Behandlung von Bioabfällen dient der Erzeugung eines Kompostes (siehe 7.3.1) oder Gärrestes (siehe 0) zur Anwendung als Dünger. Die biologische Behandlung von Restabfall mit der Mechanisch-biologischen Abfallbehandlung dient der Vorbehandlung der organischen Abfälle vor der Deponierung oder der energetischen Verwertung. Für die Behandlung von Restabfällen bestehen höhere Anforderungen an den Emissionsschutz als für die Bioabfallbehandlung. Daher liegen die Emissionsfaktoren für die MBA deutlich unter denen der Kompostierung oder Vergärung für Bioabfälle. Die jeweiligen Abfallströme werden in der Bundesstatistik gesondert erfasst.

Seit den 90er Jahren werden in Deutschland mechanisch-biologische Verfahren im größeren Umfang zur Restabfallbehandlung eingesetzt. Anfangs dominierten technisch einfache Anlagenkonzepte ohne Abgasfassung und -behandlung. Im Zuge verfahrenstechnischer Weiterentwicklungen setzten sich jedoch verstärkt geschlossene Anlagen mit Biofilter als Abgasreinigung durch. Diese Abgasreinigungsverfahren konnten die Geruchsemissionen der Anlagen deutlich reduzieren, führten aber zu keiner Minderung der Treibhausgasemissionen.

Seit dem 1. Juni 2005 ist die Ablagerung von organischen und biologisch abbaubaren Abfällen in der Bundesrepublik nicht mehr zulässig. Restsiedlungsabfälle und ähnlich zusammengesetzte Abfälle können daher nur nach einer Vorbehandlung abgelagert werden. Neben den thermischen Abfallbehandlungsverfahren (Müllverbrennung) kommen hierbei auch verstärkt mechanisch-biologische Verfahren zum Einsatz, deren Kapazitäten mit der Beendigung der Ablagerung unbehandelter Abfälle im Jahr 2005 deutlich ausgebaut wurden. Nach den Anforderungen der 30. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (30. BImSchV, 2017) müssen MBA-Neuanlagen seit dem 1. März 2001 strenge technische Anforderungen erfüllen und anspruchsvolle Grenzwerte einhalten. Die Übergangsregelungen für Altanlagen forderten eine Nachrüstung bis spätestens zum 1. März 2006. Die Emissionswerte der 30. BImSchV können nach dem aktuellen Stand der Technik nur mit thermischen Abgasbehandlungsverfahren (z.B. regenerativ thermische Oxidation – RTO) sicher eingehalten werden.

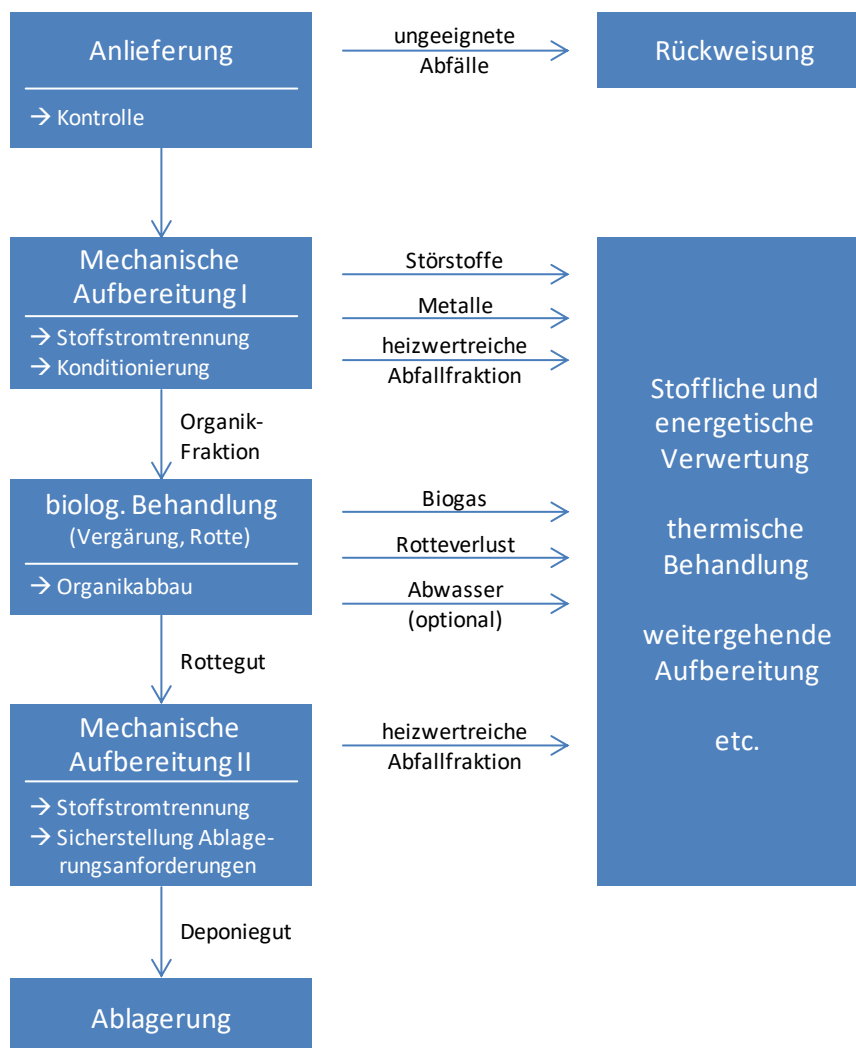
Für die MBA begrenzt die 30. BImSchV die Emissionsfrachten von organischem Gesamtkohlenstoff auf 55 g pro Tonne behandelter Abfälle und für N₂O auf 100 g pro Tonne behandelter Abfälle. Mehrere Überprüfungen haben ergeben, dass die Emissionsbegrenzungen von allen deutschen Anlagen sicher eingehalten werden, bei vielen Anlagen sogar deutlich unterschritten werden (vgl. Tabelle 484). Die Emissionsbegrenzungen und die Emissionsfaktoren beziehen sich auf die Feuchtsubstanz, die Abfallmengen werden bei der Anlieferung an die Anlagen demgemäß erfasst.

Nahezu alle Neuanlagen wurden im Laufe des Jahres 2005 in Betrieb genommen. Aufgrund von Erweiterungen und technischen Anpassungen der Aufbereitungstechnik wurden auch nahezu alle Altanlagen bereits im Jahr 2005 an die Anforderungen der 30. BImSchV angepasst. Da in der Umbruchsituation im Jahr 2005 eine Zuordnung der Abfallmengen zu den unterschiedlichen Anlagentechniken nicht möglich ist, ist auch eine differenzierte Zuordnung der Emissionen nicht möglich. Aus diesem Grund erfolgt die Emissionsberechnung bis einschließlich 2005 vollständig mit den höheren Emissionsfaktoren der alten Anlagentechnik. Die Berechnung der Emissionen

ab dem Jahr 2006 erfolgt mit den niedrigeren Emissionsfaktoren der neuen bzw. modernisierten Anlagen.

In Deutschland werden derzeit rund 3,8 Mio. t Abfälle in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen entsorgt. Als Behandlungsrückstände fallen hierbei etwa 0,4 Mio t Abfälle zur Deponierung an. Des Weiteren werden etwa 2,4 Mio. t Abfälle zur Verwertung abgetrennt und als heizwertreiche Abfallbestandteile in industriellen Feuerungsanlagen als Ersatzbrennstoffe genutzt oder als Sekundärrohstoffe (z.B. Metalle) verwertet. Die restlichen 1,0 Mio. t sind Masseverluste im Behandlungsprozess durch biologischen Abbau organischer Bestandteile und Verdunstung oder Ausschleusung (Abwasser) des Wassergehalts des Abfalls.

Abbildung 75: Stoffstromschema Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung¹⁴⁵



7.6.1.2 Methodische Aspekte (5.E Other: MBA)

Die Berechnungsmethodik entspricht der Standardberechnungsmethode: $AR \times EF = \text{Emission}$
Aktivitätsdaten (AR)

MBA werden in Deutschland erst ab 1995 betrieben. Für die Berichterstattung werden die aktuellen Daten des Statistischen Bundesamtes genutzt (Statistisches Bundesamt, 2018). Diese

¹⁴⁵ Quelle: VDI 3475 Blatt 3, Emissionsminderung - Anlagen zur mechanisch-biologischen Behandlung von Siedlungsabfällen, 2006-12 (verändert)

werden seit 1995 regelmäßig vom Statistischen Bundesamt erhoben . Bis einschließlich 2019 wurden diese Daten vom statistischen Bundesamt als Fachserie 19, Reihe 1 (Statistisches Bundesamt, 2018) veröffentlicht, seit 2020 ist die Veröffentlichung eingestellt und die Aktivitätsdaten werden vom Statistischen Bundesamt direkt an das Umweltbundesamt übermittelt.

Da die Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes immer mit einem Jahr Verzug erscheint wird das aktuelle Berichtsjahr auf Basis des Trends der letzten beiden Vorjahre linear extrapoliert.

Emissionsfaktoren (EF)

In den 90er Jahren wurden die Emissionen der mechanisch-biologischen Behandlung mit Förderung des BMBF in einem umfangreichen Verbundforschungsvorhaben untersucht. In einem Vorhaben im Jahre 2003 wurden vom Institut für Energie und Umwelt (IFEU) die Emissionsfaktoren des Verbundvorhabens weiterentwickelt. Dabei wurde zwischen offenen (keine Abgasfassung und -behandlung) und geschlossenen (Abgasfassung mit Behandlung im Biofilter) MBA-Verfahren differenziert. Bei Methan wurden die Emissionsfaktoren für beide Varianten in gleicher Höhe angesetzt, da dieser Stoff im Biofilter praktisch nicht abgebaut wird. Der Emissionsfaktor für N₂O wurde bei geschlossenen Anlagen höher als offenen Anlagen angesetzt, da auch im Biofilter N₂O durch die Oxidation von Ammoniumstickstoff gebildet wird.

Für die Offene MBA ergaben sich folgende Emissionsfaktoren:

$$\text{EF-N}_2\text{O} = 190 \text{ g N}_2\text{O/t Abfall}$$

$$\text{EF-CH}_4 = 150 \text{ g CH}_4/\text{t Abfall}$$

Für die geschlossenen MBA mit Biofilter ermittelt die gleiche Studie für den Zeitraum vor 2005 die folgenden Emissionsfaktoren:

$$\text{EF-N}_2\text{O} = 375 \text{ g N}_2\text{O/t Abfall}$$

$$\text{EF-CH}_4 = 150 \text{ g CH}_4/\text{t Abfall}$$

Seit Juni 2005 werden aufgrund neuer rechtlicher Anforderungen (30. BImSchV) nur noch geschlossene MBA betrieben, die mit effektiveren Abgasreinigungsverfahren ausgestattet sind, was naturgemäß zu niedrigeren Emissionsfaktoren führt. Die 30. BImSchV fordert für organische Stoffe sowie N₂O eine kontinuierliche Emissionsmessung und begrenzt die zulässigen Emissionsfrachten. Die Emissionsfrachten werden hierbei aus dem Monatsmittel der als Habstundenmittelwerte gemessenen Konzentrationen und der im entsprechenden Monatszeitraum behandelten Abfallmenge ermittelt.

Zur Abschätzung dieser neuen Situation, wurden die im Rahmen der Datenerhebung für die Überarbeitung des Best Available Techniques Reference Document „ Waste Treatment“ im Jahre 2013 vom Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgemeinschaft stoffstromspezifische Abfallbehandlung – ASA (Verband der MBA Betreiber) ermittelten Emissionsdaten für die MBA herangezogen. Die Emissionsdaten für Methan und N₂O lagen hierbei deutlich unter den zulässigen Grenzwerten (Tabelle 484).

Tabelle 484: Emissionen der MBA

Emissionsparameter (Abgas)	Rahmenbedingungen (Normalbedingungen)	Emissionsbandbreiten		Emissionsfaktor (Mittelwert)	Grenzwerte 30. BImSchV
		16 Anlagen			
Gesamtkohlenstoff (C _{ges.})	Monatsmittelwerte Fracht in g C _{ges.} /t Abfall rechnerisch aus Halbstundenmittelwerten	untere Werte	2,3 – 21,8	19,5 (26,1 g CH ₄ /t)	55
		Median	8,36 – 30,7		
		obere Werte	10,6 – 44,0		
Distickstoffoxid (N ₂ O)	Monatsmittelwerte Fracht in g N ₂ O/t Abfall rechnerisch aus Halbstundenmittelwerten	untere Werte.	0,01 – 33,3	30,3	100
		Median	1,54 – 59,0		
		obere Werte	6,23 - 108		

Die in der Erhebung gemeldeten Emissionsdaten sind für den deutschen Anlagenbestand repräsentativ und berücksichtigen alle in Deutschland eingesetzten MBA Varianten. Mit der Erhebung wurden die Bandbreiten der Emissionsfrachten für die jeweiligen Anlagen abgefragt. Nach Rückmeldungen aus 16 Anlagen lagen die unteren Werte der Bandbreiten der Emissionen für die Einzelanlagen bei C_{ges.} zwischen 2,3 und 21,8 g/t Abfall und bei N₂O zwischen 0,01 und 33,3 g/t Abfall. Die oberen Werte der Bandbreite lagen bei C_{ges.} zwischen 10,6 und 44,0 g/t Abfall und bei N₂O zwischen 6,23 und 108 g/t Abfall. Der Median der unteren Werte liegt hier bei 8,36 g C_{ges.}/t Abfall und 1,54 g N₂O/t Abfall; der Median der oberen Werte liegt hier bei 30,7 g C_{ges.}/t Abfall und 108 g N₂O/t Abfall.

Auf der Grundlage dieser Erhebung wurden für die Jahre ab 2006 die Emissionsfaktoren an die realen Anlagenemissionen angepasst. Für die Emissionsfaktoren wurden jeweils die Mittelwerte aus den Medianen der unteren und oberen Emissionswerte verwendet, d.h.:

$$EF\text{-}N_2O = 30,3 \text{ g } N_2O/t \text{ Abfall}$$

$$EF\text{-}CH_4 = 26,1 \text{ g } CH_4/t \text{ Abfall (dabei entsprechen } 19,5 \text{ g } C_{ges.} \text{ nach stöchiometrischer Umrechnung } 26,1 \text{ g } CH_4 \text{ - wobei } 12 \text{ g } C = 16 \text{ g } CH_4$$

7.6.1.3 Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz (5.E Other MBA)

Die Unsicherheiten der mechanisch-biologisch behandelten Abfallmengen werden als sehr gering (2 %) geschätzt, da es sich um eine Totalerhebung handelt, das Niveau der Berichterstattung an das Statistische Bundesamt gut ist und die Betreiber an einer guten Berichterstattung interessiert sind. Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für den Zeitraum vor 2005 hängen von der Art der Anlage, der zum Zeitpunkt eingesetzten Anlagentechnik und der Wirkung der eingesetzten Biofilter ab. Da die Angaben aus der Literatur sehr stark schwanken, wurden im Ergebnis des zugrundeliegenden Forschungsvorhabens (IFEU, siehe oben) die Unsicherheiten für Methan mit ± 60% und für Lachgas mit ± 100% (offene MBA) bzw. ± 60% (geschlossene MBA) ermittelt.

Ab 2006 werden ausschließlich geschlossene Anlagen mit Abluffassung und Behandlung betrieben. Die Emissionen für CH₄- und NO₂ werden kontinuierlich gemessen, sie schwanken jedoch bei allen Einzelanlagen, abhängig von Betriebszuständen und Zusammensetzung der Abfälle über größere Bandbreiten. Aufgrund dieser Tatsache und der guten Qualität der Datenbasis werden die Unsicherheiten für den Zeitraum ab 2006 von den Experten im Umweltbundesamt auf ± 20 % geschätzt.

Der sich ergebende Sprung der Unsicherheiten über die Zeitreihe ist aus technischen Gründen im ZSE leider nicht darstellbar. Aus diesem Grund erfolgt eine Priorisierung, nach der die exakte Quantifizierung der Unsicherheiten für die aktuellen Werte als deutlich relevanter eingestuft wird. Aus diesem Grunde werden die Unsicherheiten mit der Berichterstattung 2019 über die gesamte Zeitreihe auf ± 20 % angepasst. Der Bezugswert für 1990 ist von dieser Anpassung nicht betroffen, da THG Emissionen der MBA erst ab 1995 berichtet werden.

7.6.1.4 Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung (5.E Other MBA)

Eine allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung durch die Fachseite und durch die Nationale Koordinierungsstelle wurden gemäß den Anforderungen des QSE-Handbuchs bzw. dessen mitgeltenden Unterlagen durchgeführt.

Ein Vergleich mit den Berichterstattungen anderer Länder wurde mit der Berichterstattung 2021 durchgeführt. Im Ergebnis dessen zeigte sich aber, dass ein IEF-Abgleich nicht möglich ist, weil Deutschland bislang als einzigstes Land THG-Emissionen der MBA im Nationalen Treibhausgasinventar berichtet und keine IEF aus anderen Ländern zum Vergleich zur Verfügung stehen.

7.6.1.5 Kategoriespezifische Rückrechnungen (5.E Other MBA)

Bei der Erarbeitung der jeweils aktuellen Inventardaten liegen statistische Daten (Statistisches Bundesamt, FS 19, R 1) für die abgelagerten Abfallmengen immer nur für das vorhergehende Berichtsjahr vor, da die Abfallstatistik des Statistischen Bundesamtes mit einem Jahr Verzug erscheint. Das aktuelle Berichtsjahr wird daher auf Basis des Trends der letzten beiden Vorjahre linear extrapoliert. Diese Fortschreibung wird im jeweils folgenden Jahr durch die dann aktuellen Daten ersetzt. Aus diesem Grund sind jährliche Rückrechnungen für das vorvergangene Jahr erforderlich, Da die daraus notwendige Rekalkulation in jedem Jahr gering ist, wird sie hier nicht mehr zusätzlich berichtet.

In dieser Berichterstattung wurde allerdings die Ableitung der Emissionsfaktoren (EF) für N₂O und CH₄ überprüft und angepasst. Für den Zeitraum ab 2006 wurden diese EF bislang aus den oberen Werten der Bandbreite vorliegender Emissionswerte abgeleitet. Ergebnis der Überprüfung ist, dass die Mittelwerte der Emissionsbandbreiten, eine realistischere Grundlage für die EF darstellen (siehe Emissionsfaktoren (EF)).

Die aus der Anpassung der EF resultierenden Änderungen der Emissionen für N₂O und CH₄ werden tabellarisch dargestellt. Zusätzlich wird auch die jährliche Aktualisierung der Daten für das Vorjahr der aktuellen Berichterstattung abgebildet (siehe folgende Tabelle).

Tabelle 485: Rekalkulation MBA 2006-2018

	Einheit	Inventar	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Behandelte Abfallmenge	[t]	2021	3.706.600	3.748.100	3.957.800	4.042.700	4.153.800	4.474.100	4.265.100
		2020	3.706.600	3.748.100	3.957.800	4.042.700	4.153.800	4.474.100	4.265.100
CH ₄	[kg]	2021	96.742	97.825	103.299	105.514	108.414	116.774	111.319
		2020	151.600	153.297	161.874	165.346	169.890	182.991	174.443
N ₂ O	[kg]	2021	112.310	113.567	119.921	122.494	125.860	135.565	129.233
		2020	218.689	221.138	233.510	238.519	245.074	263.972	251.641
	Einheit	Inventar	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Behandelte Abfallmenge	[t]	2021	4.166.600	4.207.300	4.097.800	3.947.900	3.823.000	3.770.800	
		2020	4.166.600	4.207.300	4.097.800	3.947.900	3.823.000	3.823.000	
CH ₄	[kg]	2021	108.748	109.811	106.953	103.040	99.780	98.418	
		2020	170.414	172.079	167.600	161.469	156.361	156.361	
N ₂ O	[kg]	2021	126.248	127.481	124.163	119.621	115.837	114.255	
		2020	245.829	248.231	241.770	232.926	225.557	225.557	

7.6.1.6 Geplante Verbesserungen, kategoriespezifisch (5.E Other MBA)

Derzeit sind keine neuen Verbesserungen geplant.

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars,

Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

8 Andere (CRF Sektor 6)

Nach Empfehlungen des UNFCCC Expertenteams im In-Country-Review 2016 werden keine Treibhausgase in der CRF Kategorie 6 berichtet. Aufgrund fehlenden Eingabemöglichkeiten in einigen entsprechenden Kategorien des CRF Reporters werden für die Nicht-Treibhausgase NO_x, CO und NH₃ unter CRF 6 subsummiert. Die eigentliche Allokation ergibt sich aus folgender Tabelle:

Tabelle 486: Eigentliche Allokation der Nichttreibhausgase unter CRF 6

Schadstoff	Menge in kt	Eigentliche Allokation
CO	0,11	1.B
NO _x	0,03	1.B
NH ₃	606,72	3

9 Indirektes CO₂ & N₂O

Die Ausweisung indirekter CO₂-Emissionen aus CO und NMVOC und indirekter N₂O-Emissionen aus NO_x und NH₃ erfolgt für das nationale Inventar nur in Einzelfällen. Werden Angaben gemacht, so werden diese grundsätzlich als regulärer Teil des Inventars behandelt.

Im Einzelnen sind das:

- CRF 1.A: da die Berechnung der Emissionen auf Basis einer Kohlenstoff-Massenbilanz erfolgt, wird indirektes CO₂ bereits durch die Berechnungsmethodik miterfasst, ist aber nicht gesondert ausweisbar.
- CRF 2.D.1 & 3: die NMVOC-Emissionen aus Schmiermitteln (siehe auch Kapitel 4.5.1) und aus der Lösemittelverwendung (siehe auch Kapitel 4.5.3) werden in indirektes CO₂ umgerechnet und in CRF Table2(I).A-Hs2 berichtet.
- CRF 3: in CRF Table 3.B(b) und 3.D werden die indirekten N₂O-Emissionen aus atmosphärischer Deposition und Auswaschung/Oberflächenabfluss berichtet.
- CRF 4: die indirekten N₂O-Emissionen aus Auswaschung/Oberflächenabfluss werden in CRF Table 4(IV) berichtet.

10 Rückrechnungen und Verbesserungen

10.1 Erklärung und Rechtfertigung der Rückrechnungen

10.1.1 Treibhausgas-Inventar

10.1.1.1 Generelles Vorgehen

Neben Korrekturen gibt es eine Reihe von fachlichen Gründen für Rückrechnungen und Verbesserungen:

- Ergänzende Daten sind verfügbar, die zur Schließung von Fehlstellen des Inventars beitragen.
- Die Datenquelle hat sich geändert.
- Die für die Quellgruppe genutzte Methode wurde an die Vorgaben der *Good Practice Guidance* angepasst.
- Die Quellgruppe ist eine Hauptquellkategorie geworden, so dass ein Methodenwechsel erforderlich wurde.
- Neue länderspezifische Berechnungsverfahren werden angewendet.
- Hinweise und Ergebnisse aus Reviews wurden umgesetzt.

10.1.1.2 Rückrechnungen im Inventar 2021 nach Quellgruppen

Die Rückrechnungen begründen sich diesjährig durch verschiedene methodische Anpassungen, die teilweise erhebliche Veränderungen in den betroffenen Quellgruppen nach sich zogen, sowie weiteren Detailverbesserungen.

Die Inventare enthalten dabei Verbesserungen in folgenden Bereichen (wenn nicht anders angegeben beziehen sich die Änderungen auf die gesamte Zeitreihe):

Energie

In der Quellkategorie 1.A kommt es nach dem Vorliegen der endgültigen Energiebilanz für das Berichtsjahr 2018 bei den verschiedenen Brennstoffen zu folgenden Rückrechnungen:

(in Mio. t CO ₂ -äquivalent)	Submission 2020	Submission 2021	Änderung ggü. Submission 2020	
Gesamtemissionen CRF 1.A	702,1	702,2	0,1	0,0%
Mineralöle	244,2	241,3	-2,8	-1,2%
Erdgas und Grubengas	162,3	164,3	2,1	1,3%
Steinkohlen	158,9	159,5	0,6	0,4%
Braunkohlen	116,2	115,5	-0,6	-0,5%
sonst. Brennstoffe/ Rauchgasent- schwefelung	20,6	21,5	0,9	4,2%

Quelle: eigene Berechnungen

Größere Änderungen ergeben sich für die Mineralöle und Erdgas. Dagegen fallen die Rückrechnungen für die Kohlen eher gering aus. Nach dem Vorliegen der endgültigen Abfalldaten wurden Rückrechnungen für die sonstigen Brennstoffe notwendig. In der Summe, über alle fossilen Brennstoffe betrachtet, bleiben für die Quellgruppe 1.A nur Veränderungen von rund 0,1 Mio. t CO₂ übrig, da sich die Rückrechnungen der einzelnen Energieträger fast gegeneinander aufheben. Dabei kommt es allerdings in den einzelnen Subquellgruppen teilweise zu deutlichen Verschiebungen, die sich aber kaum auf die Gesamtemissionen auswirken.

(darüber hinaus, auszugsweise)

- Revision Modelle TREMOD Aviation (1.A.3.a, 1.D.1.a), TREMOD (1.A.3.b, 1.A.3.c, 1.A.3.d) und TREMOD MM (1.A.2.g vii, 1.A.4.a ii, b ii, c ii)
- erstmalige Aufteilung Flugbezin auf Inlands- und Auslandsflüge (1.A.3.a, 1.D.1.a)

- Implementierung Ergebnisse eines Gutachtens (1.B.1)
- Änderungen aufgrund der Vorläufigkeit einiger Statistiken (1.B.2)

Industrieprozesse & Produktverwendung

- Aktualisierung Produktionsdaten Glasindustrie, 2018 (2.A.3)
- Umstellung von Interpolation auf Fortschreibung, ab 2017 (2.A.4.b)
- Implementierung Daten der endgültigen Energiebilanz, 2017 & 2018 (2.C.1)
- Aktualisierung Aktivitätsraten, 2017 & 2018 (2.C.2)
- Korrektur NMVOC-Emissionsfaktor, 2011 (2.D.1, stationäre NMVOC)
- Anpassung Wachs-Verbrauch wegen Änderung Außenhandelsstatistik, 2018 (2.D.2)
- Ergänzung C₆F₁₄-Emissionen ICE-Triebköpfe (2.E.4)
- Rekalkulation in Untergruppen der Kälte- und Klimaanlageanlagen, ab 1995 (2.F.1)
- Rekalkulation Inlandsverbräuche Schäume (2.F.2)
- Korrektur EF Feuerlöschmittel, ab 2008 (2.F.3)
- Rekalkulation Aerosol- Emissionen, 2001-2018 (2.F.4)
- Rekalkulation fluorierte Narkosegase, 2018 (2.G.2)
- Anpassung Holzkohle-Verbrauch wegen Änderung Außenhandelsstatistik, 2018 (2.G.4.c)
- Aktualisierung Produktionsdaten Nahrungsmittel, 2018 (2.H.2)

Landwirtschaft

- Tierzahlen: Aktualisierung für Aufzuchtferkel und Mastschweine, 2018 (3.A, 3.B, 3.D)
- Milchkühe u. Kälber: Anpassung Anfangsgewicht, Energiebedarf und Fütterung (3.A, 3.B, 3.D)
- Korrektur Berechnung TAN-Ausscheidung Milchkühe (3.B, 3.D)
- Untergliederung Milch- und Schlachtfärsen mit unterschiedlichen Endgewichten (3.A, 3.B, 3.D)
- Anpassung Energiebedarf und Fütterung (3.A, 3.B, 3.D)
- Mastbullen: Anpassung Fütterung (3.A, 3.B, 3.D) & Korrektur Berechnung eingelagerte TAN-Menge (3.B, 3.D)
- männliche Rinder > 2 Jahre: Aktualisierung (Anhebung) Einstreumenge (3.B, 3.D)
- Weidegang Rinder: Aktualisierung EF NH₃ gemäß EMEP (2019) (3.D)
- Sauen: Aktualisierung Ferkelzahl pro Sau, 2018 (3.A, 3.B, 3.D)
- Mastschweine und Aufzuchtferkel: Aktualisierung Anfangs- /Endgewicht, 2018 (3.A, 3.B, 3.D)
- Schafe, Legehennen, Masthähnchen, Junghennen: Aktualisierung EF NH₃ für Wirtschaftsdüngerlager gemäß EMEP (2019) (3.B)
- Masthähnchen: Aktualisierung Bruttoschlachtfleischmenge, 2018 (3.B, 3.D)
- Puten: Neuberechnung Endgewichte Hähne und Hennen, 1990-2001 (3.A, 3.B, 3.D)
- Vergärung von Wirtschaftsdünger: Aktualisierung Aktivitätsdaten und EF NH₃-für Vorlager Rindermist und Geflügelkot, ab 1990 (3.B, 3.D)
- Vergärung Energiepflanzen: Aktualisierung Aktivitätsdaten, 2018 (3.D, 3.J)
- Mineraldünger, Kalkung, Anwendung von Harnstoff: jahresübergreifende Mittelung AR (gleitendes zentriertes Dreijahresmittel, ab 1990 (3.D, 3.G, 3.H, 3.I)
- Klärschlamm: Aktualisierung ausgebrachte N-Menge, 2018 (3.D)
- bewirtschaftete organ. Böden: methodische Änderungen im LULUCF-Inventar (4), Aktualisierung der übernommenen Flächen und Emissionen, ab 1990 (3.D)
- Mineralisierung organ. Bodensubstanz (Ackerland): Aktualisierung N-Mengen, ab 1990 (3.D)

- Ernterückstände: Aktualisierung N-Mengen nach Aktualisierung Einstreumengen männliche Rinder > 2 Jahren, ab 1990 (3.D)
- vereinzelte Korrekturen Anbauflächen und Erträge, ab 1999 (3.D)

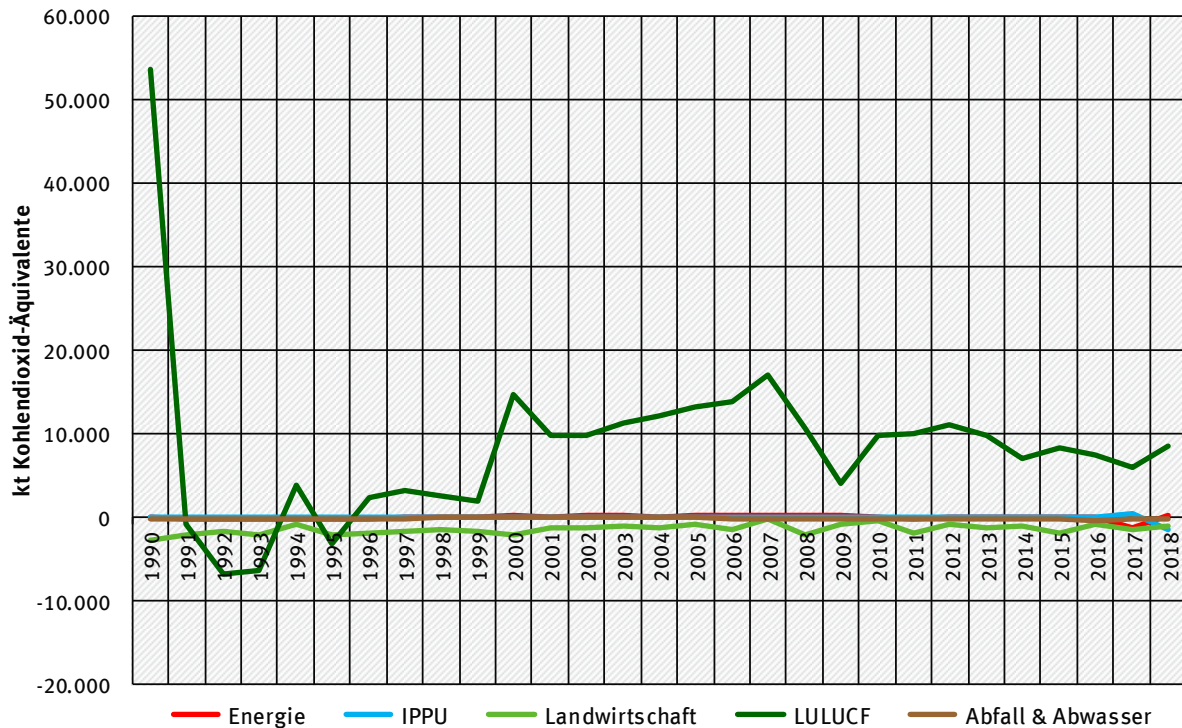
Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft:

- Implementierung Modell zur flächendeckenden Berechnung und Regionalisierung Grundwasserstände in organischen Böden
- Ermittlung Emissionen aus organ. Böden in Abhängigkeit vom Grundwasserstand
- neue Methodik CO₂- und CH₄-Emissionen organ. Böden für *annuelles Ackerland, Hopfenanbau, Obstbau, Weinbau, Sonstige perennierende Ackerlandkulturen (Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen), Grünland i.e.S., Terrestrische Feuchtgebiete und Siedlungen*
- Modifikation Erhebungsmethode der Flächen von Entwässerungsgräben für organ. Böden
- neue Methodik THG-Emissionen aus Mineralböden bei Landnutzungsänderungen von/zu Siedlungen
- neue Emissionsfaktoren ober- und unterirdische Waldbiomasse
- neue Emissionsfaktoren Totholz

Abfall und Abwasser:

- Aktualisierung statistische Daten 2018 (5.A.1)
- Korrektur CH₄-Gehalt bei Deponien in Ablagerungs- und Stilllegungsphase, ab 2015 (5.A.1)
- Korrektur Berechnungsfehler bei Summenbildung deponierter Klärschlamm (5.A.1)
- Aktualisierung statistische Daten, 2018 (5.B.1, 5.B.2)
- gewonnene und abgepackelte Gasmenge, ab 2013 (5.B.2)
- Korrektur berichtete Abfallmenge 2010 (5.B.2)
- Korrektur EF (CH₄), ab 1990, (5.D.1)
- Korrektur FAO-Daten für Proteinversorgung, ab 2014 (5.D.1)
- Aktualisierung statistische Daten 2018 (5.D.2)
- Aktualisierung statistische Daten 2018; Korrektur EF für CH₄ und N₂O, ab 2006 (5.E)

Abbildung 76: Änderung der Gesamtemissionen über alle Kategorien gegenüber Submission 2020



10.1.1.3 Rückrechnungen im Inventar 2021 nach Substanzen

Rückrechnungen erfolgten in folgenden Quellgruppen (siehe auch Nennungen unter 10.1.1.2):

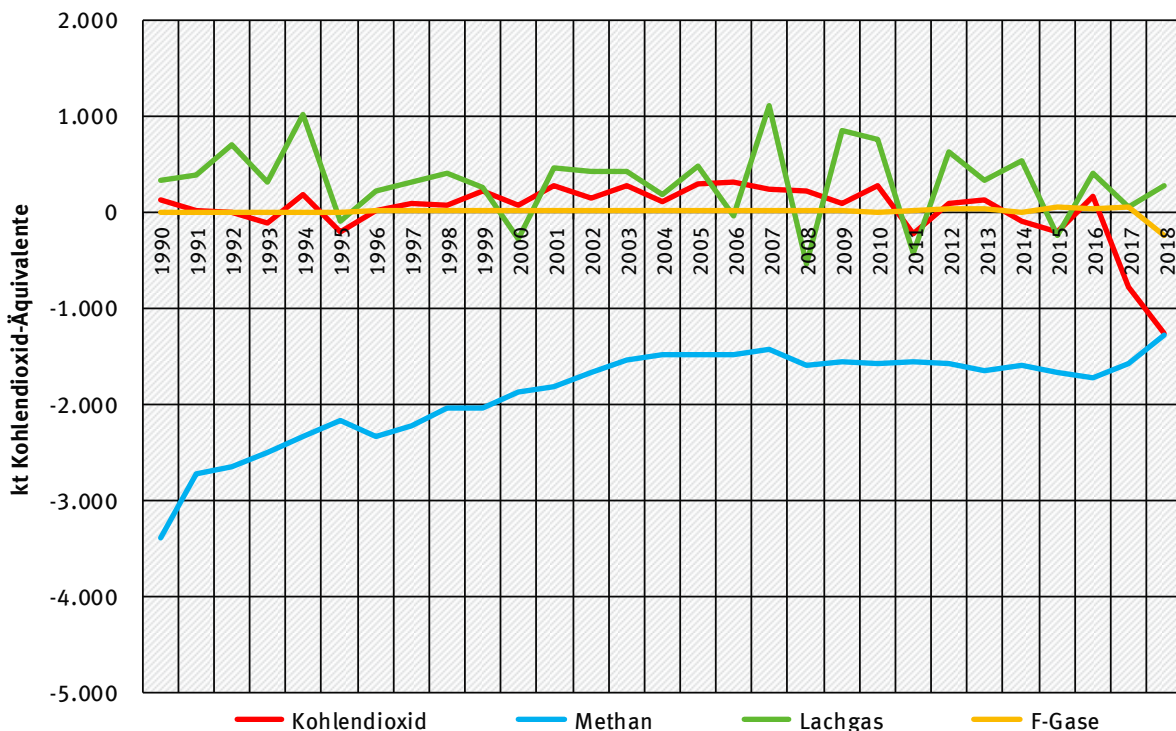
Tabelle 487: Übersicht der von Rückrechnungen betroffenen CRF-Oberkategorien

CRF	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆	NF ₃
1 - Energie	x	x	x				
2 - IPPU	x	x	x	x	x	x	x
3 - Landwirtschaft	x	x	x				
4 - LULUCF	x	x	x				
5 - Abfall & Abwasser		x	x				

Tabelle 488: prozentuale Änderungen gegenüber der vorjährigen Berichterstattung

	Basisjahr	2018
Gesamt (CO₂-äquiv.)		-0,29%
CO ₂	1990:	0,01%
CH ₄		-2,79%
N ₂ O		0,53%
<i>F-Gase</i>	1995:	0,00%

Abbildung 77: Rückrechnung der Gesamtemission der einzelnen Treibhausgase über alle Quellgruppen gegenüber der Submission 2020



10.1.1.4 Rückrechnungen als Umsetzung von Ergebnissen des Review Prozesses

Gegenüber der Submission 2019 erfolgten keine auf aus Reviews resultierenden Hinweisen oder Empfehlungen abgeleiteten Rückrechnungen.

10.1.2 KP-LULUCF-Inventar

10.1.2.1 Generelles Vorgehen

Das methodische Vorgehen bei Rückrechnungen unter dem Kyoto Protokoll entspricht dem bei der Konvention angewendeten. Ausführliche Informationen zum generellen Vorgehen finden sich im Kapitel 10.1.1.1.

10.1.2.2 Rückrechnungen im Inventar 2021 nach Kategorien

Die Rückrechnungen betreffen die von Deutschland zu berichtenden KP-Kategorien Aufforstung (A), Entwaldung (D) und Waldbewirtschaftung (FM) sowie die Acker- (CM) und Weidelandbewirtschaftung (GM), da neben zahlreichen Emissionsfaktoren (z.B. Waldbiomasse und Totholz, Mineralböden (vergl. Kapitel 10.1.1.1 und 11.3.1.4) auch Berechnungs- und Erfassungsmethoden modifiziert wurden (z.B. Emissionsberechnung Mineralböden LUC Siedlungen).

Für die Holzprodukte (*Harvested Wood Products – HWPs*) wurden mittels der FAO-Datenbank die Produktkategorien Papier und Pappe, Schnittholz und Holzwerkstoffe aktualisiert und korrigiert (siehe Kapitel 6.10.5).

10.1.2.3 Rückrechnungen im Inventar 2021 nach Substanzen

Die beschriebenen Änderungen wirken sich auf die Höhe der Emissionen aller zu berichtenden Treibhausgase aus.

10.2 Auswirkung auf die Höhe der Emissionen

10.2.1 Treibhausgas-Inventar

Die Veränderungen gegenüber Submission 2020 fallen mit -0,23 % für 1990 bzw. -0,29 % für 2018 gleichermaßen gering aus.

Für die einzelnen CRF-Sektoren sind die Veränderungen innerhalb der für 1990 bzw. 2018 berichteten Emissionen in Tabelle 491 und Tabelle 492 dargestellt.

Das Inventar wurde in Bezug auf Vollständigkeit und Genauigkeit weiter verbessert.

Tabelle 489: Rückrechnung der nationalen THG-Gesamtemissionen (ohne LULUCF)

[kt CO ₂ -äqui-.]	Submission 2020	Submission 2021	Änderung ggü. Submission 2020	
1990	1.251.488	1.248.577	-2.911	-0,23%
1995	1.123.001	1.120.555	-2.446	-0,22%
2000	1.044.664	1.042.612	-2.052	-0,20%
2005	993.199	992.530	-669	-0,07%
2010	942.338	941.805	-533	-0,06%
2011	919.435	917.274	-2.161	-0,24%
2012	924.147	923.342	-805	-0,09%
2013	941.570	940.420	-1.151	-0,12%
2014	902.389	901.255	-1.134	-0,13%
2015	906.320	904.262	-2.058	-0,23%
2016	909.052	907.968	-1.085	-0,12%
2017	894.296	892.076	-2.221	-0,25%
2018	858.369	855.890	-2.478	-0,29%

Quelle: eigene Berechnungen

Die nachrichtlich berichteten Emissionen der sogenannten MemoItems wurden gegenüber der vorangegangenen Berichterstattung ebenfalls deutlich korrigiert. Maßgeblich hierfür ist die Neuberechnung der Emissionen gemäß der KP-Berichterstattung zu den Artikeln 3.3 und 3.4.

Tabelle 490: Rückrechnungen der nachrichtlichen Inventardaten (Memo Items)

	1990	2018
nachrichtliche Emissionen:	821%	11,9%
aus internationalen Verkehren	-0,71%	-0,57%
davon: internationaler ziviler Flugverkehr	-1,09%	-0,63%
davon: internationaler Schiffsverkehr	0,00%	-0,18%
aus multilateralen Militäreinsätzen	NE	NE
CO ₂ aus der Verbrennung von Biomasse	0,00%	2,16%
KP Reporting	-150%	-27,1%

Quelle: eigene Berechnungen

10.2.1.1 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 1990

Die Gesamtemissionen (ohne LULUCF) für 1990 werden um etwa 0,23 % bzw. 2.911 kt CO₂-Äquivalente nach unten korrigiert (siehe Tabelle 491).

Die maßgeblichen inventarwirksamen Korrekturen erfolgen dabei im Sektor *Landwirtschaft* (-2.796 kt, -3,53 %).

Hinzu kommen geringfügige Korrekturen in den Sektoren *Energie* (-49 kt), *Industrieprozesse und Produktanwendung* (+1 kt) sowie *Abfall & Abwasser* (-66 kt bzw. -0,17 %).

Die für den LULUCF-Sektor (*Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft*) berichtete CO₂-Senkenleistung wandelt sich gleichzeitig in eine bedeutende Emissionsquelle

(+52.771 kt bzw +173 %). Hinzu kommt hier eine Anhebung der Methan- und Lachgas-Emissionen erhöhen sich im um 903 kt bzw. 55 %.

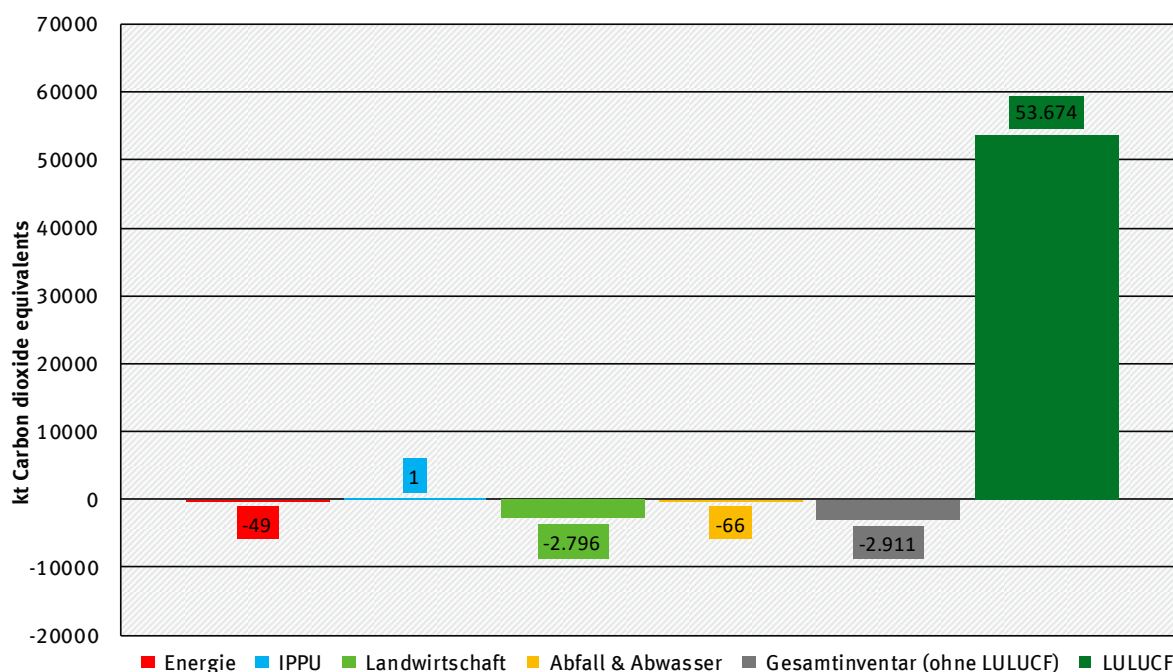
Detailliertere Informationen sind, in Ergänzung zu nachfolgender Tabelle, in den CRF-Tabellen 8(a)s1 bis 8(a)s4 verfügbar.

Tabelle 491: Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission, 1990

[kt CO ₂ -äqui-]	Submission 2020	Submission 2021	Änderung ggü. Subm. 2020	
Nationale Gesamtemissionen (ohne LULUCF)	1.251.488	1.248.577	-2.911	-0,23%
1. Energie	1.037.048	1.036.998	-49	0,00%
2. IPPU	96.833	96.833	1	0,00%
3. Landwirtschaft	79.305	76.509	-2.796	-3,53%
4. Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft	-28.813	24.862	53.674	186%
<i>CO₂ (Netto-Emissionen/Einbindung)</i>	<i>-30.464</i>	<i>22.307</i>	<i>52.771</i>	<i>173%</i>
<i>N₂O + CH₄ (Emissionen)</i>	<i>1.652</i>	<i>2.555</i>	<i>903</i>	<i>54,7%</i>
5. Abfall & Abwasser	38.302	38.235	-66	-0,17%

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 78: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 1990



10.2.1.2 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 2018

Die für das Jahr 2018 berichteten Gesamtemissionen ohne LULUCF werden im Vergleich zur Submission 2020 um 2.478 kt CO₂-Äquivalente bzw. 0,29 % nach unten korrigiert (siehe Tabelle 492).

Die maßgeblichen Korrekturen erfolgen dabei in den Sektoren *Industrieprozesse und Produktanwendung* (-1.537 kt, -2,73 %) und *Landwirtschaft* (-1.078 kt bzw. -1,70 %).

Hinzu kommen kleinere Änderungen in den Sektoren *Energie* (+252 kt bzw. +0,04 %) und *Abfall & Abwasser* (-116 kt bzw. -1,19 %).

Im *LULUCF*-Sektor kommt es für 2018 zu einer Verminderung der CO₂-Senkenleistung um 7.621 kt. Die Methan- und Lachgas-Emissionen erhöhen sich im um 1.925 kt bzw. 43 %.

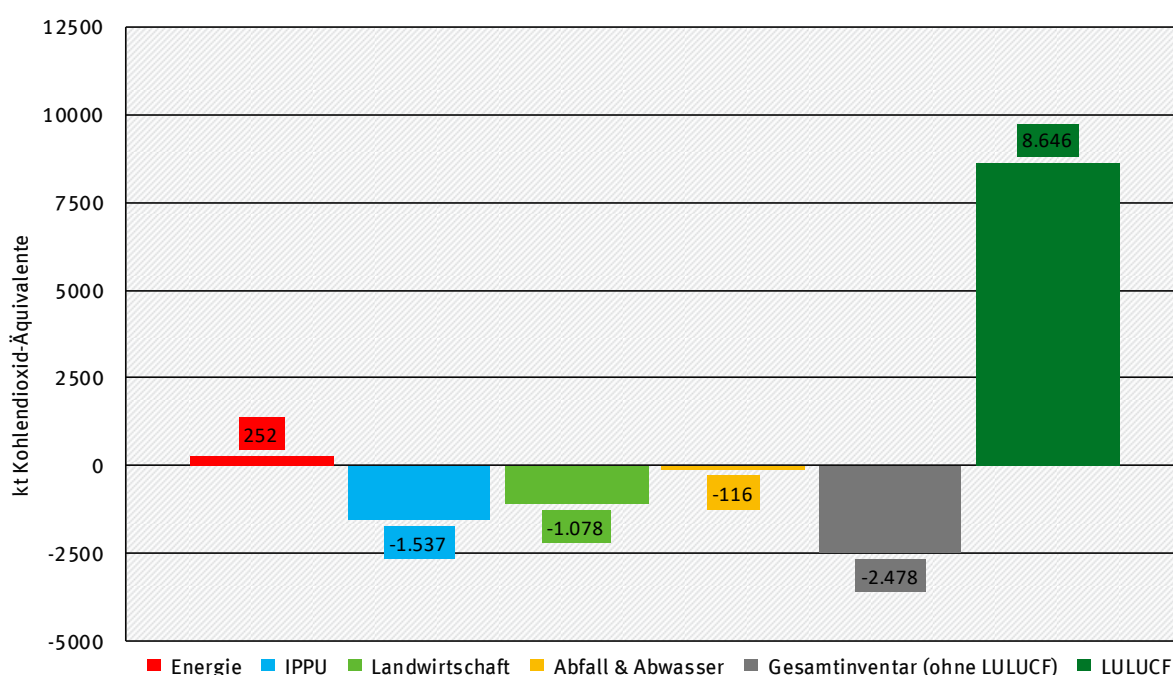
Detailliertere Informationen sind, in Ergänzung zu nachfolgender Tabelle, in den CRF-Tabellen 8(a)s1 bis 8(a)s4 verfügbar.

Tabelle 492: Rückrechnung der CRF-spezifischen THG-Gesamtemission, 2018

[kt CO ₂ -äqui-]	Submission 2021	Submission 2021	Änderung ggü. Subm. 2020	
Nationale Gesamtemissionen (ohne LULUCF)	858.369	855.890	-2.478	-0,29%
1. Energie	720.284	720.536	252	0,04%
2. IPPU	64.792	63.254	-1.537	-2,37%
3. Landwirtschaft	63.565	62.487	-1.078	-1,70%
4. Landnutzungsänderung u. Forstwirtschaft	-26.932	-18.286	8.646	32,1%
CO ₂ (Netto-Emissionen/Einbindung)	-29.315	-21.694	7.621	26,0%
N ₂ O + CH ₄ (Emissionen)	2.383	3.408	1.025	43,0%
5. Abfall & Abwasser	9.728	9.613	-116	-1,19%

Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 79: absolute Änderungen in CRF-Sektoren und Gesamtinventar, für das Jahr 2018



10.2.2 KP-LULUCF-Inventar

10.2.2.1 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 1990

Die Ergebnisse der Rückrechnung für das Jahr 1990 bezüglich der Emissionen der einzelnen KP-Kategorien sind in Tabelle 493 dargestellt. Insgesamt ist kaum eine Veränderung festzustellen (insbesondere unter Berücksichtigung der Gesamtunsicherheiten ((12,7 % (NIR 2021) bzw. 11,1 % (NIR 2020))).

Nichtsdestotrotz zeigen einige Kategorien deutliche Veränderungen, die auf die Unterschiede in den Aktivitätsdaten zurückzuführen sind; infolge der Anwendung des „overlap-approach“, bei der Anbindung des CORINE- Datensatzes an das B-DLM des ATKIS® (vergl. Kapitel 6.3). Deutliche Änderungen ergaben sich auch durch die geänderten Emissionsfaktoren für die Waldbiomasse und das Totholz durch die Aktualisierung der Ergebnisse der Kohlenstoffinventur 2017.

Tabelle 493: Rückrechnung der Gesamtemissionen 1990, in kt CO₂-Äquivalenten

Landnutzungskategorie	Submission 2020	Submission 2021	Änderung ggü. Subm. 2020	
Aufforstung (KP 3.3)	538	678	-134	-26,0%
Entwaldung (KP 3.3)	200	207	-7	-3,4%
Waldbewirtschaftung (KP 3.4)	-72.822	-23.735	-49.087	67,4%
Ackerlandbewirtschaftung (KP 3.4)	12.966	13.682	-716	-5,5%
Grünlandbewirtschaftung (KP 3.4)	23.970	26.916	-2.946	-12,3%
gesamt	-35.148	17.747	-52.895	150%

Quelle: eigene Berechnungen

10.2.2.2 Auswirkung auf die Emissionshöhe von Kategorien 2018

Die Auswirkungen der Rückrechnung auf die THG-Emissionen der KP-Kategorien im Jahr 2018 sind erheblich (siehe Tabelle 494). So wird insgesamt eine Abnahme der Senkenfunktion von 27,1 % ausgewiesen.

Mit Ausnahme der Kategorie Entwaldung (unverändert) zeigen alle anderen Kategorien eine Zunahme der Nettoemissionen. Ursache hierfür sind in den Waldkategorien hauptsächlich die geänderten Emissionsfaktoren für die Biomasse und das Totholz; in den Kategorien Acker- und Grünlandbewirtschaftung die Methodenänderung zur Berechnung der THG-Emissionen aus organischen Böden.

Tabelle 494: Rückrechnung der Gesamtemissionen 2018, in kt CO₂-Äquivalenten

Landnutzungskategorie	Submission 2020	Submission 2021	Änderung ggü. Subm. 2020	
Aufforstung (KP 3.3)	-7.879	-459	-7.420	94,2%
Entwaldung (KP 3.3)	1.634	1.634	0,23	0,0%
Waldbewirtschaftung (KP 3.4)	-65.240	-63.715	-1.524	2,3%
Ackerlandbewirtschaftung (KP 3.4)	16.590	17.566	-975	-5,9%
Grünlandbewirtschaftung (KP 3.4)	18.187	18.209	-21,8	-0,1%
gesamt	-36.707	-26.766	-9.941	27,1%

Quelle: eigene Berechnungen

10.3 Auswirkung auf die Emissionstrends und die Konsistenz der Zeitreihe

10.3.1 Treibhausgas-Inventar

Die Konsistenz der Zeitreihen hat sich auf Grund der Rückrechnungen verbessert.

Im Ergebnis stellt sich der Trend der nationalen Gesamtemissionen (ohne LULUCF) gegenüber dem aktuellen Basisjahr in einer Reduktion von knapp 35,1 % dar.

Nach dem zuletzt deutlicheren Rückgang liegen die reinen CO₂-Emissionen 2019 5,7 % unter den Werten des Vorjahres. Ähnliches gilt mit einem Minus von 4,1 % für Methan und Lachgas mit 1,9 %. Die Emissionen der Summe der F-Gase sanken ebenfalls deutlich um 4,3 %, wobei die Trends der einzelnen F-Gase sich weiterhin uneinheitlich entwickeln.

10.3.2 KP-LULUCF-Inventar

Die Konsistenz der Zeitreihen bleibt trotz der durchgeführten Rückrechnungen gewahrt. Durch die implementierten methodischen Änderungen und Verbesserung der Datenquellen konnte eine deutliche Verbesserung des KP-LULUCF – Inventars insbesondere bezüglich der Genauigkeit herbeigeführt werden.

10.4 Verbesserungen des Inventars

10.4.1 Treibhausgas-Inventar

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Verbesserungen der THG-Emissionsberichterstattung aufgrund der Hinweise und Anmerkungen des ERT aus den zurückliegenden Überprüfungen unter der Klimarahmenkonvention und unter dem Kyoto Protokoll zusammen. Die Tabelle nennt nur Aspekte, die nicht bereits während der Überprüfung gelöst wurden.

Tabelle 495: Zusammenstellung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten Review-Empfehlungen

CRF	Review Findings	Improvement	Report [year]	Source	Reference	Resolved in ...
5.D.1.	<p>During the review, the ERT noted that the MCF value used for septic tanks (0.17) is different from the IPCC default of 0.5 (2006 IPCC Guidelines, volume 5, table 6.3) and refers to Gibbs and Woodbury (1993), which is not publicly available. Upon request, Germany provided the ERT with a copy of the reference. The paper presents MCF values for animal manure stored at different temperatures and Germany used the MCF values for slurry at 10 and 20 °C to calculate a weighted MCF based on the soil temperature in Germany. Gibbs and Woodbury (1993) refers to the same author (Hashimoto) that is referenced in the Revised 1996 IPCC Guidelines and the same MCF values of 10 and 35 per cent are provided. In response to a question raised by the ERT on the applicability of MCF values derived for animal manure to human sewage, the Party explained that no better data are considered to be available. The ERT agrees that the default MCF for septic tanks in the 2006 IPCC Guidelines does not represent the climatic conditions in Germany.</p> <p>Is finding an issue and/or a problem?: Yes. Accuracy</p>	Rationale for choosing the MCF has been thoroughly explained and verified	2021	ARR	W.15, Table 6	see NIR 2021 chap. 7.5.1.1.2 and 7.5.1.1.4

Alle Maßnahmen zielen auf volle Konsistenz mit den UNFCCC-Berichtsguidelines und den IPCC-Guidelines ab und sollen Adjustments unter dem Kyoto-Protokoll verhindern.

In der folgenden Tabelle werden die in den Quellgruppen-Kapiteln gemachten Aussagen der Inventarberichte (seit 2011) zu den geplanten Verbesserungen zusammengefasst. Sie werden ergänzt um Informationen zum daraus abgeleiteten Handlungsbedarf, dem avisierten Termin zur Umsetzung der Maßnahme (Deadline) und dem aktuellen Bearbeitungsstand.

Tabelle 496: Zusammenfassung der mit der aktuellen Berichterstattung erledigten und der offenen in den NIR-Kategoriekapiteln genannten geplanten Verbesserungen

CRF	Planned improvement	Data quality objective	Deadline	STATUS	Comment	Resolved in ...	Year of reporting	Reference NIR-chapter
1.	As noted at the beginning of this chapter, it was not possible to complete the planned countryspecific calculation approach. This important step will be completed in connection with the 2021 submission.	The country-specific calculation approach is to be finalized and adopted for the inventory.	[2022]	open	The announced development of a country-specific calculation approach is delayed.		2020	19.1.5
1.A.3.d	With regard to inland waterway transport, in cooperation with the responsible modellers (ifeu) and national experts (ZKR: Zentralkommission für die Rheinschiffahrt / CCNR: Central Commission for the Navigation of the Rhine), ways are sought for the exact separate collection of national and international vessels.	National and international ships are to be recorded exactly and separately. The procedure should be developed with ifeu and the ZKR and documented in the NIR and the IB. If needed, the inventory has to be updated.	[2020]	overdue	Germany is continuing to work on that issue.		2017	3.2.10.4.6
1.B.2	Several measurement campaigns are currently underway in Germany to determine emission factors for natural gas transmission and distribution pipelines. It is planned to include the findings from the measurement programs in the inventory after completion.	The results from the measurement campaigns are to be included in the inventory.	[2023]	open	Ongoing		2021	3.3.2.6
2.A.4.b	The aforementioned technical clarifications and consultations with the Federal Statistical Office are to be carried out in time for the next reporting round.	Technical clarifications and consultations with the Federal Statistical Office are to be carried out.	[2022]	closed	The announced technical clarifications and consultations with the german statistical agency took place, but unfortunately were not successful. Instead a new Inventory Plan issue was opened for trying to reach an agreement with the only two national producers.	-	2020	4.2.4.2.6

CRF	Planned improvement	Data quality objective	Deadline	STATUS	Comment	Resolved in ...	Year of reporting	Reference NIR-chapter
2.B.8.	Plans call for improving the database	The database needs to be improved	[2017]	closed	Due to having only small impact and not having a priority need for action, this issue has been transferred to the improvement plan and closed in the inventory plan.	-	2016	4.3.8.1.6
2.D.2	Plans call for discontinuation of inclusion of biogenic wax fractions.	The biogenic wax component should no longer be included in the inventory.	[2022]	done	Issue has been resolved.	-	2020	4.5.2.6
2.D.3.(b)	Relevant findings currently available from a research project are to be used for specific evaluation of emission factors.	The emission factors need to be evaluated on the basis of the existing project report.	[2012]	overdue	Germany is continuing to work on that issue.		2012	4.2.6.6
2.H.2	Plans call for the database for emissions reporting 2.H.2 to be updated. A project to this end will be launched in 2020. This effort is not expected to yield any new data before 2021.	The data basis for emissions reporting must be updated. A project shall be launched for this purpose.	[2022]	done	Issue has been resolved - project was launched in 2021.	-	2020	4.9.2.6
2.H.2.	Based on an ongoing project, emission factors shall be updated.	Based on the results of the recently launched project, the emission factors used so far need to be updated.	[2023]	open	Ongoing		2021	4.9.2.6
5.A.1.	In an international comparison, collection rates of landfill gas, at about 20 %, seem very low. They also seem low in that nearly all German landfills have gas-collection facilities and that the technical characteristics of German landfills would seem to provide a comparatively good basis for high collection rates. This apparent contradiction will need to be cleared up for future reports.	The causes for the high differences between statistical data and estimated amount of landfill gas shall be determined.	[2018]	overdue	Germany is continuing to work on that issue.		2013	8.2.1.6

CRF	Planned improvement	Data quality objective	Deadline	STATUS	Comment	Resolved in ...	Year of reporting	Reference NIR-chapter
5.A.1.	For some years now, there has been increasing evidence in Germany that the formation of landfill gas calculated according to the FOD model of the IPPC and the resulting methane emissions are considerably overestimated compared to the real behaviour of landfills. The Federal Environment Agency has therefore commissioned two research projects to investigate this issue and to determine national values for half-lives, k-values and DOCf-values. Translated with www.DeepL.com/Translator	After completion of the current SV project (for the textual and mathematical incorporation of the results from two previously finished Research projects into the NIR), the results are to be transferred to the NIR and the inventory revised.	[2020]	overdue	Germany is continuing to work on that issue.		2019	7.2.1.6
5.A.1.	For some years now, there have been growing indications in Germany that the IPCC's FOD model for calculating landfill-gas formation, and the resulting methane emissions, produces significant overestimations with regard to actual landfill behaviour. To address this situation, the Federal Environment Agency has commissioned two research projects aimed at producing national values for the applicable half-lives, k values and DOCf values.	Two research projects were completed to update the landfill gas formation and resulting methane emissions, calculated using the IPPC's FOD model. As a result, the currently calculated emissions are significantly overestimated compared to real landfill behavior. The values for half-lives, k-values, and DOCf-values, currently used in the FOD model, are to be adjusted accordingly.	[2022]	open	The draft results reports are currently coordinated between the Ministry for Environment (BMU) and the Federal Environment Agency (UBA) for official acceptance and publication, the implementation of the results can only take place afterwards.		2020	7.2.1.6

CRF	Planned improvement	Data quality objective	Deadline	STATUS	Comment	Resolved in ...	Year of reporting	Reference NIR-chapter
5.D.1.	In the area of wastewater treatment, only CH ₄ emissions from open cesspools and N ₂ O emissions from aeration tanks and from effluent are currently being reported. Other possible treatment steps that could be emissions-relevant – such as sludge treatment – are not reported, since the 2006 IPCC Guidelines do not cover them and since no pertinent data are available to date.	The inventory needs to be adjusted in keeping with the results of the R&D project on "fugitive emissions."	[2020]	overdue	Germany is continuing to work on that issue.		2016	7.5.1.1.1

10.4.2 KP & LULUCF

Die für das Konventionsinventar beschriebenen Verbesserungen für den Sektor LULUCF im Kapitel 10.4.1 sind auch für das KP-LULUCF-Inventar anzuwenden.

10.4.3 Implementing Regulation Article 9: Reporting on implementation of recommendations and adjustments

Tabelle 497: Implementing Regulation Article 9: Reporting on implementation of recommendations and adjustments, Article 9.1

Member State:	Germany			
Reporting year:	UNFCCC Annual Review Report 2020			
CRF category / issue	Review recommendation	Review report / paragraph	MS response / status of implementation	Chapter/section in the NIR
The official results of the Annual Review 2020 are currently unpublished.				

11 Ergänzende Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert

11.1 Allgemeine Informationen

11.1.1 Walddefinition und andere Kriterien

Die wesentliche Datenquelle, die zur Ermittlung von Emissionen im Waldbereich verwendet wurde, ist die Bundeswaldinventur. Deren Walddefinition ist unter anderem Grundlage für die Berichterstattung und findet sich in Kapitel 6.2.1.

Entsprechend dem deutschen Eröffnungsbericht des Kyoto-Protokolls (UNFCCC, 2007) hat Deutschland für die Walddefinition folgende spezifische Parameter festgesetzt:

Tabelle 498: Walddefinition in Deutschland

Parameter	Spannbreite (range)	Gewählter Wert (selected value)
Mindestflächengröße (minimum area of land)	0,05 – 1,00 ha	0,1 ha
Mindestüberschirmungsgrad (tree crown cover or equivalent stocking level)	10 – 30 %	10 %
Potenzielle Baumhöhe (potential tree height at maturity)	2 – 5 m	5 m

Innerhalb der in den Marrakesh Accords gesetzten Grenzen (s.o. range) kommen diese Werte der in der Bundeswaldinventur verwendeten Definition am nächsten. Untersuchungen haben gezeigt, dass der Vergleich zwischen Berechnungen der Aktivitätsdaten nach den oben aufgeführten Werten zu vernachlässigbaren Unterschieden führt Tomter et al. (2010).

Nach dem Kyoto Protokoll (UNFCCC, 1998a) werden Flächen den Aktivitäten Aufforstung und Entwaldung zugeordnet, wenn sie seit 1990 aufgeforstet bzw. entwaldet wurden. Diese Flächen bleiben bis zum Ende der Verpflichtungsperiode in diesen Kategorien. Kurzumtriebsplantagen werden unter der Treibhausgasberichterstattung unter Ackerland berichtet.

In Deutschland gibt es keinen Wirtschaftswald (Forest Plantations), der zu einer anderen Landnutzungskategorie (Nichtwald) und unter Forest Management (KP 3.4) angerechnet wird. Alle Aufforstungen und Entwaldungen werden unter KP 3.3 berichtet. Damit trifft die in decision 2/CMP.7, annex, paragraphs 37–39 dargestellte Bewirtschaftungsform in Deutschland nicht zu.

In Deutschland gilt das Wiederaufforstungsgebot (vgl. § 11 (1) S. 2 BWaldG (2015)), wonach kahlgeschlagene Waldflächen oder verlichtete Waldbestände wieder aufzuforsten oder zu ergänzen sind. Flächen, die seit 1990 aufgeforstet wurden und aufgrund von Naturkatastrophen kurzzeitig keine Bestockung aufweisen fallen also weiterhin unter die Walddefinition und müssen wiederaufgeforstet werden. Entwaldung durch Naturkatastrophen gibt es in Deutschland nicht.

11.1.2 Gewählte Aktivitäten unter Artikel 3, Absatz 4 des Kyoto-Protokolls

Deutschland muss in der zweiten Verpflichtungsperiode die Aktivität *Forest Management (FM)* nach Artikel 3, Absatz 4 des Kyotos-Protokolls anrechnen. Des Weiteren berichtet Deutschland die Emissionen aus Holzprodukten. Die Option *natürliche Störungen* hat Deutschland nicht gewählt.

Deutschland hat die folgenden freiwilligen Aktivitäten unter Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls gewählt:

- Ackerlandbewirtschaftung (Cropland management, CM)
- Weidelandbewirtschaftung (Grazing land management, GM).

Deutschland wählt die Abrechnung am Ende der zweiten Verpflichtungsperiode.

11.1.3 Beschreibung wie die Definitionen aller Aktivitäten nach Artikel 3.3 und aller gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4 umgesetzt und im Zeitverlauf konstant angewandt wurden

11.1.3.1 Neu- und Wiederaufforstung und Entwaldung (ARD)

Die Definitionen von Neu- und Wiederaufforstung sowie Entwaldung werden entsprechend der Marrakesh Accords verwendet. Danach wird Aufforstung definiert als „die direkte vom Mensch induzierte Umwandlung von Flächen, die für einen Zeitraum von mindestens 50 Jahren nicht bewaldet waren, zu bewaldeten Flächen durch Pflanzung, Aussaat und / oder vom Mensch induzierte Förderung der natürlichen Bestockung (Sukzession)¹⁴⁶.“ Die Wiederaufforstung unterscheidet sich von der Neuaufforstung lediglich durch den Zeitpunkt der letzten Bewaldung, da die Flächen, die nach IPCC als neuaufgeforstet anzusehen sind, seit dem 31.12.1989 nicht bewaldet waren¹⁴⁷. Da der Zeitpunkt der Berichterstattung für Deutschland mit dem Basisjahr 1990 beginnt und eine ausreichende Datengrundlage zur Abgrenzung der Landnutzungsformen erst ab 1970 vorhanden ist, werden hier Neu- und Wiederaufforstung zusammengefasst betrachtet (im Folgenden als Aufforstung bezeichnet). Darunter wird die Ansiedlung von Bäumen auf aufgelassenem bewirtschaftetem Land verstanden, insofern die Verjüngung in ausreichendem Maße vorhanden ist, um Wald gemäß der nationalen Walddefinition werden zu können. Der Zeitpunkt der Neuaufforstung ist im Allgemeinen der Punkt, an dem die erste Aktivität des Regenerationsprozesses durchgeführt wurde. Im Fall einer spontanen Regeneration von Bäumen ist der Zeitpunkt der Aufforstung der, ab dem die nationalen Bedingungen zur Erfüllung der Walddefinition eingetreten sind, also wenn die Bewaldung ein durchschnittliches Alter von fünf Jahren erreicht hat und mindestens 50 % der Fläche bestockt sind (vgl. Kapitel 6.2.1).

Die Kategorie Aufforstung entspricht den folgenden Kategorien nach der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention:

¹⁴⁶ Original “Afforestation is the direct human-induced conversion of land that has not been forested for a period of at least 50 years to forested land through planting, seeding and/or the human-induced promotion of natural seed sources . (IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a))

¹⁴⁷ Original: “Reforestation” is the direct human-induced conversion of non-forested land to forested land through planting, seeding and/or the human-induced promotion of natural seed sources, on land that was forested but that has been converted to non-forested land. For the first commitment period, Reforestation activities will be limited to Reforestation occurring on those lands that did not contain forest on 31 December 1989. (IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a))

Tabelle 499: Aufforstung in KP- und UNFCCC-Kategorien

Kategorie unter KP-Berichterstattung	Kategorie nach UNFCCC	
Aufforstung nach Art. 3.3 KP	4.A.2.1 Ackerland/ Sonderkultur zu Wald	4.A.2.1.1 Acker ^{annuell} zu Wald
		4.A.2.1.2 Hopfen zu Wald
		4.A.2.1.3 Wein zu Wald
		4.A.2.1.4 Obstplantagen zu Wald
		4.A.2.1.5 sonstige Ackerkulturen ^{perennierend} zu Wald
	4.A.2.2. Grünland zu Wald	4.A.2.2.1 Grünland i.e.S. zu Wald
		4.A.2.2.2 Gehölze zu Wald
	4.A.2.3. Feuchtgebiete zu Wald	4.A.2.3.1 Terrestrische Feuchtgebiete zu Wald
		4.A.2.3.2 Gewässer zu Wald
		4.A.2.3.3 Torfabbau zu Wald
	4.A.2.4. Siedlungen zu Wald	
	4.A.2.5. Sonstige Flächen zu Wald	

Entwaldung wird nach IPCC als „die direkte vom Mensch induzierte Umwandlung von Waldflächen in Nichtwaldflächen¹⁴⁸“ definiert. Nicht als Entwaldung gilt das Ernten von Waldflächen, die danach wieder verjüngt werden, da dieser Vorgang gemäß Art. 3.4 zur Waldbewirtschaftung zählt. Ebenfalls als nichtentwaldet in diesem Sinne gelten Flächen, die durch natürliche Störereignisse wie Waldbrände, Insektenkalamitäten oder Stürme vorübergehend unbestockt sind, da derartige Flächen von sich aus oder durch waldbauliche Maßnahmen wiederbewaldet werden. Auch diese Flächen fallen unter bewirtschaftete Flächen nach Art. 3.4 oder, wenn es sich um aufgeforstete Flächen handelt, in die Kategorie der aufgeforsteten Flächen nach Art. 3.3.

Finden auf derartigen vorübergehend unbestockten Flächen seit 1990 jedoch menschliche Aktivitäten, wie Straßen-, Siedlungsbau oder andere Landnutzungsarten (Bewirtschaftung von Grünland oder Feuchtflächen) statt, so dass eine Wiederbewaldung der Flächen durch die Änderung der Landnutzung ausgeschlossen wird, so sind diese Flächen entsprechend IPCC als entwaldet zu bezeichnen.

Die Kategorie Entwaldung entspricht den folgenden Kategorien nach der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention:

¹⁴⁸ Original „Deforestation“ is the direct human-induced conversion of forested land to non-forested land . (IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a))

Tabelle 500: Entwaldung in KP- und UNFCCC-Kategorien

Kategorie unter KP-Berichterstattung	Kategorie nach UNFCCC	
Entwaldung nach Art. 3.3 KP	4.B.2.1. Wald zu Ackerland/Sonderkulturen	4.B.2.1.1 Wald zu Acker ^{annuell}
		4.B.2.1.2 Wald zu Hopfen
		4.B.2.1.3 Wald zu Wein
		4.B.2.1.4 Wald zu Obstplantagen
		4.B.2.1.5 Wald zu sonstige Ackerkulturen ^{perennierend}
	4.C.2.1. Wald zu Grünland	4.C.2.1.1 Wald zu Grünland i.e.S.
		4.C.2.1.2 Wald zu Gehölze
	4.D.2.1. Wald zu Feuchtgebiete	4.D.2.1.1 Wald zu Terrestrische Feuchtgebiete
		4.D.2.1.2 Wald zu Gewässer
		4.D.2.1.3 Wald zu Torfabbau
	4.E.2.1. Wald zu Siedlungen	
4.F.2.1. Wald zu Sonstigen Flächen	(NO)	

NO: nicht vorkommend (not occurring)

11.1.3.2 Waldbewirtschaftung (FM)

In Deutschland werden alle Waldflächen, die seit 1990 Wald sind, als bewirtschaftet im Sinne der Marrakesh Accords¹⁴⁹ angesehen und unter *forest management*¹⁵⁰ nach Art. 3.4 KP berichtet. Eine ausführliche Begründung findet sich in Kapitel 11.5.1.

Tabelle 501: Waldbewirtschaftung in KP- und UNFCCC-Kategorien

Kategorie unter KP-Berichterstattung	Kategorie nach UNFCCC
Waldbewirtschaftung nach Art. 3.4 KP	4.A.1 verbleibende Waldfläche

Da jede Landnutzungsänderung hin zu Wald als Aufforstung, jede Landnutzungsänderung von Wald in eine andere Landnutzungsart als Entwaldung und alle Waldflächen, die nicht Neuwald sind als bewirtschaftet betrachtet werden, ist eine Änderung hinsichtlich der Anwendung der Definitionen über die Zeit ausgeschlossen.

Die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten in Deutschland zu den Emissionen nach Quellen und Senken von Treibhausgasen wurde in dem Modell WoodCarbonMonitor mit einem Berechnungsansatz auf Basis der Daten zur Produktion von Holzprodukten vorgenommen. Die Abschätzung umfasst alle in Deutschland produzierten Holzprodukte, deren Holz aus heimischem Einschlag stammt und die stofflich genutzt werden.

11.1.3.3 Ackerlandbewirtschaftung (CM)

Ackerlandbewirtschaftung (CM) ist die landwirtschaftliche Nutzung von Land als Fläche für den Anbau von Feldfrüchten (z.B. Getreide, Hülsenfrüchte, Hackfrüchte) und Beerenfrüchten (z.B. Erdbeeren), Gartenland als Fläche für den Anbau von Gemüse, Obst und Blumen sowie die Aufzucht von Kulturpflanzen und für Sonderkulturen als Fläche zum Anbau bestimmter Pflanzen (z.B. Hopfen, Wein, Obstgärten). Ackerlandbewirtschaftung schließt annuelle Kulturen und

¹⁴⁹ Paragraph 1 lit. f des Annex A der Decision 16/CMP.1

¹⁵⁰ Original: "Forest management" is a system of practices for stewardship and use of forest land aimed at fulfilling relevant ecological (including biological diversity), economic and social functions of the forest in a sustainable manner. (IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a))

Dauerkulturen wie Wein, Obstbäume, Hopfen, Baumschulen, Weihnachtsbäume und Kurzumtriebsplantagen ein. Dauerkulturen fallen nicht unter die deutsche Walddefinition.

Die Definition der Ackerlandbewirtschaftung entspricht der Definition der Flächen unter Ackerland der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention (siehe Kapitel 6.2 und Tabelle 374 in Kapitel 6.3.2.1).

Die Kategorie Ackerlandbewirtschaftung entspricht den folgenden Kategorien nach der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention:

Tabelle 502: Ackerlandbewirtschaftung in KP- und UNFCCC-Kategorien

Kategorie unter KP-Berichterstattung	Kategorie nach UNFCCC
	4.B.1 Ackerland bleibt Ackerland
	4.B.2.2 Grünland zu Ackerland
	4.B.2.2.1 Grünland i.e.S. zu Ackerland
	4.B.2.2.2 Gehölze zu Ackerland
	4.B.2.3 Feuchtgebiete zu Ackerland
	4.B.2.3.1 Terrestrische Feuchtgebiete zu Ackerland
	4.B.2.3.2 Gewässer zu Ackerland
	4.B.2.3 Torfabbau zu Ackerland
Ackerlandbewirtschaftung nach Art. 3.4 KP	4.B.2.4 Siedlungen zu Ackerland
	4.B.2.5 Sonstige Flächen zu Ackerland
	4.C.2.2.2 Ackerland zu Gehölze ¹⁾
	4.D.2.2 Ackerland zu Feuchtgebiete ¹⁾
	4.D.2.2.3 Ackerland zu Terrestrische Feuchtgebiete
	4.D.2.2.2 Ackerland zu Gewässer
	4.D.2.1 Ackerland zu Torfabbau
	4.E.2.2 Ackerland zu Siedlungen ¹⁾
	4.F.2.2 Ackerland zu Sonstige Flächen (NO) ²⁾

Nummern: 1) Emissionen und Senken werden mit Null angesetzt ((IPCC et al., 2014a): Kap. 2.9.2).

2) NO: Not occurring

Alle Flächen unter Ackerlandbewirtschaftung unterliegen periodischen Bewirtschaftungsmaßnahmen, so dass die Emissionen und Senken menschlichen Ursprungs sind.

11.1.3.4 Weidelandbewirtschaftung (GM)

Weidelandbewirtschaftung (GM) ist die Nutzung von Land als Grünland im engen Sinne als Wiesen, Weiden, Almen, Hutungen, Heideflächen, naturbelassenes Grünland, Erholungsflächen sowie Sumpf/Ried.

Die Definition der Weidelandbewirtschaftung entspricht der Definition der Flächen unter Grünland i.e.S. der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention (siehe Kapitel 6.2 und Tabelle 374).

Die Kategorie Weidelandbewirtschaftung entspricht den folgenden Kategorien nach der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention:

Tabelle 503: Weidelandbewirtschaftung in KP- und UNFCCC-Kategorien

Kategorie unter KP-Berichterstattung	Kategorie nach UNFCCC
Weidelandbewirtschaftung nach Art. 3.4 KP	4.C.1.1 Grünland i.e.S. bleibt Grünland i.e.S.
	4.C.2.2 Acker _{annuell} zu Grünland i.e.S.
	4.C.2.2 Hopfen zu Grünland i.e.S.
	4.C.2.2 Wein zu Grünland i.e.S.
	4.C.2.2 Obtplantagen zu Grünland i.e.S.
	4.C.2.2 Sonstiges Ackerland _{perennierend} ¹⁵¹ zu Grünland i.e.S.
	4.C.1.3 Gehölze zu Grünland i.e.S.
	4.C.2.3 Feuchtgebiete zu Grünland i.e.S.
	4.C.2.3 Terrestrische Feuchtgebiete zu Grünland i.e.S.
	4.C.2.3 Gewässer zu Grünland i.e.S.
	4.C.2.3 Torfabbau zu Grünland i.e.S.
	4.C.2.4 Siedlungen zu Grünland i.e.S.
	4.C.2.5 Sonstige Flächen zu Grünland i.e.S.
	4.C.1.4 Grünland i.e.S. zu Gehölze ¹⁾
	4.D.2.3 Grünland i.e.S. zu Feuchtgebiete ¹⁾
4.D.2.3.3 Grünland i.e.S. zu Terrestrische Feuchtgebiete	
4.D.2.2.3 Grünland i.e.S. zu Gewässer	
4.D.2.1 Grünland i.e.S. zu Torfabbau	
4.E.2.3.1 Grünland i.e.S. zu Siedlungen) ¹⁾	
4.F.2.3.1 Grünland i.e.S. zu Sonstige Flächen ²⁾	

1) Emissionen und Senken werden mit Null angesetzt (IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a): Kap. 2.9.2). Fußnote

2) NO: Not occurring

Alle Flächen unter Weidelandbewirtschaftung unterliegen periodischen Bewirtschaftungsmaßnahmen, so dass die Emissionen und Senken menschlichen Ursprungs sind.

11.1.4 Beschreibung der vorrangigen Bedingungen und/oder der Hierarchie unter den Aktivitäten nach Artikel 3.4, und wie sie konstant auf die Bestimmung der Landklassifizierung angewandt wurden

Deutschland hat unter Art. 3.4 des Kyoto-Protokolls die Hierarchie der Aktivitäten gemäß der Vorgaben der IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a) festgelegt. Die Aktivität *forest management* ist verpflichtend und hat damit Vorrang vor den freiwilligen Aktivitäten *cropland management* und *grazing land management*. Deutschland hat in der ersten Verpflichtungsperiode *forest management* freiwillig gewählt. Die Hierarchie erlaubt eine konsistente Berichterstattung für die erste und zweite Verpflichtungsperiode.

Gemäß der Vorgaben der IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a) kann Waldbewirtschaftung (FM) nur auf Flächen stattfinden, die Wald sind. Die unter FM berichteten Waldflächen, sind die nach der Konvention unter *forest land remaining forest land* berichteten Waldflächen, abgesehen von unterschiedlich zu den Konversionsflächen zu Wald (Konvention) bzw. zur Aufforstung (Kyoto-Protokoll) zugeordneten Flächen. Die Gesamtwaldfläche ist unter der Konvention und dem Kyoto-Protokoll gleich. Der gesamte deutsche Wald wird als bewirtschaftet im Sinne der Vorgaben der Marrakesh Accords angesehen. Die Definition der Waldbewirtschaftung wird weit auslegt (siehe dazu ausführlich Kapitel 11.5.1).

¹⁵¹ Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen

Innerhalb der freiwilligen Aktivitäten hat die Zuordnung zu *cropland management* Vorrang vor *grazing land management*. Ackergras in Fruchtfolgen wird der Ackerlandbewirtschaftung zugeordnet. Dauerhafte Landnutzungsänderungen von Acker zu Grünland i.e.S. und umgekehrt werden dagegen als Änderung in der Aktivität von Ackerland- zu Weidelandbewirtschaftung und umgekehrt berichtet. Damit entspricht die Landklassifizierung von Ackerland- und Weidelandbewirtschaftung der Klassifizierung von Ackerland und Grünland i.e.S. im Inventar unter UNFCCC.

11.2 Landbezogene Informationen

11.2.1 Methode, die für die Bestimmung der Flächengröße nach Artikel 3.3 genutzt wird

Die verwendete Methodik zur Herleitung der Aktivitätsdaten (Flächen) ist in Kapitel 6.3 beschrieben. Sie entspricht dem Approach 3 nach den IPCC 2006 Guidelines (IPCC, 2006), wobei die flächige Bezugseinheit Deutschland ist mit einer Fläche von 35.790.122 ha. Eine ausführliche Beschreibung zur Landnutzungsklassifizierung für den Wald inklusive der Aufforstungs- und Entwaldungsflächen findet sich im Kapitel 6.2 und Kapitel 6.3.

Durch die Herleitung der Landnutzungsmatrix (LUM) durch eine einheitliche Methode wird für die Entwaldungsflächen dieselbe räumliche Auflösung (spatial assessment unit) wie für Aufforstung verwendet.

11.2.2 Methodik, die zur Entwicklung der Landübergangsmatrix benutzt wird

Die Bestimmung der Waldfläche und die Herleitung der Flächen für die Veränderungskategorien sind ausführlich im Kapitel 6.3 beschrieben. In Tabelle 504 sind die Landnutzungsänderungen (LUC) zu Waldflächen (Afforestation/Reforestation), von Waldflächen (Deforestation) und die bewirtschafteten Flächen (Forest Management) zusammengefasst. Dabei bleiben Umwandlungsflächen bis zum Ende der 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls 2020 in den Umwandlungskategorien, weshalb die jährlichen Flächen akkumuliert werden. Neben den akkumulierten Flächen, wie sie in der Berichterstattung verwendet werden, sind diesen in der Tabelle 504 die jährlichen Flächen gegenübergestellt.

Tabelle 504: Akkumulierte und jährliche Flächen der Kategorien Aufforstung, Entwaldung und Waldbewirtschaftung

Jahr	Afforestation/ Reforestation (KP 3.3) [kha]		Deforestation (KP 3.3) [kha]		Forest Management (KP 3.4) [kha]	
	akkumulierte Flächen	jährliche Flächen	akkumulierte Flächen	jährliche Flächen	akkumulierte Flächen	jährliche Flächen
1990	11.633	11.633	1.420	1.420	10.826.594	10.826.594
1995	70.006	11.682	8.574	1.428	10.819.440	10.877.764
2000	128.380	11.670	15.752	1.440	10.812.262	10.928.972
2005	174.674	9.262	59.171	8.691	10.768.843	10.934.255
2010	221.888	9.457	86.777	5.522	10.741.237	10.953.668
2011	228.404	6.516	91.153	4.376	10.736.861	10.958.749
2012	234.921	6.517	95.529	4.376	10.732.485	10.960.889
2013	241.436	6.515	99.912	4.383	10.728.102	10.963.023
2014	247.950	6.514	104.289	4.377	10.723.725	10.965.161

Jahr	Afforestation/ Reforestation (KP 3.3) [kha]		Deforestation (KP 3.3) [kha]		Forest Management (KP 3.4) [kha]	
	akkumulierte Flächen	jährliche Flächen	akkumulierte Flächen	jährliche Flächen	akkumulierte Flächen	jährliche Flächen
2015	254.463	6.513	108.670	4.381	10.719.344	10.967.294
2016	269.737	15.274	115.335	6.665	10.712.679	10.967.142
2017	285.017	15.280	121.999	6.664	10.706.015	10.975.752
2018	300.296	15.279	128.661	6.662	10.699.353	10.984.370
2019	315.590	15.294	135.314	6.653	10.692.700	10.992.996

Zur besseren Transparenz sind in Tabelle 505 die Landnutzungsänderungen (LUC) von Waldflächen (Deforestation) nach Landnutzungskategorien erfasst.

Tabelle 505: Akkumulierte Entwaldungsflächen nach Landnutzungskategorie in Hektar [ha] (CRF 4(KP-I)A.2)

Jahr	zu Forest land	zu Cropland	zu Grassland	zu Wetlands	zu Settlements	zu Other land	Gesamt
1990	NO	0	0	243	1.177	0	1.420
1995	NO	0	0	1.465	7.109	0	8.574
2000	NO	0	0	2.712	13.040	0	15.752
2005	NO	28	159	12.536	46.448	0	59.171
2010	NO	33	316	16.155	70.273	0	86.777
2011	NO	34	385	16.579	74.155	0	91.153
2012	NO	37	451	17.005	78.036	0	95.529
2013	NO	39	519	17.433	81.921	0	99.912
2014	NO	41	587	17.858	85.803	0	104.289
2015	NO	43	655	18.287	89.685	0	108.670
2016	NO	44	749	19.127	95.415	0	115.335
2017	NO	44	848	19.960	101.147	0	121.999
2018	NO	44	947	20.794	106.876	0	128.661
2019	NO	44	1.044	21.622	112.604	0	135.314

Die Bestimmung der Acker- und Grünlandflächen sowie die Herleitung der Flächen für die Veränderungskategorien sind ebenfalls ausführlich im Kapitel 6.3 beschrieben. In Tabelle 506 sind die Flächen unter Ackerlandbewirtschaftung (Cropland Management) und Weidelandbewirtschaftung (Grazingland Management) zusammengefasst. Dabei werden im Basisjahr die Landnutzungsänderungen (LUC) in der Periode 1970 bis 1990 berücksichtigt, außer bei Landnutzungsänderungen zu Wald, die methodisch konsistent mit KP Art. 3.3 kumulativ seit 1990 als Aufforstung erfasst werden. Die Flächen werden stratifiziert nach

- Ackerland bleibt Ackerland bzw. Grünland i.e.S. bleibt Grünland i.e.S.
- Landnutzungsänderungen zu Ackerland bzw. zu Grünland i.e.S. (außer Wald)
- Landnutzungsänderungen von Ackerland bzw. von Grünland i.e.S. zu Nutzungskategorien, die nicht in anderen Aktivitäten unter KP Art. 3.3. oder 3.4 erfasst sind.

Bei Landnutzungsänderungen von Ackerland und Grünland i.e.S. zu Nutzungskategorien, die nicht in anderen Aktivitäten unter KP Art. 3.3. oder 3.4 erfasst sind, wird gemäß der IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a), Kap. 2.9.2, die Fläche berichtet, die von Ackerland und Grünland i.e.S. zu anderen Nutzungskategorien gewechselt hat. Die Emissionen von diesen Flächen werden nach IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a), Kap. 2.9.2 mit Null angerechnet und deshalb in den Tabellen 4(KP-I)B.2 und 4(KP-I)B.3 des CRF für die einzelnen Pools mit der Notation NO versehen.

Included Elsewhere wird bei Landnutzungsänderungen von Ackerland- bzw. Weidelandbewirtschaftung in die Kategorie Aufforstung/Wiederaufforstung verwendet. Des Weiteren wird IE für die Pools Streu und Totholz eingesetzt, da die Gesamtbiomasse der Pflanzen in die Emissionsberechnung eingeht.

Tabelle 506: Übersicht über die Flächen unter Ackerland- (Cropland Management) und Weidelandbewirtschaftung (Grazing Land Management) von 1990-2019 (fett gedruckt: Kyoto II - relevante Flächen)

Cropland Management (CM)				
Jahr	cropland remaining cropland [ha]	ΣLUC to cropland [ha]	ΣLUC from cropland [ha]	Σcropland management [ha]
1990	13.090.204	502.246	156.104	13.748.554
1995	13.104.384	502.422	195.319	13.802.125
2000	13.118.539	502.685	234.508	13.855.732
2005	12.382.964	857.073	491.624	13.731.661
2010	11.940.865	1.026.623	654.846	13.622.334
2013	11.585.303	1.252.699	756.191	13.594.193
2014	11.466.779	1.328.067	789.969	13.584.815
2015	11.348.253	1.403.419	823.758	13.575.430
2016	11.266.607	1.452.205	845.810	13.564.622
2017	11.184.950	1.500.999	867.853	13.553.802
2018	11.103.317	1.549.772	889.898	13.542.987
2019	11.021.691	1.598.540	911.941	13.532.172
Grazing Land Management (GM)				
Jahr	grazing land remaining grazing land [ha]	ΣLUC to grazing land [ha]	ΣLUC from grazing land [ha]	Σgrazing land management [ha]
1990	5.764.712	413.498	88.700	6.266.910
1995	5.731.926	413.781	111.025	6.256.732
2000	5.699.100	414.060	133.343	6.246.503
2005	5.171.274	1.101.860	354.000	6.627.134
2010	4.819.040	1.511.440	541.403	6.871.883
2013	4.495.449	1.828.232	642.701	6.966.382
2014	4.387.576	1.933.853	676.468	6.997.897
2015	4.279.717	2.039.460	710.229	7.029.406
2016	4.191.326	2.130.426	750.338	7.072.090
2017	4.102.909	2.221.398	790.460	7.114.767
2018	4.014.502	2.312.355	830.581	7.157.438
2019	3.926.101	2.403.311	870.694	7.200.106

11.2.3 Karten und/oder Datenbanken zur Bestimmung der geografischen Position von Flächen und das dazugehörige Identifizierungssystem

Zur Ermittlung der Aktivitätsdaten wurden folgende Datenquellen benutzt:

- Basis-Digitales LandschaftsModell (Basis-DLM) zu den Zeitpunkten 2000, 2005, 2010, 2015 und 2019
- OpenStreetMap aus dem Jahr 2013 (© OpenStreetMap-Mitwirkende) Corine Land Cover (CLC) 1990, 2000
- Digitales Landbedeckungsmodell zum Zeitpunkt 2012 (LBM12)

Ausführliche Beschreibungen zu den Datenquellen finden sich im Kapitel 6.3.2.1.

Alle Aufforstungen und Entwaldungen sind in Artikel 3.3 bilanziert und werden nicht unter Waldbewirtschaftung, Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung nach Artikel 3.4 angegeben. Die Veränderungen der Flächen zwischen den Maßnahmen gemäß Artikel 3.3 und Artikel 3.4 werden in KP-Tabelle NIR 2 aufgeführt. Die Methodik der Flächenherleitung beruht auf einem stichprobenbasierten System, welches die Fläche je Landnutzungskategorie und die Landnutzungsänderungen von und zu den Landnutzungskategorien erfasst (s. Kapitel 6.3). Das verwendete Stichprobennetz basiert auf einem systematischen Netz mit einer Netzweite 100 m x 100 m. Jeder Stichprobenpunkt wird entsprechend der Lage den Landnutzungskategorien Waldbewirtschaftung, Aufforstung und Entwaldung sowie Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung oder keiner von diesen Kategorien zugeordnet. Für die Kategorien Aufforstung und Entwaldung ist ein Wechsel des Stichprobenpunktes in eine andere Landnutzungskategorie ausgeschlossen. Jeder Stichprobenpunkt entspricht einer Fläche von 1 ha und über die Stichprobenkoordinaten ist die geografische Position der Fläche bestimmt. Durch dieses Identifizierungssystem ist eine eindeutige Abgrenzung zwischen Aufforstungs- und Entwaldungsflächen unter KP Art. 3.3 und Waldbewirtschaftung, Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung nach KP Art. 3.4 gegeben.

11.3 Aktivitätsspezifische Informationen

11.3.1 Methoden für die Bestimmung der Kohlenstoffvorratsänderung, Treibhausgasemissionen und Reduktionsschätzungen

11.3.1.1 Beschreibung der Methoden und der angewandten, zugrundeliegenden Annahmen

11.3.1.1.1 Zusammenfassung

Waldbewirtschaftung, Aufforstung und Entwaldung

Wie im Kapitel 11.1.3 beschrieben, sind die Aktivitäten Waldbewirtschaftung und Aufforstung im Kyoto Protokoll den Kategorien 4.A.1 verbleibende Waldfläche und 4.A.2 Flächenumwandlungen zu Wald bei der Klimarahmenkonvention gleichzusetzen. Deshalb sind die verwendeten Methoden zur Konventionsberichterstattung identisch und in den entsprechenden Kapiteln wie folgt beschrieben:

- Änderung der Kohlenstoffvorräte in der ober- und unterirdischen Biomasse: Kapitel 6.4.2.2,
- Änderung der Kohlenstoffvorräte im Totholz: Kapitel 6.4.2.3,
- Änderung der Kohlenstoffvorräte in der Streu: Kapitel 6.4.2.4,
- Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden: Kapitel 6.4.2.5,
- CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus drainierten organischen Böden: Kapitel 6.4.2.6,
- direkte und indirekte N₂O-Emissionen aus Humusverlusten bei Landnutzungsänderung: Kapitel 6.1.2.7 bzw. Kapitel 6.1.2.8
- CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus Waldbränden: Kapitel 6.4.2.7.5,
- Änderung der Kohlenstoffvorräte in den Holzprodukten: Kapitel 6.10,

Bei den Entwaldungen kommt es zu Kohlenstoffverlusten bei Biomasse, Totholz, Streu, mineralischen und organischen Böden. Bei Biomasse, Totholz und Streu wird angenommen, dass sie im Jahr der Umwandlung als Emission emittiert werden. Die Emissionen aus organischen Böden finden jedes Jahr auf der gesamten Entwaldungsfläche statt und für mineralische Böden wird eine Übergangszeit von 20 Jahren angenommen.

Eine Übersicht über die Änderungen der Kohlenstoffvorräte, der Treibhausgasemissionen und der Flächen bei Waldbewirtschaftung, Aufforstung und Entwaldung für das Jahr 2019 gibt Tabelle 507.

Tabelle 507: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Waldbewirtschaftung, Aufforstung und Entwaldung im Jahr 2019

	Waldbewirtschaftung	Aufforstung	Entwaldung
C-Vorratsänderungen in Biomasse [kt C] *	11.164,824	29,391	-191,489
C-Vorratsänderungen im Totholz[kt C] *	1.014,701	0,842	-13,116
C-Vorratsänderungen in Streu[kt C] *	-133,659	147,242	-124,078
C-Vorratsänderungen in Mineralböden [kt C] *	4.280,144	55,731	-43,019
CO ₂ aus organischen Böden [kt C] *	-650,989	-61,056	-61,787
N ₂ O aus organischen Böden [kt N ₂ O] **	1,097	0,103	0,018
CH ₄ aus organischen Böden [kt CH ₄] **	1,246	0,113	1,598
Direktes und indirektes N ₂ O aus Zersetzung organischer Substanz in Mineralböden [kt N ₂ O] **	0	0,052	0,028
CO ₂ aus Waldbränden [kt C] *	IE	IE	NO
N ₂ O aus Waldbränden [kt N ₂ O] **	0,029	IE	NO
CH ₄ aus Waldbränden [kt CH ₄] **	0,530	IE	NO
C-Vorratsänderungen aus Holzprodukten [kt C] *	1.131,958	IE	NO
Summe [kt CO₂-Eq] **	-61.245,616	-582,452	1.643,144
jährliche Flächen [ha]	10.992.996	15.294	6.653
akkumulierte Flächen [ha]	10.692.700	315.590	135.314

*Vorratsänderung positiv: Kohlenstoffsенke; Vorratsänderung negativ: Kohlenstoffquelle

THG Emissionen positiv: THG-Quelle; THG Emissionen negativ: THG-Senke **Ackerlandbewirtschaftung

Die Aktivität Ackerlandbewirtschaftung entspricht methodisch den Kategorien 4.B.1 und 4.B.2 außer 4.B.2.1 Wald zu Ackerland. Entsprechend den IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a), Kap. 2.9.2 werden Emissionen und Senken auf Flächen, die von Ackerland zu nicht angerechneten Landnutzungskategorien gewechselt haben, mit Null angerechnet. Die Berechnungsmethoden sind wie folgt beschrieben:

- Änderung der Kohlenstoffvorräte in der ober- und unterirdischen Biomasse: Kapitel 6.1.2.3ff und 6.5.2.2,
- Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden: Kapitel 6.1.2.1 und 6.5.2.3,
- CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus drainierten organischen Böden: Kapitel 6.5.2.4,
- direkte und indirekte N₂O-Emissionen aus Humusverlusten bei Landnutzungsänderung: Kapitel 6.1.2.7 bzw. Kapitel 6.1.2.8 und
- Nachweis, dass Ackerböden unter verbleibendem Management keine Nettoquelle für Treibhausgase sind: Kapitel 6.5.2.3.2.

Die Kohlenstoffpools Totholz und Streu kommen nur im Wald vor, nicht aber bei Ackerlandbewirtschaftung (NO), da Landnutzungsänderungen von Wald zu Acker unter Entwaldung angerechnet werden. N₂O-Emissionen aus organischen Böden unter Ackerland werden nicht unter der Aktivität Ackerlandbewirtschaftung nach Art. 3.4 berichtet, sondern im Sektor Landwirtschaft.

Eine Übersicht über die Änderungen der Kohlenstoffvorräte und der Treibhausgasemissionen bei Ackerlandbewirtschaftung für das Jahr 2019 gibt Tabelle 508.

Tabelle 508: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Ackerlandbewirtschaftung im im Jahr 2019 (Ohne N₂O-Emissionen aus organischen Böden; diese werden im Sektor Landwirtschaft berichtet)

Unterkategorien	C-Vorratsänderungen in Biomasse *	C-Vorratsänderungen in Mineralböden *	CO ₂ aus organischen Böden *	CH ₄ aus organischen Böden **	Direktes und indirektes N ₂ O aus Zersetzung organischer Substanz in Mineralböden **	Summe **
	[kt C]	[kt C]	[kt C]	[kt CH ₄]	[kt N ₂ O]	[kt CO ₂ -Äqu]
Ackerland bleibt Ackerland	4,462	-9,769	-1.668,684	2,310	NO	6.195,059
Summe LUC zu Ackerland	-83,513	-1.414,541	-1.392,321	3,491	1,313	11.076,449
Summe LUC von Ackerland	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Gesamt	-78,871	-1.424,310	-3.061,005	5,801	1,313	17.271,508

*Vorratsänderung positiv: Kohlenstoffsenke; Vorratsänderung negativ: Kohlenstoffquelle

**THG Emissionen positiv: THG-Quelle; THG Emissionen negativ: THG-Senke

Die Emissionen aus Ackerlandbewirtschaftung 2019 werden dominiert von CO₂ aus organischen Böden. Kohlenstoffverluste aus Mineralböden durch die Umwandlung von Weidelandbewirtschaftung zu Ackerland sind ebenfalls signifikant.

2019 waren die Netto-Emissionen aus Ackerlandbewirtschaftung höher als im Basisjahr 1990 (siehe Tabelle 508), so dass 2019 eine Netto-Emission von 3.589,22 kt CO₂-Äquivalenten anzurechnen ist. Diese stammt zum größten Teil aus der Zunahme von Ackerlandflächen auf organischen Böden und aus Mineralböden insbesondere infolge von Grünlandumbruch.

Treibhausgasemissionen und -senken der Landnutzungsänderungen von Ackerland zu nicht angerechneten Aktivitäten (Gehölze, Terrestrische Feuchtgebiete, Gewässer, Torfabbau und Siedlungen) werden nach IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a), Kap. 2.9.2 mit Null angerechnet. Dementsprechend wurden keine Emissionen berechnet.

Weidelandbewirtschaftung:

Die Aktivität Weidelandbewirtschaftung entspricht methodisch der Subkategorie Grünland i.e.S. (4.C.1.1 und entsprechende Landnutzungsänderungen zu Grünland i.e.S. außer Wald zu Grünland i.e.S.). Entsprechend den IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a) Kap. 2.10.2 werden Emissionen und Senken auf Flächen, die von Grünland i.e.S. zu nicht angerechneten Landnutzungskategorien gewechselt haben, mit Null angerechnet. Die Berechnungsmethoden sind wie folgt beschrieben:

- Änderung der Kohlenstoffvorräte in der ober- und unterirdischen Biomasse: Kapitel 6.1.2.3ff und 6.6.2.2,
- Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden: Kapitel 6.1.2.1 und 6.6.2.3,
- CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen aus drainierten organischen Böden: Kapitel 6.1.2.1 und 6.6.2.4,
- direkte und indirekte N₂O-Emissionen aus Humusverlusten bei Landnutzungsänderung: Kapitel 6.1.2.7 bzw. 6.1.2.8.
- Die Kohlenstoffpools Totholz und Streu kommen nur im Wald vor, nicht aber bei der Weidelandbewirtschaftung (NO, IE), da Landnutzungsänderungen von Wald zu Grünland i.e.S. unter Entwaldung angerechnet werden.
- Eine Übersicht über die Änderungen der Kohlenstoffvorräte und der Treibhausgasemissionen bei Weidelandbewirtschaftung für das Jahr 2019 gibt Tabelle 509. N₂O-Emissionen aus organischen Böden unter Grünland i.e.S. werden nicht unter der Aktivität Weidelandbewirtschaftung nach Art. 3.4 berichtet, sondern im Sektor Landwirtschaft.

Tabelle 509: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Weidelandbewirtschaftung im Jahr 2019 (Ohne N₂O-Emissionen aus organischen Böden; diese werden im Sektor Landwirtschaft berichtet)

Unterkategorien	C-Vorratsänderungen in Biomasse *	C-Vorratsänderungen in Mineralböden *	CO ₂ aus organischen Böden *	CH ₄ aus organischen Böden **	Direktes und indirektes N ₂ O aus Zersetzung organischer Substanz in Mineralböden **	Summe **
	[kt C]	[kt C]	[kt C]	[kt CH ₄]	[kt N ₂ O]	[kt CO ₂ -Eq]
Weideland bleibt Weideland	NO	NO	-5.764,084	36,020	NO	22.036,254
Summe LUC zu Weideland	-639,608	3.122,345	-1.368,805	8,568	0,003	-3.870,221
Summe LUC von Weideland	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Gesamt	-639,608	3.122,345	-7.132,889	44,588	0,003	18.166,033

*Vorratsänderung positiv: Kohlenstoffsенke; Vorratsänderung negativ: Kohlenstoffquelle

**THG Emissionen positiv: THG-Quelle; THG Emissionen negativ: THG-Senke

Die Emissionen aus Weidelandbewirtschaftung 2019 stammen fast ausschließlich aus drainierten organischen Böden. Sie werden geringfügig kompensiert durch die Kohlenstoffsенke in Mineralböden nach Landnutzungsänderungen.

2019 waren die Netto-Emissionen aus Weidelandbewirtschaftung geringer als im Basisjahr 1990 (siehe Tabelle 536), so dass 2019 eine Netto- Emissionsminderung von -8.749,53 kt CO₂-Äquivalenten anrechenbar ist. Diese stammt zum einen aus der Abnahme der Grünlandflächen auf organischen Böden, zum anderen aus der Zunahme der Senkenfunktion der Mineralböden infolge von Landnutzungsänderungen zu Weidelandbewirtschaftung. Der damit verbundene Rückgang der Emissionen seit 1990 überkompensiert die Quellfunktion der Biomasse im Berichtszeitraum bei Weitem.

Treibhausgasemissionen und -senken aus Flächen, die Landnutzungsänderungen zu nicht angerechneten Aktivitäten haben (Gehölze, Terrestrische Feuchtgebiete, Gewässer, Torfabbau und Siedlungen), werden nach IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a), Kap. 2.10.2 mit Null angerechnet. Dementsprechend wurden keine Emissionen berechnet.

11.3.1.1.2 Biomasse

Waldbewirtschaftung und Aufforstung:

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in der ober- und unterirdischen Biomasse finden sich in den folgenden Kapiteln:

- Verbleibende Waldfläche siehe Kapitel 6.4.2.2.1.
- Neuwaldfläche siehe Kapitel 6.4.2.2.2.

Entwaldung:

Für die Entwaldungsflächen erfolgte auf Basis der BWI 1987, BWI 2002, Inventurstudie 2008, BWI 2012 und Kohlenstoffinventur 2017 eine Einzelbaumberechnung. Zwischen der BWI 1987 und BWI 2002 fanden nur Bäume in den alten Bundesländern Berücksichtigung, da die BWI 1987 nur dort durchgeführt wurde. Für die neuen Bundesländer wurden die Holzvorräte der alten Bundesländer verwendet. Die Emissionsfaktoren für die abnehmende ober- und unterirdische Biomasse und für die Biomasse der nachfolgenden Landnutzung finden sich in Tabelle 510. Die bei der Entwaldung freiwerdenden Kohlenstoffvorräte werden im selben Jahr vollständig als Emission gezählt. Die Vorräte der nachfolgenden Nutzungsklassen werden unter „gains“ in der CRF-Tabelle einmalig für das Umwandlungsjahr angegeben und somit berücksichtigt.

Tabelle 510: Emissionsfaktoren (EF) für die Biomasse der Entwaldung; positiv: Kohlenstoffsenke; negativ: Kohlenstoffemission

		1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Oberirdische	gains ¹⁾	7,62	7,60	8,82	8,76	8,79	8,80	8,79	8,79
Biomasse	losses ²⁾	-24,53	-24,53	-34,88	-36,06	-36,06	-36,06	-36,06	-36,06
[tC/ha]	net change ³⁾	-16,91	-16,93	-26,06	-27,30	-27,27	-27,26	-27,27	-27,27
Unterirdische	gains ¹⁾	2,83	2,82	3,31	3,27	3,30	3,30	3,30	3,30
Biomasse	losses ²⁾	-4,39	-4,39	-4,60	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82	-4,82
[tC/ha]	net change ³⁾	-1,56	-1,57	-1,29	-1,55	-1,52	-1,52	-1,52	-1,52

1) Biomasse der nachfolgenden Landnutzung; 2) Biomasse des Waldes; 3) Biomasseänderung aus Entwaldung

Ackerlandbewirtschaftung:

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in der ober- und unterirdischen Biomasse finden sich im Kapitel 6.1.2.3 und Kapitel 6.5.2.2 gegliedert nach:

- Dauerkulturen bzw. perennierende Ackerkulturen, stratifiziert in die Subkategorien Hopfen, Obst, Wein und Sonstige Ackerlandkulturen_{perennierend} (Baumschulen, Weihnachtsbaumkulturen und Kurzumtriebsplantagen) (s. Kapitel 6.1.2.3.4).
- Annuelle Kulturen, siehe Kapitel 6.1.2.3.3. Die Biomassevorräte werden aus jährlichen Anbau- und Ertragsstatistiken konsistent mit der Berechnung der N-Einträge aus Ernterückständen im Kapitel 5 (Landwirtschaft) berechnet.
- Aggregation der Biomassewerte siehe Kapitel 6.5.2.2.1.

Die Empfehlung der EU-Kommission in den „Member State recommendations on reporting systems for cropland & grazing land management emissions & removals“ (Ecofys & Environment Agency Austria, 2017) für Deutschland Aktivitätsdatenquellen zu erschließen und ein System zu implementieren, welches dezidiert die georeferenzierte Erfassung perennierender Gehölzflächen in der Ackerlandkategorie und deren Flächenwanderung ermöglicht, wurde aufgegriffen und implementiert. Gleichzeitig wurde die Forderung des ERT aus dem Review 2018 umgesetzt, die Kategorie perennierender Ackerlandgehölze gemäß IPCC Guidelines 2006 bzw. 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol weitergehend zu untergliedern.

Weidelandbewirtschaftung:

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in der ober- und unterirdischen Biomasse finden sich im Kapitel 6.6.2.2.

11.3.1.1.3 Totholz

Waldbewirtschaftung und Aufforstung:

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen im Totholz finden sich in den folgenden Kapiteln:

- Verbleibende Waldfläche siehe Kapitel 6.4.2.3.1
- Neuwaldfläche siehe Kapitel 6.4.2.3.2

Entwaldung:

Für die Berechnung des Totholzes auf Entwaldungsflächen wurden die Daten der BWI 2002, Inventurstudie 2008 (IS08), BWI 2012 und Kohlenstoffinventur 2017 verwendet. Bei der BWI 2002 beschränkten sich die terrestrischen Aufnahmen auf Totholz mit einem Durchmesser > 20 cm am dickeren Ende bei liegendem Totholz bzw. BHD bei stehendem Totholz (Polley, 2001). Für

die anderen Aufnahmen lag die Grenze entsprechend der Vorgaben der Klimaberichterstattung bei > 10 cm.

Für den Zeitraum 2002 bis 2008 wurde für Totholz zwischen 10 und 20 cm das Verhältnis der Totholzveränderungen zwischen den zwei Stärkeklassen der Periode 2008 bis 2012 zugrunde gelegt. Der Mittelwert für die Totholzvorratsveränderung des Zeitraums 2002 bis 2012 wurde für die Periode 1990 bis 2002 als Totholzvorratsveränderung angenommen. In Tabelle 511 sind die Werte für die Totholzvorratsveränderung der Perioden und Stärkeklassen zusammengefasst. Ab dem Jahr 2018 wurde der Emissionsfaktor der Periode 2012 bis 2017 fortgeschrieben. Die Kohlenstoffvorräte im Totholz für das entsprechende Jahr werden bei der Entwaldung sofort als Kohlenstoffemission berücksichtigt.

Tabelle 511: Emissionsfaktoren (EF) für das Totholz

t C ha ⁻¹ a ⁻¹	1990 - 2001	2002 - 2007	2008 - 2011	2012 - 2019
EF Totholz	-1,884	-1,817	-1,481	-1,971

Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung:

Totholz kommt bei Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung nicht vor, daher wird in der CRF-Tabelle 4(KP-I)B.2 und 4(KP-I)B.3 die Felder mit NO versehen. Bei Dauerkulturen wird Totholz und Baumschnitt von den Flächen entfernt. Diese Maßnahmen sind bereits bei der Berechnung der Biomasse berücksichtigt und deshalb mit IE (include elsewhere) gekennzeichnet.

11.3.1.1.4 Streu

Waldbewirtschaftung und Aufforstung:

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in der Streu finden sich in den folgenden Kapiteln:

- Verbleibende Waldfläche siehe Kapitel 6.4.2.4.1
- Neuwaldflächen siehe Kapitel 6.4.2.4.2

Entwaldung:

Für die Berechnung der Streuauflage wurden die Zustandsdaten der BZE I und die Zustandsdaten der BZE II verwendet. Danach beträgt der mittlere Kohlenstoffvorrat in der Streu zum Zeitpunkt 1990 (BZE I) 19,05 t ha⁻¹ und zum Zeitpunkt 2006 (BZE II) 18,83 t ha⁻¹. Für die Jahre von 1991 bis 2005 werden die Vorräte durch Interpolation der Zustandsdaten zum Zeitpunkt 1990 und 2006 hergeleitet und ab 2007 durch Extrapolation. Die Kohlenstoffvorräte in der Streu für das entsprechende Jahr werden bei der Entwaldung sofort als Kohlenstoffemission berücksichtigt.

Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung:

Streu kommt bei Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung nicht vor, bzw. ist in der Biomasse enthalten, daher sind die entsprechenden Felder in CRF-Tabelle 4(KP-I)B.2 und 4(KP-I)B.3 mit NO bzw. IE versehen.

11.3.1.1.5 Mineralische Böden

Waldbewirtschaftung:

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in den mineralischen Böden der verbleibenden Waldfläche finden sich im Kapitel 6.1.2.1 und 6.4.2.5.1

Aufforstung und Entwaldung:

Die Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden infolge von Landnutzungsänderung werden für jede Landnutzungsänderungskategorie als Differenz des Kohlenstoffvorrates der Zielnutzungskategorie und des Kohlenstoffvorrates der Ursprungskategorie berechnet. Die Gesamtänderung wird gemäß IPCC Richtlinien (IPCC, 2003, 2006; IPCC et al., 1997) auf einen Zeitraum von 20 Jahren linear verteilt. Für Aufforstungs- und Entwaldungsflächen wurden die Kohlenstoffänderungen in den mineralischen Böden entsprechend Tabelle 512 und Kapitel 6.1.2.1 berechnet. Dabei werden die Kohlenstoffvorräte des Waldbodens für das entsprechende Jahr durch lineare Interpolation der Ergebnisse der Bodenzustandserhebungen angegeben.

Eine ausführliche Beschreibung zum methodischen Vorgehen von Entwaldungen zu Siedlungsflächen und den Auswirkungen auf den Bodenkohlenstoff findet sich im Kapitel 6.1.2.1.6.

Tabelle 512: Implizite Emissionsfaktoren (IEF) [$\text{t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] für mineralische Böden der Quellkategorien Aufforstung und Entwaldung (negativ = Verlust, positiv = Speicherung)

[$\text{t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$]	KP 3.3 Affore station /Refor estatio n	KP 3.3 Defore station
1990	-0,822	-0,25
1995	-0,568	-0,261
2000	-0,425	-0,271
2005	-0,235	-0,75
2010	-0,057	-0,403
2011	-0,022	-0,313
2012	0,013	-0,302
2013	0,049	-0,293
2014	0,086	-0,283
2015	0,123	-0,274
2016	0,143	-0,401
2017	0,161	-0,383
2018	0,178	-0,365
2019	0,191	-0,349

Ackerlandbewirtschaftung:

Grundlage der Berechnung von Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung bilden Inventur basierte Emissionsfaktoren, beruhend auf den Ergebnissen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018); (vergl. Kapitel 6.1.2.1). Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in Mineralböden finden sich in Kapitel 6.1.2.1 und 6.5.2.3.

Für Flächen unter verbleibender Nutzung als Ackerland wird keine Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden auf der Basis nationaler Messwerte ausgewiesen. Der Nachweis, dass es sich bei diesem Pool um keine Nettosenke handelt, wird in Kapitel 6.5.2.3.2 geführt.

Die Empfehlung der EU-Kommission (Ecofys & Environment Agency Austria, 2017), ein System zu entwickeln, welches die Erfassung von Kohlenstoffvorratsänderungen in Böden ermöglicht, die infolge gezielter Ackerlandbewirtschaftungsmaßnahmen zur Verringerung der Emissionen bzw. Kohlenstoffsequestrierung führen sollen, wird derzeit überprüft; an potentiellen Lösungsmöglichkeiten wird gearbeitet (s.a. Kapitel 6.5.2.3).

Weidelandbewirtschaftung:

Grundlage der Berechnung von Kohlenstoffvorratsänderungen in Mineralböden infolge Landnutzung und Landnutzungsänderung bilden Inventur -basierte Emissionsfaktoren, beruhend auf den Ergebnissen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (Jacobs et al., 2018); (vergl. Kapitel 6.1.2.1). Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in Mineralböden finden sich in Kapitel 6.1.2.1 und 6.6.2.3. Analog zur Ackerlandbewirtschaftung wird die Empfehlung der EU-Kommission (Ecofys & Environment Agency Austria, 2017) für die Kategorie Weidelandbewirtschaftung überprüft (s.o.).

Für Flächen unter verbleibender Nutzung als Grünland i.e.S. wird keine Änderung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden auf der Basis nationaler Messwerte ausgewiesen (s. Kapitel 6.6.2.3.).

11.3.1.1.6 Organische Böden**Waldbewirtschaftung und Aufforstung:**

Informationen zum methodischen Vorgehen bei der Berechnung der Kohlenstoffvorräte und -veränderungen in den organischen Böden finden sich in den folgenden Kapiteln:

- Verbleibende Waldfläche siehe Kapitel 6.4.2.6.1
- Neuwaldflächen siehe Kapitel 6.4.2.6.2

Entwaldung:

Für Entwaldungsflächen wurden die Emissionsfaktoren der Subkategorien und die flächengewichteten Emissionsfaktoren für die Entwaldung in den organischen Böden gemäß Tabelle 513 und Kapitel 6.1.2.2 berechnet. Dabei ist zu beachten, dass hier nicht die Differenz zwischen Wald und der Nachnutzung berechnet wird, sondern entsprechend der Drainage-Intensität die Emission der neuen Nutzung.

Tabelle 513: Emissionsfaktoren für organische Böden der Entwaldung des Jahres 2019 (negativ = Verlust, positiv = Speicherung)

	CO ₂ [t ha ⁻¹]	N ₂ O [kg ha ⁻¹]	CH ₄ [kg ha ⁻¹]
Entwaldung	18,61	1,511	131,31

Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung:

Emissionsfaktoren für organische Böden wurden aus räumlich expliziten Daten hergeleitet, indem die Häufigkeitsverteilung der Grundwasserflurabstände nach Nutzung differenziert und Regressionen zwischen Grundwasserflurabständen und CO₂-Emissionen verwendet wurden. Bei Landnutzungsänderungen gilt sofort der Emissionsfaktor der neuen Landnutzungskategorie. Weitere Informationen finden sich wie folgt:

- Herleitung der Emissionen siehe Kapitel 6.1.2.2
- Methodik für Ackerland siehe Kapitel 6.5.2.4
- Methodik für Grünland i.e.S. siehe Kapitel 6.6.2.4.

11.3.1.1.7 Holzprodukte

In der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls wurde der Beitrag des Kohlenstoffspeichers in Holzprodukten in Übereinstimmung mit den IPCC 2003 GPG (IPCC, 2003) auf Basis einer sofortigen Emission berücksichtigt und dementsprechend nicht berichtet und/oder angerechnet (vgl. Kap. 2.8.2, IPCC et al. (2014a)).

Für das vorliegende Berichtsjahr wurde die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten in Deutschland zu den Emissionen nach Quellen und Einbindungen nach Senken von Treibhausgasen, wie in Kapitel 6.10 detailliert beschrieben, wie auch in den Vorjahren gemäß der Vorgaben des IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) mit dem Modell *WoodCarbonMonitor* durchgeführt.

Zunächst wurde die Verfügbarkeit von Aktivitätsdaten, d.h. Daten zu Produktion und Außenhandel von Holzprodukten, geprüft (vgl. Kap. 2.8.1.1, IPCC et al. (2014a)). Nach der Berechnung der aus heimischem Einschlag stammenden Produktanteile wurde in einem zweiten Schritt (vgl. Kap. 2.8.1.2, IPCC et al. (2014a)), der in den Produkten enthaltene Kohlenstoff entsprechend der in Kapitel 6.10.2.1 beschriebenen Vorgehensweise den Kyoto-Aktivitäten zu Wald unter Artikel 3, Paragraphen 3 und 4 zugeordnet. Für Deutschland lässt sich der Holzeinschlag den beiden Aktivitäten Waldbewirtschaftung (*forest management*), und Entwaldung (*deforestation*) zuordnen. Holzprodukte aus Entwaldungsereignissen werden gemäß der Vorgaben der IPCC 2013 KP Supplement (IPCC et al., 2014a) auf Basis einer sofortigen Emission berücksichtigt, so dass sich als Ergebnis der für Deutschland verfügbaren Inventurinformationen und der Gleichung 2.8.3 (IPCC et al., 2014a) die jährlichen Holzeinschlagsanteile aus der Aktivität Waldbewirtschaftung $f_{FM}(i)$ berechnen.

Holz, welches aus Entwaldungsflächen, aber nicht aus den eigentlichen Entwaldungsereignissen stammt (vgl. CRF Tabelle) kommt in Deutschland nicht vor und wurde daher in der CRF Tabelle mit der Bezeichnung „NO“ versehen. Holz aus den Aktivitäten Aufforstung und Wiederaufforstung ist hingegen in den Daten zu Waldbewirtschaftung enthalten und wurde dementsprechend mit der Bezeichnung „IE“ versehen. Die Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen wird in Deutschland ausschließlich energetisch (siehe Kategorie 1.A, Kapitel 3.2) genutzt und deshalb nicht unter Holzprodukte (HWP) berichtet.

Weitere Informationen und Angaben zu den verwendeten Emissionsfaktoren und der für Deutschland durchgeführten Berechnung gemäß der Vorgaben des IPCC 2013 KP Supplement (IPCC et al., 2014a) finden sich in den Kapiteln 6.10.2.2 und 6.10.2.3. Entsprechend dieser Vorgaben wird energetisch verwendetes Holz und Holz in Deponien auf Basis einer sofortigen Emission berücksichtigt (vgl. Kap. 2.8.2, IPCC et al. (2014a)).

11.3.1.1.8 Sonstige Treibhausgasemissionen

Informationen zur Berechnung sonstiger Treibhausgasemissionen finden sich in den folgenden Kapiteln:

Wälder:

- Lachgas-Emissionen aus Stickstoffdüngung (CRF-Table 4(KP-II)1) siehe Kapitel 6.4.2.7.1
- Entwässerung und Wiedervernässung von organischen und mineralischen Böden (CRF-Table 4(KP-II)2) siehe Kapitel 6.4.2.7.2
- Direkte Lachgas-Emissionen von Stickstoff-Mineralisierung bzw. Immobilisierung (CRF-Table 4(KP-II)3) siehe Kapitel 6.4.2.7.3
- Indirekte Lachgas-Emissionen aus bewirtschafteten Böden (CRF-Table 4(KP-II)3) siehe Kapitel 6.4.2.7.4
- Waldbrand (CRF-Table 4(KP-II)4) siehe Kapitel 6.4.2.7.5

Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung:

- Entwässerung und Wiedervernässung von organischen und mineralischen Böden (CRF-Table 4(KP-II)2) siehe Kapitel 6.1.2.6, 6.5.2.4, 6.6.2.4
- Direkte Lachgas-Emissionen von Stickstoff-Mineralisierung bzw. Immobilisierung (CRF-Table 4(KP-II)3) siehe Kapitel 6.1.2.7.

- Indirekte Lachgas-Emissionen aus bewirtschafteten Böden (CRF-Table 4(KP-II)3) siehe Kapitel 6.1.2.8.

Die direkte und indirekte Lachgas-Emission wird für die Kyoto-Berichterstattung zusammengefasst und der gemeinsame Emissionsfaktor in der CRF-Tabelle 4(KP-II)3 berichtet. N₂O-Emissionen aus organischen Böden unter Acker- und Weidelandbewirtschaftung werden im Sektor Landwirtschaft in der Subkategorie Kultivierung von Histosolen berichtet.

11.3.1.2 Begründung bei Nichtberücksichtigung eines Kohlenstoffpools oder Treibhausgasemissionen/-abbau bei Aktivitäten nach Artikel 3.3 und gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4

Eine Düngung von Waldflächen mit mineralischem Dünger findet in Deutschland nicht statt. Deshalb sind die Felder in der CRF-Tabelle 4(KP-II)1 „Direct N₂O emissions from N fertilization“ mit dem Vermerk NO (not occurring) versehen.

Totholz und Streu treten bei Ackerlandbewirtschaftung und Grünlandbewirtschaftung nicht auf (NO, not occurring).

Emissionen aus Mineralböden der Verbleibkategorien Ackerland und Grünland werden nicht berücksichtigt, da sie keine Nettoquelle für Treibhausgase sind. Der Nachweis hierfür wird in Kapitel 6.5.2.3.2 und Kapitel 6.6.2.3 geführt.

11.3.1.3 Informationen ob indirekte oder natürliche Treibhausgase ausgeklammert wurden oder nicht

Es wurden keine indirekten oder natürlichen Treibhausgasemissionen oder -senken berücksichtigt.

11.3.1.4 Änderungen in den Daten und Methoden seit der letzten Einreichung (Rückrechnungen)

Maßgebliche Maßnahmen zur Inventarverbesserung, die in dieser Submission zur Anwendung kamen und zu Rückrechnungen führten sind:

- Anpassung des Stichprobennetzes zur Ermittlung der Landnutzung und Landnutzungsänderung (s. Kapitel 6.3.1ff)
- Geänderte Kohlenstoff-Emissionsfaktoren für die Waldbiomasse und das Totholz durch die Aktualisierung der Ergebnisse der Kohlenstoffinventur 2017. Durch Methodenanpassungen und Datenkorrekturen wurden auch für vorangegangene Inventurperioden die EF angepasst. Für den Verbleibenden Wald wurden für die Biomasse jährliche EF eingeführt (siehe auch Kapitel 6.4.2.2 und Kapitel 6.4.2.3).
- Implementierung einer neuen Methode zur Berechnung der Emissionen aus organischen Böden in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand (Kapitel 6.1.2.2ff)
- Modifikation der Methode zur Erhebung der Flächen von Entwässerungsgräben für organische Böden (Kapitel 6.1.2.2.1)
- Einführung einer neuen Methode zur Berechnung von Mineralbodenemissionsfaktoren infolge Landnutzungsänderungen von/zu Siedlungen sowie damit verbunden die Einführung neuer Emissionsfaktoren (s. Kapitel 6.1.2.1.6)

Eine Gegenüberstellung der aktuellen Ergebnisse (Submission 2021) sowohl für die Aktivitätsdaten (AD) und wie für die Emissionen (EM) der letztjährigen Submission (Submission 2020) finden sich wie folgt in den folgenden Tabellen:

- AD Aufforstung, Entwaldung und Waldbewirtschaftung Tabelle 514
- AD Ackerlandbewirtschaftung Tabelle 515

- AD Grünlandbewirtschaftung Tabelle 516
- EM Aufforstung Tabelle 517
- EM Entwaldung Tabelle 518
- EM Waldbewirtschaftung Tabelle 519
- EM Land zu Ackerlandbewirtschaftung Tabelle 520
- EM Ackerlandbewirtschaftung Tabelle 521
- EM Land zu Grünlandbewirtschaftung Tabelle 522
- EM Grünlandbewirtschaftung Tabelle 523
- EF Totholz für Aufforstung, Entwaldung und Waldbewirtschaftung Tabelle 524
- EF Biomasse für Waldbewirtschaftung Tabelle 515

Tabelle 514: Gegenüberstellung der Aktivitätsdaten für den Wald der Submission 2020 und 2021 (kha)

Quellgruppe	Submission	Pool	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018		
KP 3.3 Afforestation /Reforestation	Mineralischer Boden	2020	11,3	68,2	125,1	166,2	206,2	242,1	250,5	266,3	282,1		
		2021	11,4	68,3	125,2	166,3	207,9	237,6	251,2	264,7	278,3		
		Diff. absolut	0,01	0,01	0,04	0,11	1,66	-4,45	0,71	-1,56	-3,83		
		in %	0%	0%	0%	0%	1%	-2%	0%	-1%	-1%		
	Organischer Boden	2020	0,3	1,8	3,2	8,5	13,9	17,9	18,8	20,7	22,6		
		2021	0,3	1,7	3,2	8,4	14,0	16,8	18,6	20,3	22,0		
		Diff. absolut	0,00	-0,01	-0,02	-0,18	0,15	-1,05	-0,24	-0,43	-0,61		
		in %	-1%	-1%	-1%	-2%	1%	-6%	-1%	-2%	-3%		
		KP 3.3 Deforestation	Mineralischer Boden	2020	1,4	8,4	15,3	53,0	79,9	101,6	106,1	112,5	118,9
				2021	1,4	8,4	15,5	52,4	77,7	98,5	104,7	110,8	117,0
Organischer Boden	2020		0,02	0,14	0,27	6,84	9,18	10,38	10,65	11,15	11,65		
	2021		0,02	0,14	0,27	6,72	9,07	10,14	10,65	11,16	11,67		
Diff. absolut	in %	0,00	0,00	0,01	-0,11	-0,11	-0,24	0,00	0,01	0,02			
	in %	-5%	1%	2%	-2%	-1%	-2%	0%	0%	0%			
KP 3.4 Forest Management	Mineralischer Boden	2020	10.556,3	10.549,3	10.542,4	10.504,7	10.477,8	10.456,1	10.451,6	10.445,2	10.438,8		
		2021	10.561,1	10.554,1	10.547,0	10.510,1	10.484,8	10.464,0	10.457,8	10.451,7	10.445,5		
		Diff. absolut	4,82	4,76	4,67	5,36	7,01	7,87	6,23	6,47	6,70		
		in %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
	Organischer Boden	2020	265,1	265,0	264,8	258,3	255,9	254,7	254,4	253,9	253,4		
		2021	265,5	265,4	265,2	258,8	256,4	255,4	254,8	254,3	253,8		
		Diff. absolut	0,40	0,40	0,40	0,51	0,51	0,65	0,40	0,39	0,38		
		in %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		

Tabelle 515: Gegenüberstellung der Aktivitätsdaten von Ackerlandbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021 (kha)

Quellgruppe	Submission	Pool	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
KP 3.4 to Cropland Management	Mineralischer Boden	2020	478,4	474,0	472,6	695,0	867,5	1.063,7	1.087,7	1.129,1	1.171,2
		2021	478,2	478,3	478,5	785,6	930,4	1.268,8	1.312,3	1.355,7	1.399,2
		Diff. absolut	-0,17	4,27	5,85	90,68	62,91	205,08	224,52	226,64	228,04
		in %	0%	1%	1%	12%	7%	16%	17%	17%	16%
	Organischer Boden	2020	23,9	22,9	22,6	66,6	96,1	114,5	115,9	116,5	117,0
		2021	24,0	24,1	24,2	71,4	96,2	134,6	139,9	145,3	150,6
		Diff. absolut	0,07	1,25	1,60	4,84	0,15	20,13	24,06	28,79	33,62
		in %	0%	5%	7%	7%	0%	15%	17%	20%	22%
KP 3.4 Cropland Management	Mineralischer Boden	2020	12.778,9	12.804,2	12.826,6	12.210,9	11.755,2	11.351,6	11.285,6	11.214,8	11.143,4
		2021	12.778,6	12.799,5	12.820,4	12.120,7	11.701,3	11.130,9	11.058,9	10.986,9	10.914,9
		Diff. absolut	-0,34	-4,75	-6,25	-90,22	-53,88	-220,73	-226,66	-227,93	-228,47
		in %	0%	0%	0%	-1%	0%	-2%	-2%	-2%	-2%
	Organischer Boden	2020	311,8	306,1	299,7	267,0	247,5	236,0	234,1	229,6	225,2
		2021	311,7	304,9	298,2	262,2	239,5	217,4	207,7	198,0	188,4
		Diff. absolut	-0,12	-1,24	-1,54	-4,76	-7,96	-18,60	-26,43	-31,55	-36,76
		in %	0%	0%	-1%	-2%	-3%	-9%	-13%	-16%	-20%

Tabelle 516: Gegenüberstellung der Aktivitätsdaten von Grünlandbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021 (kha)

Quellgruppe	Submission	Pool	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
KP 3.4 to Grazing Land Management	Mineralischer Boden	2020	354,2	343,1	339,2	949,3	1.296,9	1.539,2	1.578,8	1.628,1	1.677,7
		2021	353,9	354,1	354,3	997,9	1.387,8	1.901,1	1.982,4	2.063,6	2.144,9
		Diff. absolut	-0,30	11,03	15,12	48,60	90,87	361,88	403,53	435,55	467,17
		in %	0%	3%	4%	5%	7%	19%	20%	21%	22%
	Organischer Boden	2020	59,6	59,3	59,2	98,8	113,1	120,3	121,6	129,5	137,5
		2021	59,6	59,6	59,8	103,9	123,7	138,3	148,1	157,8	167,5
		Diff. absolut	-0,06	0,39	0,55	5,12	10,52	18,01	26,50	28,24	29,92
		in %	0%	1%	1%	5%	9%	13%	18%	18%	18%
KP 3.4 Grazing Land Management	Mineralischer Boden	2020	5.774,6	5.753,3	5.724,4	5.236,1	4.916,0	4.663,0	4.626,2	4.571,7	4.516,8
		2021	5.764,7	5.731,9	5.699,1	5.171,3	4.819,0	4.279,7	4.191,3	4.102,9	4.014,5
		Diff. absolut	-9,90	-21,35	-25,28	-64,80	-96,98	-383,32	-434,86	-468,84	-502,34
		in %	0%	0%	0%	-1%	-2%	-9%	-10%	-11%	-13%
	Organischer Boden	2020	4.854,4	4.824,2	4.786,8	4.350,9	4.066,6	3.836,3	3.802,2	3.754,4	3.706,2
		2021	4.845,4	4.804,2	4.763,0	4.292,2	3.972,3	3.473,5	3.393,3	3.313,1	3.233,0
		Diff. absolut	-8,97	-19,97	-23,74	-58,65	-94,29	-362,84	-408,93	-441,30	-473,25
		in %	0%	0%	0%	-1%	-2%	-10%	-12%	-13%	-15%

Tabelle 517: Gegenüberstellung der Emissionen von Aufforstungen für die Submission 2020 und 2021

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
KP 3.3 Afforestation/ Reforestation	C	2020	-144,99	34,88	221,20	1.410,32	1.847,75	1.998,15	2.080,80	1.999,03	2.162,42
		2021	-183,93	-144,61	-39,03	5,47	171,76	273,38	67,85	102,89	137,81
		Diff. absolut	-38,94	-179,49	-260,23	-1.404,86	-1.675,99	-1.724,77	-2.012,94	-1.896,14	-2.024,60
		in %	21,2%	124,1%	666,7%	-25695,6%	-975,8%	-630,9%	-2966,6%	-1842,8%	-1469,1%
	CH ₄	2020	0,001	0,008	0,015	0,039	0,063	0,083	0,087	0,096	0,105
		2021	0,001	0,009	0,017	0,040	0,065	0,078	0,085	0,096	0,104
		Diff. absolut	0,000	0,001	0,003	0,001	0,002	-0,005	-0,002	0,000	-0,002
		in %	12,9%	12,9%	15,8%	1,7%	2,3%	-5,9%	-2,2%	-0,4%	-1,5%
	N ₂ O	2020	0,021	0,109	0,170	0,181	0,174	0,157	0,153	0,156	0,159
		2021	0,011	0,055	0,091	0,115	0,132	0,128	0,134	0,140	0,147
		Diff. absolut	-0,010	-0,054	-0,079	-0,067	-0,043	-0,029	-0,019	-0,016	-0,013
		in %	-89,5%	-97,2%	-87,0%	-58,2%	-32,5%	-22,8%	-14,4%	-11,3%	-8,5%

Tabelle 518: Gegenüberstellung der Emissionen von Entwaldung für die Submission 2020 und 2021

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
C	2020	-54,59	-52,40	-50,12	-405,62	-272,96	-308,29	-311,31	-436,96	-440,23	
	2021	-56,36	-59,16	-62,36	-468,35	-342,93	-296,91	-426,63	-429,03	-431,47	
	Diff. absolut	-1,78	-6,76	-12,24	-62,73	-69,97	11,38	-115,32	7,93	8,76	
	in %	3,2%	11,4%	19,6%	13,4%	20,4%	-3,8%	27,0%	-1,8%	-2,0%	
KP 3.3 Deforestation	CH ₄	2020	0,0004	0,003	0,005	0,12	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21
		2021	0,001	0,009	0,02	0,36	1,15	1,32	1,42	1,48	1,54
		Diff. absolut	0,0009	0,006	0,011	0,25	0,97	1,13	1,23	1,29	1,33
		in %	66,5%	67,4%	66,7%	67,8%	84,4%	85,9%	86,6%	86,6%	86,5%
N ₂ O	2020	0,00004	0,0003	0,001	0,007	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	
	2021	0,0002	0,002	0,003	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	
	Diff. absolut	0,0002	0,002	0,003	0,03	0,001	-0,006	0,001	-0,002	-0,005	
	in %	79,1%	83,9%	83,3%	80,3%	4,3%	-18,7%	2,6%	-4,1%	-10,6%	

Tabelle 519: Gegenüberstellung der Emissionen von Waldbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
KP 3.4 Forest Management	C	2020	18.870,6	18.847,1	18.824,9	8.906,2	13.176,5	16.341,2	16.333,9	16.323,9	16.315,1
		2021	6.215,8	22.038,3	17.118,5	9.231,9	13.426,2	16.904,0	17.409,6	17.321,7	15.862,5
		Diff. absolut	-12.654,8	3.191,1	-1.706,4	325,7	249,7	562,9	1.075,7	997,8	-452,6
		in %	-203,6%	14,5%	-10,0%	3,5%	1,9%	3,3%	6,2%	5,8%	-2,9%

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
	CH ₄	2020	1,154	1,175	1,195	1,181	1,173	1,177	1,178	1,179	1,176
		2021	1,304	1,304	1,303	1,274	1,263	1,258	1,255	1,252	1,249
		Diff. absolut	0,151	0,129	0,108	0,093	0,090	0,081	0,077	0,073	0,072
		in %	11,6%	9,9%	8,3%	7,3%	7,1%	6,4%	6,1%	5,8%	5,8%
	N ₂ O	2020	0,544	0,554	0,563	0,557	0,553	0,555	0,556	0,556	0,555
		2021	1,149	1,149	1,148	1,120	1,111	1,105	1,103	1,101	1,099
		Diff. absolut	0,605	0,594	0,585	0,564	0,558	0,550	0,548	0,546	0,545
		in %	52,7%	51,8%	50,9%	50,3%	50,2%	49,8%	49,7%	49,5%	49,5%

Tabelle 520: Gegenüberstellung der Emissionen von Land zu Ackerlandbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
KP 3.4 to Cropland Management	C	2020	-845,40	-852,01	-821,04	-1.588,32	-1.878,27	-	-2.223,31	-2.319,90	-2.460,42
		2021	-764,68	-751,02	-739,56	-1.447,52	-1.764,60	-	-2.603,28	-2.659,90	-2.883,70
		Diff. absolut	80,72	100,98	81,47	140,80	113,67	-145,74	-379,97	-340,01	-423,28
		in %	-10,6%	-13,4%	-11,0%	-9,7%	-6,4%	6,3%	14,6%	12,8%	14,7%
	CH ₄	2020	0,622	0,594	0,587	1,731	2,498	2,977	3,013	3,028	3,041
		2021	0,467	0,395	0,362	2,040	2,524	3,444	3,051	3,186	3,326
		Diff. absolut	-0,156	-0,199	-0,225	0,309	0,027	0,468	0,038	0,157	0,285
		in %	-33,4%	-50,5%	-62,2%	15,1%	1,1%	13,6%	1,3%	4,9%	8,6%
	N ₂ O	2020	0,403	0,384	0,380	1,120	1,615	1,925	1,948	1,958	1,967
		2021	0,264	0,265	0,266	0,783	1,052	1,474	1,532	1,591	1,650
		Diff. absolut	-0,139	-0,119	-0,114	-0,337	-0,563	-0,451	-0,416	-0,367	-0,317
		in %	-52,7%	-45,0%	-42,8%	-43,0%	-53,5%	-30,6%	-27,1%	-23,1%	-19,2%

Tabelle 521: Gegenüberstellung der Emissionen von Ackerlandbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
KP 3.4 Cropland Management	C	2020	-2.567,57	-2.523,33	-2.469,61	-2.200,07	-2.028,77	-1.923,29	-1.907,31	-1.869,82	-1.831,75
		2021	-2.895,12	-2.846,44	-2.801,20	-2.468,92	-2.262,04	-2.043,11	-1.945,13	-1.854,94	-1.763,83
		Diff. absolut	-327,55	-323,11	-331,60	-268,85	-233,26	-119,81	-37,83	14,89	67,92
		in %	11,3%	11,4%	11,8%	10,9%	10,3%	5,9%	1,9%	-0,8%	-3,9%
	CH ₄	2020	8,106	7,960	7,792	6,942	6,435	6,135	6,088	5,970	5,854
		2021	5,379	5,003	4,607	3,819	3,284	2,910	2,760	2,596	2,446
		Diff. absolut	-2,728	-2,956	-3,185	-3,123	-3,151	-3,225	-3,328	-3,374	-3,408
		in %	-50,7%	-59,1%	-69,1%	-81,8%	-95,9%	-110,8%	-120,6%	-130,0%	-139,3%
	N ₂ O	2020	5,242	5,147	5,039	4,490	4,161	3,968	3,937	3,861	3,786
		2021	3,425	3,351	3,278	2,885	2,637	2,394	2,288	2,182	2,075

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
		Diff. absolut	-1,817	-1,796	-1,761	-1,604	-1,524	-1,574	-1,649	-1,679	-1,710
		in %	-53,1%	-53,6%	-53,7%	-55,6%	-57,8%	-65,7%	-72,1%	-77,0%	-82,4%

Tabelle 522: Gegenüberstellung der Emissionen von Land zu Grünlandbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
KP 3.4 to Grazing Land Management	C	2020	-35,12	-20,13	-48,55	-48,88	693,49	851,99	899,04	598,63	711,90
		2021	-25,54	-37,59	-47,69	-38,08	719,66	1.277,18	1.057,09	1.037,12	1.167,30
		Diff. absolut	9,57	-17,46	0,86	10,80	26,17	425,19	158,05	438,49	455,39
		in %	-37,5%	46,5%	-1,8%	-28,4%	3,6%	33,3%	15,0%	42,3%	39,0%
	CH ₄	2020	1,280	1,272	1,270	2,116	2,411	2,556	2,581	2,749	2,921
		2021	2,774	2,728	2,652	4,453	6,363	7,301	7,910	8,158	8,390
		Diff. absolut	1,493	1,456	1,382	2,337	3,953	4,744	5,329	5,409	5,469
		in %	53,8%	53,4%	52,1%	52,5%	62,1%	65,0%	67,4%	66,3%	65,2%
	N ₂ O	2020	0,236	0,235	0,234	0,390	0,445	0,472	0,476	0,507	0,539
		2021	0,268	0,269	0,269	0,468	0,556	0,621	0,665	0,709	0,752
		Diff. absolut	0,032	0,034	0,035	0,078	0,111	0,149	0,189	0,202	0,214
		in %	11,8%	12,6%	13,0%	16,6%	20,0%	24,1%	28,4%	28,5%	28,4%

Tabelle 523: Gegenüberstellung der Emissionen von Grünlandbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021

Quellgruppe	THG [kt]	Submission	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
KP 3.4 Grazing Land Management	C	2020	-6.358,60	-6.415,78	-6.470,65	-6.098,71	-5.823,19	-5.650,32	-5.628,45	-5.580,23	-5.534,47
		2021	-7.027,01	-7.082,76	-7.137,61	-6.662,37	-6.359,79	-6.017,23	-5.954,11	-5.890,92	-5.827,57
		Diff. absolut	-668,41	-666,98	-666,96	-563,66	-536,59	-366,91	-325,65	-310,69	-293,10
		in %	9,5%	9,4%	9,3%	8,5%	8,4%	6,1%	5,5%	5,3%	5,0%
	CH ₄	2020	19,763	19,941	20,111	18,955	18,099	17,562	17,494	17,344	17,202
		2021	39,472	39,968	40,481	38,556	38,461	37,692	37,264	36,842	36,424
		Diff. absolut	19,708	20,027	20,369	19,600	20,362	20,130	19,770	19,498	19,222
		in %	49,9%	50,1%	50,3%	50,8%	52,9%	53,4%	53,1%	52,9%	52,8%
	N ₂ O	2020	3,646	3,679	3,710	3,497	3,339	3,240	3,227	3,199	3,173
		2021	4,139	4,176	4,213	3,953	3,801	3,612	3,581	3,546	3,508
		Diff. absolut	0,493	0,498	0,503	0,456	0,462	0,372	0,354	0,346	0,335
		in %	11,9%	11,9%	11,9%	11,5%	12,1%	10,3%	9,9%	9,8%	9,5%

Tabelle 524: Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren für Totholz für die Submission 2020 und 2021 (tC/ha)

CRF-Nr.		Pool	1990-2001	2002-2007	2008-2011	2012-2018
KP 3.4	Forest Land remaining Forest Land	2020	-0,04	-0,10	0,19	-0,09
		2021	-0,04	-0,10	0,19	-0,09
		Differenz	0,00	0,00	0,00	0,00
KP 3.3	Afforestation/Reforestation	2020	-0,03	-0,03	-0,16	-0,22
		2021	-0,03	-0,03	-0,23	-0,003
		Differenz	0,00	0,00	-0,07	0,219
	Deforestation	2020	1,88	1,82	1,85	2,37
		2021	1,88	1,82	1,48	1,97
		Differenz	0,00	0,00	-0,37	-0,39

Tabelle 525: Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren für Biomasse in der Waldbewirtschaftung für die Submission 2020 und 2021 (tC/ha)

Pool	Forest Land remaining Forest Land			
	Oberirdische Biomasse		Unterirdische Biomasse	
Submission	2020	2021	2020	2021
1990	-1,31	-0,19	-0,12	-0,02
1991	-1,31	-1,47	-0,12	-0,14
1992	-1,31	-1,61	-0,12	-0,15
1993	-1,31	-1,60	-0,12	-0,15
1994	-1,31	-1,36	-0,12	-0,13
1995	-1,31	-1,53	-0,12	-0,15
1996	-1,31	-1,40	-0,12	-0,13
1997	-1,31	-1,38	-0,12	-0,13
1998	-1,31	-1,39	-0,12	-0,13
1999	-1,31	-1,40	-0,12	-0,13
2000	-1,31	-1,12	-0,12	-0,11
2001	-1,31	-1,27	-0,12	-0,12
2002	-0,36	-0,46	-0,09	-0,12
2003	-0,36	-0,42	-0,09	-0,11
2004	-0,36	-0,39	-0,09	-0,10
2005	-0,36	-0,35	-0,09	-0,09
2006	-0,36	-0,33	-0,09	-0,08
2007	-0,36	-0,25	-0,09	-0,07
2008	-1,01	-0,97	-0,14	-0,13
2009	-1,01	-1,12	-0,14	-0,15
2010	-1,01	-0,98	-0,14	-0,13
2011	-1,01	-0,96	-0,14	-0,13
2012	-0,98	-0,93	-0,17	-0,16
2013	-0,98	-0,95	-0,17	-0,17
2014	-0,98	-1,01	-0,17	-0,18
2015	-0,98	-0,98	-0,17	-0,17
2016	-0,98	-1,02	-0,17	-0,18
2017	-0,98	-1,02	-0,17	-0,18
2018	-0,98	-0,90	-0,17	-0,16

11.3.1.5 Schätzung der Unsicherheiten

Die Bestimmung der Unsicherheiten für Aktivitäten nach den Artikeln 3.3 Aufforstung/Entwaldung und 3.4 Waldbewirtschaftung, Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung des Kyoto Protokolls (KP) erfolgte gemäß den Vorgaben der IPCC 2006 Guidelines (IPCC, 2006). Bei Normalverteilung wird das 95 % Konfidenzintervall bzw. \pm die Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls oder $1,96 \times$ der Standardfehler in % vom Mittelwert angegeben. Bei unsymmetrischen Verteilungen, hier in der Regel logarithmisch normalverteilte Daten, werden die zu ermittelnden Abweichungen in % vom Lagemaß als obere und untere

Schranke dargestellt. Bei der Berechnung der Unsicherheitenfortpflanzung wurde in solch einem Fall im Sinne einer konservativen Abschätzung, der Abstand zwischen dem Extremwert des schiefen Achsenabschnitts zum Lagemaß per Definition zur Hälfte des 95 % Konfidenzintervalls erklärt.

Die Ergebnisse der Unsicherheitenberechnung des KP 3.3/3.4-Inventars sind für alle Quellgruppen und Unterkategorien (außer den Holzprodukten; siehe Kapitel 11.3.1.5.3) in Tabelle 526 dargestellt. Die Gesamtunsicherheit beträgt demnach 12,65 %.

Weiterführende Informationen zu den Unsicherheiten finden sich für die Schätzung von Landnutzungsänderungsflächen im Kapitel 11.3.1.5.3, für die ober- und unterirdischen Biomasse und das Totholz im Kapitel 11.3.1.5.1, für die Streu und mineralische Böden im Kapitel 11.3.1.5.2 und zusammenfassend für den LULUCF-Sektor im Kapitel 6.1.2.10.

Tabelle 526: Unsicherheiten für die Treibhausgasberichterstattung für Aktivitäten des Kyoto-Protokolls der Artikel 3.3 und 3.4

Source Category	Pool	Gas	Base year emissions [CO ₂ - eq, kt a ⁻¹]	Year 2019 emissions [CO ₂ - eq, kt a ⁻¹]	Combined uncertainty Maximalwert %	Contribution to Variance by Category in Year 2019 %
KP 3.3 Afforestation/Reforestation	Mineral soils	CO ₂	34,22	-204,35	15,13	0,00
	Organic soils	CO ₂	2,64	223,87	14,95	0,00
	Organic soils	CH ₄	0,04	2,83	110,94	0,00
	Organic soils	N ₂ O	0,36	30,57	83,83	0,00
	Above-ground biomass	CO ₂	463,10	-181,96	63,15	0,00
	Below-ground biomass	CO ₂	196,19	74,19	61,75	0,00
	Litter	CO ₂	-20,26	-539,89	469,24	2,37
	Deadwood	CO ₂	-1,47	-3,09	117,61	0,00
	SOM	N ₂ O	2,92	15,37	171,95	0,00
	KP 3.3 Deforestation	Mineral soils	CO ₂	1,28	157,74	24,38
Organic soils		CO ₂	0,44	226,55	92,16	0,02
Organic soils		CH ₄	0,03	39,96	117,34	0,00
Organic soils		N ₂ O	0,01	5,48	355,22	0,00
Above-ground biomass		CO ₂	88,05	665,09	24,19	0,01
Below-ground biomass		CO ₂	8,16	37,04	24,21	0,00
Litter		CO ₂	98,93	454,95	22,16	0,00
Dead wood		CO ₂	9,81	48,09	46,64	0,00
SOM		N ₂ O	0,05	8,24	172,86	0,00
KP 3.4 Forest Management		Mineral soils	CO ₂	-15.876,88	-15.693,86	11,66
	Organic soils	CO ₂	2.501,53	2.386,96	24,20	0,12
	Organic soils	CH ₄	32,61	31,15	110,03	0,00
	Organic soils	N ₂ O	342,44	326,84	120,36	0,06
	Above-ground biomass	CO ₂	-7.716,33	-34.753,26	10,36	4,78
	Below-ground biomass	CO ₂	-734,42	-6.184,43	14,00	0,28
	Litter	CO ₂	496,22	490,08	470,40	1,96
	Dead wood	CO ₂	-1.461,52	-3.720,57	24,77	0,31
	Forest fires	CH ₄	32,61	31,15	38,08	0,00
	Forest fires	N ₂ O	342,44	326,84	38,08	0,01
KP 3.4 to Cropland Management	SOM	N ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mineral soils	CO ₂	1.320,65	5.186,65	7,01	0,05
	Organic soils	CO ₂	797,12	5.105,18	40,99	1,62
	Organic soils	CH ₄	11,66	87,28	85,91	0,00
	Above-ground biomass	CO ₂	519,48	509,01	50,78	0,01
Below-ground biomass	CO ₂	166,58	347,81	39,13	0,00	

Source Category	Pool	Gas	Base year emissions [CO ₂ - eq.,] kt a ⁻¹	Year 2019 emissions [CO ₂ - eq.,] kt a ⁻¹	Combined uncertainty Maximalwert %	Contribution to Variance by Category in Year 2019 %
KP 3.4 Cropland Management	Mineral soils	CO ₂	85,40	35,82	5,71	0,00
	Organic soils	CO ₂	10.460,98	6.118,51	42,56	2,50
	Organic soils	CH ₄	134,46	57,75	90,05	0,00
	Above-ground biomass	CO ₂	-10.265,06	-27.426,39	7,76	1,67
	Below-ground biomass	CO ₂	-4.225,98	-11.705,76	10,34	0,54
KP 3.4 total Cropland Management	SOM	N ₂ O	116,89	391,12	169,96	0,16
KP 3.4 to Grazing Land Management	Mineral soils	CO ₂	-1.953,48	-11.448,60	1,99	0,02
	Organic soils	CO ₂	1.635,07	5.018,95	70,93	4,67
	Organic soils	CH ₄	69,34	214,19	326,24	0,18
	Above-ground biomass	CO ₂	400,81	2.454,61	51,66	0,59
	Below-ground biomass	CO ₂	11,26	-109,38	32,60	0,00
KP 3.4 Grazing Land Management	Mineral soils	CO ₂	0,00	0,00	3,12	0,00
	Organic soils	CO ₂	25.765,69	21.134,97	89,18	131,04
	Organic soils	CH ₄	986,79	900,51	442,02	5,84
	Above-ground biomass	CO ₂	0,00	0,00	36,21	0,00
	Below-ground biomass	CO ₂	0,00	0,00	50,84	0,00
KP 3.4 total Grazing Land Management	SOM	N ₂ O	0,07	0,77	173,06	0,00
Uncertainty total ARD / FM / CM / GM [%]:					12,65	

11.3.1.5.1 Schätzung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für die Biomasse und das Totholz

Nach den in Kapitel 6.4.3.2 gemachten Angaben ergeben sich für die Kohlenstoffveränderungsrechnung der lebenden Biomasse die in Tabelle 527 angegebenen Unsicherheiten.

Für die Neuen Bundesländer konnten für den Zeitraum 1993 - 2002 keine Emissionsfaktoren für KP Afforestation/Reforestation und KP Deforestation hergeleitet werden, da diese Angaben im Datenspeicher Wald nicht vorhanden sind. Somit wurden in diesem Zeitraum die Emissionsfaktoren der Alten Bundesländer angewandt.

Tabelle 527: Gesamtfehler für die Kohlenstoffvorratsveränderungsschätzung der Biomasse für die Inventurperioden der Bundeswaldinventur 1987-2002, 2002-2008, 2008-2012 und 2012-2017 (RMSE% - root mean square error percent)

RMSE%	1987-2002	1993-2002	2002-2008	2008-2012	2012-2017
	alte Bundesländer	neue Bundesländer		Gesamtdeutschland	
Afforestation (KP 3.3)	22,99	-	45,57	23,48	35,95
Deforestation (KP 3.3)	17,42	-	22,70	23,29	27,18
Forest Management (KP 3.4)	8,76	10,05	22,17	9,52	9,10

Für die Kohlenstoffveränderungsrechnung des Totholzes ergeben sich nach den in Kapitel 6.4.3.2 gemachten Angaben die in Tabelle 528 angegebenen Unsicherheiten.

Tabelle 528: Gesamtfehler für die Kohlenstoffvorratsveränderungsschätzung des Totholzes für die Inventurperioden der Bundeswaldinventur 2008-2012 und 2012-2017 (RMSE% - root mean square error percent)

RMSE%	2008-2012	2012-2017
Afforestation (KP 3.3)	45,50	117,84
Deforestation (KP 3.3)	50,80	52,30
Forest Management (KP 3.4)	27,80	24,77

Die Gesamtunsicherheitenrechnung für die Kyoto-Berichterstattung findet sich in Tabelle 526 im Kapitel 11.3.1.5.

11.3.1.5.2 Schätzung der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren für Mineralboden und Streu

Nach den in Kapitel 6.4.3.3 gemachten Angaben ergeben sich für die Emissionsfaktoren von Mineralboden und Streu die in Tabelle 529 angegebenen Unsicherheiten.

Tabelle 529: Fehlerbudget für die Emissionsfaktoren von Mineralboden und Streu, mit se = Standardabweichung des Mittelwertes; C 90, C 06 = Laborunsicherheit bei der Kohlenstoffgehaltsbestimmung BZE I und BZE II; FE = Unsicherheit bei der Bestimmung des Feinbodenvorrates

LULUCF-category	Pool	emission factor					error total [%]	uncertainty [%]
		se [%]	C 90 [%]	C 06 [%]	FE [%]			
KP Forest Management	Litter	105.9	111.2	73.4		168.9	337.8	
KP Forest Management	Mineral soil	9.0	14.1	13.6	12.2	26.7	53.4	

11.3.1.5.3 Schätzung der Unsicherheiten für die Holzprodukte

Die Unsicherheiten für die Aktivitätsdaten der Holzprodukte belaufen sich nach Angaben der IPCC 2013 KP Supplement (IPCC et al., 2014a) Richtlinien auf -25/+5%. Für die Emissionsfaktoren werden die in Tabelle 2.8.2 der IPCC 2013 KP Supplement (IPCC et al., 2014a) Richtlinien gelisteten Standardwerte verwendet, die keine Unsicherheiten beinhalten. Durch die fehlenden Unsicherheiten ist keine Fehlerrechnung für die Holzprodukte möglich.

11.3.1.6 Informationen über andere Methoden

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der einzelnen Pools der aktuellen Submission mit denen anderer Staaten verglichen. Wie in Kapitel 6.4.4.3 beschrieben, kann der Vergleich Deutschlands mit anderen Staaten nur einer pauschalen Einordnung dienen. Es wurden unterschiedliche Methoden und Ansätze verwendet, insbesondere bei der Definition von Wald und bei der Wahl der Aktivitäten unter Artikel 3.4. So wird von allen Ländern, die mit Deutschland in etwa vergleichbar sind, Waldbewirtschaftung als verpflichtende Kategorie nach Artikel 3.4 berichtet. Da sich bisher nur Deutschland, Dänemark und Großbritannien dazu verpflichtet haben, die freiwilligen Kategorien Ackerland- und Weidelandbewirtschaftung zu berichten, wird für diese beiden Aktivitäten auf einen Vergleich mit anderen Staaten verzichtet.

Die Vergleichsdaten für die Kohlenstoffvorratsänderungen anderer Staaten kommen aus den Nationalen Inventurberichten der Nachbarstaaten Deutschlands und Großbritanniens. Die Emissionsfaktoren stammen aus der Submission 2020 der Länder an das Klimasekretariat der Vereinten Nationen und entsprechen dem Inventurjahr 2018. Die Vergleiche sind nach Pools unterteilt und finden sich für die Biomasse in Tabelle 530, für Totholz & Streu in Tabelle 531 und für mineralischen & organische Böden in Tabelle 532.

Tabelle 530: Kohlenstoffvorratsänderungen in lebender Biomasse (für 2018)

Land [t C ha ⁻¹]	Aufforstungen		Entwaldung		Waldbewirtschaftung	
	oberirdisch	unterirdisch	oberirdisch	unterirdisch	oberirdisch	unterirdisch
Belgien	0,78	0,15	-2,59	-0,53	0,39	0,07
Dänemark	1,056	0,36	-1,11	-0,12	0,97	0,07
Frankreich	1,16	0,47	-1,52	-0,42	0,35	0,14
Großbritannien	1,35	0,45	-1,04	NO,IE,NA	0,45	0,14
Niederlande	3,12	0,44	-2,86	-0,38	0,85	0,15
Österreich	0,97	0,26	-0,63	-0,15	0,25	0,03
Polen	0,81	0,22	-1,20	-0,24	0,77	0,20
Schweiz	0,67	0,35	-2,08	-0,64	0,22	0,03
Tschechische Republik	1,29	0,27	-1,46	-0,32	-0,66	-0,14
Deutschland	6,16	0,90	-1,82	-0,13	0,98	0,17

Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 531: Kohlenstoffvorratsänderungen in Totholz und Streu (für 2018)

Land [t C ha ⁻¹]	Aufforstungen		Entwaldung		Waldbewirtschaftung	
	Totholz	Streu	Totholz	Streu	Totholz	Streu
Belgien	NO,NA	NO,NA	-0,20	-0,05	NO,NA	NO,NA
Dänemark	0,02	-1,04	-0,07	-0,29	-0,11	-1,22
Frankreich	0,03	0,16	-0,05	-0,17	-0,02	0,00
Großbritannien	0,14	0,07	NO,IE,NA	-0,32	0,31	0,03
Niederlande	0,10	NO,NE	-0,08	-1,09	0,06	NO,NE
Österreich	0,02	0,77	0,00	-0,49	0,06	NO,NE,IE,NA
Polen	NO	NO	-0,02	0,00	NO,NA	NO,NA
Schweiz	0,03	-0,02	-0,14	-0,48	-0,04	0,04
Tschechische Republik	0,03	0,44	-0,05	-0,19	-0,01	NO,IE
Deutschland	0,22	0,47	-0,12	-0,98	0,09	-0,01

Quelle: (UNFCCC, 2020b)

Tabelle 532: Kohlenstoffvorratsänderungen in mineralischen und organischen Böden (für 2018)

Land [t C ha ⁻¹]	Aufforstungen		Entwaldung		Waldbewirtschaftung	
	Mineralischer Boden	Organischer Boden	Mineralischer Boden	Organischer Boden	Mineralischer Boden	Organischer Boden
Belgien	0,54	NO,NA	-1,15	NO,NA	NO,NA	NO,NA
Dänemark	0,11	-1,30	-0,29	-5,10	NO,NA	-1,30
Frankreich	0,05	NO,IE	-0,66	NO,IE	IE,NA	IE,NA
Großbritannien	-0,64	-0,95	-1,25	-7,90	0,48	0,78
Niederlande	0,01	-1,02	0,09	-2,33	NO	-0,93
Österreich	0,44	NO,NA	-0,40	NO,NA	-0,19	NO,NA
Polen	0,08	-0,68	-0,76	NO	0,10	-0,68
Schweiz	0,67	-0,08	-0,88	-4,61	0,00	-0,08
Tschechische Republik	0,25	NO	-0,17	NO,NA	NO,NE	NO
Deutschland	-0,53	-2,25	0,24	-5,86	0,41	-2,24

Quelle: (UNFCCC, 2020b)

11.3.1.7 Das Anfangsjahr einer Aktivität, die nach 2013 begonnen hat

In Tabelle 533 finden sich die Flächengrößen der Aktivitäten nach KP 3.3, die nach 2013 begonnen haben. Die Aktivität Forest Management (KP.3.4) wird nur auf den Flächen berücksichtigt, die seit 1990 Wald sind. Demnach gibt es keine Flächen, auf denen Waldbewirtschaftung nach 2013 begonnen hat.

Tabelle 533: Flächengrößen der Aktivitäten, die nach 2013 begonnen haben

KP 3.3 Activity	Year of the onset					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Afforestation/ Reforestation [ha]	6.514	6.513	15.274	15.280	15.279	15.294
Deforestation [ha]	4.377	4.381	6.665	6.664	6.662	6.653

11.4 Artikel 3.3**11.4.1 Informationen, die belegen, dass Aktivitäten nach Artikel 3.3 am oder nach dem 1. Januar 1990 und vor dem 31. Dezember 2020 begonnen haben und direkt vom Menschen verursacht sind**

Wie in Kapitel 6.3 beschrieben, erfasst das Verfahren zur Landnutzungsänderung von und zu Wald Flächenänderungen ab 1970, wobei methodisch bei der Kyoto-Berichterstattung nur die Änderungen seit 1990 eingehen. Ab der Submission 2014 flossen die Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur ein, deren Stichjahr 2012 ist. Diese bildet die Datengrundlage für das Anfangsjahr der zweiten Verpflichtungsperiode. Alle erfassten Aktivitäten liegen in dem Zeitraum zwischen dem 1. Januar 1990 und dem 31. Dezember 2020.

Jede Landnutzungsänderung von und zu Wald wird vorrangig über die Bundeswaldinventur (BWI), aber auch durch ergänzende Daten erfasst. Die Stichprobenpunkte decken rasterförmig ganz Deutschland ab. Durch die wiederholte Aufnahme der Punkte können die Veränderungen großflächig ermittelt werden. Wird ein Punkt als Wald aufgenommen, der bei der vorangegangenen Inventur als Nicht-Wald gekennzeichnet war, so repräsentiert dieser eine bestimmte aufgeforstete Fläche. Die BWI unterscheidet zwischen aufgeforstet durch Pflanzung/Saat oder durch natürliche Verjüngung. Letztere werden jedoch erst dann als *aufgeforsteter Wald* klassifiziert, wenn der Bestand ein durchschnittliches Alter von fünf Jahren erreicht hat und einen Überschirmungsgrad von mindestens 50 % aufweist (vgl. Kapitel 6.2.1).

Eine landwirtschaftlich genutzte Fläche kann von (bewirtschaftetem) Ackerland in unbewirtschaftetes übergehen und durch eine spontane Ansiedlung von Bäumen (natürliche Verjüngung) in Wald übergehen. Diese Art der Aufforstung kann gem. IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a) allerdings nur dann angerechnet werden, wenn sie „direkt vom

Mensch induziert“ wurde. Es ist gute Praxis die direkt vom Mensch induzierte Flächenumwandlung zu belegen. Nach IPCC schließt der zu führende Beweis u.a. die Tatsache ein, dass eine Entscheidung zur Aufforstung oder dem Zulassen einer natürlichen Verjüngung getroffen wurde¹⁵². Das deutsche Recht sieht gem. § 10 (1) BWaldG vor, dass jede Erstaufforstung von Flächen einer „Genehmigung der nach Landesrecht zuständigen Behörde“ bedarf. Nach Absatz 2 bedarf es lediglich dann keiner Genehmigung, wenn für die aufzuforstende Fläche „auf Grund anderer öffentlich rechtlicher Vorschriften die Aufforstung rechtsverbindlich festgesetzt worden ist oder Erfordernisse der Raumordnung und Landesplanung nicht berührt werden“. Deutschland ist ein dicht besiedeltes und intensiv bewirtschaftetes Land, welches flächendeckend beplant wird. Es existieren unterschiedliche Planungsebenen, von großräumigen Plänen (z.B. Raumordnungsplanung) bis hin zu kleinräumigen Festsetzungen (z.B. Landschaftspläne, forstliche Betriebspläne). Die Aufstellung und Einhaltung wird von den jeweils zuständigen Behörden des Bundes, der Länder sowie der einzelnen Gemeinden überwacht. Es ist daher davon auszugehen, dass alle neuaufgeforsteten Flächen die Bedingung der „direkt vom Mensch induzierten Umwandlung“ erfüllen, da sowohl der Akt der Genehmigung, als auch rechtsverbindliche Festsetzungen und das Aufstellen von Raumordnungs- und Landschaftsplänen, eine aktive Entscheidung durch den Mensch voraussetzen.

11.4.2 Informationen über die Unterscheidung zwischen Ernte oder Waldzerstörung, die von Wiederaufforstung gefolgt sind, und Entwaldung

Nach § 11 (1) BWaldG soll der Wald „im Rahmen seiner Zweckbestimmung ordnungsgemäß und nachhaltig bewirtschaftet werden. Durch Landesgesetz ist mindestens die Verpflichtung für alle Waldbesitzer zu regeln, kahlgeschlagene Waldflächen oder verlichtete Waldbestände in angemessener Frist

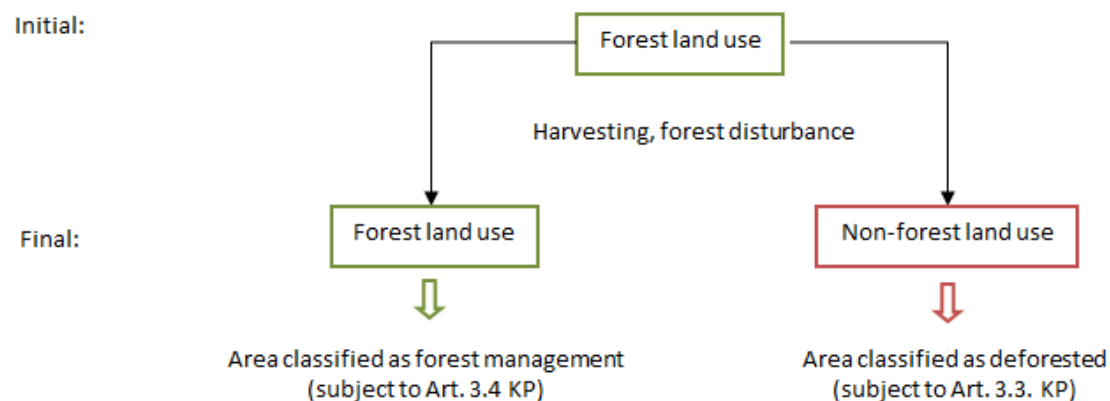
1. wieder aufzuforsten oder
2. zu ergänzen, soweit die natürliche Wiederbestockung unvollständig bleibt,

falls nicht die Umwandlung in eine andere Nutzungsart genehmigt worden oder sonst zulässig ist.“

Grundsätzlich ist danach jede Waldfläche wieder aufzuforsten, sofern sie weiterhin als Wald genutzt werden soll. Dies ist gesetzliche Vorgabe und gängige Praxis der deutschen Forstwirtschaft. Vorübergehend unbestockte Flächen fallen damit nach wie vor unter die Berichterstattung der Waldbewirtschaftung nach Art. 3.4 KP. Anders verhält es sich, wenn eine unbestockte Fläche entsteht, für deren Nachnutzung Nicht-Wald vorgesehen ist. Diese Flächen sind, unabhängig davon, ob die Entwaldung durch natürliche Störereignisse oder durch menschliches Abholzen hervorgerufen wurde, als Entwaldung anzusehen, die direkt vom Mensch verursacht wurde.

¹⁵² Vgl. IPCC 2014, Section 2.5.2

Abbildung 80: Schema zur Unterscheidung zwischen Ernte oder Waldzerstörung, die von Wiederaufforstung gefolgt sind, und Entwaldung



11.4.3 Informationen über die Größe und geografische Lage von Waldgebieten, die ihre Waldbedeckung verloren haben aber nicht als entwaldet gelten

Durch Waldbewirtschaftung entstehen in Wäldern geringfügig unbestockte Flächen (Blößen). Diese betragen nach den Daten der BWI 2012 ca. 41.742 ha und haben einen Anteil von 0,36 % an der Gesamtwaldfläche. Wie bereits oben in Kapitel 11.4.2 erläutert, fallen auch diese Flächen nach wie vor unter die Walddefinition und gehen in die Berechnungen zu den Vorräten und deren Änderungen mit ein.

11.4.4 Informationen in Bezug auf Natürlichen Störungen unter dem Artikel 3.3

Wie im Kapitel 11.1.2 dargelegt, hat Deutschland die Option natürliche Störungen nicht gewählt. Auftretende natürliche Störungen werden nicht gesondert betrachtet, sondern fließen in die Veränderungsrechnungen der entsprechenden Pools mit ein.

11.4.5 Informationen zu den Holzprodukten unter dem Artikel 3.3

Die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten in Deutschland zu den Emissionen nach Quellen und Einbindungen nach Senken von Treibhausgasen wurde, wie in Kapitel 6.10 detailliert beschrieben, gemäß der Vorgaben des IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) mit dem Modell WoodCarbonMonitor durchgeführt.

Für Deutschland lässt sich der Holzeinschlag den beiden Aktivitäten Waldbewirtschaftung (forest management), und Entwaldung (deforestation) zuordnen. Holzprodukte aus Entwaldung (Artikel 3.3) werden gemäß der Vorgaben der IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a) auf Basis einer sofortigen Emission berücksichtigt.

11.5 Artikel 3.4

11.5.1 Informationen, die belegen, dass Aktivitäten nach Artikel 3.4 seit dem 1. Januar 1990 auftraten und vom Menschen verursacht sind

11.5.1.1 Waldbewirtschaftung

Da die Erfassung der Waldflächen, der Flächenänderungen und der durch die entsprechenden Aktivitäten verursachten Vorratsänderungen in einem integrierten Verfahren abgebildet werden, gelten für die Aktivität Waldbewirtschaftung die Aussagen entsprechend aus Kapitel 11.4.1.

Gemäß § 1 Nr. 1 BWaldG ist der „Wald wegen seines wirtschaftlichen Nutzens (Nutzfunktion) und wegen seiner Bedeutung für die Umwelt, insbesondere für die dauernde Leistungsfähigkeit

des Naturhaushaltes, das Klima, den Wasserhaushalt, die Reinhaltung der Luft, die Bodenfruchtbarkeit, das Landschaftsbild, die Agrar- und Infrastruktur und die Erholung der Bevölkerung (Schutz- und Erholungsfunktion) zu erhalten, erforderlichenfalls zu mehren und seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern“.

Dem Wald werden damit drei Grundfunktionen zugeordnet, nämlich die Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion, aufgrund derer seine Erhaltung und seine ordnungsgemäße und nachhaltige Bewirtschaftung zu sichern sind. Zusätzlich schreibt § 11 (1) S. 1 BWaldG vor, dass der „Wald (...) im Rahmen seiner Zweckbestimmung ordnungsgemäß und nachhaltig bewirtschaftet werden (soll).“ Zwar besagt die Formulierung nicht, dass Wald bewirtschaftet werden „muss“, weshalb eine grundsätzliche Verpflichtung zu verneinen ist, andererseits wurde auch nicht die Formulierung „kann“ gewählt, bei der eine Verpflichtung auszuschließen wäre. Die gewählte Formulierung lässt damit sehr wohl eine Grundhaltung erkennen, nämlich dass Wald bewirtschaftet werden soll. Eine Verbindlichkeit zur Bewirtschaftung von Waldflächen existiert damit für ganz Deutschland¹⁵³.

Zur Sicherung der drei Grundfunktionen soll der Wald gem. § 1 Nr. 1 i.V.m. § 11 (1) S.1 BWaldG erhalten und ordnungsgemäß und nachhaltig bewirtschaftet werden. Die Zielvorgabe der Waldbewirtschaftung entsprechend der Marrakesh Accords (MA) deckt sich damit mit den Vorgaben des BWaldG. In beiden Fällen zielt die Bewirtschaftung darauf ab, dass der Wald seine Funktionen auf Dauer erfüllen kann.

Gemäß den MA wird Waldbewirtschaftung definiert als „a system of practices“. Damit wird vorgegeben, dass die Bewirtschaftung durch Handlungen/Maßnahmen gekennzeichnet ist. Eine Waldfläche, die sich selbst überlassen wird, ohne dass irgendwelche Maßnahmen ergriffen werden, zählt damit nicht zu einer bewirtschafteten Waldfläche. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass in diesem Waldgebiet tatsächlich keine menschlichen Aktivitäten stattfinden, also kein aktiver Eingriff durch den Mensch erlaubt ist (entspricht MCPFE-Schutzkategorie 1.1). Derartige Schutzwaldflächen sind in Deutschland jedoch „praktisch nicht vertreten“ (BMELV, 2009). Schutzwaldgebiete, in denen aktive Eingriffe des Menschen auf ein Minimum beschränkt zugelassen sind, sog. Totalschutzgebiete (MCPFE-Schutzkategorie 1.2), hatten 2007 einen Flächenanteil von 1,1% der Gesamtwaldfläche mit zunehmender Tendenz (BMELV, 2009). Im Vordergrund dieser Waldflächen steht der Biotop- und Artenschutz (z.B. Bannwälder, Naturwaldreservate, Kernzonen von Nationalparks und Biosphärenreservaten). Bestimmte eingreifende Maßnahmen sind jedoch ausdrücklich zugelassen (z.B. zur Brandbekämpfung, Kontrolle von Schalenwild, Krankheiten oder Insektenkalamitäten¹⁵⁴). Für Schutzwälder sind wie für alle Schutzgebiete Konzepte aufzustellen, in denen der Schutzgegenstand, der Schutzzweck, die zur Erreichung des Schutzzwecks notwendigen Ge- und Verbote und die erforderlichen Pflege-, Entwicklungs- und Wiederherstellungsmaßnahmen darzustellen sind¹⁵⁵ (z.B. in Schutzgebietsverordnungen oder Richtlinien, Vgl. z.B. § 23 (2) LWaldG MV). Weiterhin sind etwa 23% der Waldfläche Schutzgebiete, deren Schutzzweck aktiv durch Bewirtschaftungsmaßnahmen sichergestellt wird (MCPFE-Schutzkategorie 1.3), 56 % entfallen auf Wälder, deren vorrangiges Ziel der Schutz von Landschaften und spezifischen Naturelementen ist (MCPFE-Schutzkategorie 2) und 34 % mit dem vorrangigen Ziel von Schutzfunktionen (MCPFE-Schutzkategorie 3). Bei den MCPFE-Schutzkategorien 1.3 bis 3 wird

¹⁵³ Von einer Verpflichtung zur „nachhaltigen ordnungsgemäßen Bewirtschaftung“ für alle Waldbesitzer sprechen Häusler und Scherer-Lorenzen (2002) in: Nachhaltige Forstwirtschaft in Deutschland im Spiegel des ganzheitlichen Ansatzes der Biodiversitätskonvention. BfN – Skripten 62, S. 5 und 15.

¹⁵⁴ Außerdem zugelassen sind Maßnahmen zur naturverträglichen Walderschließung für Erholungszwecke und zur naturverträglichen Forschung.

¹⁵⁵ Vgl. z.B. § 22 (1) BNatSchG

die Bewirtschaftung entsprechend dem Schutzzweck ausgerichtet. Diese Kategorien erfüllen damit die Vorgaben der Waldbewirtschaftung. Auch bei der Kategorie 1.2 sind menschliche Aktivitäten zur Sicherung der Schutzgebiete durchaus zulässig. Gemäß IPCC 2006 Guidelines (IPCC, 2006) erfüllen damit auch diese Gebiete die Vorgaben der Waldbewirtschaftung nach Art. 3.4 KP: „For example forested national parks (...) where these parks are managed to fulfil relevant ecological (including biodiversity) and social functions, and are subject to forest management activities such as fire suppression, a country may choose to include these forested national parks as lands subject to forest management“¹⁵⁶. Es ist zu beachten, dass die hier angegebenen Flächenanteile der Schutzwaldkategorien nicht aufaddiert werden dürfen, da sie sich z.T. überschneiden und die gleiche Waldfläche z.T. mehrfach erfasst wurde (BMELV, 2009).

Der Wald in Deutschland wird in weiten Teilen beplant. Für etwa $\frac{3}{4}$ der Waldfläche liegen nach Schätzung des BMEL forstliche Betriebspläne (Wirtschaftspläne, Betriebspläne oder -gutachten) vor (BMELV, 2009). Neben dieser betrieblichen Planung werden für den Wald zusätzlich im Rahmen der Landesplanung z.T. eigenständige forstliche Landschaftspläne (forstliche Rahmenpläne) aufgestellt¹⁵⁷. Ziel der forstlichen Rahmenplanung ist es, „die für die Entwicklung der Lebens- und Wirtschaftsverhältnisse notwendigen Funktionen des Waldes nach § 1 Nr. 1 (BWaldG) zu sichern“. Dies entspricht genau der Zielstellung, die auch von der IPCC Good Practice Guidance (IPCC, 2003) für die Waldbewirtschaftung vorgegeben wird. Dabei können bzw. müssen auch Maßnahmen festgelegt werden (Vgl. z.B. § 6 (3) Nr. 4 S. 2 BWaldG a.F.; Art. 6 (1) Nr. 2 BayWaldG (Waldgesetz für Bayern), § 9 (4) LWaldG Mecklenburg-Vorpommern, § 6 S. 2 NWaldLG (Niedersächsisches Wald- und Landschaftsgesetz), § 7 (1) LFoG NRW (Landesforstgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen), § 6 (2) WaldG Sachsen-Anhalt¹⁵⁸). Teilweise wird auch explizit vorgegeben, dass die Planung als Richtlinie u.a. für die Bewirtschaftungstätigkeit zu nutzen ist (Vgl. § 8 (3) LFoG NRW).

Alles in allem dürfte die Annahme, dass Wald in Deutschland flächendeckend die Kriterien der Waldbewirtschaftung entsprechend den Vorgaben der MA und IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a) erfüllt, damit bestätigt sein.

Eine Zusammenstellung von Textausschnitten aus den Landeswaldgesetzen für die Bewirtschaftungsvorgaben von Wäldern und zu den Vorgaben der forstlichen Rahmenplanung findet sich in Steuk (2010). Die Zusammenfassung ist in Tabelle 534 zu finden.

¹⁵⁶ IPCC KP Supplements (2014) Kapitel 2.7.2 and IPCC 2006 Guidelines, Kapitel 2, Volume 4

¹⁵⁷ Die forstliche Rahmenplanung war bis 2005 im BWaldG verpflichtend vorgegeben. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Ausgestaltung der Planung innerhalb der Länder, wurden diese Bestimmungen jedoch gestrichen. Vgl. BMELV (2009) Waldbericht der Bundesregierung, S. 28.

¹⁵⁸ Festlegung von Maßnahmen in Betriebsplänen siehe § 5 (6) S. 3 LWaldG Schleswig-Holstein.

Tabelle 534: Zusammenstellung der Verpflichtung zur Waldbewirtschaftung, zur Aufstellung von Plänen und zur forstlichen Rahmenplanung aus den Waldgesetzen der Bundesländer

Bundesland	Verpflichtung zur Waldbewirtschaftung			Verpflichtung zur Aufstellung von Plänen (Wirtschafts-, Betriebspläne, Betriebsgutachten oder andere forstliche Fachplanungen)			Verpflichtung zur forstlichen Rahmenplanung
	Staatswald	Körperschaftswald	Privatwald	Staatswald	Körperschaftswald	Privatwald	
Baden-Württemberg	X	X	X	X	X	(X)	(X)
Bayern	X	X	X	X	[X]		(X)
Berlin	X	X	X				X
Brandenburg							X
Bremen	X	X	X				
Hamburg	X	X	X				X
Hessen	X	X	X	X	X	[X]	
Mecklenburg-Vorpommern	X	X	X				X
Niedersachsen	X	X	X	[X]	[X]		X
Nordrhein-Westfalen	X	X	X		X		X
Rheinland-Pfalz	X	X	X	[X]	[X]	[X]	X
Saarland	X	X	X	X	X	(X)	X
Sachsen	X	X	X	X	X		(X)
Sachsen-Anhalt	X	X	X	X	X		X
Schleswig-Holstein				[X]	[X]		
Thüringen	X	X	X	X	X	[X]	X

Legende

- X Vorgabe verbindlich (einschließlich soll)
[X] Vorgabe nur unter bestimmten Voraussetzungen (z.B. Mindestgröße) verbindlich
(X) Vorgabe optional / nicht verbindlich (kann)

11.5.2 Informationen bezüglich der Ackerland- und Weidelandbewirtschaftung für das Basisjahr

Alle Flächen unter Ackerlandbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung unterliegen einmal oder mehrmals im Jahr periodischen Bewirtschaftungsmaßnahmen, so dass die Emissionen und Senken menschlichen Ursprungs sind.

11.5.2.1 Ackerlandbewirtschaftung

Die Emissionen aus Ackerlandbewirtschaftung 1990 werden dominiert von CO₂ aus organischen Böden. Kohlenstoffverluste aus Mineralböden durch die Umwandlung zu Ackerland sind ebenfalls signifikant (Tabelle 535).

Tabelle 535: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Ackerlandbewirtschaftung im Basisjahr 1990

Unterkategorien	C-Vorratsänderungen		CO ₂ aus organischen Böden ¹⁾	CH ₄ aus organischen Böden ²⁾	Direktes und indirektes N ₂ O aus Zersetzung organischer Substanz in Mineralböden ²⁾	Summe ^{2) 3)}
	Biomasse ¹⁾	Mineralböden ¹⁾				
	[kt C]	[kt C]	[kt C]	[kt CH ₄]	[kt N ₂ O]	[kt CO ₂ -Eq]
Ackerland bleibt Ackerland	-18,838	-23,290	-2.852,993	5,379	NO	10.749,908
Summe LUC zu Ackerland	-187,106	-360,176	-217,398	0,467	0,392	2.815,489
Summe LUC von Ackerland	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Gesamt	-205,944	-383,466	-3.070,391	5,845	0,392	13.682,288

1) Vorratsänderung positiv: C-Senke; negativ: C-Quelle

- 2) THG-Emissionen positiv: THG-Quelle; negativ: THG-Senke
 3) Ohne N₂O-Emissionen aus organischen Böden; wird unter Landwirtschaft berichtet

Emissionen und Senken aus Landnutzungsänderung von Ackerland zu anderen Landnutzungskategorien werden unter Art. 3.3 (Aufforstung), Art. 3.4 (Weidelandbewirtschaftung) berücksichtigt, bzw. gemäß der IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a), Kap. 2.9.2 mit Null berechnet. N₂O-Emissionen aus organischen Böden unter Ackerland werden im Sektor Landwirtschaft in der Subkategorie Kultivierung von Histosolen berichtet.

11.5.2.2 Weidelandbewirtschaftung

Die Emissionen aus Weidelandbewirtschaftung 1990 werden dominiert von CO₂ aus organischen Böden. Die Kohlenstoffsенке in Mineralböden infolge Landnutzungsänderungen zu Weideland kompensiert die Emissionen nur geringfügig (Tabelle 536).

Tabelle 536: Kohlenstoffvorratsänderungen und Treibhausgasemissionen infolge Weidelandbewirtschaftung im Basisjahr 1990

Unterkategorien	C-Vorratsänderungen				Direktes und indirektes N ₂ O aus Zersetzung organischer Substanz in Mineralböden ²⁾	Summe ^{2) 3)}
	Biomasse ¹⁾	Mineralböden ¹⁾	CO ₂ aus organischen Böden ¹⁾	CH ₄ aus organischen Böden ²⁾		
	[kt C]	[kt C]	[kt C]	[kt CH ₄]	[kt N ₂ O]	
Weideland bleibt Weideland	NO	NO	-7.027,007	39,472	NO	26.752,484
Summe LUC zu Weideland	-112,383	532,767	-445,928	2,774	0,0002	163,075
Summe LUC von Weideland	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Gesamt	-112,383	532,767	-7.472,935	42,245	0,0002	26.915,559

- 1) Vorratsänderung positiv: C-Senke; negativ: C-Quelle
 2) THG-Emissionen positiv: THG-Quelle; negativ: THG-Senke
 3) Ohne N₂O-Emissionen aus organischen Böden; wird unter Landwirtschaft berichtet

Emissionen und Senken aus Landnutzungsänderungen von Weidelandbewirtschaftung zu anderen Landnutzungskategorien werden unter Art. 3.3 (Aufforstung), Art. 3.4 (Ackerlandbewirtschaftung) berücksichtigt bzw. gemäß der IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a), Kap. 2.10.2 mit Null berechnet. N₂O-Emissionen aus organischen Böden unter Weideland werden im Sektor Landwirtschaft in der Subkategorie Kultivierung von Histosolen berichtet.

11.5.3 Informationen zur Waldbewirtschaftung

11.5.3.1 Definition der Waldbewirtschaftung

Wie bereits in Kapitel 11.5.1 erläutert, sind die deutschen Wälder per Gesetz ordnungsgemäß und nachhaltig zu bewirtschaften. Bundesweite Vorgaben zur Waldbewirtschaftung finden sich im Bundeswaldgesetz (BWaldG). Dieses wird durch die Bundesländer mit eigenen Landeswaldgesetzen konkretisiert. Bei einer Gegenüberstellung der nationalen Vorgaben mit der internationalen Definition, zeigt sich dass diese vergleichbar sind.

Internationale Definition gemäß der MA¹⁵⁹:

“Forest management” is a system of practices for stewardship and use of forest land aimed at fulfilling relevant ecological (including biological diversity), economic and social functions of the forest in a sustainable manner;

¹⁵⁹ Paragraph 1 (f) des Annex A der Decision 16/CMP.1

Übersetzung: „Waldbewirtschaftung „ ist ein System von Praktiken für die Behandlung/Pflege und Nutzung des Waldes, darauf abzielend relevante ökologische (einschließlich der biologischen Vielfalt), wirtschaftliche und soziale Funktionen des Waldes in nachhaltiger Weise zu erfüllen;

Nationale Definitionen nach dem BWaldG und den Landeswaldgesetzen (LWaldG):

Gem. § 1 Nr. 1 BWaldG ist der Zweck des Gesetzes insbesondere, „den Wald wegen seines wirtschaftlichen Nutzens (Nutzfunktion) und wegen seiner (...) (Schutz- und Erholungsfunktion) zu erhalten, erforderlichenfalls zu mehren und seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern“. Nach § 11 (1) S. 1 BWaldG soll der Wald „im Rahmen seiner Zweckbestimmung ordnungsgemäß und nachhaltig bewirtschaftet werden.“ Aufgrund der eingeschränkten Gesetzgebungskompetenz des Bundes, gibt dieser hier lediglich einen Rahmen vor, der dann durch die Bundesländer entsprechend umzusetzen und zu konkretisieren ist (Vgl. § 5 und § 11 (1) S. 2 BWaldG). Somit legen die Länder fest, was unter einer ordnungsgemäßen und nachhaltigen Forstwirtschaft zu verstehen ist. Eine Zusammenstellung der relevanten Abschnitte aus den Landeswaldgesetzen findet sich in Steuk (2010).

Die Vorgaben zur Waldbewirtschaftung nach den Landeswaldgesetzen sind mit den internationalen vergleichbar. Die Bestimmung, dass Wald unter Erfüllung ökologischer (einschließlich der biologischen Vielfalt), wirtschaftlicher und sozialer Funktionen in nachhaltiger Weise bewirtschaftet werden soll¹⁶⁰, lässt sich von der Aussage her in jedem Landesgesetz finden. Synonym für die ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Funktionen werden in Deutschland oftmals Schutz-, Nutz- und Erholungsfunktion verwendet¹⁶¹ (siehe Tabelle 537). Findet sich der Wortlaut der ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Funktionen, die bei der Bewirtschaftung sicherzustellen sind, nicht explizit nochmal im Text des Landesgesetzes, so findet sich jedoch der Zusatz „im Rahmen seiner Zweckbestimmung“¹⁶². Der Wald ist danach also im Rahmen seiner Zweckbestimmung nachhaltig zu bewirtschaften. Damit wird auf § 1 BWaldG verwiesen (Gesetzeszweck), der sich wortgleich in jedem Landeswaldgesetz wiederfindet. § 1 Nr. 1 BWaldG legt wiederum fest, dass der Wald insbesondere, „wegen seines wirtschaftlichen Nutzens (Nutzfunktion) und wegen seiner (...) (Schutz- und Erholungsfunktion) zu erhalten“ ist. Die Zielstellung zur Sicherung der wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Funktionen findet sich damit flächendeckend in den Gesetzestexten wieder. Auch das Erfordernis der Nachhaltigkeit wird sowohl durch das BWaldG, als auch durch die Landesgesetze erfüllt.

Tabelle 537: Gegenüberstellung der Waldfunktionen nach dem Bundeswaldgesetz und nach IPCC

Waldfunktionen nach BWaldG	Waldfunktionen nach MA
Nutzfunktion	Wirtschaftliche Funktionen
Schutzfunktion	Ökologische Funktionen
Erholungsfunktion	Soziale Funktionen

11.5.3.2 Umwandlung von natürlichen Wäldern (Natural Forest) zu Gepflanztem Wald (Planted Forest)

Alle deutschen Wälder werden im Sinne des Kyoto Protokolls als Teil des Planted Forest definiert (vgl. Annex 4A.1, Chapter 4, Volume 4, IPCC (2006)). In diesem Sinne fallen unter diese Definition alle Wirtschaftswälder, Plantagen, gepflanzten Bestände und Waldflächen, die nach einem

¹⁶⁰ Vgl. Art. 4 Nr. 1 BayWaldG; § 1a LFoG NRW; sinngemäß auch § 6 (1) LWaldG RLP; sinngemäß auch § 18 (1) i.V.m. § 19 (1) S. 2 ThürWaldG.

¹⁶¹ Vgl. § 1 Nr. 1 BWaldG; § 13 LWaldG BW; § 11 (2) Nr. 1 LWaldG B; § 4 (2) LWaldG Bbg; § 5 (1) BremWaldG, § 6 (1) HeFoG; § 6 (1) Nr. 1 LWaldG MV; § 11 (1) NWaldLG; § 5 (1) LWaldG SH.

¹⁶² Vgl. § 6 (1) LWaldG Ha; § 11 (1) LWaldG SL; § 17 SächsWaldG; § 4 (1) WaldG LSA; § 18 (1) ThürWaldG.

Bewirtschaftungsplan unter Schutz gestellt wurden (siehe Kapitel 11.5.1.1). Waldflächen ohne Bewirtschaftungskonzept kommen in Deutschland nicht vor. Auch Primärwald laut Definition gibt es nicht, bzw. ist nicht flächenrelevant (Krismann & Hennenberg, 2012).

Aus den oben angeführten Gründen gibt es in Deutschland keine Umwandlung von natürlichen Wäldern (Natural Forest) zu Waldplantagen (Planted Forest).

11.5.3.3 Forest Management Reference Level (FMRL)

Gemäß dem Beschluss 2/CMP.6 (Cancun Agreements) sollen anthropogene Treibhausgasemissionen aus Quellen und Senken, die sich aus Waldbewirtschaftung unter Artikel 3.4 in der zweiten Verpflichtungsperiode ergeben gegen das Forest Management Reference Level (FMRL) angerechnet werden. Das FMRL beinhaltet einen Wert, der die durchschnittlichen jährlichen Netto-Emissionen von Waldbewirtschaftung in der zweiten Verpflichtungsperiode aus historischen Daten und politischen Entscheidungen projiziert.

Für Deutschland wurde ein FMRL von -22.418 kt CO₂-Eq. pro Jahr gemeldet. Die im Jahr 2011 eingereichten Dokumente zum FMRL und den dazugehörigen Reviewbericht finden sich auf der UNFCCC-Webseite¹⁶³. Diese beinhalten die methodische Beschreibung für die Erstellung des FMRL.

11.5.3.4 Technische Korrektur des FMRL

Die IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a) verlangen eine technische Korrektur (TK) des FMRL, wenn sich methodische Änderungen bei der Berechnung der Zeitreihen ergeben, neu zugängliche oder korrigierte historische Daten zur Verfügung stehen oder Pools in der aktuellen Berichterstattung berücksichtigt werden, die noch nicht in der ursprünglichen FMRL-Berechnung berücksichtigt werden konnten.

Das bisherige FMRL, welches 2011 an das UNFCCC-Sekretariat und die EU gemeldet wurde, beruht für die Kohlenstoffvorräte der lebenden Biomasse auf den Daten der Inventurstudie 2008 und für die Projektion auf dem Waldbewirtschaftungsszenario der Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung WEHAM. Für die Pools tote Biomasse (Streu, Totholz) und Böden, sowie für Emissionen aus Düngung, Entwässerung und Verbrennen von Biomasse (Waldbrand) lagen keine landesspezifischen Emissionsfaktoren vor oder wurden nicht erfasst. Kohlenstoff in Holzprodukten (HWP) wurde nicht konsistent zur Entscheidung 2/CMP.7 und dem nach Abgabe des FMRL beschlossenen KP Supplement bilanziert. Das bisher verwendete Referenzlevel enthält somit nicht alle Quellgruppen und sonstige Emissionen, die aktuell nach den derzeitigen Regeln der THG-Berichterstattung zu KP 3.4 berichtet werden und damit auch Teil der Anrechnung sind (siehe Tabelle 538). Weitere Empfehlungen bezüglich der Korrektur kommen aus dem „Report of the technical assessment of the FMRL submission of Germany submitted in 2011“ (FCCC/TAR/2011/DEU). Deutschland hat deshalb in der Submission 2019 eine technische Korrektur des FMRL durchgeführt. Alle unten aufgeführten und abgeleiteten Daten bauen auf den Ergebnissen der Submission 2019 auf.

¹⁶³ UNFCCC AWG-KP: Forest management reference levels <http://unfccc.int/bodies/awg-kp/items/5896.php>

Tabelle 538: Verbesserungen und Veränderungen im Treibhausgasinventar seit 2011, die eine technische Korrektur des Forest Management Reference Level nach sich ziehen

Speicher/THG Quelle	Relevante Änderung	Notwendigkeit einer technischen Korrektur
Lebende Biomasse im Wald	BWI 2012	Neuer Modelllauf WEHAM, Anpassung an THG-Inventurmethodik und Faktoren, bedingt auch Neuberechnung von HWP
	Neue Parameter für Wachstumsfunktion	
	Neue Biomassefunktionen	
Boden / Streu	Bodenzustandserhebung (BZE) Wald (landesspezifische Emissionsfaktoren)	Anpassung an THG-Inventurmethoden und Faktoren
	zukünftig: Verwendung eines Boden-Kohlenstoffmodells in Kombination mit BZE-Daten	
Totholz	BWI 2012 (Gesamtaufnahme, angepasste Aufnahmeschwelle)	
HWP	BWI 2012 (Projektion Holzeinschlag)	Neuer Modelllauf WEHAM
	Kein Holz aus Entwaldung	Methodische Vorgaben durch IPCC KP Supplement erst ab dem Jahr 2014 verfügbar
	Neue Aktivitätsdaten und Umrechnungsfaktoren	
Andere	Geringfügige Änderungen	Geringfügige Anpassungen möglich

Für die TK wurde das FMRL für die zu berichtenden Pools bzw. Quellen mit den in Tabelle 539 angegebenen Methoden berechnet. Dabei wird zwischen den Aktivitätsdaten (AD) und den Emissionsfaktoren (EF) unterschieden. Die daraus resultierenden Projektionswerte für die Emissionen von 2013 bis 2020 finden sich zusammengefasst in Tabelle 540. Weitere Einzelheiten zu den verwendeten Daten und Methoden in Bezug auf die Pools und Quellen finden sich in den folgenden Unterkapiteln.

Tabelle 539: Verwendete Methoden für die Technische Korrektur des FMRL nach Pools bzw. Quellen

Pool / Quelle	Fläche (AD) / Emissionsfaktor (EF)	THG	Methode FMRL – TK (2013-2020)
Mineralischer Boden	AD	C	Fortschreibung Änderung von 2012
Organischer Boden	AD	C / CH ₄ / N ₂ O	Fortschreibung Änderung von 2012
Mineralischer Boden	EF	C	Modellierung mit Yasso
Organischer Boden	EF	C	Trend 1990-2012
Organischer Boden	EF	CH ₄	Trend 1990-2012
Organischer Boden	EF	N ₂ O	Trend 1990-2012
Oberirdische Biomasse	EF	C	Modellierung mit WEHAM 2012, Lauf 23
Unterirdische Biomasse	EF	C	Modellierung mit WEHAM 2012, Lauf 23
Streu	EF	C	in Yasso-Ergebnisse inkl.
Totholz	EF	C	Mittelwert 1990-2012
Waldbrand	AD	CO ₂ / CH ₄ / N ₂ O	Mittelwert 1990-2012
Waldbrand	EF	CO ₂	Mittelwert 1990-2012
Waldbrand	EF	CH ₄	Mittelwert 1990-2012
Waldbrand	EF	N ₂ O	Mittelwert 1990-2012
HWP	AD / EF	C	Modellierung mit WoodCarbonMonitor (inkl. WEHAM 2012, Lauf 23)

Tabelle 540: Projektionswerte für die Emissionen nach Pools/Quellen von 2013 bis 2020

Pool	THG	Einheit	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mineralischer Boden	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	-13.275	-6.572	-12.736	-21.382	-28.289	-29.645	-1.540	-8.110
Organischer Boden	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	834	832	830	828	825	823	821	818
Organischer Boden	CH ₄	kt CO ₂ -Eq.	12	12	12	12	12	12	12	12
Organischer Boden	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	66	66	66	66	65	65	65	65
Oberirdische Biomasse	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	6.615	6.610	6.605	6.601	6.596	9.741	9.734	9.727
Unterirdische Biomasse	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	781	780	780	779	779	498	497	497

Streu	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE
Totholz	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	-1.294	-1.293	-1.292	-1.291	-1.290	-1.289	-1.288	-1.287
Waldbrand	CH ₄	kt CO ₂ -Eq.	4	4	4	4	4	4	4	4
Waldbrand	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	3	3	3	3	3	3	3	3
Waldbrand	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	54	54	54	54	54	54	54	54
SOM_Mineralischer Boden	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	0	0	0	0	0	0	0	0
Mineralischer Boden	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Mineralischer Dünger	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Holzprodukte (HWP)	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	-11.891	-11.321	-10.851	-10.452	-10.105	-8.856	-8.685	-8.508
Total	alle	kt CO ₂ -Eq.	-18.091	-10.825	-16.525	-24.778	-31.346	-28.590	-323	-6.725

Für die Technische Korrektur des FMRL muss das neue FMRL berechnet werden. Dies ergibt sich aus der Summe aller Emissionen von 2013-2020 aus Tabelle 540, geteilt durch die Anzahl der Jahre. Wird nun die Differenz zwischen dem alten und neuen FMRL gebildet, ergibt sich der Wert für die Technische Korrektur. Die Ergebnisse sind in Tabelle 541 dargestellt.

Tabelle 541: Ergebnisse der Technischen Korrektur des Forest Management Reference Levels

	Total 2013-2020 [kt CO₂-Eq.]	Mittelwert 2013-2020 [kt CO₂-Eq.]
FMRL neu	-137.203	-17.150
FMRL alt	-179.344	-22.418
Technische Korrektur		5.268

AD Mineralischer und Organischer Boden

Die Herleitung der Flächen wird ausführlich im Kapitel 6.3 beschrieben. Es wird zwischen den Flächen mineralischer und organischer Böden unterschieden. Für die Projektion der Landflächen ab 2013 bis 2020 wird angenommen, dass sich die Flächen entsprechend den Änderungen der letzten Jahre weiterentwickeln. In der Berichterstattung sind die Flächenänderungen für die Periode 2013-2016 in Tabelle 380 in Kapitel 6.3.5 zu finden. Diese jährlichen Änderungen werden auch für den Projektionszeitraum 2013 bis 2020 angenommen.

EF Mineralischer Boden

Für die Projektion des Bodenkohlenstoffs wurde das Modell Yasso verwendet. Yasso ist ein dynamisches Boden-C-Modell, welches speziell für forstliche Anwendungen am European Forest Institute (EFI) in Finnland von Liski et al. (2002) entwickelt wurde und als Yasso15 in einer neuen Version zur Verfügung steht (en.ilmatieteenlaitos.fi/yasso). Yasso ermöglicht die Projektion von Boden-C-Vorräten, deren Veränderungen und der Freisetzung von CO₂ durch Abbauprozesse. Eingangsgrößen in YASSO sind die Menge an Streufall, dessen chemische Zusammensetzung und Klimadaten. Yasso unterscheidet nicht zwischen den Pools Totholz, Streu und Mineralboden. Da Yasso diese drei Pools als Ganzes modelliert, die THG-Berichterstattung die Pools aber getrennt berichtet, wurde der EF Totholz herausgerechnet. Des Weiteren wurden die Modellergebnisse an die Ergebnisse der Bodenzustandserhebungen angepasst, um eine konsistente Zeitreihe von den gemessenen Daten ab 1990 hin zu den modellierten Daten ab 2013 zu erreichen. Weiterführende Informationen zum methodischen Vorgehen finden sich bei Ziche et al. (2018).

EF Organische Böden

Im Wald werden aus organischen Böden CO₂-, N₂O- und CH₄-Emissionen berichtet. Außerdem werden die Methanemissionen aus Entwässerungsgräben erfasst, sowie die Kohlenstoffverluste mit der gelösten organischen Substanz (DOC) (siehe auch Kapitel 6.1.2.2). Für die Projektion von 2013 bis 2020 im Rahmen des FMRL wird für alle drei Treibhausgase der Trend von 1990 bis 2012 fortgeschrieben.

EF Biomasse

Die Bestimmung der lebenden Biomasse für das FMRL erfolgt mit dem Modell WEHAM. Die Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung (WEHAM) schätzt auf Grundlage der Bundeswaldinventur, wie sich der Wald angesichts der Ausgangslage entwickeln und mit welchem potenziellen Rohholzaufkommen gerechnet werden kann. Darauf aufbauend wird der Kohlenstoffgehalt in der oberirdischen und unterirdischen Biomasse geschätzt (siehe auch Kapitel 6.4.2.2). Als Ausgangsdaten fließen die Daten der Bundeswaldinventur 2012 und für das Bewirtschaftungsszenario die Daten von 2003 (Archiv: WEHAM 2012, Lauf 23) ein. Dies entspricht den Vorgaben der IPCC 2013 KP Supplements (IPCC et al., 2014a), keine Politiken nach 2009 in die Projektion einfließen zu lassen. Weiterführende Informationen zu WEHAM finden sich in BMEL (2016); Bösch et al. (2016).

EF Streu

Die Streu wird, wie in dem Unterkapitel Mineralischer Boden beschrieben, mit dem Modell Yasso zusammen mit dem mineralischen Boden geschätzt. Die Ergebnisse für die Streu werden nicht separat, sondern zusammen mit denen des mineralischen Boden angegeben. Deshalb ist in der Tabelle 540 der Notation Key IE (included elsewhere) angegeben.

EF Totholz

Für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte im Totholz werden die Daten der Bundeswaldinventuren verwendet (siehe Kapitel 6.4.2.3). Aufbauend darauf wird für die Projektion ab 2013 angenommen, dass sich die Totholzvorräte nicht wesentlich ändern und ein mittlerer Emissionsfaktor der Zeitspanne 1990 bis 2012 berechnet.

AD und EF Waldbrand

Die Herleitung der Waldbrandemissionen werden im Kapitel 6.4.2.7.5 beschrieben. Aufgrund der klimatischen Lage Deutschlands und der Maßnahmen zur Vorbeugung von Waldbränden sind Waldbrände ein eher seltenes Ereignis. Es wird angenommen, dass es zukünftig zu keinen Veränderungen bei den Waldbrandereignissen kommt, weshalb ab 2013 eine durchschnittliche Waldbrandfläche und Emissionsfaktoren der Treibhausgase CO₂, N₂O und CH₄ des Zeitraumes 1990 bis 2012 angenommen werden.

AD und EF Holzprodukte

Für die Berechnung des Kohlenstoffspeichers in Holzprodukten wird das Computermodell WoodCarbonMonitor eingesetzt. Das Modell berechnet unter Berücksichtigung verschiedener Ausgangsdaten und Methoden den Kohlenstoffspeicher in Holzprodukten von 2013 bis 2020. Ein wichtiger Eingangsdatensatz sind die Holzeinschlagszahlen, die ebenfalls mit WEHAM (siehe Unterkapitel Biomasse) hergeleitet werden. Eine umfassende Beschreibung des verwendeten Modelles findet sich in RÜTER (2017).

11.5.3.5 Ermittlung des FM CAP

Das FM CAP wird gemäß DEC 6/CMP.9, Absatz 12 festgelegt. D.h. die Berechnung basiert auf den Emissionen des Basisjahrs, die in dem bis zum 15. April 2015 fälligen Jahresbericht über das nationale Treibhausgasinventar gemeldet wurden und wird für den zweiten Verpflichtungszeitraum festgelegt.

11.5.3.6 Informationen in Bezug auf Natürliche Störungen unter dem Artikel 3.4

Wie im Kapitel 11.1.2 dargelegt, hat Deutschland die Option natürliche Störungen nicht gewählt. Auftretende natürliche Störungen werden nicht gesondert betrachtet, sondern fließen in die Veränderungsrechnungen der entsprechenden Pools mit ein.

11.5.3.7 Informationen zu den Holzprodukten unter dem Artikel 3.4

Die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten in Deutschland zu den Emissionen nach Quellen und Einbindungen nach Senken von Treibhausgasen wurde, wie in Kapitel 6.10 detailliert beschrieben, gemäß der Vorgaben des IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) mit dem Modell WoodCarbonMonitor durchgeführt.

Zunächst wurde die Verfügbarkeit von Aktivitätsdaten, d.h. Daten zu Produktion und Außenhandel von Holzprodukten, geprüft (vgl. Kap. 2.8.1.1, IPCC et al. (2014a)). Nach der Berechnung der aus heimischem Einschlag stammenden Produktanteile wurde in einem zweiten Schritt (vgl. Kap. 2.8.1.2, IPCC et al. (2014a)), der in den Produkten enthaltene Kohlenstoff entsprechend der in Kapitel 6.10.2.1 beschriebenen Vorgehensweise den Kyoto-Aktivitäten zu Wald unter Artikel 3, Paragraphen 3 und 4 zugeordnet. Für Deutschland lässt sich der Holzeinschlag den beiden Aktivitäten Waldbewirtschaftung (forest management), und Entwaldung (deforestation) zuordnen. Holzprodukte aus Entwaldung werden gemäß der Vorgaben der IPCC KP Supplements (IPCC et al., 2014a) auf Basis einer sofortigen Emission berücksichtigt, so dass sich als Ergebnis der für Deutschland verfügbaren Inventurinformationen und der Gleichung 2.8.3 (IPCC et al., 2014a) die jährlichen Holzeinschlagsanteile aus der Aktivität Waldbewirtschaftung fFM(i) berechnen.

Weitere Informationen und Angaben zu den verwendeten Emissionsfaktoren und der für Deutschland durchgeführten Berechnung gemäß der Vorgaben des IPCC KP Supplement (IPCC et al., 2014a) finden sich in den Kapiteln 6.10.2.2 und 6.10.2.3.

Gemäß Paragraph 2(g) (Ziffern iii und iv) des Anhangs II des Beschlusses 2/CMP.8 wird zudem festgestellt, dass der Beitrag der Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten in der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls in Übereinstimmung mit dem IPCC 2003 GPG (IPCC 2003) auf Basis der Annahme einer sofortigen Emission ("instantaneous oxidation") berücksichtigt und somit weder gemeldet noch angerechnet wurde (siehe hierzu die Ausführungen in Kapitel 2.8.2, IPCC 2014).

Ein Beitrag von Holzprodukten zu den Emissionen nach Quellen und Einbindungen nach Senken von Treibhausgasen vor Beginn der zweiten Verpflichtungsperiode wurde daher nicht berücksichtigt. Der jährliche Anfangswert des Kohlenstoffspeichers wurde erstmals für das Berichtsjahr 2013 gemäß der IPCC Richtlinien mit Gleichung 2.8.6 mit $t_0 = 1990$ (siehe Kapitel 6.10.2.3) gemäß Kapitel 2.8.3 des KP-Supplement (IPCC 2014) berechnet.

11.6 Weitere Informationen

11.6.1 Hauptkategorienanalyse für Aktivitäten nach Artikel 3.3 und die gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4

Die Hauptkategorienanalyse wurde im Zusammenhang mit der Analyse für das UNFCCC-Inventar auch für die Aktivitäten nach Artikel 3.3 und die gewählten Aktivitäten nach Artikel 3.4 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in tabellarischer Form im Kapitel 1.5.2 dieses Berichts zusammengestellt. Die angewendeten Verfahren, Grundlagen und Methoden hierfür sind dort beschrieben.

11.6.2 Bewirtschaftete Feuchtgebiete gemäß (EU)2018/841

Die Meldung nachstehender Daten (Tabelle 542) erfolgt im Rahmen der Berichterstattung über bewirtschaftete Feuchtgebiete gemäß der EU-Verordnung (EU) 2018/841 und erfolgt nach Artikel 7, Absatz 4.

Tabelle 542 zeigt für 2019 insgesamt eine Abnahme der Emissionen gegenüber dem Referenzzeitraum, da der Anstieg der Emissionen in der Übergangskategorie „von bewirtschafteten Feuchtgebieten“ deutlich überkompensiert wird vom Rückgang der Emissionen in der Subkategorie „Bewirtschaftete Feuchtgebiete“ als auch „zu bewirtschafteten Feuchtgebieten“.

Tabelle 542: CO₂-, N₂O- und CH₄-Emissionen [kt CO₂-Eq.] infolge der Feuchtgebietenbewirtschaftung 2019, zusammengestellt gemäß (EU) 2018/841, Art. 7, Abs. 4

Bewirtschaftete Feuchtgebiete (Verbleibkategorie)					
Pool	THG	Einheit	Referenzzeitraum	Berichtsjahr	Saldo
			2005-2009 (1)	2019 (2)	(2) - (1)
Mineralischer Boden	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	-0,13	-0,38	-0,25
Organischer Boden	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	1.395,96	1.389,75	-6,20
Organischer Boden	CH ₄	kt CO ₂ -Eq.	323,30	317,37	-5,93
Organischer Boden	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	31,12	28,75	-2,37
Oberirdische Biomasse	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	-0,18	-19,78	-19,60
Unterirdische Biomasse	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	-0,07	-8,12	-8,05
SOM Mineralboden indirekt	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	0,00	0,00	0,00
SOM Mineralboden direkt	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	0,00	0,00	0,00
Torf off-site	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	2.181,94	2.097,22	-84,71
Σ	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	3.577,65	3.459,08	-118,57
Σ	CH ₄	kt CO ₂ -Eq.	323,30	317,37	-5,93
Σ	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	31,12	28,75	-2,37
total	Σ	kt CO₂-Eq.	3.932,06	3.805,20	-126,86
zu bewirtschafteten Feuchtgebieten					
Pool	THG	Einheit	2005-2009 (1)	2019 (2)	(2) - (1)
Mineralischer Boden	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	-2,60	-2,66	-0,06
Organischer Boden	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	189,73	168,74	-20,99
Organischer Boden	CH ₄	kt CO ₂ -Eq.	27,12	50,16	23,04
Organischer Boden	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	2,79	3,25	0,46
Oberirdische Biomasse	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	100,29	33,46	-66,83
Unterirdische Biomasse	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	35,22	12,33	-22,88
SOM Mineralboden indirekt	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	0,00	0,00	0,00
SOM Mineralboden direkt	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	0,00	0,00	0,00
Σ	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	322,63	211,87	-110,76
Σ	CH ₄	kt CO ₂ -Eq.	27,12	50,16	23,03
Σ	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	2,79	3,25	0,46
total	Σ	kt CO₂-Eq.	352,54	265,28	-87,26
von bewirtschafteten Feuchtgebieten					
Pool	THG	Einheit	2005-2009 (1)	2019 (2)	(2) - (1)
Mineralischer Boden	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	0,49	0,79	0,30
Organischer Boden	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	14,11	25,04	10,92
Organischer Boden	CH ₄	kt CO ₂ -Eq.	2,02	3,86	1,84
Organischer Boden	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	0,72	1,34	0,62
Oberirdische Biomasse	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	-33,93	-15,89	18,04
Unterirdische Biomasse	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	-12,48	-5,55	6,94
SOM Mineralboden indirekt	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	0,01	0,02	0,01
SOM Mineralboden direkt	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	0,05	0,08	0,03
Σ	CO ₂	kt CO ₂ -Eq.	-31,81	4,39	10,92
Σ	CH ₄	kt CO ₂ -Eq.	2,02	3,86	1,84
Σ	N ₂ O	kt CO ₂ -Eq.	0,78	1,44	0,66
total	Σ	kt CO₂-Eq.	-29,01	9,69	38,69

11.7 Informationen zu Artikel 6 (JI- & CDM-Projekte / Management der ERU)

Es können gemäß Paragraph 5, Absatz 1, Satz 1 des Projekt-Mechanismen-Gesetzes¹⁶⁴ (ProMechG) keine Projekte im Bereich LULUCF genehmigt werden, die in Deutschland stattfinden sollen.

Die Unzulässigkeit ergibt sich aus § 5 in Verbindung mit dem Begriff der Emissionsminderung gemäß § 2 Nr. 5 ProMechG: als Emissionsminderung ist definiert „die Minderung der Emission aus Quellen, nicht hingegen die Verstärkung des Abbaus von Treibhausgasen durch Senken in den Bereichen Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft. Des Weiteren steht JI-Projekten im Wege, dass die Anwendung von JI in Deutschland Ende 2012 endete, vgl. § 5 Abs. 3 ProMechG.

12 Informationen zur Buchführung der Kyoto-Einheiten

12.1 Background information

Chapter 12 and 14 include information on the German emission trading registry. The accounting on Kyoto units and the public availability of information is described in chapter 12. Any significant changes in the national registry are reported in chapter 14.

12.2 Summary of information reported in the SEF tables

According to decision 15/CMP.1, annex, part 1, section E each Party must include information on its aggregate holdings and transactions of Kyoto units in its annual report. The information has to be reported in the Standard Electronic Format (SEF), which is an agreed format, embodied in a special report, for reporting on Kyoto units.

The SEF for 2020 was generated on 11 January 2020 with the Union registry software in version 12.4.1 r.16852, provided by the EU commission on 21.12.2020 and the SEF application version 3.8.3, provided by the secretariat on 26.1.2018. The German SEF for 2020 contains the information required in paragraph 11 of the annex to decision 15/CMP.1 and adhere to the guidelines of the SEF. The SEF has been submitted to the UNFCCC Secretariat electronically.

12.3 Discrepancies and Notifications

15/CMP.1 annex I.E paragraph 12 List of discrepant transactions	No discrepant transactions occurred in 2020.
15/CMP.1 annex I.E paragraph 13 and 14 List of CDM notifications	No CDM notifications occurred in 2020.
15/CMP.1 annex I.E paragraph 15 List of non-replacements	No non-replacements occurred in 2020.
15/CMP.1 annex I.E paragraph 16 List of invalid units	No invalid units exist as at 31 December 2020.
15/CMP.1 annex I.E paragraph 17 Actions and changes to address discrepancies	No actions were taken or changes made to address discrepancies for the period under review.

¹⁶⁴ProMechG http://www.gesetze-im-internet.de/promechg/_5.html

12.4 Publicly accessible information

<p>13/CMP.1 annex II paragraph 45 Account information</p>	<p>The requested information is publicly available for all accounts. The data of all accounts can be viewed online at: https://unionregistry.ec.europa.eu/euregistry/DE/public/reports/publicReports.xhtml Representative name and contact information is classified as confidential due to Article 107 Registry Regulation No. 389/2013.</p>														
<p>13/CMP.1 annex II paragraph 46 Joint implementation project information</p>	<p>The complete documentation of the JI projects is presented in the German JI project database which is accessible at the following URL. The database also contains already registered but not yet approved JI projects. https://jicdm.dehst.de/promechg/pages/project1.aspx A complete list of ERU issuance years is available at: https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/EN/project-mechanisms/ERU_table.pdf In 2020, no ERU were converted from AAU and no ERU converted from RMU were issued.</p>														
<p>13/CMP.1 annex II paragraph 47 Unit holding and transaction information</p>	<p>The information requested in (a), (d), (f) and (l) is classified as confidential due to Article 107 Registry Regulation No. 389/2013 as well as national data protection law and therefore not publicly available. Transactions of units within the most recent five year period are also classified as confidential, therefore the transactions provided are only those completed more than five years in the past. The information requested in (b), (c), (e), (g), (h), (i), (j) and (k) is publicly available at https://unionregistry.ec.europa.eu/euregistry/DE/public/reports/publicReports.xhtml.</p>														
<p>13/CMP.1 annex II paragraph 48 Authorized legal entities information</p>	<p>The following legal entities are authorized by the Member State to hold Kyoto units:</p> <table border="1" data-bbox="579 1102 1418 1397"> <thead> <tr> <th></th> <th>Legal entities authorised by Germany to hold units</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AAU</td> <td>Federal Government only</td> </tr> <tr> <td>ERU</td> <td>Each account holder</td> </tr> <tr> <td>CER</td> <td>Each account holder</td> </tr> <tr> <td>RMU</td> <td>Federal Government only</td> </tr> <tr> <td>tCER</td> <td>Federal Government only</td> </tr> <tr> <td>ICER</td> <td>Federal Government only</td> </tr> </tbody> </table>		Legal entities authorised by Germany to hold units	AAU	Federal Government only	ERU	Each account holder	CER	Each account holder	RMU	Federal Government only	tCER	Federal Government only	ICER	Federal Government only
	Legal entities authorised by Germany to hold units														
AAU	Federal Government only														
ERU	Each account holder														
CER	Each account holder														
RMU	Federal Government only														
tCER	Federal Government only														
ICER	Federal Government only														

12.5 Calculation of the Commitment Period Reserve

Germany's Commitment Period Reserve (CPR) is calculated as 90 percent of Germany's assigned amount (3,592,699,888 tonnes CO₂ equivalent) calculated pursuant to Article 3 paragraphs 7 and 8 of the Kyoto Protocol. The initial CPR of the current commitment period did not change and is still 3,233,429,899 tonnes CO₂ equivalent (or AAU).

In accordance to Article 4 paragraph 4 Registry Regulation No. 389/2013 the Union registry has to prepare for keeping the CPR. If a transfer proposal would result in an infringement of the CPR, the registry should reject it internally.

The German registry did not violate the CPR during the reported year.

13 Informationen über Änderungen im nationalen Systems

Nach dem In-Country Review 2016 kann die institutionelle Konsolidierung des Nationalen Systems gemäß der Erfordernisse für die 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto Protokolls aus den Revised UNFCCC Reporting Guidelines und der 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse

Gas Inventories als abgeschlossen gelten. Der Schwerpunkt im vorliegenden Berichtszeitraum lag daher auf der Sicherung der vorhandenen Datenströme.

Nachdem im Juli 2018 die Wirtschaftsvereinigung Stahl der Nationalen Koordinierungsstelle mitteilte, dass die keine Daten für 2017 auf Basis der geschlossenen Kooperationsvereinbarung zur Verfügung gestellt werden können, folgten Aktivitäten der Nationalen Koordinierungsstelle und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie zur Wiederherstellung des Datenströms.

Im Frühsommer 2019 stellte die Wirtschaftsvereinigung Stahl der Nationalen Koordinierungsstelle wieder Daten für die Jahre 2017 und 2018 zur Verfügung. Damit könnte die Datenlücke in den Quellgruppen 1.A.2 und 2.C.1 aus dem Vorjahr geschlossen werden. Weitere Änderungen in der Institutionalisierung des Nationalen Systems wurden in 2019 und 2020 nicht durchgeführt.

14 Informationen zu Änderungen in den Nationalen Registern

The following changes to the national registry of Germany have occurred in 2020. Note that the 2020 SIAR confirms that previous recommendations have been implemented and included in the annual report.

<p>15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(a) Change of name or contact</p>	<p>No change in the name or digital contact information of the registry administrator occurred during the reported period. Due to the relocation of the agency's offices in April of 2020 the physical address changed to: Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) City Campus, Eingang 3A Buchholzweg 8 13627 Berlin</p>
<p>15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(b) Change regarding cooperation arrangement</p>	<p>No change of cooperation arrangement occurred during the reported period.</p>
<p>15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(c) Change to database structure or the capacity of national registry</p>	<p>There has been a new EUCR release (version 11.5) after version 8.2.2 (the production version at the time of the last Chapter 14 submission). Due to the new release, some changes were applied to the database. The updated database model is provided in Annex A. No change was required to the application backup plan or to the disaster recovery plan. No change to the capacity of the national registry occurred during the reported period.</p>
<p>15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(d) Change regarding conformance to technical standards</p>	<p>The changes that have been introduced with version 11.5 compared with version 8.2.2 of the national registry are presented in Annex B. It is to be noted that each release of the registry is subject to both regression testing and tests related to new functionality. These tests also include thorough testing against the DES and are carried out prior to the relevant major release of the version to Production (see Annex B). No other change in the registry's conformance to the technical standards occurred for the reported period.</p>
<p>15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(e) Change to discrepancies procedures</p>	<p>No change of discrepancies procedures occurred during the reported period.</p>
<p>15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(f) Change regarding security</p>	<p>No changes regarding security occurred during the reported period.</p>

15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(g) Change to list of publicly available information	No change to the list of publicly available information occurred during the reporting period.
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(h) Change of Internet address	No change to the registry internet address during the reported period.
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(i) Change regarding data integrity measures	No change of data integrity measures occurred during the reporting period.
15/CMP.1 annex II.E paragraph 32.(j) Change regarding test results	No change during the reported period.
1/CMP.8 paragraph 23 PPSR account	The PPSR account has been opened on 6.10.2020 in the Union Registry.
Annual Review report Previous Expert Review Team recommendations	The last available report (FCCC/ARR/2018/DEU published 9.4.2019) does not contain recommendations related to the national registry.

15 Informationen zur Minimierung der negativen Einflüsse nach Artikel 3, Absatz 14

Von den meisten Maßnahmen in Deutschland werden keine direkten Auswirkungen auf Entwicklungsländern erwartet; in den übrigen Fällen werden die erwarteten Auswirkungen durchweg positiv eingeschätzt, beispielsweise durch Aufbau von technischen und Verwaltungsstrukturen für den Klimaschutz.

Auch die möglichen indirekten Effekte sind fast durchweg positiv, insbesondere durch vorteilhafte Auswirkungen auf die Energieversorgung und –preise in den Kooperationsländern. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Maßnahmen erfolgte im NIR 2016. Diese bezogen sich u.a. auf die Förderung von Biotreibstoffen, den Abbau von Steinkohlesubventionen, Politiken und Maßnahmen auf EU-Ebene, insbesondere EU-Emissionshandel und die Unterstützung von Entwicklungsländern bei der Diversifizierung ihrer Energieversorgung. Gegenüber diesen berichteten Maßnahmen haben sich aktuell keine Veränderungen ergeben.

16 Weitere Informationen

Dieses Kapitel wird derzeit nicht benötigt.

17 Anhang 1: Hauptkategorien des deutschen Treibhausgasinventars

Entsprechend der *2006 IPCC Guidelines* sind die Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention und des Kyoto-Protokolls verpflichtet, jährlich Emissionsdaten zu berechnen und zu veröffentlichen.

Diese Emissionsinventare müssen für jeden nachvollziehbar sein (Transparenz), in der Zeitreihe seit 1990 vergleichbar berechnet sein (Konsistenz), durch Anwendung der vorgeschriebenen Berechnungsmethoden international einheitlich bewertet sein (Vergleichbarkeit), alle im Berichtsland relevanten Emissionsquellen und –senken beinhalten (Vollständigkeit) und mit einer Fehlerangabe bewertet sein sowie einem permanentem internen und externen Qualitätsmanagement unterliegen (Genauigkeit).

Um die hierfür notwendigen, vielfältigen und detaillierten Aktivitäten und Ressourcen auf die wesentlichen Kategorien der Inventare konzentrieren zu können, wurde durch den IPCC die Definition einer Hauptkategorie (engl.: Key Source) eingeführt. Als solche werden Kategorien bezeichnet, die im nationalen Inventarsystem herausgehoben sind, da ihre Emissionen einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtemission der direkten Treibhausgase haben, entweder in der absoluten Höhe der Emissionen, im Beitrag zum zeitlichen Emissionstrend oder beides.

In den *2006 IPCC Guidelines* sind hierzu im Kapitel 4 die für die Bestimmung der Hauptkategorien anzuwendenden Methoden festgelegt. Diese ermöglichen es, durch die Analyse des Inventars für ein Jahr (Methode 1 Level Assessment), die Analyse einer Zeitreihe der Inventarangaben (Methode 1 Trend Assessment), einer detaillierten Analyse der fehlerbewerteten Inventarangaben (Methode 2 Trend Assessment unter Berücksichtigung der Ungenauigkeiten), sowie einer Bewertung qualitativer Kriterien (entsprechend Kapitel 4.3.3 der *2006 IPCC GL*, Vol. 4, Ch. 1) jeweils die Hauptkategorien zu identifizieren

Die Analysen nach Methode 1 sind dabei immer nach zwei Verfahren durchzuführen. In einem ersten Durchlauf werden lediglich die Emissionen – die Einbindungen in Senken bleiben hier unberücksichtigt – aus Quellen bewertet. In einem zusätzlichen Durchlauf wird dann auch der Betrag (ohne Berücksichtigung des Vorzeichens) der Emissionseinbindung in den Senken mit einbezogen. Beide Ergebnisse differieren dann erwartungsgemäß. Entsprechend den *2006 IPCC GL* sind beide Ergebnisse bei der Festlegung der Hauptkategorien zu berücksichtigen.

Für die identifizierten Hauptkategorien besteht dann die Verpflichtung, für die Emissionen sehr detaillierte Berechnungsmethoden (Methode 2 oder höher), die ebenfalls in den *2006 IPCC GL* vorgegeben sind, anzuwenden. Sollte deren direkte Anwendung aus den verschiedensten Gründen (z.B. die Datenverfügbarkeit für die benötigten Eingangsgrößen o.ä.) nicht möglich sein, besteht die Verpflichtung, nachzuweisen, dass durch die national angewendeten Methoden mindestens eine vergleichbare Genauigkeit im Berechnungsergebnis erreicht wird. Diese Nachweise sowie auch die insgesamt durchgeführte Hauptkategorienanalyse sind in dem jährlich zu erarbeitenden nationalen Inventarbericht zu beschreiben.

17.1 Beschreibung der Methoden zur Festlegung der Hauptkategorien

In Tabelle 6, Kapitel 1.5 werden die Ergebnisse der Hauptkategorienanalyse nach den beiden Methode-1-Verfahren (Level und Trend), dem Methode-2-Verfahren und der Bewertung qualitativer Kriterien vorgestellt. Auf die Beschreibung der zugrunde gelegten Methoden in den *2006 IPCC GL* (IPCC (2006): Vol. 1) wird verwiesen.

17.1.1 Methode-1-Verfahren

Im Ergebnis der **Level-Analyse** werden die Kategorien als Hauptkategorien (●) festgelegt, die im Basisjahr des Kyoto-Protokolls, bzw. im aktuellen Jahr von der Menge der freigesetzten Emissionen 95 % der nationalen Gesamtemission (als CO₂-Äquivalentemission) verursachen. Die Berechnung erfolgte unter Anwendung der Formel 4.1 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 1).

Im Ergebnis der **Trend-Analyse** werden die Kategorien als Hauptkategorien (●) festgelegt, die hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung ihres Emissionsbeitrages seit dem Basisjahr zur Änderung der Gesamttreibhausgasemissionen des neuesten Jahres besonders beigetragen haben. Es spielt hierbei keine Rolle, ob durch diese Änderung eine Minderung oder Steigerung der Emissionen der Gesamtemissionen erfolgt ist. Die Berechnung erfolgte unter Anwendung der Formel 4.2 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 1).

17.1.2 Methode-2-Verfahren

Die Hauptkategorienanalyse nach dem Methode-2-Ansatz beruht auf den Ergebnissen der aktuellen Unsicherheitenbestimmung nach Methode 1. Die Ergebnisse bestätigten in weiten Teilen die Ergebnisse der Methode-1-Hauptkategorien-Analysen. Hinzu kommen jedoch die in Tabelle 8, Kapitel 1.5.1 genannten Kategorien.

17.1.3 Bewertung qualitativer Kriterien

Deutschland führt eine Bewertung der Hauptkategorien durch die Anwendung qualitativer Kriterien durch. Die anzuwendenden Kriterien sind in Kapitel 4.3.3 der 2006 IPCC Guidelines (IPCC (2006): Vol. 1) empfohlen und schließen eine Bewertung aufgrund des Einsatzes von Minderungstechniken, der Erwartung einer überproportionalen Zunahme der Emissionen, einer hohen Unsicherheit oder unerwartet niedriger oder hoher Emissionen einer Kategorie ein. Auf Grund dieser Kriterien können zusätzliche Kategorien als eine Hauptkategorie festgelegt werden.

In der Adipinsäureproduktion (2.B.3) wurde eine redundante Abgasbehandlungsanlage installiert. Aufgrund dessen wird es nach qualitativen Kriterien als Hauptkategorie eingestuft. 2.B.3 ist aber bereits nach Methode 1 Level und Trend eine Hauptkategorie. Unter 2.G.2 werden SF₆-Emissionen aus Schallschutzscheiben berichtet. Noch ist der Trend nicht zu erkennen, aber aufgrund der zunehmenden Entsorgung dieser Scheiben ist mit stark steigenden SF₆-Emissionen in den kommenden Jahren zu rechnen. Deshalb ist es bereits nach den qualitativen Kriterien eine Hauptkategorie. Dies führt zu keiner Änderung da bereits 2G für SF₆ nach Methode 1 Level und Trend eine Hauptkategorie ist. Eine qualitative Wertung aufgrund hoher Unsicherheiten ist nicht erforderlich, da Deutschland eine Methode 2 Hauptkategorienanalyse für das gesamte Inventar jedes Jahr durchführt. Im Inventar fielen keine unerwartet niedrigen oder hohen Emissionen auf.

Durch die Anwendung qualitativer Kriterien werden in Deutschland keine zusätzlichen Hauptkategorien identifiziert.

Deutschland wendet alle empfohlenen Verfahren für die Ermittlung bzw. Bewertung der Quellkategorien an. Die IPCC-Guidelines schreiben vor dass 95% der Emissionen aus Quellen bzw. Einbindungen in Senken als Hauptkategorien festgelegt werden müssen. Da die Festlegung der Hauptkategorien in Deutschland durch die Kombination der Ergebnisse aller Analysenverfahren und Bewertungen erfolgt, werden insgesamt die verursachenden Aktivitäten für ca. 98 % des Inventars als Hauptkategorien identifiziert.

17.1.4 Hauptkategorien-Analyse für die Kyoto-Berichterstattung

Die folgende CRF-Tabelle NIR.3 enthält die zusammengefassten Informationen zur Hauptkategorien-Analyse der Kyoto-Berichterstattung.

Tabelle 543: KP CRF Table NIR.3: Summary Overview for Key Categories for Land Use, Land-Use Change and Forestry Activities under the Kyoto Protocol

KEY CATEGORIES OF EMISSIONS AND REMOVALS	Gas	CRITERIA USED FOR KEY CATEGORY IDENTIFICATION			Comments ⁽⁴⁾
		Associated category in UNFCCC inventory ⁽¹⁾ is key (indicate which category)	Category contribution is greater than the smallest category considered key in the UNFCCC inventory ⁽²⁾ (including LULUCF)	Other ⁽³⁾	
Specify key categories according to the national level of disaggregation used⁽¹⁾					
Afforestation and Reforestation					
CO ₂	CO ₂	Land converted to forest land	Yes	High expected growth.	The value is very close to the value in the smallest category considered key in the UNFCCC inventory. The value has increased about tenfold since 1990.
Deforestation					
CO ₂	CO ₂	Land converted to cropland	Yes	None	No comment
Forest Management					
CO ₂	CO ₂	Forest land remaining forest land	Yes	None	No comment
Cropland Management					
CO ₂	CO ₂	Cropland remaining cropland, Land converted to cropland	Yes	None	No comment
Grazing Land Management					
CO ₂	CO ₂	Grassland remaining grassland	Yes	None	No comment

⁽¹⁾ See section 2.3.6 of the 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol.

⁽²⁾ If the emissions or removals of the category exceed the emissions of the smallest category identified as key in the UNFCCC inventory (including LULUCF), Parties should indicate YES. If not, Parties should indicate NO.

⁽³⁾ This should include qualitative assessment as per section 4.3.3 of the 2006 IPCC Guidelines or any other criteria.

⁽⁴⁾ Indicate the criteria (level, trend of both) identifying the category as key.

18 Anhang 2: Detaillierte Erläuterung der Methoden und Daten zur Berechnung von CO₂ Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen

18.1 Die Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland

Basis für die Ermittlung energiebedingter Emissionen ist die Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland, die von der AG Energiebilanzen (AGEB) im Auftrag des BMWi erstellt wird. Die wichtigste Datenquelle für die Energiebilanz ist das *Statistische Bundesamt*. *Daten zu den erneuerbaren Energieträger werden von der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) ermittelt*. Schließlich ergänzen Daten der Verbände der deutschen Energiewirtschaft und Forschungsinstitute die o.g. Datenquellen. Daneben werden in der Bundesrepublik Deutschland von zahlreichen anderen Stellen energiestatistische Daten veröffentlicht, die zum Teil eine unterschiedliche Darstellung, Abgrenzung bzw. Methodik und Aggregation aufweisen.

Die vollständigen Energiebilanzen für die Jahre ab 1990 werden im Internet bereitgestellt unter:

http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=7&clang=0

Auf der Internetseite der AGEB ist in deutscher und englischer Sprache auch ein Vorwort zu den Energiebilanzen veröffentlicht, in dem Erläuterungen zur Struktur der Energiebilanz gegeben werden.

Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen sind (Stand: August 2019):

- Bundesverband der deutschen Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), Berlin,
- Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e.V. (DEBRIV), Köln,
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin),
- EEFA GmbH, Münster,
- Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln (EWI), Köln,
- Mineralölwirtschaftsverband (MWV), Berlin,
- Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI), Essen,
- Verein der Kohlenimporteure e.V., Hamburg,
- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart.

Die Arbeit der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen wird außerdem unterstützt durch den Gesamtverband Steinkohle (GVSt), den Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (AGFW) sowie den Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (VIK). Die Gesamtverantwortung für die Erstellung der Energiebilanzen obliegt seit dem Bilanzjahr 1994 dem DIW Berlin, seit 2002 in Kooperation mit EEFA (Energy Environment Forecast Analysis GmbH).

Die wichtigste Quelle ist die amtliche Statistik. Die verwendeten Erhebungen vom Statistischen Bundesamt sind in der Tabelle 546: Zur Erstellung der Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland verwendeten Erhebungen des StBA

aufgelistet. In die endgültige Energiebilanz fließen weiterhin Daten der Verbände BDEW und Deutsches Atomforum ein, sowie Daten des Gesamtverbands Steinkohle (GVSt), des Deutschen Braunkohlen-Industrie-Vereins (DEBRIV), des Mineralölwirtschaftsverbands (MWV).

Hinzu kommen in einer Reihe von Fällen, z.B. zur Darstellung des nichtenergetischen Verbrauchs seitens der chemischen Industrie, persönliche Expertenmitteilungen.

Ferner wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie festgelegt, dass im Zusammenhang mit der erneuten Beauftragung der AGEB zur Erstellung der Energiebilanzen, beginnend mit dem Bilanzjahr 2018, die von der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) unter Federführung des Umweltbundesamtes erarbeiteten energiebilanzrelevanten Daten für die erneuerbaren Energien (ggf. unter Berücksichtigung spezifischer methodischer Anforderungen an die Belange einer sachgerechten Energiebilanzierung) unmittelbar für die Energiebilanzen durch die AGEB übernommen werden. Dies schließt auch vorläufige Daten zu erneuerbaren Energieträgern mit ein, die in die Schätzbilanz und in die Auswertungstabellen einfließen.

18.2 Aufbau der Energiebilanzen

Die Energiebilanzen bieten in Form einer Matrix eine Übersicht der energiewirtschaftlichen Verflechtungen. Sie erlauben damit nicht nur Aussagen über den Verbrauch von Energieträgern in den einzelnen Quellgruppen, sondern geben ebenso Auskunft über ihren Fluss von der Erzeugung bis zur Verwendung in den unterschiedlichen Erzeugungs-, Umwandlungs- und Verbrauchsbereichen. In der **Aufkommensbilanz** werden:

- die Gewinnung im Inland,
- die Einfuhr,
- die Bestandsentnahmen,
- die Ausfuhr,
- die Hochseebunkerung,
- die Bestandsaufstockungen

von Energieträgern dargestellt und zum **Primärenergieverbrauch** zusammen gefasst. Die Primärenergiebilanz ist Grundlage für die Berechnungen des IPCC-Referenzverfahrens (Plinke & Schonert, 2000). Maßgebend für die Emissionsinventarerstellung ist die **Verwendungsbilanz**. Auch über die Verwendungsbilanz lässt sich der Primärenergieverbrauch ermitteln. Sie umfasst:

- die Umwandlungsbilanz
- die Fackel- und Leitungsverluste
- den Nichtenergetischen Verbrauch und
- den Endenergieverbrauch.

Unterschiede zwischen Aufkommens- und Verwendungsbilanz werden durch die Position „Statistische Differenzen“ ausgeglichen.

Die **Umwandlungsbilanz** als Bestandteil der Verwendungsbilanz gibt an, welche Energieträger in andere „sekundäre“ Energieträger umgewandelt werden. Der Umwandlungsausstoß zeigt das Ergebnis dieser Umwandlung. Die Umwandlung von Energie kann stofflicher Natur sein, z. B. die Umwandlung von Rohöl (Umwandlungseinsatz) in Mineralölprodukte (Umwandlungsausstoß) oder energetischer Natur, z. B. durch die Verbrennung von Steinkohlen (Umwandlungseinsatz) in Kraftwerken zur Erzeugung elektrischer Energie (Umwandlungsausstoß). Der Energieverbrauch im Umwandlungsbereich weist aus, wieviel Energie zum Betrieb der Umwandlungsanlagen benötigt wurde (Eigenverbrauch des Umwandlungsbereichs). Die Umwandlungsbilanz wird nach 12 Sektoren differenziert.

Der **Nichtenergetische Verbrauch** als Bestandteil der Verwendungsbilanz wird ohne Zuordnung zu Wirtschaftszweigen insgesamt ausgewiesen. Daten zum nichtenergetischen Verbrauch werden dem UBA im Rahmen einer Zusatztabelle zur Energiebilanz Deutschland aufgedgliedert nach Wirtschaftszweigen regelmäßig zur Verfügung gestellt. Er beschreibt, welche Energieträger

als Rohstoffe eingesetzt werden (z. B. in der Chemischen Industrie Umwandlung von Energieträgern in Kunststoffe).

Die Darstellung des Endenergieverbrauchs (nach Energieträgern u. sektoren) zeigt, in welchem Umfang Energie in den Endverbrauchersektoren in die letztlich benötigte Energie (z. B. Kraft, Licht, Raum- und Prozesswärme) umgewandelt wird (**Endenergieverbrauch**). Diese Aufgliederung umfasst die Industrie, unterteilt in 14 Wirtschaftszweige, den Verkehr, die Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher (inklusive Landwirtschaft).

Der Energiefluss in den Energiebilanzen ist dargestellt für 30 Energieträger. Diese Energieträger können den folgenden Hauptgruppen zugeordnet werden:

- Steinkohlen,
 - Braunkohlen,
 - Mineralöl (einschließlich Flüssiggas und Raffineriegas),
 - Gase (Kokerei- u. Gichtgas, Erdgas, Grubengas, ohne Deponie- u. die o.g. Gase),
 - Erneuerbare Energien (einschließlich erneuerbare Abfälle, ab 2013 auch Klärschlamm),
 - Sonstige Energieträger (nichterneuerbare Abfälle, Abwärme)
 - Elektrischer Strom und andere Energieträger.
- Gesamtdeutsche Energiebilanzen liegen für die Jahre ab 1990 vor (AGEB, 2003).

Ab dem Jahr 2000 wurde die Energieträgerstruktur im Bereich Erneuerbare Energien / Müll geändert: Wasser- und Windkraft incl. PV wurden zusammengefasst und Müll/Biomasse wurde in erneuerbare und nicht erneuerbare Anteile aufgesplittet. Seit dem Jahr 2003 werden in der Energiebilanz nichterneuerbare Abfälle und Abwärme auch im Endenergieverbrauch verbucht.

In der Energiebilanz werden die Energieträger in *natürlichen Einheiten* wie Tonnen (t) für feste und flüssige Brennstoffe, Kubikmeter (m³) für Gase (außer Erdgas), Kilowattstunden (kWh) für elektrische Energie und Erdgas, Joule (J) für Abfälle, Erneuerbare Energien, Kernenergie und Fernwärme angegeben. Um die Angaben vergleichbar und additionsfähig zu machen, werden alle Werte über geeignete Umrechnungsfaktoren in die Einheit Joule (J) umgerechnet. Anders als in Gasstatistiken werden in der Energiebilanz sämtliche Gase auf den Heizwert H_i (und nicht den Brennwert, H_s) bezogen.

Gegenwärtig sind die Energiebilanzen bis 2018 veröffentlicht. Um den Bedürfnissen der Emissionsberichterstattung nach Aktualität Rechnung zu tragen, wird dem UBA von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen jährlich Ende Juni eine jeweils aktualisierte, vollständige vorläufige Energiebilanz für das Jahr x-1 für die Inventarerstellung zur Verfügung gestellt.

18.3 Methodische Aspekte: Energiebedingte Aktivitätsraten

Die im UBA erstellten Inventare für Luftschadstoffe und Treibhausgase bauen auf den von der AG Energiebilanzen erstellten Energiebilanzen für Deutschland auf. Dabei lassen sich die zur Emissionsberechnung benötigten Daten direkt aus den Energiebilanzzeilen 11, 12, 15, 16, 40, 60 sowie 65 und 68 ablesen. Für Erdgas und Heizöl leicht wird auch EBZ 14 zur Berechnung herangezogen.

Um den speziellen Anforderungen für die Emissionsberechnung gerecht zu werden und die Vollständigkeit der Daten zu gewährleisten, muss in einigen wenigen Fällen von der oben genannten Systematik abgewichen und es müssen weitere Daten ergänzt werden:

- Der emissionsrelevante Brennstoffeinsatz zur Braunkohlentrocknung muss aus der EBZ 10 herausgerechnet werden. Die genaue Beschreibung der Kategorie 1.A.1.c erfolgt im Kapitel 3.2.8.2.
- Der Erdgaseinsatz in den Kompressoren konnte für die Jahre 1995-2002 direkt aus der Energiebilanz (EBZ 33) entnommen werden. Für die Jahre 1990-1994 sowie ab dem Jahr 2003 müssen die Werte außerhalb der Energiebilanz berechnet werden. Die Beschreibung der Methode erfolgt im Kapitel zur Kategorie 1.A.3.e.
- Da die verbrannten Abfallmengen in der Energiebilanz aus systematischen Gründen bzw. unter dem Fokus der Energieerzeugung nicht über alle Jahre vollständig erfasst werden, muss auch in diesem Fall mit Hilfe der Abfallstatistik ergänzt werden. Erläuterungen dazu sind im Kapitel Kategorie 1.A.1.a sowie im Kapitel zur Kategorie 1.A.2.g Sonstige (stationär) vorhanden.
- Der Brennholzeinsatz in den Kategorien Gewerbe, Handel, Dienstleistungen wird in der Energiebilanz bis 2012 nicht ausgewiesen und muss ergänzt werden. Die Beschreibung erfolgt im Kapitel zur Kategorie 1.A.4.

Der Reduktionsmitteleinsatz zur Herstellung von Roheisen wird in der Energiebilanz z.T. als energetischer Verbrauch in der EBZ 54 und z.T. als Umwandlungseinsatz in EBZ 17 (Gichtgasäquivalent) ausgewiesen. Der Einsatz des dabei entstehenden Gichtgases zur Energieerzeugung wird in den entsprechenden Energiebilanzzeilen 11, 12, 15, 33 und 54 verbucht. Um Doppelzählungen zu vermeiden werden die in der EBZ 54 verbuchten Reduktionsmitteleinsätze aus dem Hochofen sowie das Gichtgasäquivalent nicht mit berichtet.

18.4 Unsicherheiten, Zeitreihenkonsistenz und Qualitätssicherung der Energiebilanz

Mit Einführung des Energiestatistikgesetzes im Jahr 2003 hatte sich die Datengrundlage relativ verbessert, aufgrund der Dynamik im Energiesektor wurde aber schon bald eine Novellierung des Energiestatistikgesetzes erforderlich. Mit der Novelle des Energiestatistikgesetz vom 6. März 2017 (BGBl. I S. 392) werden Verbesserungen in der statistischen Abdeckung und Aktualisierungen der Erhebungskreise vorgenommen, sowie neue Merkmale erfasst. Auch die Periodizität hat sich teilweise zugunsten der monatlichen Erhebung verschoben. Die erstmalige Erhebung erfolgt für das Erhebungsjahr 2018.

Kontinuierlich erfolgen Anpassungen im Datengerüst der Energiebilanz um bestmögliche Daten zur Verfügung zu stellen.

Diese Änderungen erfolgen in größeren Abständen und werden jeweils von der AGEB dokumentiert:

- Erläuterungen zur Revision der Energiebilanzen 2003 - 2006 ¹⁶⁵
- Anmerkungen zu den Änderungen in den Energiebilanzen 2003 bis 2007 ¹⁶⁶
- Revision der Energiebilanzen 2003 bis 2009 ¹⁶⁷
- Methodische Änderungen in der Energiebilanz 2012 ¹⁶⁸
- Erläuterungen zu den Energiebilanzen (Bearbeitungsstand November 2015) ¹⁶⁹

¹⁶⁵ http://www.ag-energiebilanzen.de/#revision_der_eb_2003_bis_2006

¹⁶⁶ http://www.ag-energiebilanzen.de/#aktualisierungen_der_energiebilanzen_2003_bis

¹⁶⁷ http://www.ag-energiebilanzen.de/#revision_der_energiebilanzen_2003_bis_2009_05

¹⁶⁸ http://www.ag-energiebilanzen.de/#methodische_aenderungen_der_eb_2012

¹⁶⁹ http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=vorwort.pdf

18.4.1 Qualitätsbericht der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen zur Erstellung der Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland

Zur Dokumentation ihrer Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Erstellung der Energiebilanzen legt die AGEB seit dem Jahr 2012 dem Umweltbundesamt regelmäßig einen gemeinsamen Qualitätsbericht vor. Im Rahmen des neuen Auftrags, für die Energiebilanzen 2019-21 finden sich neue Akzente, die ab 2020 bei der Erstellung der Energiebilanzen Beachtung finden werden. Dazu wird als zusätzliche Qualitätssicherungsmaßnahme gehören, dass die Energiebilanzen erstellt bzw. geliefert werden und Zeitreihensprünge besser als bisher bei der Datenkompilierung erkannt werden können.

Der Inhalt der aktuellen Berichte wird im Folgenden wortgetreu veröffentlicht (kenntlich über andere Schriftart).

18.4.1.1.1 Hintergrund

Im Rahmen der Treibhausgasemissionsberichterstattung hat der Koordinierungsausschuss des Nationalen Systems Emissionsinventare Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung (QK/QS) festgelegt. Diese sind auf allen Ebenen der Inventarerstellung einzuhalten. Einer der wichtigsten Datensätze zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen sind die Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland, mit deren Erstellung die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) beauftragt ist. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (DIW Berlin), das EEFA-Forschungsinstitut, Münster und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart als Unterauftragnehmer arbeiten für die AGEB daran mit. Die Bearbeiter der Energiebilanzen sind gehalten, die Mindestanforderungen an QK/QS wie Transparenz, Konsistenz, Vergleichbarkeit, Vollständigkeit und Genauigkeit zu erfüllen.

Zur Dokumentation ihrer Datenquellen und Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Erstellung der Energiebilanzen legt die AGEB dem Umweltbundesamt hiermit den aktuellen Qualitätsbericht vor. Er bezieht sich insbesondere auf die Energiebilanz 2018.

18.4.1.1.2 Arbeitsteilung bei der Erstellung der Energiebilanzen

Das DIW Berlin ist bei der Erstellung der Energiebilanzen für die folgenden Energieträger verantwortlich:

- Erdgas, Erdölgas,
- Nicht-erneuerbare Abfälle, Abwärme (50 % Siedlungsabfall in Abstimmung mit ZSW bzw. AGE-Stat)
- Kernenergie sowie
- Erdöl (roh) und
- Mineralölprodukte (Ottokraftstoffe, Rohbenzin, Flugturbinenkraftstoffe, Dieselmotorkraftstoff, Heizöl leicht, Heizöl schwer, Petrolkoks, Flüssiggas, Raffineriegas und Andere Mineralölprodukte).

Darüber hinaus koordiniert das DIW Berlin im Rahmen der Erstellung der Energiebilanz die vierteljährlichen Schätzungen des Primärenergieverbrauchs für die Bundesrepublik Deutschland und schätzt zudem den Energieträger „Sonstiges“.

Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) bearbeitet die erneuerbaren Energien für die Energiebilanzen. Hierzu gehören:

- Wasserkraft, Windenergie an Land und auf See und Photovoltaik,
- Biomasse (fest, flüssig, Biokraftstoffe, Biogas, Klärgas, Deponiegas) und erneuerbare Abfälle (Siedlungsmüll) sowie
- Sonstige erneuerbare Energieträger (Solarthermie, Tiefen- und Oberflächengeothermie).

Die erneuerbaren Energien werden auf der Grundlage der Daten und in Abstimmung mit der Geschäftsführung der AGEE-Stat (GS AGEE-Stat) berechnet und veröffentlicht.

In den Aufgabenbereich des EEFA-Forschungsinstituts fällt die Erstellung der Energiebilanzen für die Energieträger:

- Steinkohle, Steinkohlenkoks, Steinkohlebriketts und Andere Steinkohlenprodukte,
- Braunkohle (roh), Braunkohlenbriketts, Andere Braunkohlenprodukte und Hartbraunkohle sowie
- Kokerei- und Stadtgas, Gicht- und Konvertergas sowie Grubengas,
- Strom und
- Fernwärme.

Beginnend mit dem Energiebilanzjahr 2009 wird im Rahmen der Arbeiten für die Auswertungstabellen eine Schätzbilanz erstellt. In diese fließen vor allem die Daten aus der Statistik-Nr. 066 (Erhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung der Stromerzeugungsanlagen der allgemeinen Versorgung) des Statistischen Bundesamtes (StBA) und Verbandsdaten beispielsweise des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) ein. Hinzu kommen Daten der amtlichen Mineralölstatistik (AMS) des BAFA.

Zu diesem frühen Zeitpunkt liegen i.d.R. wichtige amtliche Datenquellen wie z. B. die Erhebungen über den Energieverbrauch der Industriesektoren noch nicht vor. Diese Datenlücken werden mit Hilfe von Schätzungen geschlossen. Die Schätzbilanz kann deshalb nicht die hohen Anforderungen an die Datenqualität erfüllen wie die endgültige Energiebilanz, die erst mit einer zeitlichen Verzögerung von etwas weniger als einem Jahr publiziert werden kann.

18.4.1.1.3 Qualität der verwendeten Datenquellen

Zur Erstellung der Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland werden folgende *Daten des Statistischen Bundesamtes (StBA)* verwendet:

- Jahresherhebung (Nr. 060) über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes, im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden,
- Monatserhebung (Nr. 061E) über die Einfuhr von Kohle,
- Jahresherhebung (Nr. 062) über Wärme- und Elektrizitätserzeugung aus Geothermie,
- Jahresherhebung (Nr. 063) über die Erzeugung von Biokraftstoffen,
- Jahresherhebung (Nr. 064) über Erzeugung und Verwendung von Wärme sowie über den Betrieb von Wärmenetzen,
- Monatserhebung (Nr. 066K) über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung zur allgemeinen Versorgung,
- Jahresherhebung (Nr. 067) über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden,
- Monatserhebung (Nr. 068) über die Gasversorgung
- Jahresherhebung (Nr. 070) über die Stromein- und -ausspeisung bei Netzbetreibern,
- Jahresherhebung (Nr. 073) über Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas,
- Jahresherhebung (Nr. 075) über die Abgabe von Flüssiggas,
- Jahresherhebung (Nr. 082) über Gasabsatz und Erlöse in der Gasversorgung,
- Energiesteuerstatistik (Fachserie 14, Reihe 9.3).

Die Daten des Statistischen Bundesamtes (StBA) unterliegen amtlichen Qualitätsanforderungen. Die Qualitätsberichte des StBA können im Internet eingesehen werden:

<https://www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Energie/einfuehrung.html>, zuletzt aufgerufen am 26. Februar 2020.

Außerdem werden *Angaben aus der amtlichen Mineralölstatistik (AMS) des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)* verwendet:

https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/Mineraloel/moel_amtliche_daten_2018_d ezember.html, zuletzt aufgerufen am 26. Februar 2020.

Die monatlich und jährlich publizierte AMS ist ein geschlossenes, widerspruchsfreies System des gesamten Mineralölaufkommens- und -verbrauchs in Deutschland. Statistische Grundlage für die AMS ist der integrierte Mineralölbericht (IM), der auf Basis des Mineralöldatengesetzes monatlich bei Unternehmen erhoben wird, die in der Bundesrepublik auf dem Mineralölmarkt tätig sind. Das Statistische Bundesamt meldet diese Aufkommens- und Verbrauchsdaten zusammen mit den Daten des BAFA an die IEA und Eurostat, die international vergleichbare Energiebilanzen veröffentlichen. Die Heizwerte für den Rohöleinsatz und die Ölprodukte, die für diese Meldungen genutzt werden, sind mit der nationalen Energiebilanz abgeglichen. Für die Energiebilanz werden für den Mineralölteil neben den Daten aus der AMS auch die Daten des Statistischen Bundesamts genutzt.

Die Mineralölstatistik des BAFA hat zum Januar 2018 eine Änderung erfahren, die zu Brüchen in der Zeitreihe führen. Die Änderungen werden im Folgenden erläutert:

„1) Aufnahme von Unternehmen mit Olefinanlagen in den Meldekreis

Die Ausweitung des Meldekreises auf Unternehmen mit Olefinanlagen hat im Vorjahresvergleich Auswirkungen auf die Inlandsablieferungen und den Wiedereinsatz bei folgenden Produkten:

- Rohbenzin: Rückgang bei den Inlandsablieferungen/Zunahme bei den Wiedereinsatzprodukten*
- Flüssiggas: Rückgang bei den Inlandsablieferungen/Zunahme bei den Wiedereinsatzprodukten*
- Benzinkomponenten: Zunahme bei der Bruttoreaffinerieerzeugung/den Inlandsablieferungen*

2) Inlandsablieferungen von Halbfertigprodukten

Den Firmen wird neuerdings die Möglichkeit eingeräumt, Benzin-, Mitteldestillat- sowie HS-Komponenten als Inlandsablieferungen auszuweisen. Zuvor waren die Firmen gezwungen, Halbfertigprodukte zu absatzfähigen Produkten umzuwidmen (z. B. Benzinkomponenten zu Rohbenzin), um sie als Inlandsablieferungen ausweisen zu können.“

Bezüglich des Inlandsabsatzes von Mineralölprodukten hat das BAFA jedoch keine Kenntnis darüber, in welcher Größenordnung vor dem Jahr 2018 Halbfertigprodukte zu absatzfähigen Produkten umgewidmet wurden. Wie man den Zahlen 2018 entnehmen kann, werden immer noch Produkte umgewidmet, aber der Anteil hat sich im Vergleich zu den Vorjahren stark reduziert.

Bemerkbar macht sich das in der Energiebilanz beim Energieträger Rohbenzin ab 2017. Hier ist der Umwandlungseinsatz bei den Raffinerien (Mineralölverarbeitung) von 2015 und 2016 mit 60 bzw. 124 Tausend Tonnen auf in den Jahren 2017 und 2018 auf 1309 bzw. 2012 Tausend Tonnen angestiegen.

Bei Flüssiggas macht sich das erst ab 2018 bemerkbar. Hier ist ein sprunghafter Anstieg beim Umwandlungseinsatz bei den Raffinerien von im Jahr 2017 71 Tausend Tonnen auf im darauffolgenden Jahr 595 Tausend Tonnen.

https://www.bafa.de/DE/Energie/Rohstoffe/Mineraloelstatistik/mineraloel_node.html, zuletzt aufgerufen am 26. Februar 2020.

Des Weiteren gibt es in der Amtlichen Mineralölstatistik (AMS) eine Änderung in der Tabelle 6j (1000 t) bei Hochseebunkerungen. In der Betrachtung der Jahre 2016 bis 2018 ergibt sich folgende Verschiebung bei den Energieträgern:

2016: Dieselmotortreibstoff (DK) 999, Heizöl schwer (HS) 1855, Andere Mineralölprodukte (AMP) 1

2017: DK 230, Heizöl leicht (HEL) 632, HS 1457, AMP 1

2018: HEL 734, HS 981.

Für die Energiebilanz 2018 heißt das, dass Hochseebunkerungen dann nicht mehr bei Dieselkraftstoff und HS anfallen, sondern ab dann nun bei HEL und HS.

Neben den amtlichen Daten gehen auch *Daten von Verbänden* ein. Unter den Statistiken der Verbände spielt die *Statistik der Kohlenwirtschaft* eine besondere Rolle. Für die Energiebilanz werden u.a. folgende Daten verwendet:

- für die Steinkohle :
- die Statistik über den Inlandsabsatz nach Steinkohlearten und Verbrauchergruppen und
- die Statistik über die Produktion, Einsatz in Umwandlungsbereichen und Lagerbestandsveränderungen (Vordruck 4a).

für die Braunkohle:

- Daten über die Förderung, Herstellung, Selbstverbrauch und den Absatz (Vordruck 5) sowie Informationen aus dem Produktionsbericht,
- Daten zum Inlandsabsatz/-einsatz nach Ländern und Verbrauchergruppen.

Die Daten der Kohlenstatistik können in Deutschland als quasi amtlich und sehr genau eingestuft werden. Der Verein der Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. arbeitet seit 60 Jahren als Bindeglied zwischen den Unternehmen des Kohlenbergbaus und der amtlichen Statistik. Die Kohlendaten der amtlichen Statistik beruhen auf den Erhebungen der Statistik der Kohlenwirtschaft. Ein Großteil der Kohlendaten wird auf der Internetseite <http://www.kohlenstatistik.de> einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Die damit verbundene Transparenz kann ebenfalls als Beleg für die Zuverlässigkeit und Genauigkeit dieser Datenquellen herangezogen werden. Das Energiestatistikgesetz hat unter ausdrücklichem Hinweis auf das funktionierende System der Kohlenstatistik auf einen eigenen Paragraphen für Erhebungen zur inländischen Kohle verzichtet.

Für Erdgas, Erdölgas:

- Daten für Fackelverluste werden mit dem impliziten Heizwert vom Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V. (BVEG), vormals Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V. (WEG) ermittelt.
- Daten für Verkehr werden durch Angaben des BDEW von Zukunft Erdgas, vormals Erdgas mobil geliefert. Die Energiesteuerstatistik liefert die Daten für diesen Sektor im Mai 2019, erst dann konnten diese Daten für die Erdgasbilanz 2017 nachgetragen werden (1800 GWh Ho Zukunft Erdgas, 1621 GWh Ho Energiesteuerstatistik).

Darüber hinaus werden u.a. folgende *weitere Quellen* verwendet:

- Schätzungen der AGEE-Stat zu erneuerbaren Energien. Im Rahmen des Monitorings zum Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz schätzt das Öko-Institut den Erdgaseinsatz zur Strom- und Wärmeerzeugung in kleinen Erdgas- und Heizöl-BHKW sowie von Heizöl leicht, die nicht von der amtlichen Statistik erfasst werden.

Über die Qualität der vorliegenden Daten hinaus spielt für die Energiebilanzerstellung die mehrjährige Verfügbarkeit der Quellen sowie eine einheitliche und konsistente Darstellung der Zeitreihen eine wichtige Rolle. Nur so kann sichergestellt werden, dass über die zur Energiebilanzerstellung genutzten Verfahren und Methoden Daten generiert werden, die sich auch über einen langen Zeitraum konsistent und ohne Strukturbrüche in das Bilanzschema eingliedern. Sowohl die amtlichen Quellen als auch die Daten der Kohlenstatistik blicken auf eine lange Tradition zurück. Sollten aufgrund von Revisionen oder der Veränderung statistischer Grundlagen (z.B.

Energiestatistikgesetz) Brüche in den Zeitreihen unvermeidbar sein, sind diese in den zur Energiebilanzerstellung genutzten Quellen dokumentiert, so dass stets eine sachgerechte Anpassung der Methoden gewährleistet ist.

18.4.1.1.4 Transparenz der Methoden und Verfahren

Am 1. Januar 2003 ist das Energiestatistikgesetz (EnStatG) in Kraft getreten. Mit diesem Gesetz wurden die amtlichen Energiestatistiken aus verschiedenen Rechtsgrundlagen zusammengeführt und an die gewandelten Informationsbedürfnisse der Nutzer angepasst. Seitdem werden durch das Statistische Bundesamt auch für die Bereiche Wärmemarkt, Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbare Energieträger Daten erhoben und bereitgestellt. Im Rahmen dieser Neustrukturierung weist das Statistische Bundesamt neben der Strom- und Wärmeerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung den kompletten Brennstoffeinsatz für Kraft-Wärme-Kopplung in der allgemeinen Versorgung und der Industrie (differenziert nach Energieträgern) aus.

Für die Energiebilanzen - und hier insbesondere für die Darstellung des industriellen Endenergieverbrauchs - ergab sich aus dem veränderten statistischen Datenangebot grundsätzlich ein methodischer Anpassungsbedarf. Die skizzierte Erweiterung des Datenangebots hat nämlich zur Folge, dass für die industrielle Stromerzeugung ab dem Jahr 2003 gesonderte Informationen zum Brennstoffeinsatz der reinen Stromerzeugung vorliegen.

Daten zur Aufteilung des Brennstoffeinsatzes auf die Produkte Strom und Wärme bei Kraft-Wärme-Kopplung in der Industrie und in Heizkraftwerken werden vom Statistischen Bundesamt nicht erhoben, sondern von der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen bzw. den von ihr beauftragten Instituten geschätzt. Die dabei angewandte „finnische“ Methode beruht auf der Richtlinie 2004/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Februar 2004. Diese ist mathematisch genau definiert und wird im Vorwort der Energiebilanzen und aktuell auch in der Broschüre Energie in Zahlen – ArDArbeit und Leistungen der AG Energiebilanzen, S. 10, 11 f. näher erläutert.

Mit Blick auf die Qualitätssicherung wird die Berechnung in den Bereichen der allgemeinen Versorgung und der Industrie mit der finnischen Methode nachvollziehbar und transparent gehandhabt. Die notwendigen Annahmen wie etwa die Referenzwirkungsgrade der ungekoppelten Erzeugung in den Dokumentationen zur Energiebilanz werden angegeben. All dies zeigt, dass bei der Erstellung der Energiebilanzen trotz Anwendung teilweise komplexer methodischer Umwandlungsschritte eine hohe Transparenz und Eindeutigkeit der Ergebnisse gewährleistet werden kann. So lassen sich alle Energiebilanzfelder stets eindeutig bis hin zur jeweiligen primärstatistischen Grundlage zurückverfolgen.

Amtliche oder verbandsinterne Primärinformationen können – ungeachtet ihrer Qualität – nur an wenigen Stellen der Energiebilanz unmittelbar ohne den Einsatz methodischer oder statistischer Verfahren zur Erstellung der Energiebilanz genutzt werden. Vielmehr erfordert die komplexe Darstellung des Energieflusses in Form einer Matrix zur Einhaltung der formalen Rahmenbedingungen und methodischen Vorgaben ausgehend von vorliegenden statistischen Rohdaten zahlreiche Transformationsschritte, Umrechnungen oder Umbuchungen. Hinzu kommt, dass in einigen wenigen Bereichen der Energiebilanz keine primärstatistischen Daten vorliegen, so dass Datenlücken in Abhängigkeit vom Einzelfall auch durch die Anwendung formaler Schätzmethoden geschlossen werden müssen.¹⁷⁰

¹⁷⁰ Ausblick: Am 10. März 2017 ist das novellierte Energiestatistikgesetz (EnStatG) in Kraft getreten. Damit wird den veränderten Anforderungen an Energiedaten auf nationaler und auf internationaler Ebene Rechnung getragen. Die Energiestatistiken werden an die geänderten Rahmenbedingungen in der Energiewirtschaft angepasst. Bestehende Datenlücken, vor allem in den Bereichen erneuerbare Energien, Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und Wärme wurden geschlossen. Die Anwendung des novellierten EnStatG erfolgte für die Monatserhebungen ab dem Berichtsmont Januar 2018.

18.4.1.1.5 Kontrolle und Verifikation der Ergebnisse

Die Maßnahmen zur Qualitätssicherung und –kontrolle umfassen die Bereiche:

- Sicherung der Datenqualität und der Transparenz der Methoden und Verfahren,
- Mechanismen zur Kontrolle und kritischen Überprüfung der Energiebilanzen, die Korrektheit, Vollständigkeit und Konsistenz der Bilanz sicherstellen sowie
- Maßnahmen zur Dokumentation und Archivierung, die die Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der Bilanz gewährleisten sollen und
- Fachverantwortlichkeit zur Erstellung der Energiebilanzen.

Kritische Diskussion, Verifikation und Kontrolle erfolgen auf unterschiedlichen Ebenen:

- Die jährliche Energiebilanz wird unabhängig von mehreren Bearbeitern erstellt und wechselseitig abgeglichen.
- Die Arbeiten werden wechselseitig kontrolliert und anhand von Kontrollgrößen (z.B. Veränderungen im Jahresvergleich, impliziten Heizwerten, Nutzungsgraden) auf Plausibilität geprüft.
- Die Zeitreihenkonsistenz wird regelmäßig verifiziert. Im Falle unplausibler Sprünge in der Zeitreihe, die nicht auf Übertragungs- oder Rechenfehler, sondern auf die Entwicklungen in den primärstatistischen Erhebungen zurückzuführen sind, erfolgt in enger Kooperation mit der datenliefernden Institution wie dem StBA eine lösungsorientierte Erörterung des Problems. Bei Erstellung der Energiebilanz 2018 fiel zum Beispiel bei dem Energieträger Erdgas, Erdölgas oder Heizöl leicht in der Statistik 064 auf, dass die Fallzahlen bei den Betrieben angestiegen waren, aber die Brennstoffeinsätze in etwa die gleiche Größenordnung hatten, was daran lag, dass von Unternehmen auf Betriebe umgestellt wurde (siehe hierzu Tabelle 1).
- Die Energiebilanzen werden mit den Datenlieferungen an IEA/Eurostat abgeglichen.
- Des Weiteren kontrollieren die in der AGEB zusammengeschlossenen Verbände begleitend die Ergebnisse.
- Außerdem werden Daten und Ergebnisse frühzeitig mit den Fachverantwortlichen des Umweltbundesamts (UBA) auch im Rahmen der Geschäftsstelle der AGEE-Stat diskutiert.
- Statistische Fragen der Energiebilanz werden zudem im „Arbeitskreis Methodik“ (AKM) beim BMWi erörtert.

Die Veröffentlichung der Energiebilanz auf den Internetseiten der AGEB bzw. die Bereitstellung vorläufiger Energiebilanzdaten an das Umweltbundesamt zur Weiterverarbeitung im System des nationalen Treibhausgasinventars erfolgen erst, nachdem die Gesamtbilanz alle Kontrollinstanzen erfolgreich durchlaufen hat.

Um Fehler bei Berechnungen und Schätzungen der Daten für die Energiebilanz weitgehend zu vermeiden, erfolgt die jährliche Aufstellung der Energiebilanz im Rahmen standardisierter Vorgehensweisen. Dazu wurden umfangreiche Instrumente entwickelt, die bewährte Schätzverfahren oder formale Berechnungsmethoden im Rahmen der Bilanzarbeiten automatisieren. Aufgrund dieser Vorgehensweise, die teilweise nur das Einpflegen der statistischen Rohdaten in die entsprechenden Tools erfordert, können Berechnungs- oder Transformationsfehler weitgehend verhindert werden. Die Verwendung stets einheitlicher und standardisierter Methoden leistet zudem einen wichtigen Beitrag zur Sicherung der Zeitreihenkonsistenz.

18.4.1.1.6 Dokumentation und Archivierung

DIW Berlin, EEFA-Forschungsinstitut sowie ZSW führen über die in jährlichem Abstand zu erstellenden Energiebilanzen eine detaillierte, schriftliche Dokumentation. Die Dokumentation umfasst jedes Feld der Energiebilanz, eine Auflistung der verwendeten statistischen Quellen und Erhebungen sowie eine

genaue Erläuterung der angewandten Rechenmethoden und –verfahren. Ziel der Dokumentation ist die lückenlose Nachvollziehbarkeit sowohl für eigene Zwecke als auch für das BMWi und das UBA. Eine regelmäßige Aktualisierung der Dokumentation ist zudem ein Beitrag zur Sicherung der Datenqualität und Einhaltung der Zeitreihen- und Methodenkonsistenz.

Alle statistischen Daten, Berechnungsmethoden, Schätzverfahren, die für die Erstellung der Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland verwendet werden, werden archiviert. Die Sicherung der elektronischen Daten erfolgt im DIW Berlin sowie im ZSW sowohl automatisch durch die Zentrale Datenverarbeitung auf speziellem Serverplatz, als auch manuell in regelmäßigen Abständen. Im EEFA-Institut kommen zur Archivierung elektronischer Inhalte sowohl portable Medien wie CD-ROM oder DVD sowie Wechselpplatten als auch netzbasierte Serverlösungen zum Einsatz. Die Sicherung der Daten erfolgt sowohl automatisch als auch in regelmäßigem Abstand auf manuellem Weg.

18.4.1.1.7 Qualifikation der Bearbeiter

Für die Bearbeitung des Dienstleistungsprojektes „Erstellen von Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland“ steht dem DIW Berlin, dem EEFA-Forschungsinstitut sowie dem ZSW erfahrenes Personal mit fundierten statistischen, ökonomischen sowie energiewirtschaftlichen Kenntnissen zur Verfügung.

18.4.1.1.8 Erläuterungen zur Aktualität bzw. zeitlichen Verfügbarkeit der Daten für die Erstellung der Energiebilanzen

Amtliche Statistiken

Die endgültigen Jahreswerte der monatlichen Erhebung 066 (Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung zur Allgemeinen Versorgung) für 2017 waren im Mai 2019 verfügbar; die jährlichen Erhebungen 064 (Wärmeerzeugung) im Dezember 2019, die 067 (Stromerzeugungsanlagen der Industrie) war im November 2019 verfügbar, die 070 (Einspeisungen) im Januar 2020 2018 und die 073 (Klärgaserhebung) im Dezember 2019, die 082 lag im Februar 2020 vor. Die Ergebnisse der Erhebung 062 (Geothermie) lagen im Oktober 2018 vor, die Ergebnisse der 063 (Biotreibstoffe) im Oktober 2019. Die Ergebnisse der Erhebungen 066 (Stromerzeugungsanlagen für die allgemeine Versorgung) und 067 (Stromerzeugungsanlagen der Industrie) müssen mit der finnischen Methode umgerechnet werden. Berechnungen, Prüfvorgänge, Abstimmungsprozesse mit BDEW, AGEE-Stat, EEFA, MWV benötigen mindestens drei Wochen Zeit. Die Ergebnisse der Erhebung 060 (Energieverwendung der Industrie), die einen wesentlichen Bestandteil der Energiebilanzen ausmachen, lagen im Oktober 2019 vor (Korrektur von Seiten des StBA im Januar 2020). Branchenscharfe Berechnungen, Plausibilitätsprüfungen, Prüfanfragen an das StBA (das diese dann an die Länder weiterreichen muss) und Abstimmungen mit beteiligten Verbänden benötigen einen gewissen Zeitnachlauf.

Derartige zeitlichen Restriktionen haben dazu geführt, dass beginnend mit dem Berichtsjahr 2009 im Juli zunächst eine Schätzbilanz erstellt wird. Mit dem aktuellen Vertrag ist im Juni eine Schätzbilanz zu erstellen und im September die Auswertungstabellen, in die die aktualisierte Schätz-Energiebilanz mit den aktualisierten Daten der erneuerbaren Energien einfließen. In dieser sind dann bereits die vorliegenden amtlichen Daten aus der Erhebung 066 eingearbeitet. Die restlichen Daten werden in Zusammenarbeit mit den Verbänden, die der AGEB angehören, zunächst geschätzt und abgestimmt.

Überblick über die Veröffentlichungen der Statistiken, die in der Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland genutzt werden:

Tabelle 544: Daten für das Jahr 2018:

Erhebende Institution	Statistik-Nr.	Veröffentlichungsdatum
Statistisches Bundesamt	060 Korrektur	Dez. 2019
	062	Okt. 2019
	063	Okt. 2019
	064 Korrektur	Dez. 2019
	066	Mai 2019
	067	Nov. 2019
	070 Korrektur	Jan. 2020
	073 Korrektur	Dez. 2019
	075	Aug. 2019
	082 Korrektur	Feb. 2020
BAFA	Amtliche Mineralölstatistik	28. Mai 2019

Tabelle 545: Daten für das Jahr 2017:

Erhebende Institution	Statistik-Nr.	Veröffentlichungsdatum
Statistisches Bundesamt	Energiesteuer 2018, Tab. 2.3 Erdgas	Juli 2019

Verbandsstatistiken

In die endgültige Energiebilanz fließen Daten von Verbänden ein (s.o.), die frühzeitig vorliegen. Daten des Bundesverbands Erdgas und Geothermie (BVEG) werden für Fackelverluste sowie Daten von Zukunft Erdgas, vormals Erdgas mobil für Verkehr beim Energieträger Erdgas, Erdölgas genutzt.

Aufgrund der vierteljährlichen Schätzungen zum Primärenergieverbrauch in Deutschland liegen hierzu zeitnah auch vorläufige Daten vor. Wichtige vorläufige Daten, die auch für den Endenergieverbrauch für die Schätzbilanz mit Stand August vonnöten sind, liefert der BDEW. Dieser veröffentlicht im Sommer eines jeden Jahres Daten zum Thema „Energemarkt Deutschland – Zahlen und Fakten zur Gas-, Strom- und Fernwärmeversorgung“. Außerdem fließen in die Schätzbilanz Angaben des BDEW zur Bruttostromerzeugung ein sowie Daten der Statistik der Kohlenwirtschaft, des Mineralölwirtschaftsverbands (MWV) und des Deutschen Atomforums.

Sonstige Daten

Zur Berechnung der Stromerzeugung und des Brennstoffeinsatzes in kleinen Erdgas- und HEL-KWK-Anlagen (< 1 MW) werden Angaben aus der BHKW-Datenbank des Öko-Instituts verwendet, die auch für die IEA/Eurostat-Berichterstattung genutzt werden.

Daten für Petrolkoks zum Einsatz in Hüttenkokereien werden von den entsprechenden Ländern für die Bundesbilanz zur Verfügung gestellt, aufgrund einer Vereinbarung der AGEB mit dem Länderarbeitskreis Energiebilanzen. Diese Daten fließen auch über das BAFA in den Joint Annual Questionnaire von IEA/Eurostat.

Tabelle 546: Zur Erstellung der Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland verwendeten Erhebungen des StBA

Erhebung	Nr.	Erhebungszeitraum	Aktualität gemäß Qualitätsbericht	Angaben	Erhebungskreis	Erhebungseinheiten
Jahreserhebung über die Energie-verwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden	060	jährlich	Ende des Folgejahres	Strombezug und -erzeugung, Stromabgabe und -verbrauch Bezug von Wärme, Wärmeverbrauch und -abgabe Energieträger- / Brennstoffabgabe und -bestand nach Energieträger Durchschnittlicher unterer Heizwert	Abschnitte B „Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“ und C „Verarbeitendes Gewerbe“	Produzierende Betriebe (derzeit ca. 40.000) mit mind. 20 Beschäftigten Ausnahme: Betriebe von Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes bereits mit 10 und mehr tätigen Personen in einigen Wirtschaftszweigen
Erhebung über die Einfuhr von Kohle	061E	monatlich, jährlich	Ende April des Folgejahres	Einfuhr von Kohle	Unternehmen, die Braunkohle, Braunkohlenprodukte, Steinkohle, Steinkohlenkoks und briquets einführen	Vollerhebung (nicht einbezogen werden im Ausland gelegene Einheiten)
Jahreserhebung über Wärme- und Elektrizitätserzeugung aus Geothermie	062	jährlich	Ca. 9 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	Art und Leistung der Anlagen sowie Wärme und/oder Elektrizitätserzeugung, Anzahl und Leistung der Anlagen Verwendung und Abgabe von Wärme und /oder Elektrizität aus Tiefengeothermie, Abgabe nach Energieversorgungsunternehmen und eigenen Anlagen	Alle Betreiber von Anlagen zur Nutzung der Tiefengeothermie	Die Erhebung richtet sich an alle Betreiber von Anlagen zur Nutzung von Tiefengeothermie
Jahreserhebung über die Erzeugung von Biokraftstoffen	063	jährlich	Ca. 9 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	Art und Kapazität der Anlagen, Einsatzstoffe zur Erzeugung von Biokraftstoffen und Erzeugung und Bezug aus dem Ausland, Absatz von Biokraftstoffen im Inland sowie Ausland	Alle Betreiber von Anlagen zur Erzeugung von Biokraftstoffen	Die Erhebung richtet sich an alle Betreiber von Anlagen zur Erzeugung von Biokraftstoffen.
Jahreserhebung über Erzeugung und Verwendung von Wärme sowie über den Betrieb von Wärmenetzen	064	jährlich	Ende des Folgejahres	A Angaben nach Anlagen für das Heizwerk, Leistung, Wärmeerzeugung, Energieträgereinsatz und Energieträgerbestand am Jahresende; Zusammenfassung aller Anlagen Leistung und Wärmeerzeugung, Energieträgereinsatz und Energieträgerbestand am Jahresende B Angaben nur für wärmegeführte Blockheizkraftwerke: Leistung, Eigenverbrauch, Energieträgereinsatz und Energieträgerbestand am Jahresende; Wärme- und Elektrizitätserzeugung; Zusammenfassung aller Bundesländer Leistung, Eigenverbrauch, Energieträgereinsatz und Energieträgerbestand am Jahresende, Wärme- und Elektrizitätserzeugung C Angaben nur für Speicheranlagen, Speicherkapazität in den Speicheranlagen		Alle Betreiber von Heizwerken ab einer installierten Nennleistung von 1 MW _{th} und bei allen Betreibern von Anlagen zur netzgebundenen Wärmeversorgung einschl. wärmegeführter Blockheizkraftwerke sowie bei Dritten, die sich dieser Anlagen bedienen.

			D Angaben für Wärmenetze			
			E Wärmebilanz			
Monatserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung zur allgemeinen Versorgung	066K	monatlich; jährlich	70 Tage nach Abschluss des Berichtsmonats Ende April des Folgejahres	A Anzahl, Nettonennleistung sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung nach Erzeugungseinheit B Brennstoffeinsatz, Brennstoffbestand sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung der Anlage im Berichtsmonat C Abgabe der Wärme im Berichtsmonat D Speicheranlagen	Betreiber von Anlagen zur Erzeugung von Elektrizität einschl. KWK-Anlagen, jeweils ab Nettonennleistung von 1 MW _{el} sowie Anlagen zur Speicherung von Elektrizität 1 MW _{el} oder Speicherkapazität von 1 MWh	Mengen- und leistungsbezogene Daten von Kraftwerken der EVUs mit Nettonennleistung ab 1 MW sowie Anlagen zur Speicherung von Elektrizität ab inst. Nettonennleistung von 1 MW _{el} oder ab Speicherkapazität von 1 MWh. Bei allen Betreibern von Anlagen zur Erzeugung und Speicherung von Elektrizität einschl. KWK-Anlagen.
Jahreserhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe, im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden	067	jährlich	9 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	A Anzahl, Nettonennleistung sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung nach Erzeugungseinheit und Engpassleistung nach Anlagenart, Primärenergieeinsparung B Brennstoffeinsatz, Brennstoffbestand sowie Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung der Anlage im Berichtsjahr	Abschnitt B „Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden“ und C „Verarbeitendes Gewerbe“	Betreiber von zur Eigenversorgung bestimmten Anlagen zur Erzeugung von Elektrizität ab einer installierten Nettonennleistung von 1 MW _{el} einschl. der KWK-Anlagen
Monatserhebung über die Gasversorgung	068	monatlich	42 Tage nach Abschluss des Berichtsmonats	A Gewinnung und Eigenverbrauch von Erdgas (oberer Heizwert) B Ein- und Auspeisung von Erdgas, Biogas, Eigenverbrauch C Speicheränderung und Füllstände		Alle Betreiber von Anlagen zur Gewinnung von Erdgas, zum Transport von Erdgas und Biogas durch Fernleitungen sowie alle Betreiber von Anlagen zur Speicherung von Erdgas
Jahreserhebung über die Stromein- und -ausspeisung bei Netzbetreibern	070	jährlich	12 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	A Netznutzungsentgelte für Sondervertragskunden B Netzeinspeisungen nach Energieträgern C Netzausspeisung D KWK-Anlagen unter 1 MW Nettonennleistung Summe aller Bundesländer A - D		Alle Betreiber von Stromnetzen für die allgemeine Versorgung
Jahreserhebung über Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas	073	jährlich	8 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	A Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas B Klärschlammeinsatz auf der Kläranlage zur Erzeugung von Strom und Wärme C Installierte Leistung der Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme D Strom- und Wärmeerzeugung aus Klärgas E Strom- und Wärmeerzeugung aus Klärschlamm		Alle Betreiber von Anlagen, die Klärgas erzeugen oder Klärschlamm zur Erzeugung von Elektrizität und Wärme einsetzen
Jahreserhebung über die Abgabe von Flüssiggas	075	jährlich	8 Monate nach Ende des Berichtszeitraums	Abgabe von Flüssiggas an Letztverbraucher, an Wiederverkäufer, Abgabe insgesamt und nach Ländern		Unternehmen, die jährlich mindestens 100 Tonnen Flüssiggas an Letztverbraucher abgeben
Jahreserhebung über Gasabsatz und Erlöse in der Gasversorgung	082	jährlich	Die Bundesergebnisse liegen i.d.R. 12 Monate nach Ende des Berichtszeitraums vor	A Gewinnung oder Erzeugung von Gas: Erdgasgewinnung oder Gewinnung /Erzeugung sonstiger Gase; Eigenverbrauch und Verluste, Ein- und Ausfuhr, vertraglich nach Ursprungs- bzw. Bestimmungsland; Absatz von Gas sowie Erlöse an		Alle Betreiber von Anlagen der Gasversorgung

Letztverbraucher in allen Bundesländern
Abgabe und Ausfuhr von Gas sowie Erlöse
Aufkommen von Gas nach Gasarten
Abgabe von Gas sowie Erlöse nach Bundesländern

Link zur Nomenklatur der Wirtschaftszweige (WZ 2008): <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/klassifikation-wz-2008.html>

Link zu den Qualitätsberichten Energiestatistik inkl. Fragebogen: <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Energie/einfuehrung.html>¹⁷¹

¹⁷¹ Das Statistische Bundesamt veröffentlicht auf ihrer Internetpräsenz ausschließlich die Qualitätsberichte nach dem neuen EnStatG 2017. Qualitätsberichte nach dem alten EnStatG sind online nicht mehr verfügbar.

18.5 REGELMÄßIGER VERGLEICH VON ENERGIEBILANZEN

18.5.1 Vergleich der Energiebilanz 2018 mit der Energiebilanz 2017

Die endgültigen Energiebilanzen werden von der AGEB in der Regel im Frühjahr des übernächsten Kalenderjahres veröffentlicht. Um frühzeitiger Daten bereitstellen zu können, wird ab 2009 parallel zu den Auswertungstabellen im Sommer des nächsten Jahres eine Schätzbilanz erstellt, die zum Teil auf anderen Datenquellen beruht (vgl. Qualitätsberichte von DIW und EEFA).

Zur Identifikation signifikanter Abweichungen zwischen Energiebilanzen, die jeweils gesondert zu erläutern sind, werden absolute und relative Abweichungen berechnet. Aus einer Kombination der Kriterien „Abweichungen in TJ“ und „Abweichungen in %“ werden auffällige Positionen nach Energiebilanzspalten und –zeilen analysiert. Als Schwellenwerte werden Abweichungen von 10.000 TJ und 20 % zugrunde gelegt.

Für den Vergleich der Energiebilanz 2018 mit der Energiebilanz 2017 resultieren bei diesen Kriterien 75 Positionen (einschließlich Summen), die in der folgenden Übersicht dargestellt sind und erläutert werden.

Die hier dargestellten Differenzen entsprechen den statistischen Veränderungen gegenüber dem Vorjahr. Ursachen solcher Änderungen bestehen generell u.a. in der Konjunktorentwicklung, Strukturänderungen, Preisänderungen, Witterungseinflüssen und Sonderentwicklungen wie dem Ausstieg aus der Kernenergie. Diese allgemeinen Entwicklungen des Energieverbrauchs und seiner Determinanten 2018 im Vergleich zu 2017 werden in den Jahresberichten der AG Energiebilanzen erläutert.¹⁷²

Der Vergleich der Energiebilanzen dient insbesondere der Kontrolle und Dokumentation der Plausibilität von auffälligen Veränderungen. Bei einigen Bilanzpositionen sind allerdings Änderungen, die mit den oben genannten Kriterien erfasst werden, nicht ungewöhnlich. Dies betrifft z.B. Bestandsänderungen, die sich naturgemäß von Jahr zu Jahr deutlich unterscheiden.

¹⁷² AG Energiebilanzen: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2018. Deutlicher Rückgang des Energieverbrauchs in Deutschland im Jahr 2018. Februar 2019. www.ag-energiebilanzen.de.

Tabelle 547: Übersicht: Auffällige Positionen beim Vergleich der Energiebilanz 2018 mit der Energiebilanz 2017

EB-Spalte	EB-Zeile	TJ	%	Erläuterungen
Steinkohle	Gewinnung im Inland	-32.562	-30,2	Ausstieg aus der Steinkohlenförderung
Steinkohle	Bestandsentnahmen	90.974		Ausstieg aus der Steinkohlenförderung
Steinkohle	Bestandsaufstockungen	14.862	-100,0	Ausstieg aus der Steinkohlenförderung
Steinkohle	Statistische Differenzen	-34.957	-315,1	nicht sinnvoll vergleichbar/Interpretierbar
Steinkohle	Grundstoffchemie	-14.668	-70,7	Amtliche Statistik (Produktionsentwicklung/Substitution)
Koks	Statistische Differenzen	10.785	-32,5	nicht sinnvoll vergleichbar/Interpretierbar
Braunkohle	Statistische Differenzen	10.088	-54,5	nicht sinnvoll vergleichbar/Interpretierbar
Erdöl	Bestandsentnahmen	11.081	101,8	AMS Tab 4
Otto-KS	PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND	33.350	-23,1	Summe aus dem Aufkommen
Otto-KS	Mineralölverarbeitung	94.480	153,8	AMS Tab 5j S3 Z2+3+13 + Tab7j S2 Z2 chem. Weiterverarbeitung von Benzinkomponenten
Otto-KS	Umwandlungseinsatz insgesamt	94.480	153,8	Summe
Rohbenzin	Mineralölverarbeitung	30.917	53,7	AMS Tab 5j S3 Z1
Rohbenzin	Mineralölverarbeitung	-122.572	-29,7	AMs Tab 5j S1 Z1+Tab 6j Sp 5 Z1
Rohbenzin	Umwandlungsausstoß insgesamt	-125.131	-29,6	Summe
Rohbenzin	ENERGIEANGEBOT IM INL.N.UMWANDLUNGSBILANZ	-138.012	-32,8	Formel aus EB
Rohbenzin	NICHTENERGETISCHER VERBRAUCH	-138.012	-32,8	AMS Tab 6j S8 Z1 abzüglich S8 Z23 Chemierücklauf
Diesel	Bestandsentnahmen	-18.331	-100,0	s. Vorwort
Diesel	Bestandsaufstockungen	18.002		s. Vorwort
HEL	Statistische Differenzen	-20.394	-1.020,7	Formel, die sich aus Differenz zwischen Aufkommen und Verwendung ergibt
HEL	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen u. übrige Verbraucher	-38.620	-23,1	BAFA Joint Annual Questionnaire
HS	Ausfuhr	32.073	42,7	AMS Tab 6a S4 Z7+Z8
HS	Hochseebunkerungen	-19.218	-32,7	AMS Tab 6j S4 Z7+Z8
HS	PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND	-16.531	33,8	Formel, die sich aufkommenseitig ergibt
HS	Mineralölverarbeitung	-15.294	-42,9	AMS Tab 5j S1 Z7+Z8 + Tab 6 S5 Z7+Z8
HS	Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	-15.294	-42,9	Formal
Petrolkoks	ENDENERGIEVERBRAUCH	-10.926	-72,2	060 StBA
Petrolkoks	Metallerzeugung	-10.593	-99,8	060 StBA (2017: 10.616 TJ; 2018: 23 TJ)
Petrolkoks	Bergbau, Gew. Steine u. Erden, Verarbeit. Gewerbe insg.	-10.926	-72,2	Summe
FlüssGas	PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH IM INLAND	11.429	42,5	Summe ergibt sich aufkommenseitig aus der AMS
FlüssGas	Mineralölverarbeitung	22.581	736,3	AMS Tab 5j S3 Z9
FlüssGas	Umwandlungseinsatz insgesamt	20.594	313,2	Formel
FlüssGas	Sonstige Energieerzeuger	-10.352	-58,8	AMS Tab 5j S4 Z9
FlüssGas	NICHTENERGETISCHER VERBRAUCH	-47.677	-38,3	AMS Tab 7j S2 Z9
FlüssGas	ENDENERGIEVERBRAUCH	16.173	26,6	Summe
FlüssGas	Haushalte	12.707	53,6	BAFA, Joint Annual Questionnaire
FlüssGas	Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	15.162	37,3	BAFA, Joint Annual Questionnaire
RaffGas	ENDENERGIEVERBRAUCH	-11.571	-29,2	Summe
RaffGas	Grundstoffchemie	-11.571	-29,2	060 StBA
RaffGas	Bergbau, Gew. Steine u. Erden, Verarbeit. Gewerbe insg.	-11.571	-29,2	Summe aus 060 StBA

EB-Spalte	EB-Zeile	TJ	%	Erläuterungen
Gicht&KonvGas	Fackel- u. Leitungsverluste	-17.871	-60,8	BGS eh200
Gicht&KonvGas	ENERGIEANGEBOT IM INL.N.UMWANDLUNGSBILANZ	15.471	24,3	Summe
Gicht&KonvGas	ENDENERGIEVERBRAUCH	15.471	24,3	Summe
Gicht&KonvGas	Metallerzeugung	15.471	24,3	Amtliche Statistik
Gicht&KonvGas	Bergbau, Gew. Steine u. Erden, Verarbeit. Gewerbe insg.	15.471	24,3	Amtliche Statistik
Erdgas	Einfuhr	1.741.345	43,3	StBA 068, ME Gas neu
Erdgas	Bestandsentnahmen	-22.456	-100,0	s. Vorwort
Erdgas	Energieaufkommen im Inland	1.673.323	39,0	Summe
Erdgas	Ausfuhr	1.670.165	147,9	StBA 068, ME Gas neu
Erdgas	Bestandsaufstockungen	71.118		StBA 068, ME Gas neu
Erdgas	Sonstige Energieerzeuger	45.026	253,8	StBA 082 Eigenverbrauch
Erdgas	Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	49.042	68,3	Formel, die sich aus der Summe ergibt
Erdgas	Statistische Differenzen	43.761	-79,5	Diese sind geringer geworden durch neue Statistik 068
Biomasse	Einfuhr	69.779	201,3	GS AGEESat
Biomasse	Ausfuhr	41.784	72,5	GS AGEESat
Biomasse	Fernheizwerke	-12.382	-34,5	GS AGEESat
FernW	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen u. übrige Verbraucher	-29.506	-55,7	Restrechnung (Erhöhung des Fernwärmeverbrauchs nach Stat. 060 für einige Industriezweige, Anfrage bei Stat. Bundesamt gestellt)
PET	Bestandsentnahmen	86.175	258,5	Summe
PET	Ausfuhr	1.711.325	143,4	Summe
PET	Bestandsaufstockungen	84.943	-614,4	Summe
PET	Fernheizwerke	-37.224	-22,6	Summe
PET	Sonstige Energieerzeuger	43.521	111,7	Summe
PET	Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	47.677	44,4	Summe
PET	Statistische Differenzen	19.655	-31,1	Summe
SET	Bestandsentnahmen	-11.159	-21,4	Summe
SET	Hochseebunkerungen	-24.705	-25,8	Summe
SET	Mineralölverarbeitung	139.759	36,3	Summe
SET	NICHTENERGETISCHER VERBRAUCH	-199.650	-23,0	Summe
SET	Statistische Differenzen	-37.633	1.365,0	Summe
Summe	Bestandsentnahmen	75.017	87,8	Summe
Summe	Ausfuhr	1.675.402	66,6	Summe
Summe	Hochseebunkerungen	-24.705	-25,8	Summe
Summe	Bestandsaufstockungen	93.211	2.568,5	Summe
Summe	Fernheizwerke	-36.057	-21,0	Summe
Summe	Sonstige Energieerzeuger	43.521	111,7	Summe
Summe	Statistische Differenzen	-17.978	27,2	Summe

18.6 Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung

Ebenfalls seit 2012 erarbeitet das Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit BMWi, AGEB und StBA einen Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung, in dem dargelegt wird, wie den Beanstandungen aus der Inventarüberprüfung Rechnung getragen werden soll. Damit wird der Forderung aus Paragraph 39 des Überprüfungsberichts 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU) nach einem Aktionsplan entsprochen.

Tabelle 548: Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung

Nr	Thema	Zuständigkeit	Verantwortlich für die Durchführung	Bezug (Absatz)	Zitat aus Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU)	Instrument zur Umsetzung / Veröffentlichung	Aktivität zur Verbesserung	geplantes / erreichtes Ergebnis	Zeitliche Perspektive	Anmerkung
1	Aktionsplan Energiedaten zur Inventarverbesserung	BMWi/UBA/AGEB/StBA	UBA	39	<i>address review relevant issues in an action plan in the 2011 submission. [...] The ERT reiterates the recommendation of the previous review report that Germany prepare a plan for the remaining abovementioned issues, and to report on it and on any progress achieved in its next annual submission</i>	Aktionsplan; NIR	Für den Inventarbericht 2013 wird erstmals dieser Aktionsplan aufgestellt	abgestimmter Aktionsplan Energiedaten Inventarverbesserung liegt für die Inventarüberprüfung 2012 vor und wird jährlich aktualisiert	laufend	
2.1	Pünktlichkeit der endgültigen Energiebilanz	BMWi/AGEB / StBA/StaLas	BMWi	39	<i>timeliness of reporting [...]</i>	Prozessanalyse Energiedaten; NIR	Für den Inventarbericht 2013 wird das Ergebnis einer Prozessanalyse dargelegt, in dem die Meldewege genauer als bisher beschrieben werden, sowie die Bemühungen und Erfolge, diese zu verkürzen	durch Prozessanalyse, in dem die geltenden Meldewege genauer als bisher beschrieben werden, sowie die Bemühungen und Erfolge, diese zu verkürzen, können	erledigt	
2.2	Pünktlichkeit der endgültigen Energiebilanz	BMWi/AGEB/StBA/StaLas	BMWi/AGEB (nicht für amtliche Daten)/StBA und Statistische Landesämter (für amtliche Daten)	137	<i>In the course of the review, the ERT formulated a number of recommendations relating to the transparency of background and methodological information</i>	Prozessanalyse Energiedaten; NIR	Organisationsverbesserungen in den Statistischen Landesämtern. Das Statistische Bundesamt	amtliche statistische Daten sollen zukünftig früher übermittelt werden als bisher		

Nr	Thema	Zuständigkeit	Verantwortlich für die Durchführung	Bezug (Absatz)	Zitat aus Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU)	Instrument zur Umsetzung / Veröffentlichung	Aktivität zur Verbesserung	geplantes / erreichtes Ergebnis	Zeitliche Perspektive	Anmerkung
					<i>(e.g. in the energy[...] sectors), justification and documentation of recalculations (e.g. in the energy[...] sectors)[...] The key sectoral recommendations are that Germany: [...]</i> <i>(b) Improve the timeliness of reporting of the NEB (energy);</i>		bespricht auf der Referentenbesprechung mit den Ländern, ob und wie eine Verbesserung der Zusammenarbeit gewährleistet werden kann.			
3.1	Abweichungen vorläufige und endgültige EB	BMWi/AGEB / StBA/StaLas	AGEB; UBA	39	<i>significant differences between the preliminary and final NEB</i>	QK-Bericht; NIR	Energiedatenkonsistenzanalyse (EDKA)	Feststellung und Klärung der Abweichungen sowie Unterscheidung und Adressierung von a) Informationsdefiziten b) Dokumentationsbedarfen c) Datenproblemen d) methodische Änderungen	fortlaufend	
3.2	Abweichungen vorläufige und endgültige EB	AGEB	AGEB	39	<i>significant differences between the preliminary and final NEB</i>	QK	Von der AGEB wird angestrebt, eine Verringerung der Schätzfehler zu erreichen. Im derzeit in der Ausschreibung befindlichen Auftrag zur Erstellung der Energiebilanzen für die Jahre 2018 bis 2020 ist festgelegt, dass die vorhandenen Schätzverfahren und Überleitungsmodelle ständig zu optimieren und schriftlich niederzulegen sind.	Berichte der AGEB zu Plausibilitätschecks. Die AGEB prüft neue Verfahren und Methoden zur Erstellung der Schätzbilanz. Konkrete Vorschläge dazu wurden vorgelegt (vgl. Bericht des EEFA-Forschungsinstituts zum Thema Schätz - u. Modellansätze zur Erstellung vorl. Energiebilanzen).	fortlaufend	

Nr	Thema	Zuständigkeit	Verantwortlich für die Durchführung	Bezug (Absatz)	Zitat aus Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU)	Instrument zur Umsetzung / Veröffentlichung	Aktivität zur Verbesserung	geplantes / erreichtes Ergebnis	Zeitliche Perspektive	Anmerkung
3.3	Abweichungen vorläufige und endgültige EB	AGEB, UBA	UBA	39	<i>significant differences between the preliminary and final NEB</i>	Inventarbeschreibung	Im Rahmen der Arbeiten an Inventar und Nationalem Inventarbericht 2015 (NIR) werden Abweichungen beschrieben und die Ergebnisse werden im Rahmen einer Differenzdiskussion dargestellt.	Arbeitsstand ist in der Inventarbeschreibung 2015 dokumentiert: Dokumentation, Datenrevision für frühere Jahre, Verringerung von Schätzfehlern	seit 2012 fortlaufend	
4	komplexes Nationales System	BMW/i/UBA/AGEB	UBA	39	<i>The previous review report noted several issues related to Germany's NEB (such as [...] the complexity of the NEB compiling process that may contribute to the problems with regard to timeliness and quality.</i>	NaSE	Austausch über die Ergebnisse der Inventarüberprüfung und Ableitung von Handlungsbedarfen	Energiedatenworkshop am 16.11.10 Energiedatenworkshop am 05.08.11 Energiedatenworkshop am 27.04.12 Energiedatenworkshop am 07.08.12 Energiedatenworkshop 2013 am 07.05.2013 Energiedatenworkshop 2014 am 05.06.2014 Energiedatenworkshop 2016 am 03.05.2016		
5	Qualitätssicherung	EEFA/ DIW/ StBA/ AGEB / UBA	AGEB/UBA	39	<i>lack of QA/QC procedures in place for some data sources used to compile the NEB</i>	NIR	gemeinsamen Qualitätsbericht der AGEB in neuen Anhang 2 des NIR 2012 und folgende	the NEB is subject to QA/QC procedures in accordance with the national system	seit 2012 fortlaufend	
6.1	Abweichungen EB mit IEA-Daten	BMW/i, AGEB, Fragebogenbeauftragte	BMW/i	39	<i>low comparability with the IEA data</i>		gemeinsam im Rahmen des Aktionsplans festzuschreiben	Einführung eines Überleitungsverfahrens zur Sicherstellung der Kompatibilität zwischen Energiebilanz und Fragebogen im Bereich Strom und Wärme (vgl. dazu im Einzelnen Bericht des EEFA-	Abgeschlossen bzw. Fortlaufend	

Nr	Thema	Zuständigkeit	Verantwortlich für die Durchführung	Bezug (Absatz)	Zitat aus Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU)	Instrument zur Umsetzung / Veröffentlichung	Aktivität zur Verbesserung	geplantes / erreichtes Ergebnis	Zeitliche Perspektive	Anmerkung
								Forschungsinstituts an AGEB bzw. BMWI. Die Überleitung wurde im Zuge der umfassenden Revision der Fragebögen erfolgreich umgesetzt. In anderen Bereichen der Fragebögen bzw. Bilanz werden die Bemühungen zur Minimierung von Abweichungen weiter fortgesetzt. Berichte der AGEB zu Plausibilitätschecks Revision des Questionnaires 2003-2011.	Abgeschlossen Frühjahr 2014	
								Geplante Revision der NEB		
6.2	Abweichungen EB mit IEA-Daten	BMW i, AGEB, Fragebogenbeauftragte	BMW i	45	<p><i>The ERT also noted differences between the inventory data and the corresponding IEA data (e.g. for solid fuels exports, the data show differences of over 60 per cent in some recent years [...])</i></p> <p><i>Germany has provided some explanations for the divergences and informed the ERT that it is continuing to investigate these differences. The ERT considers that the differences cause no underestimation of emissions, but reiterates the recommendation of the previous review report that Germany explain the reasons for these differences between its inventory data and the corresponding IEA data in its next annual submission.</i></p>		gemeinsam im Rahmen des Aktionsplans festzuschreiben	Siehe 6.1		

Nr	Thema	Zuständigkeit	Verantwortlich für die Durchführung	Bezug (Absatz)	Zitat aus Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU)	Instrument zur Umsetzung / Veröffentlichung	Aktivität zur Verbesserung	geplantes / erreichtes Ergebnis	Zeitliche Perspektive	Anmerkung
6.3	Abweichungen EB mit IEA-Daten	BMW i, AG Energiebilanzen	BMW i		<i>The ERT also noted differences between the inventory data and the corresponding IEA data (e.g. for solid fuels exports, the data show differences of over 60 per cent in some recent years [...] Germany has provided some explanations for the divergences and informed the ERT that it is continuing to investigate these differences. The ERT considers that the differences cause no underestimation of emissions, but reiterates the recommendation of the previous review report that Germany explain the reasons for these differences between its inventory data and the corresponding IEA data in its next annual submission.</i>		Studie zum Abbau von Divergenzen zwischen nationaler und internationaler Energiestatistik	Da die NECP zwischen den Mitgliedsstaaten vergleichbar sein müssen, werden sie zu einem großen Teil aus Eurostat-Daten schöpfen. Um Inkonsistenzen zu vermeiden, sollten bisher bestehende Divergenzen zwischen nationalen und internationalen Energiedaten (IEA, Eurostat) minimiert werden. Daher wurde eine Studie vergeben, die neben einem vollständigen Bild der bestehenden Daten-Divergenzen und ihren Ursachen auch Strategien entwickelt, wie man diese abbauen kann. Diese Studie liegt nun vor. Im ausgeschriebenen Auftrag zur Erstellung der Energiebilanzen für die Jahre 2018 bis 2020 werden die Ergebnisse der Divergenzen-Studie berücksichtigt. Ab der endgültigen EB 2020 ist eine Evaluierung mit dem Ziel durchzuführen, das Auftreten nicht zu rechtfertigender neuer Divergenzen soweit wie möglich zu vermeiden.	Ende 2018	
7.1	Verbesserung Gasbilanz	BMW i/StBA/DIW/UBA/u.a.	StBA	39	<i>significant amount of flaring/losses of natural gas in the NEB that were not transparently accounted for</i>	NIR, EB	Treffen aller Beteiligten Energieexperten, Überprüfung und Umstellung der Datenquelle	the significant amount of flaring/losses of natural gas are taken into account	Apr 12	erledigt

Nr	Thema	Zuständigkeit	Verantwortlich für die Durchführung	Bezug (Absatz)	Zitat aus Überprüfungsbericht 2011 (FCCC/ARR/2011/DEU)	Instrument zur Umsetzung / Veröffentlichung	Aktivität zur Verbesserung	geplantes / erreichtes Ergebnis	Zeitliche Perspektive	Anmerkung
7.2	Verbesserung Gasbilanz	BMWi/StBA/ DIW/UBA/u.a.	StBA	39	<i>significant amount of flaring/losses of natural gas in the NEB that were not transparently accounted for</i>	NIR, EB	Aktualisierung der Gasbilanzen in den Positionen Fackelverluste, sondern u.a. auch auf Gewinnung, Außenhandel, Bestandsveränderung, NEV, EEV in den Energiebilanzen 2005 und Folgende	the significant amount of flaring/losses of natural gas are taken into account with regard to the time series Revision der NEB	erledigt	

18.7 Unsicherheiten der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen

Siehe NIR 2007, Kapitel 13.6.

18.8 CO₂-Emissionsfaktoren

Die CO₂ Emissionsfaktoren wurden für die Berichterstattung 2015 vollständig überarbeitet. Dabei konnte erstmals in großem Umfang auf Daten des Emissionshandels zurückgegriffen werden. Es lagen Daten zu Heizwerten, Emissionsfaktoren, Brennstoffmengen und der Datenqualität vor. Diese Daten wurden einer gründlichen Qualitätskontrolle unterzogen. So wurden nur die Faktoren der Ebene 3 oder 4 (Messung) in die Rechnung einbezogen. Weiterhin wurden Emissionsfaktoren ersetzt, die offensichtlich aus Listenwerten stammten. Manche Stoffströme werden im Emissionshandel nicht eindeutig benannt, was zu fehlerhaften Materialzuordnungen bei festen Brennstoffen führt. Bezüglich der Kohlen konnten diese Fehlallokationen über den Heizwert eindeutig identifiziert und nachträglich umsortiert werden. Braunkohlen und Steinkohlen lassen sich über den Heizwert eindeutig unterscheiden. Aus den qualitätsgeprüften Daten wurden jährlich gewichtete Mittelwerte berechnet. Um überprüfen zu können, ob die ermittelten Faktoren repräsentativ sind, wurden die dahinterliegenden Brennstoffmengen mit denen der Energiebilanz verglichen. Außerdem wurde auf eine weitestgehende Konsistenz zwischen Heizwerten und Emissionsfaktoren geachtet.

Zusätzlich zu den Daten des Emissionshandels wurden noch weitere Datenquellen ausgewertet, Archivdaten gesichtet und eigene Messungen durchgeführt. Für die Rückrechnungen bis 1990 wurden je nach Sachverhalt sehr unterschiedliche Verfahren gewählt. Damit sollte zum einen die Zeitreihenkonsistenz gesichert werden und zum anderen möglichst realitätsnahe Lösungen gefunden werden. Die Herausforderung bestand gut dokumentierte Archivdaten für das Jahr 1990 zu finden, da Dokumente aus dieser Zeit nur in Papierform an unterschiedlichen Institutionen vorlagen. Außerdem werden Daten nur selten über einen Zeitraum von über 20 Jahren aufbewahrt.

Da zum verbleibenden Kohlenstoffgehalt in der Asche keine belastbaren und repräsentativen Daten vorliegen, wird als Oxydationsfaktor 1 angenommen. Das entspricht dem Default-Wert der 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006).

18.8.1 Steinkohlen

Für die Steinkohlen wird ein sektorübergreifender Emissionsfaktor berechnet, was in diesem Fall sicherstellt, dass die Gesamtemissionen möglichst genau ermittelt werden. Eine Ausnahme bilden die Kokskohlen für die Eisen & Stahlindustrie, die sich deutlich von den Kesselkohlen unterscheiden. Eine weitere Ausnahme bilden die in den Haushalten und übrigen Kleinf Feuerungsanlagen eingesetzten Anthrazitkohlen, die deutlich höhere Heizwerte und Kohlenstoffgehalte aufweisen.

Für die übrigen Steinkohlen wurden Emissionshandelsdaten für die Jahre 2005 – 2014 ausgewertet. Es gibt jeweils Stoffströme, die einem bestimmten Herkunftsgebiet zugeordnet werden können. Dadurch ist es möglich, herkunftsspezifische CO₂ Emissionsfaktoren und Heizwerte zu ermitteln. Neben den herkunftsspezifischen Daten gibt es noch eine Menge gemischter Kohlen bzw. Kohlen unklarer Herkunft. Für alle einzelnen Kohlefraktionen (Deutschland, Südafrika, Australien, Indonesien, Kolumbien, Norwegen, Polen, Tschechien, Russland, USA und Venezuela) wurden CO₂ Emissionsfaktoren und Heizwerte bestimmt. Für die nicht spezifizierbaren sonstigen Steinkohlen wurden ebenfalls gewichtete Mittelwerte berechnet. Um die Emissionsfaktoren zurückrechnen zu können, wurden für die Steinkohlen zwei verschiedenen Rechenvarianten geprüft. Zum einen wurde mit Hilfe der Daten zu den

einzelnen Herkunftsgebieten sowie über die Importströme der Steinkohlenstatistik, ein gewichteter Mittelwert für jedes Jahr berechnet. Zum anderen wurde aus den gesamten im Emissionshandel gemeldeten und geprüften Emissionsfaktoren für Steinkohlen ein gewichteter Mittelwert gebildet. Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis des Vergleiches:

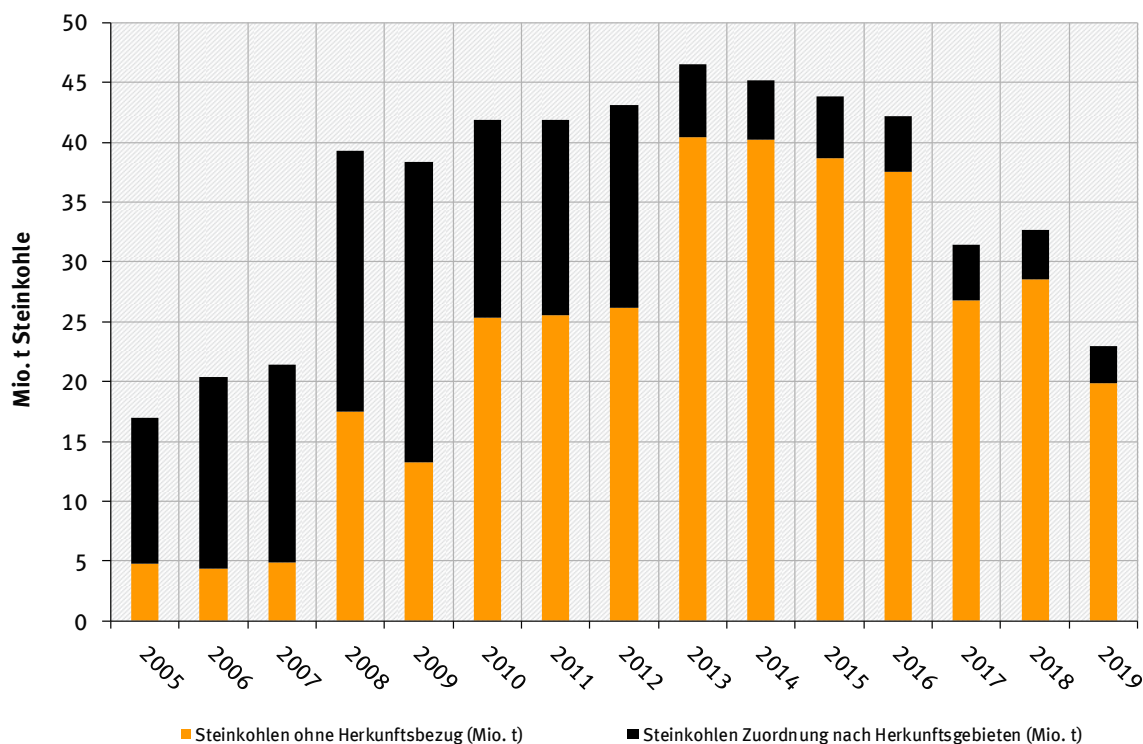
Tabelle 549: Vergleich der CO₂-Emissionsfaktoren für die Steinkohlen

[t CO ₂ /TJ]	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Rechnung über Importe	93,874	93,976	93,865	93,924	93,993	94,003	94,181	93,652	93,276	93,888
gewichteter EF aller ETS Daten	93,606	93,940	93,792	94,317	94,121	94,032	94,228	93,675	93,363	93,560
Differenz	0,29%	0,04%	0,08%	-0,42%	-0,14%	-0,03%	-0,05%	-0,02%	-0,09%	0,35%

Da die Differenzen in den meisten Jahren sehr gering sind, können ab dem Jahr 2006 die gewichteten Emissionsfaktoren von allen im Emissionshandel gemeldeten Steinkohlen (außer Eisen & Stahl) verwendet werden - unabhängig vom Herkunftsgebiet. Für die Rückrechnung bis 1990 werden die aus den Emissionshandelsdaten gebildeten herkunftsspezifischen Emissionsfaktoren mit den jeweiligen Importströmen kombiniert. Dadurch entsteht eine konsistente Zeitreihe.

Die folgende Abbildung zeigt die auswertbaren Steinkohlemengen für die im Emissionshandel gemessene Emissionsfaktoren und Heizwerte vorliegen.

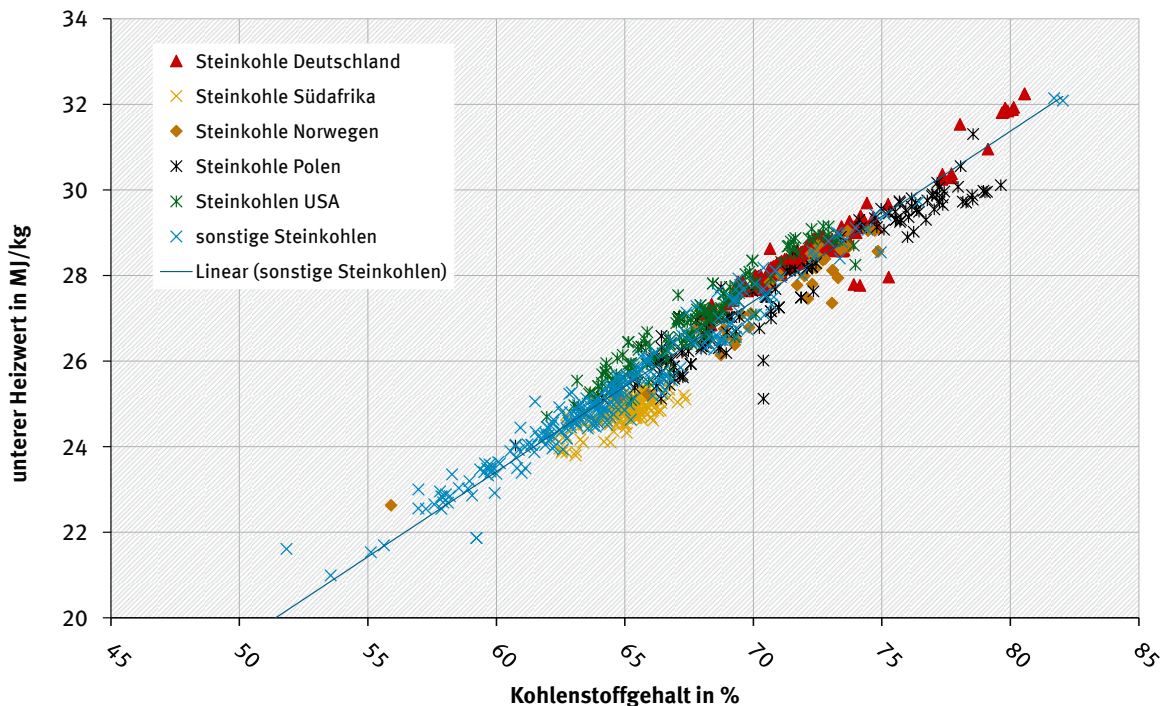
Abbildung 81: Steinkohlemengen für die im Emissionshandel gemessene Emissionsfaktoren und Heizwerte vorliegen



Dabei zeigt sich, dass aufgrund der Änderung der Regelungen die Qualität der Werte, vor allem ab dem Jahr 2008 deutlich ansteigt. Zum anderen fällt auf, dass die Menge der Steinkohlen, die sich eindeutig einem bestimmten Abbaugbiet zuordnen lässt, deutlich abnimmt. Von daher ist die Bildung eines gewichteten Mittelwertes über alle Steinkohlen, unabhängig von der Herkunft, die fachlich sinnvollste Lösung. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Emissionsfaktoren repräsentativ sind.

Insgesamt wurden sehr gründliche Qualitätsprüfungen durchgeführt und zahlreiche Auswertungen vorgenommen. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft, dass sich zum einen mehr oder weniger deutliche Herkunftsprofile erstellen lassen, zum anderen ein klarer Zusammenhang zwischen Kohlenstoffgehalt und Heizwert besteht.

Abbildung 82: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten für verschiedene Steinkohlenqualitäten



Die meisten Steinkohlen haben einen Kohlenstoffgehalt (bezogen auf die Originalsubstanz) zwischen 60 und 75 %. Der Durchschnitt liegt je nach Jahr zwischen 65 und 66 %. Die Steinkohlen im unteren Bereich bis zu einem Kohlestoffgehalt von rund 56 % und einem Heizwert von maximal 22 MJ/kg können als Ballaststeinkohlen bezeichnet werden. Die Steinkohlen im oberen Bereich, ab einem Heizwert von ca. 30 MJ/kg weisen Koks-kohlenqualität auf. Die höchsten Kohlenstoffgehalte kommen bei Anthrazit vor.

Die Werte der in Deutschland eingesetzten **Kokskohlen** sind in dieser Grafik nicht enthalten. Die Kokskohlen wurden aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften separat ausgewertet. Außerdem werden für die Eisen & Stahl Industrie bezüglich der Kohlen im Emissionshandel keine auswertbaren Heizwerte gemeldet, so dass für diesen Bereich nur massebezogene Emissionsfaktoren ermittelt wurden. Dementsprechend werden die Kohlemengen ebenfalls in Tonnen bilanziert. Da für diesen Sektor in der Statistik Heizwertangaben größtenteils fehlen, erscheint es sinnvoll, mit natürlichen Einheiten zu rechnen. Nach intensiven Gesprächen mit den zuständigen Fachexperten der Deutschen Emissionshandelsstelle konnten repräsentative Emissionsfaktoren für die in der Eisen & Stahlindustrie eingesetzten Steinkohlen ermittelt werden. Aus dem gleichen Datensatz konnten Emissionsfaktoren für **Steinkohlenkoks**, **Steinkohlenteer** sowie **Benzol**, die in der Energiebilanz unter „Andere Steinkohlenprodukte“ zusammengefasst werden.

Bezüglich **Steinkohlenkoks** wurde für alle anderen Industriezweige eine energiebezogener CO₂ Emissionsfaktor als Mittelwert aus den Emissionshandelsdaten für die Jahre 2005 – 2013

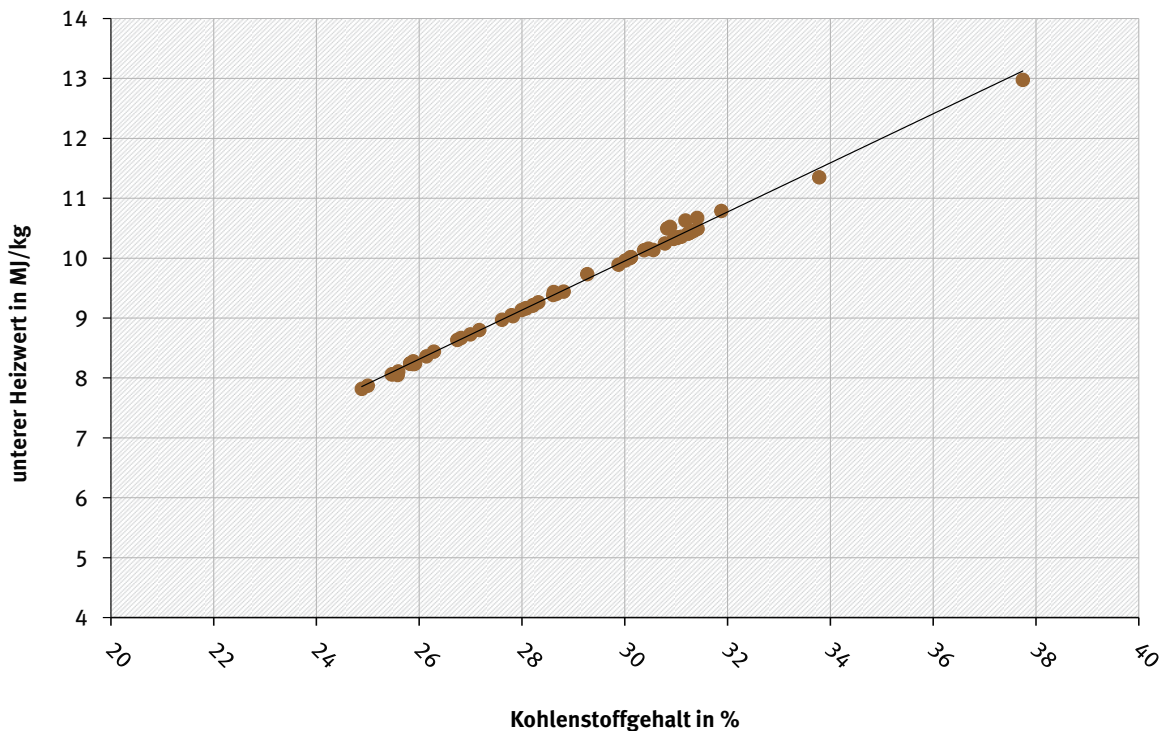
berechnet. Für die Folgejahre weichen die Emissionsfaktoren nur geringfügig ab, so dass mit dem Mittelwert weiter gerechnet werden kann.

Da die in den Kleinf Feuerungsanlagen eingesetzten **Steinkohlenbriketts** über den Emissionshandel nicht erfasst werden, wurden für diesen Bereich im Rahmen eines Projektes eigene Analysen durchgeführt. Die Werte werden bis zum Jahr 1990 zurückgeschrieben, da für das Basisjahr keine repräsentativen Werte vorliegen.

18.8.2 Braunkohlen

Die Rohbraunkohlen, die in der öffentlichen Versorgung eingesetzt werden, können über die Braunkohlenstatistik revierspezifisch zugeordnet werden. Die CO₂ Emissionsfaktoren werden ab dem Jahr 2005 aus den Emissionshandelsdaten ermittelt. Die Kohlenstoffgehalte (bezogen auf die Originalsubstanz) liegen ebenfalls revierspezifisch vor. Die folgende Abbildung soll ein Beispiel geben:

Abbildung 83: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten am Beispiel einer Rohbraunkohlequalität



Bezüglich der Braunkohlen sind die Unterschiede beim Schwefelgehalt größer als bei den Steinkohlen. Da der Schwefelgehalt einen merklichen Einfluss auf den Heizwert und damit auf das Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalt und Heizwert hat, muss die Braunkohle revierspezifisch ausgewertet werden. Die Abbildung Abbildung 83 zeigt, dass es eine eindeutige Korrelation zwischen Heizwert und Kohlenstoffgehalt gibt. Somit kann über die entsprechende Formel und den für die jeweiligen Jahre bekannten Heizwert, der entsprechende Kohlenstoffgehalt und anschließend der energiebezogene CO₂ Emissionsfaktor berechnet werden. Dadurch ist eine Rückrechnung bis 1990 und somit die Bildung einer konsistenten Zeitreihe möglich. Sicherlich gibt es Unschärfen, da 1990 vermutlich noch kleinere Gruben in Betrieb waren, die andere Schwefelgehalte aufwiesen. Das lässt sich aber im Nachhinein nicht mehr herausfinden. 1990 wurden kaum Kohlenstoffanalysen durchgeführt, weil dieses Thema damals noch nicht relevant war. Es gibt nur wenige Einzelanalysen, die nicht unbedingt

repräsentativ sind. So liegen zum Beispiel für die Hessische Braunkohle, welche bis 2003 gefördert wurde, nur Angaben zum Heizwert vor. Für die Rückrechnung wurde hier ein mittlerer Schwefelgehalt angenommen, der zwischen dem Mitteldeutschen und dem Rheinischen Revier liegt. Mengenmäßig ist diese Kohle kaum relevant. Der Emissionsfaktor ändert sich zwischen 1991 und 1992 sehr stark, weil in diesem Revier zwei Kraftwerke vom Netz gingen, die zwischenzeitlich mit minderwertiger Kohle versorgt wurden.

Für den Rohbraunkohleeinsatz in den Fernheizwerken wird ein gewichteter Emissionsfaktor aus dem Braunkohleeinsatz in der öffentlichen Versorgung berechnet. Für die Industrie und die Kleinverbraucher wurde aus der Absatzstatistik des DEBRIV (Deutscher Braunkohlen Industrie Verein) ein gewichteter Emissionsfaktor berechnet, der sich aus der Verteilung der Reviere ergibt.

Zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die **Braunkohlenbriketts** werden ab dem Jahr 2005 Emissionshandelsdaten verwendet. Daraus werden Jahres- und revierspezifische Mittelwerte gebildet, aus denen mit Hilfe der Absatzstatistik (DEBRIV) ein gewichteter Mittelwert berechnet wird. Die Emissionshandelsdaten können nicht direkt verwendet werden, da sie den Berichtskreis nicht vollständig abdecken. Die Haushalte und Kleinverbraucher nehmen nicht am Emissionshandel teil. Um sicherzustellen, dass die Brennstoffqualitäten gleich sind, wurden die Datenauswertungen aus dem ETS mit eigenen Analysen für Briketts aus dem Haushaltsbereich verglichen. Die Werte passen gut zusammen. Braunkohlenbriketts sind zwar ein standardisiertes Produkt, für das bestimmte Qualitätsmerkmale gelten, trotzdem gibt es revierspezifische Unterschiede, abhängig vom Kohlenstoff- oder Schwefelgehalt der eingesetzten Rohbraunkohlen. Die Rückrechnung bis zum Jahr 1990 erwies sich als deutlich komplizierter als die Berechnung der Rohbraunkohlen. Lediglich für die Rheinischen Braunkohlenbriketts konnten aus ETS Daten 2005 – 2013 ein mittlerer CO₂ Emissionsfaktor berechnet werden, der auch für die Jahre 1990 – 2004 verwendet werden kann. In den Neuen Bundesländern wurden Anfang der 1990er Jahre sehr viele Brikettfabriken geschlossen, so dass sich die Qualität der Brennstoffe deutlich verändert hat. Aus mitteldeutscher Braunkohle werden gar keine Briketts mehr hergestellt. Dementsprechend sind auch keine aktuellen Messwerte vorhanden. Von daher musste auf Archivdaten zurückgegriffen werden. Es lagen Analysedaten von Mohry 1986 sowie Daten aus dem „Jahresbericht der Kohleindustrie der DDR“ aus dem Jahre 1986 vor. Es stellte sich heraus, dass der bisher für die mitteldeutschen Briketts angenommene Kohlenstoffgehalt deutlich zu hoch war. Bei der Berechnung der Mittelwerte wurde darauf geachtet, dass die Emissionsfaktoren mit den vom DEBRIV veröffentlichten Heizwerten zusammenpassen. Somit konnte für jedes Revier ein jährlicher CO₂ Emissionsfaktor berechnet werden. Daraus konnten mit Hilfe der vom DEBRIV verfügbaren Absatzstatistik jährliche, gewichtete CO₂ Emissionsfaktoren berechnet werden.

Bezüglich der **Braunkohlenstaub- und Wirbelschichtkohle** ist die Datenlage deutlich einfacher, da aus allen Revieren Daten im Emissionshandel vorliegen. Für die Rückrechnung bis 1990 wurden hier - abhängig von der Datenqualität - Mittelwerte aus den Jahren 2005 bzw. 2008 – 2013 verwendet. Analog zu Rohbraunkohlen und Briketts, wurde auch für die Braunkohlenstaub- und Wirbelschichtkohlen mit Hilfe der Absatzstatistik (DEBRIV) ein gewichteter CO₂ Emissionsfaktor berechnet. Ab dem Jahr 2005 werden die CO₂ Emissionsfaktoren aus dem Emissionshandel direkt in die Berechnung eingefügt. Mit Hilfe der Revierspezifischen Absatzstatistik werden dann wie bisher gewichtete Faktoren berechnet.

Braunkohlenkoks wird gegenwärtig nur noch in einem Revier hergestellt. Der Herdofenkoks dient im Wesentlichen der stofflichen Nutzung. Da die Brennstoffqualität nur äußerst geringe Schwankungen aufweist, wurde aus den ETS Daten 2008 – 2013 ein Mittelwert gebildet, der bis 1990 zurückgerechnet wurde. Für die neuen Bundesländer lag nur eine Datenquelle vor. Es

handelt sich um Analysen aus der Ingenieursschule für Bergbau und Energetik „Ernst Thälmann“ in Senftenberg. Es erscheint aber plausibel, dass der Kohlenstoffgehalt deutlich geringer war, während Asche- und Schwefelgehalt im Vergleich zum rheinischen Koks deutlich höher lagen. Folgerichtig ist der für die neuen Bundesländer berechnete Emissionsfaktor auch niedriger.

Der für 2014 aus den Emissionshandelsdaten ermittelte Emissionsfaktor liegt mit 109,317 t CO₂/TJ dicht an dem für 2005 – 2013 berechneten Mittelwert von 109,578 t CO₂/TJ.

Der Datensatz aus der Ingenieursschule für Bergbau und Energetik „Ernst Thälmann“ in Senftenberg enthielt auch Analysen für **Torf, lufttrocken**. Der Heizwert stimmt mit dem in der Energiebilanz verwendeten Heizwert überein. Die Werte für das in den Raffinerien der neuen Bundesländer eingesetzte **Braunkohlenteeröl**, stammen aus derselben Datenquelle.

Für den in den Neuen Bundesländern verwendeten **Braunkohlenteer** lagen keine Daten vor. Alternativ wurden Analysedaten aus dem Forschungsbericht Vertrag Nr. 7220-EB/106 (DEBRIV 1980) verwendet. Braunkohlenteer wird seit dem Jahr 1991 nicht mehr eingesetzt.

Die CO₂ Emissionsfaktoren für die **Hartbraunkohlen** können ab dem Jahr 2008 aus ETS Daten generiert werden. In Deutschland werden derzeit nur sehr geringe Mengen an Hartbraunkohle eingesetzt. Um die Emissionsfaktoren bis 1990 zurückrechnen zu können, wurde aus den vorhandenen ETS Daten das Kohlenstoff/ Heizwertverhältnis ermittelt. Mit Hilfe der aus der Braunkohlestatistik (DEBRIV) bekannten Heizwerte konnte dann eine konsistente Zeitreihe erstellt werden.

18.8.3 Mineralöle

Rohöl und **Rohbenzin** werden in Deutschland nicht in Verbrennungsanlagen eingesetzt. Deshalb liegen für diese Rohstoffe im Emissionshandel keine Kohlenstoffgehalte vor. Auch aus anderen Quellen liegen keine Analysewerte vor. Von daher werden die Default-Werte aus den 2006 Guidelines verwendet. Die Faktoren werden nur für das Referenzverfahren sowie für die Raffinerie-Umwandlungsbilanz benutzt. Für **Flugbenzin** und **Schmierstoffe** kommen ebenfalls Default-Werte zur Anwendung.

Zur Berechnung der CO₂ Emissionsfaktoren für **Ottokraftstoff** wurde eine umfangreiche Auswertung dem DGMK Forschungsbericht 502-1 „Zusammensetzung von Ottokraftstoffen aus deutschen Raffinerien“ (DGMK, 2002) vorgenommen. Im Rahmen der Studie wurden die Bestandteile der Kraftstoffe sehr detailliert untersucht. Als Ergebnis liegt die Konzentration von 113 Einzelsubstanzen sowie 16 Stoffgruppen als Mittelwerte für Normalbenzin, Super und Super Plus aus allen deutschen Raffinerien vor. Über die Kohlenstoffgehalte der angegebenen Stoffe und der dazugehörigen Konzentration konnte für die 3 Kraftstoffqualitäten jeweils ein gewichteter Kohlenstoffgehalt berechnet werden. Aus dem Kohlenstoffgehalt konnte ein massebezogener Emissionsfaktor berechnet werden. Die folgende Tabelle zeigt die Mittelwerte sowie die Schwankungsbreite der CO₂ Faktoren:

Tabelle 550: Zusammensetzung und Emissionsfaktoren von Ottokraftstoffen

		mittlerer CO ₂ EF	Minimum	Maximum	Einheit
Normalbenzin		3,183	3,160	3,206	t CO₂/ t
Super		3,185	3,152	3,211	t CO₂/ t
Super plus		3,141	3,102	3,176	t CO₂/ t
Mit folgender Zusammensetzung:					
Normalbenzin	Paraffine	45,30	52,06	41,64	%
	Aromaten	37,14	28,68	48,12	%
	Sauerstoffverbindungen	0,30	0,32	0,19	%
Super	Paraffine	40,23	23,32	32,22	%
	Aromaten	43,44	47,99	46,30	%
	Sauerstoffverbindungen	2,54	11,52	0,01	%
Super Plus	Paraffine	33,95	41,60	33,29	%
	Aromaten	44,33	34,43	49,19	%
	Sauerstoffverbindungen	10,49	13,44	6,80	%

Als weitere Bestandteile sind noch Naphthene und Olefine zu nennen, die aber kaum einen Einfluss auf den CO₂ Faktor haben. Beim Normalbenzin bestimmt im Wesentlichen der Gehalt an Aromaten die Höhe des CO₂ Emissionsfaktors. Die Aromaten haben durchschnittlich einen höheren Kohlenstoffgehalt als die Paraffine. Der Gehalt an Aromaten im Ottokraftstoff hängt hauptsächlich davon ab, ob auf dem Gelände der Raffinerie auch chemische Grundstoffe hergestellt werden. In diesen Fällen wird versucht, einen möglichst hohen Anteil an Aromaten dem chemischen Produktionsprozess zur Verfügung zu stellen. Beim Ottokraftstoff Super schwankt der Gehalt an Aromaten nur geringfügig. Der CO₂ Faktor wird hier im Wesentlichen durch den Gehalt an Sauerstoffverbindungen (MTBE) bestimmt. Beim Super Plus spielt sowohl der Gehalt an Aromaten als auch der Gehalt an Sauerstoffverbindungen eine Rolle.

Aus den Angaben zum jährlichen Absatz von Normalbenzin, Ottokraftstoff Super und Super Plus (Amtliche Mineralöl-daten) wird ein gewichteter CO₂ Emissionsfaktor berechnet. Für das Jahr 1990 liegen keine Angaben für die Neuen Bundesländer vor. Deshalb wird in diesem Fall die Aufteilung der einzelnen Kraftstoffqualitäten für das Jahr 1991 auf das Jahr 1990 übertragen. Aus Konsistenzgründen wird aus dem berechneten massebezogenen Emissionsfaktor und dem in der Energiebilanz verwendeten unteren Heizwert ein energiebezogener CO₂ Emissionsfaktor berechnet. Die so ermittelten Emissionsfaktoren schwanken über die Jahre kaum. Lediglich für das Jahr 2011 ergibt sich es ein auffällig niedriger Emissionsfaktor. Nach der Einführung von E10 (10%iger Anteil an Biokraftstoff im Super) wurde deutlich mehr Super Plus getankt.

Als Grundlage zur Berechnung des Emissionsfaktors für **Dieselmotorkraftstoff** dient der DGMK Forschungsbericht 583: „Zusammensetzung von Dieselmotorkraftstoffen aus Deutschen Raffinerien 1999-2002“. Dabei wurden Proben aus 13 Raffinerien für Sommer- und Winterqualitäten untersucht. Aus den Analyseergebnissen wurden jeweils ein Mittelwert für die Sommer- und ein Mittelwert für die Winterqualität berechnet. In Deutschland ist die Verfügbarkeit von Winterdiesel gesetzlich geregelt. Danach müssen die Tankstellen vom 15.11. bis zum 28.02. Winterdiesel anbieten. Zusätzlich muss noch eine Umstellungsphase berücksichtigt werden, so dass mit einer Nutzung von Winterdiesel von ca. 4 Monaten zu rechnen ist. Demnach fahren die Dieselfahrzeuge 8 Monate lang mit Sommerdiesel. Über diese Verteilung wurde aus den Analyseergebnissen zum Sommer- und Winterdiesel ein gewichteter Emissionsfaktor berechnet.

Die CO₂ Emissionsfaktoren für **Heizöl leicht, Petrolkoks, Heizöl schwer** und **Andere Mineralölprodukte** werden aus Emissionshandelsdaten berechnet. Die jeweiligen Mittelwerte aus den Jahren 2005 – 2013 wurden bis 1990 zurückgeschrieben. Für Petrolkoks, Heizöl, schwer und Andere Mineralölprodukte werden ab 2005 bzw. 2008 jeweils jahresspezifische, gewichtete Mittelwerte aus dem Emissionshandel verwendet. Die Grenze zwischen schwerem Heizöl und

Anderen Mineralölprodukten ist nicht leicht zu ziehen. Gemäß der Mineralölstatistik wurden die Anderen Mineralölprodukte als Reststoffe aus den Raffinerien definiert und der Emissionsfaktor entsprechend berechnet.

Für das **Raffineriegas** wird aus den ETS Daten ein massebezogener CO₂ Emissionsfaktor berechnet. Da die jährlichen Schwankungen gering sind, wird hier ein über alle Jahre gleicher Faktor verwendet, der aus den Durchschnittswerten der Jahre 2005 – 2013 gebildet wird. Während die im Emissionshandel angegebenen unteren Heizwerte nur geringe jährliche Schwankungen aufweisen, schwanken die in der Energiebilanz verwendeten Heizwerte teilweise erheblich und weichen von den ETS Daten ab. Die in der Energiebilanz berichteten Raffineriegasmengen stammen aus der Mineralölstatistik. Diese Werte stimmen gut mit den ETS Daten überein. Aus Konsistenzgründen werden zur Inventarerstellung die in der Energiebilanz benutzten unteren Heizwerte verwendet. Der Emissionsfaktor wird dann entsprechend angepasst.

Um die CO₂ Emissionsfaktoren für **Flüssiggas** ermitteln zu können, wurde zunächst über die molare Masse der Kohlenstoffgehalt für Butan und Propan berechnet. Der jeweilige Anteil der beiden Komponenten wird im Jahresbericht des Deutschen Verbandes Flüssiggas e.V. veröffentlicht. Auch die Daten bis 1990 wurden vom Verband zur Verfügung gestellt. Über den jeweiligen Anteil der beiden Komponenten wird für alle ein gewichteter Emissionsfaktor berechnet, der durch den in der Energiebilanz verwendeten unteren Heizwert geteilt wird. Die im NIR veröffentlichten Emissionsfaktoren für Flüssiggas gelten nur für den energetischen Verbrauch. Die Daten für die stoffliche Nutzung unterscheiden sich, da in diesem Fall im Gemisch durchschnittlich mehr Butan als Propan enthalten ist. Bei der energetischen Nutzung ist mehr Propan als Butan enthalten. Leider ist diese Aufteilung seit dem Berichtsjahr 2017 nicht mehr verfügbar. Daher wird das Verhältnis Butan zu Propan zukünftig fortgeschrieben. Ein großer Effekt wird dadurch nicht erwartet. Die Anteile schwankten über die Jahre nur unwesentlich.

18.8.4 Gase

Gemäß IPCC Definition der Brennstoffe werden einige gasförmige Brennstoffe den festen Brennstoffen zugeordnet, da diese nach Logik der Guidelines aus festen Brennstoffen entstehen bzw. hergestellt werden. Das gilt für Kokerei- und Stadtgas, Gicht- und Konvertergas sowie für Brenngas. Die sonstigen hergestellten Gase werden den flüssigen Brennstoffen zugeordnet, da diese Gase im Wesentlichen in der Chemischen Industrie entstehen, aus dem Nichtenergetischen Verbrauch von Naphtha und anderen Mineralölprodukten. Diese Zuordnung ist notwendig, um im Referenzverfahren sinnvolle Ergebnisse zu erzielen.

Zur Ermittlung der CO₂ Emissionsfaktoren für **Kokereigas, Gichtgas, Konvertergas** und **Erdölgas** werden Emissionshandelsdaten verwendet. Für die Rückrechnung bis 1990 wurden aus den ETS Daten 2005 – 2013 Mittelwerte berechnet, die dann für die Jahre 1990 – 2004 verwendet werden. Da in der Energiestatistik Gicht- und Konvertergas nur als Gasgemisch berichtet werden, wird aus den für beide Gase einzeln ermittelten Emissionsfaktoren und dem Gicht- und Konvertergasaufkommen ein gewichteter Emissionsfaktor berechnet. In den einzelnen Verwendungsbereichen gibt es sicherlich Unterschiede im Mischungsverhältnis. Da die Gicht- und Konvertergasverbrennung im Emissionshandel nur teilweise abgedeckt wird, wird durch die hier angewendete Berechnungsmethode sichergestellt, dass die Gesamtemissionen korrekt berechnet werden.

Bis zum Jahr 1996 wurde in Deutschland noch Stadtgas eingesetzt, das in der Energiebilanz mit dem Kokereigas zusammengefasst wird. Genau wie bei der Gicht- und Konvertergasverbrennung ist auch hier der Anteil vom **Kokereigas und Stadtgas** bei der Verwendungsseite nicht ablesbar. Deshalb wird auch in diesem Fall über das Kokereigas- und das Stadtgasaufkommen ein

gewichteter Emissionsfaktor berechnet. Die Werte für das **Stadtgas** stammen von der GASAG und DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH Leipzig. Es liegen detaillierte Analysen für die Jahre 1989 bis 1991 vor. Diese unterschiedlichen Gase wurden zu einer einigermaßen gleichbleibenden Stadtgasqualität zusammengemischt. Zum jeweiligen Mischungsverhältnis der Gasfraktionen für die Sommer- und Winterqualität liegen ebenfalls Information der DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH Leipzig vor. Die Emissionsfaktoren wurden entsprechend gewichtet. Die Werte für das ausschließlich in den Neuen Bundesländern verwendete **Brenngas** stammen aus dem Datensatz der Ingenieursschule für Bergbau und Energetik „Ernst Thälmann“ in Senftenberg. Der Begriff Brenngas ist nicht klar definiert. Da dieses Gas vornehmlich in den Grubenkraftwerken eingesetzt wurde, ist davon auszugehen, dass sich um ein braunkohlebasiertes Gas handelt. Die Zusammensetzung dieser Gase kann aber sehr unterschiedlich sein. Dementsprechend sind auch die Emissionsfaktoren sehr unterschiedlich. Sie liegen in einem Bereich von 118,6 – 131 t CO₂/TJ. Im Sinne eines konservativen Ansatzes, um die Basisjahremissionen nicht zu überschätzen, wird für die Inventarerstellung der niedrigste Emissionsfaktor verwendet. Im Energiewirtschaftlichen Jahresbericht 1989 wird für sonstiges Gas ein Heizwert von 5,3 MJ/Nm³ ausgewiesen, was auf einen höheren Emissionsfaktor hinweist. Da in der Energiebilanz Kokereigas, Stadtgas und Brenngas zusammengefasst berichtet werden, sind die Heizwerte der einzelnen Gase nicht mehr feststellbar.

Sonstige hergestellte Gase werden im Wesentlichen in der Chemischen Industrie eingesetzt. Unter diesem Begriff werden sowohl hochkalorische Gase, mit einem hohen Wasserstoffanteil, als auch niederkalorische Fackelgase mit einem hohen Stickstoffanteil zusammengefasst. Der Emissionsfaktor wurde aus Emissionshandelsdaten für die Chemische Industrie berechnet. Dabei wurde der Mittelwert aus den Jahren 2008 – 2013 gebildet. Da sich die Heizwertangaben zwischen der Energiestatistik und dem Emissionshandel deutlich unterscheiden, die angegebenen Mengen in Kubikmeter aber gut zusammenpassen, wurde hierfür somit ein Emissionsfaktor berechnet, der sich auf diese natürliche Einheit bezieht. Aus Konsistenzgründen wurde bisher für die Inventarerstellung mit dem in der Energiestatistik verwendeten Heizwert gerechnet. Nach einer Auswertung der Energieeinsätze in Großfeuerungsanlagen wurden deutlich höhere Energiemengen als bisher generiert. Aufgrund der Diskrepanz, wurde entschieden zukünftig mit einem abweichenden Heizwert zu rechnen. Dadurch verringert sich der CO₂ Emissionsfaktor.

Für **Grubengas** wird über die vom Steinkohlenverband angegebene verwertete Methanmenge und die in der Energiebilanz angegebene Gesamtmenge in Kubikmetern ein Methangehalt ausgerechnet. Über die entsprechende Gaszusammensetzung wird ein CO₂ Emissionsfaktor berechnet. Da sich in einigen Jahren statistische Differenzen ergeben, wird, im Sinne eines konservativen Ansatzes mit dem niedrigsten Methangehalt gerechnet.

Da die im Emissionshandel verbuchte **Erdgas**menge nicht repräsentativ ist und häufig Default-Emissionsfaktoren verwendet werden, wurden in dem Projekt: „Messungen der Erdgasqualität an verschiedenen Stellen im Netz zur Ableitung bzw. Verifizierung von durchschnittlichen Emissionsfaktoren und Heizwerte von Erdgas“ (2014), von der DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH Leipzig eigene Analysen durchgeführt. Dabei wurden an 32 Standorten Deutschlandweit Messungen vorgenommen. Die Messstellen wurden so ausgewählt, dass alle wichtigen Importgase sowie die Eigenförderung erfasst wurden. Außerdem wurde ein in Deutschland verteiltes Gemisch analysiert. In den Fällen, in denen die Messung an einem Grenzübergabepunkt nicht möglich war, wurden alternative Messstellen gefunden. Die Schwankungsbreite der CO₂ Emissionsfaktoren innerhalb der Gasqualitäten ist sehr gering. Aber auch insgesamt schwanken die Werte nur geringfügig. Analog zu anderen Brennstoffen werden auch beim Erdgas keine sektorspezifischen Emissionsfaktoren ermittelt. Das ist in diesem Fall

aufgrund der Datenlage nicht möglich. Von daher erscheint es realistischer, auf nationaler Ebene gewichtete Emissionsfaktoren zu ermitteln. Die Berechnung erfolgt auf Grundlage der vorgenommenen Messungen und der Importströme sowie der Eigenproduktion. Diese Berechnungsmethode ist seit dem Jahr 2015 nicht mehr anwendbar, da größere Importmengen der Geheimhaltung unterliegen. Somit werden ab 2015 die aus den Emissionshandelsdaten berechneten gewichteten Mittelwerte verwendet, auch wenn diese nicht ganz repräsentativ sind. In den Vorjahren liegen die Faktoren dicht beieinander.

18.8.5 Abfall und Sonderbrennstoffe

Für den **Abfall** wird gemäß VDI 3460 ein Kohlenstoffgehalt angenommen. Die Datenquelle für die Heizwerte ist die Energiestatistik. Die Daten für die **Sonderbrennstoffe** stammen aus dem Projekt: „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Lechtenböhrer et al. (2006c), FKZ 204 42 203/02). Diese Daten müssen noch mit Hilfe der Emissionshandelsdaten überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden. Für Brennstoffe mit einem relevanten Biomasseanteil ist ein Vergleich mit ETS-Daten generell schwierig, da der Emissionsfaktor nicht in jedem Fall den Biomasseanteil berücksichtigt. Außerdem sind die Bezeichnungen im ETS nicht immer eindeutig. Da die Heizwerte der Sonderbrennstoffe deutlich stärker variieren als die der konventionellen Brennstoffe, ist eine eindeutige Identifikation über den Heizwert nicht möglich. Von daher ist ein solcher Vergleich deutlich aufwendiger. Während für die konventionellen Brennstoffe weitestgehend sektorübergreifende Emissionsfaktoren ermittelt werden, muss bei den Sonderbrennstoffen sektorspezifisch gerechnet werden.

Für wenige Sonderbrennstoffe konnten bereits Emissionshandelsdaten ausgewertet werden. Das betrifft **Altöl** und **Altkunststoff**. Diese Werte werden für die Kohlenstoffbilanz der Eisen & Stahlindustrie verwendet. Der Emissionsfaktor für **Altreifen** wurde aus ETS Daten aus dem Jahr 2010 berechnet.

18.8.6 Biomassebrennstoffe

Die Emissionsfaktoren für die Biomassebrennstoffe, die als **Ersatzbrennstoffe** in der Industrie eingesetzt werden, stammen ebenfalls aus dem Projekt: „Einsatz von Sekundärbrennstoffen“ (Lechtenböhrer et al. (2006c), FKZ 204 42 203/02). Die CO₂ Emissionsfaktoren für **Holz** stammen aus dem Forschungsbericht „Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung“ (Struschka et al., 2008).

Für die **Abblaugen** aus der Zellstofferzeugung wurden auf Grundlage von Betreiberangaben zur stofflichen Zusammensetzung jeweils Emissionsfaktoren für Sulfat- und Sulfitablaugen berechnet. Aus diesen beiden Werten wird jährlich über die produzierten Mengen an Sulfit- und Sulfatzellstoff ein gewichteter Mittelwert gebildet.

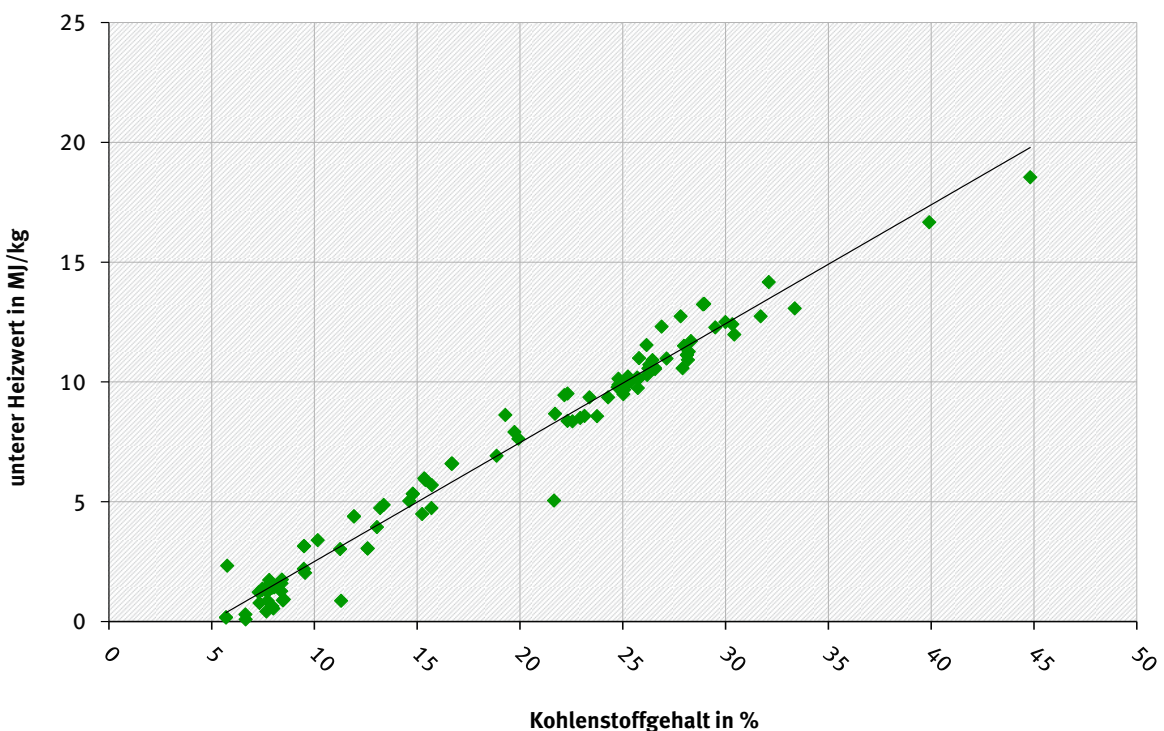
Zur Berechnung der CO₂ Emissionsfaktoren für **Biogas**, **Deponiegas** und **Klärgas** wurden zunächst Heizwerte aus der Energiestatistik ausgewertet. Aus den Heizwerten für die Jahre 2009 – 2011 wurden jeweils Mittelwerte berechnet. Aus diesem Heizwert wurde jeweils ein Methangehalt bestimmt. Da diese Gase neben Methan hauptsächlich aus Kohlendioxid und zu einem geringen Anteil aus Stickstoff bestehen, wird der Heizwert durch den Methangehalt bestimmt. Außerdem sind in den Biogasen noch Sonstige Kohlenwasserstoffe enthalten, deren Anteil ca. 1 % beträgt. Mit Hilfe dieser Gaszusammensetzung wurde ein CO₂ Emissionsfaktor berechnet.

Der Emissionsfaktor für **Bioethanol** wurde über die Anzahl der Kohlenstoffatome sowie die molare Masse von Ethanol berechnet. Der Heizwert wird vom Bundesverband der Deutschen

Bioethanolwirtschaft veröffentlicht. Für **Biodiesel** liegen keine eigenen Analysen vor. Deshalb wird der Default-Emissionsfaktor aus den 2006 IPCC Guidelines (IPCC, 2006) verwendet.

Zur Bestimmung der CO₂ Emissionsfaktoren von **Klärschlamm, Altholz und Tiermehl** wurden Daten aus dem Emissionshandel ausgewertet. Für Tiermehl und Altholz wurde aus den von 2005 bis 2014 vorliegenden Daten zu Kohlenstoffgehalt und Heizwert der Median gebildet. Für Klärschlamm wurden zusätzlich Daten von kommunalen Entsorgern in die Auswertung einbezogen. Da Klärschlämme sowohl im Originalzustand als auch im getrockneten Zustand eingesetzt werden, reicht das Heizwertspektrum von < 1 MJ/kg bis 18 MJ/kg. Daraus folgend ist die Standardabweichung für die CO₂ Emissionsfaktoren so hoch, dass die Bildung eines Mittelwertes oder Median nicht zielführend wäre. Da der Kohlenstoffgehalt sehr gut mit dem Heizwert korreliert, kann aus der graphischen Darstellung eine entsprechende Formel abgeleitet werden (siehe folgende Abbildung).

Abbildung 84: Verhältnis zwischen Kohlenstoffgehalten und Heizwerten für verschiedene Klärschlämme



Dadurch können mit Hilfe der in der Energiestatistik angegebenen Heizwerte für die Mitverbrennung und den Heizwerten für die Monoverbrennung die dazugehörigen Kohlenstoffgehalte und Emissionsfaktoren berechnet werden.

18.8.7 Liste der abgeleiteten Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für Energie & Industrieprozesse

In den folgenden Tabellen geben einen Überblick über die im Inventar verwendeten Kohlendioxid-Emissionsfaktoren.

Tabelle 551: Für die Emissionsberichterstattung abgeleitete Emissionsfaktoren für CO₂ ab 1990, Energie

Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	Einheit	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Kohlen																			
Steinkohle																			
Steinkohle roh (Kraftwerke, Industrie)	t CO ₂ /TJ	93,1	93,1	93,5	93,9	93,9	93,8	94,3	94,1	94,0	94,2	93,7	93,4	93,6	93,5	93,6	93,4	93,1	93,7
Steinkohlenbriketts	t CO ₂ /TJ	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9	95,9
Steinkohlenkoks (ohne Eisen & Stahl)	t CO ₂ /TJ	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,1	108,3	108,1	107,5
Steinkohlenkoks Eisen & Stahl	t CO ₂ /t	3,29	3,26	3,23	3,19	3,18	3,16	3,17	3,17	3,18	3,17	3,17	3,20	3,19	3,17	3,17	3,18	3,18	3,18
Anthrazit (Wärmemarkt Haushalte, Kleinverbrauch)	t CO ₂ /TJ	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6	97,6
Balaststeinkohle <i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	95,2																	
Kokskohlen <i>Deutschland</i>	t CO ₂ /t	2,96	2,93	2,90	2,87	2,86	2,86	2,85	2,85	2,86	2,85	2,86	2,85	2,89	2,90	2,88	2,87	2,88	2,89
Steinkohlen Eisen & Stahl	t CO ₂ /t	2,92	2,92	2,92	2,95	2,99	2,96	2,91	2,86	2,89	2,89	2,91	2,96	2,97	2,90	2,88	2,94	2,90	2,93
Andere Steinkohlenprodukte	t CO ₂ /t	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,27	3,29	3,29	3,30	3,30	3,32	3,32	3,32	3,32	3,33	3,32	3,31
Steinkohlenteer	t CO ₂ /t	3,27	3,27	3,27	3,28	3,28	3,28	3,24	3,26	3,27	3,27	3,28	3,31	3,31	3,30	3,31	3,31	3,31	3,30
Benzol	t CO ₂ /t	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,37	3,37	3,37	3,37
Braunkohle																			
Rohbraunkohlen																			
öffentliche Fernheizwerke <i>Deutschland</i>	t CO ₂ /TJ		111,7	110,8	111,1	111,2	111,3	111,5	111,4	110,7	110,7	111,0	110,7	110,9	111,0	111,2	111,4	110,8	110,6
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	113,8																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	110,0																	
Industrie, Kleinverbrauch <i>Deutschland</i>	t CO ₂ /TJ		106,0	109,8	108,2	107,3	107,4	106,5	106,1	106,3	106,0	105,0	105,1	103,8	104,0	105,8	106,2	106,4	106,5
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	114,7																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	107,7																	
öffentliche Kraftwerke Revier:																			
Rheinland	t CO ₂ /TJ	114,8	113,9	113,1	113,2	113,5	113,5	113,8	113,6	113,3	113,3	113,2	113,0	113,1	113,1	113,0	113,0	112,7	112,9
Helmstedt	t CO ₂ /TJ	98,7	98,7	98,7	98,7	98,7	98,7	95,2	97,3	96,7	101,7	97,9	103,3	101,1	99,5	97,9	NO	NO	NO
Hessen	t CO ₂ /TJ	112,2	103,2	103,5	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Lausitz	t CO ₂ /TJ	111,2	111,3	111,5	111,2	111,3	111,3	112,2	112,0	110,6	109,9	111,0	110,3	111,2	110,9	111,3	111,5	110,6	109,9
Mitteldeutschland	t CO ₂ /TJ	105,7	103,9	102,9	104,0	103,9	103,5	103,4	103,3	103,4	103,4	102,8	102,9	102,8	102,9	103,9	104,3	104,2	104,2
Braunkohlenbriketts <i>Deutschland</i>	t CO ₂ /TJ		98,3	99,0	99,3	99,0	99,6	99,8	99,4	99,0	99,3	99,3	99,1	99,6	99,4	99,5	99,3	99,0	99,0
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	99,5																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	96,6																	
Braunkohlenteer <i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	82,9																	
Braunkohlenteeröl <i>Neue Bundesländer</i>		78,6																	
Braunkohlenstaub und -wirbelschichtkohle <i>Deutschland</i>	t CO ₂ /TJ		97,6	98,1	98,1	98,1	97,9	98,0	97,8	98,0	98,1	98,0	98,0	98,1	98,0	98,1	98,1	97,5	97,5
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	98,3																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	96,1																	
Braunkohlenkoks <i>Deutschland</i>	t CO ₂ /TJ		109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6	109,6
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	109,6																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	100,2																	
Torf <i>Alte Bundesländer, Deutschland</i>		101,8	101,8	101,8	101,8	101,8	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	Einheit	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Hartbraunkohle	t CO ₂ /TJ	96,4	96,4	96,5	NO	96,6	95,7	96,7	95,5	94,9	94,8	94,9	94,2	95,6	94,5	94,8	94,6	95,1	94,7
Mineralöle																			
Erdöl roh 4)	t CO ₂ /TJ	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3
Ottokraftstoff	t CO ₂ /t	3,181	3,182	3,183	3,183	3,183	3,183	3,184	3,184	3,184	3,180	3,182	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183	3,183
Rohbenzin Deutschland 4)	t CO ₂ /TJ		73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3
<i>Alte Bundesländer 4)</i>	t CO ₂ /TJ	73,3																	
<i>Neue Bundesländer 4)</i>	t CO ₂ /TJ	73,3																	
Kerosin 4)	t CO ₂ /TJ	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3
Flugbenzin 4)	t CO ₂ /TJ	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
Dieselmotorenkraftstoff Deutschland	t CO ₂ /TJ		74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	74,0																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	74,0																	
Heizöl leicht Deutschland	t CO ₂ /TJ		74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	74,0																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	74,0																	
Heizöl schwer	t CO ₂ /TJ	79,8	79,8	79,8	79,6	79,7	79,8	80,1	79,0	79,7	79,9	80,1	80,0	81,3	80,9	81,6	80,8	79,9	79,4
Petroleum	t CO ₂ /TJ	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0
Petrolkoks (ohne Katalysatorabbrand)	t CO ₂ /TJ	94,8	94,8	94,8	94,8	94,8	94,8	95,0	94,2	94,6	95,4	94,7	95,1	95,7	97,6	103,8	104,3	104,0	98,6
Flüssiggas Deutschland (energetischer Verbrauch)	t CO ₂ /TJ		65,3	64,4	65,3	65,4	66,6	65,2	65,3	65,3	65,4	65,4	65,4	65,5	66,3	66,3	66,3	66,3	66,3
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	65,6																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	65,6																	
Raffineriegas Deutschland	t CO ₂ /TJ		56,9	56,7	57,0	57,1	57,6	57,9	62,2	65,4	61,3	62,3	61,3	62,0	62,4	53,3	70,4	58,0	58,0
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	54,6																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	54,6																	
Andere Mineralölprodukte Deutschland	t CO ₂ /TJ		82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,5	82,5	82,8	82,9	82,6	82,7	82,3	80,9	83,0	80,4	80,1
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	82,1																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	82,1																	
Schmierstoff 4)	t CO ₂ /TJ	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3

Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	Einheit	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Gase																			
Kokereigas Deutschland	t CO ₂ /TJ		41,0	41,0	40,7	41,1	40,6	40,9	41,1	40,3	41,6	41,2	41,8	41,2	41,3	41,1	40,7	40,9	40,8
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	41,0																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	43,6																	
Kokerei- und Stadtgas Deutschland	t CO ₂ /TJ		42,6																
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	43,2																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	58,3																	
Gicht- und Konvertergas Deutschland	t CO ₂ /TJ		257,1	258,7	252,9	256,6	249,4	257,5	265,9	259,7	264,7	263,5	259,5	256,8	261,3	256,7	258,6	259,6	259,2
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	264,6																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	264,6																	
Brenngas Neue Bundesländer	t CO ₂ /TJ	118,4																	
sonstige hergestellte Gase Deutschland	t CO ₂ /1000 m ³	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77
Naturgase																			
Erdgas Deutschland	t CO ₂ /TJ		55,8	55,8	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,9	55,8	55,8	55,7	55,7
<i>Alte Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	55,7																	
<i>Neue Bundesländer</i>	t CO ₂ /TJ	55,5																	
Erdölgas	t CO ₂ /TJ	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9	61,9
Grubengas	t CO ₂ /TJ	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1	68,1
Abfall																			
Hausmüll, Siedlungsabfall	t CO ₂ /TJ	109,6	96,9	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5
Industriemüll Deutschland	t CO ₂ /TJ		71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1	71,1
<i>Alte Bundesländer 2)</i>	t CO ₂ /TJ	73,9																	
<i>Neue Bundesländer 2)</i>	t CO ₂ /TJ	74,9																	
Sonderabfall Deutschland	t CO ₂ /TJ		83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0	83,0
Sonderbrennstoffe 1)																			
Altöl	t CO ₂ /TJ	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7	74,6	76,8	75,9	75,9	77,3	75,6	75,5	75,3	76,3	75,4	75,1	77,6
Altkunststoff	t CO ₂ /TJ	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9	80,9
Altreifen	t CO ₂ /TJ	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4
Bleicherde	t CO ₂ /TJ	NO	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2	78,2
Klärschlamm (2 MJ/kg)	t CO ₂ /TJ	NO	NO	NO	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9	168,9
Klärschlamm (4 MJ/kg)	t CO ₂ /TJ	NO	NO	NO	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4	120,4
Klärschlamm (6 MJ/kg)	t CO ₂ /TJ	NO	NO	NO	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2
Klärschlamm (8 MJ/kg)	t CO ₂ /TJ	NO	NO	NO	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1
Klärschlamm (10 MJ/kg)	t CO ₂ /TJ	NO	NO	NO	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3	91,3
Lösemittel (Abfall)	t CO ₂ /TJ	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2

Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	Einheit	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Biomasse-Brennstoffe 3)																			
Ablaugen Zellstoffherstellung	t CO ₂ /TJ	121,1	121,1	110,3	104,8	99,2	98,6	98,1	97,6	98,3	98,0	98,2	97,9	97,5	97,8	97,9	97,4	97,8	
Faser-/Deinking-Rückstände	t CO ₂ /TJ	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9	54,9
Brennholz naturbelassen	t CO ₂ /TJ	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1	102,1
Holzabfälle, Resthölzer (Industrie)	t CO ₂ /TJ	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8	107,8
Holzabfälle, Resthölzer (Kleinverbraucher)	t CO ₂ /TJ	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4	101,4
Rinde	t CO ₂ /TJ	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6	80,6
Tiermehle und -fette	t CO ₂ /TJ	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8	85,8
Biogas	t CO ₂ /TJ	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6
Deponiegas	t CO ₂ /TJ	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4	111,4
Klärgas	t CO ₂ /TJ	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9
Bio-Ethanol	t CO ₂ /TJ	NO	NO	NO	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6	71,6
Biodiesel 4)	t CO ₂ /TJ	NO	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8	70,8

Sonstige Faktoren Einheit [kg/t]

Rauchgasentschwefelung	kg/t	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0
------------------------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

- 1) Brennstoffe nach Definition der Inventardaten können bei den Bezeichnungen von anderen Normen abweichen und sind nur bei Inventarausweisung benannt und mit EF unterlegt.
- 2) Jährliche Änderung des EF aufgrund der unterschiedlichen Anteile von Feuerungsanlagen und betriebseigenen Anlagen. 1990 bis 1994 jeweils einzeln für Alte Bundesländer / Neue Bundesländer
- 3) Nennung für ausgewählte Brennstoffe, wobei errechnete CO₂-Emissionen nur nachrichtlich übermittelt werden und nicht in die Gesamtmengen des Inventars eingehen, Biomasseanteile aus Sonderbrennstoffen (s.o.) sind nicht gesondert aufgeführt, weil die CO₂-EF nicht unterschieden werden.
- 4) Defaultwerte

Anm.: Bei der Verwendung von Stoffwerten aus dem NIR im Rahmen des ETS sind die Hinweise und FAQ der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) zu beachten.

Tabelle 552: Für die Emissionsberichterstattung abgeleitete Emissionsfaktoren für CO₂ ab 1990, Industrieprozesse

Einheit [kg CO ₂ / t (Rohstoff oder Produkt)]	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
2.A.1 Produktion von Zementklinker	530,0	530,0	530,0	530,0	530,0	530,0	530,0	530,0	530,0	530,0	530,0	530,0	530,0	530,0
2.A.2 Produktion von Branntkalk	746,0	746,0	746,0	746,0	746,0	746,0	746,0	746,0	746,0	746,0	746,0	746,0	746,0	746,0
2.A.2 Produktion von Dolomitkalk	867,0	867,0	867,0	867,0	867,0	867,0	867,0	867,0	867,0	867,0	867,0	867,0	867,0	867,0
2.A.3 Produktion von Behälterglas	193,0	193,0	193,0	193,0	193,0	193,0	193,0	193,0	193,0	193,0	193,0	193,0	193,0	193,0
2.A.3 Produktion von Flachglas	208,0	208,0	208,0	208,0	208,0	208,0	208,0	208,0	208,0	208,0	208,0	208,0	208,0	208,0
2.A.3 Produktion von Wirtschaftsglas	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
2.A.3 Produktion von Spezialglas	113,0	113,0	113,0	113,0	113,0	113,0	113,0	113,0	113,0	113,0	113,0	113,0	113,0	113,0
2.A.3 Produktion von Glasfasern	198,0	198,0	198,0	198,0	198,0	198,0	198,0	198,0	198,0	198,0	198,0	198,0	198,0	198,0
2.A.3 Produktion von Steinwolle	299,0	299,0	299,0	299,0	299,0	299,0	299,0	299,0	299,0	299,0	299,0	299,0	299,0	299,0
2.A.3 Produktion von Glas ¹⁾	118,9	115,6	112,8	115,5	115,7	113,8	116,3	118,5	119,6	123,9	123,5	116,9	118,1	117,4
2.A.4.a Produktion von Keramik ²⁾	71,8	74,9	69,5	61,5	59,2	58,8	58,4	58,3	56,4	54,7	55,6	54,8	53,5	53,8
2.A.4.b Verwendung von Soda	415,0	415,0	415,0	415,0	415,0	415,0	415,0	415,0	415,0	415,0	415,0	415,0	415,0	415,0
2.B.1 Produktion von Ammoniak ³⁾	2227,6	2246,2	2160,7	2190,7	2171,3	2092,0	2195,6	2107,4	1654,5	1508,0	1415,8	1396,8	1372,1	1382,9
2.B.5 Produktion von Calciumcarbid	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2.B.7 Produktion von Soda	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2.B.8 Petrochemie	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
2.B.8.f Produktion von Ruß	1960,0	1960,0	1960,0	1960,0	1960,0	1960,0	1960,0	1960,0	1960,0	1960,0	1960,0	1960,0	1960,0	1960,0
2.C.1 Produktion von Elektrostahl	8,50	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37	7,37
2.C.1 Produktion von Oxygenstahl, Kalksteineinsatz	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0
2.C.2 Produktion von Ferrolegierungen	1500,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0
2.C.3 Produktion von Hüttenaluminium	1367,0	1367,0	1367,0	1367,0	1367,0	1367,0	1367,0	1367,0	1367,0	1367,0	1367,0	1367,0	1367,0	1367,0
2.C.5 Produktion raff. Blei (D)		371,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0
2.C.5 Produktion raff. Blei (ABL)	434,0													
2.C.5 Produktion raff. Blei (NBL)	200,0													
2.C.6 Zinkproduktion: Hütten- und Umschmelzzink	1720,0	1720,0	1720,0	1720,0	1720,0	1720,0	1720,0	1720,0	1720,0	1720,0	1720,0	1720,0	1720,0	1720,0

C = Vertrauliche Daten

ABL/ NBL/ D: Bezugsangabe für alte Bundesländer/ neue Bundesländer/ Deutschland gesamt

1) 2.A.3 über alle Glasarten: CO₂-EF = (EM-Summe inkl. Altglaseinsatz)/ AR2) 2.A.4.a über alle Produkte: CO₂-EF = EM-Summe/ AR3) 2.B.1: CO₂-EF = (EM - Recovery amount)/ AR**Anm.:** Bei der Verwendung von Stoffwerten aus dem NIR im Rahmen des ETS sind die Hinweise und FAQ der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) zu beachten.

18.9 Analyse der CO₂-Emissionen aus der nichtenergetischen Verwendung von Energieträgern

In Deutschland werden Kohle, Öl und Gas weit überwiegend zu energetischen Zwecken genutzt. Ein Anteil der Kohlen, der Mineralöle und der Gase wird jedoch auch als Rohstoff (Feedstock) für Herstellungsprozesse verwendet – dies wird als der Nicht-Energetische Verbrauch (NEV) bilanziert.

In der deutschen Energiebilanz wird er in Zeile 43 separat ausgewiesen. Die chemische Industrie ist der dominierende Verbraucher von fossilen Energieträgern zu nichtenergetischen Zwecken. So werden fossile Energieträger in Crackern, in Reforming-Verfahren, in der Synthesegasherstellung und in der Herstellung von Graphitelektroden eingesetzt. Die wichtigsten Folgeprodukte dieser Prozesse sind für das Cracken und Reformieren Ethylen, Propylen, 1,3-Butadien, Benzol, Toluol und Xylole und für Synthesegas Ammoniak und Methanol. In Raffinerien werden Bitumen, Schmierstoffe und Paraffinwaxse gewonnen. Bitumen wird u.a. für Straßenbeläge oder Bitumendachbahnen verwendet. Schmierstoffe werden u.a. im Straßenverkehr und in Maschinen eingesetzt. Ein Vergleich zwischen den in der Zeile 43 der Energiebilanz aufgelisteten Verbräuchen und den im Inventar unter Industrieprozesse berichteten Emissionen von CO₂ und NMVOC aus dem Einsatz von fossilen Energieträgern in nichtenergetischen Verwendungen ist ohne Anpassung nicht möglich. Denn bei den Industrieprozessen werden nur Emissionen bei der Herstellung oder Nutzung der Produkte betrachtet während in der Zeile 43 der gesamte Feedstock im Vordergrund steht. Dieser setzt sich zusammen aus prozessspezifischen Emissionen und den Kohlenstoffmengen, die in den Produkten gespeichert werden. Letztere machen den weitaus größeren Anteil des Feedstocks aus. Ein weiterer gravierender Unterschied ist, dass für die Berechnung der Emissionen aus der Nutzung der Produkte Import- und Exportmengen mit berücksichtigt werden. Um eine vollständige Bilanzierung zu ermöglichen, wurden in Tabelle 554 (s.u.) die in den Produkten gespeicherten Kohlenstoffmengen der fossilen Energieträger mitberücksichtigt. Die Zuordnung der Emissionen aus den stofflichen Anwendungen und Produkten zu den einzelnen Energieträgern orientiert sich an der Tabelle 1.3 aus Volume 3 der 2006 IPCC-GL und basiert auf Angaben von Verbänden, Produzenten und Experten. Teilweise mussten eigene Abschätzungen durchgeführt werden, wie sich der Einsatz auf die einzelnen Energieträger verteilt.

Die Produktionsmengen der in der Tabelle genannten Produkte wurden aus den gemeldeten Daten des Statistischen Bundesamtes und des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle übernommen und in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Die Umrechnung erfolgte für die petrochemischen Produkte anhand des spezifischen Kohlenstoffgehaltes gemäß Tabelle 3.10 aus Volume 3 der 2006 IPCC-GL (IPCC, 2006) und der molaren Masse von CO₂. Anschließend wurden die CO₂-Äquivalent-Emissionen auf die drei in Deutschland eingesetzten Feedstocks Naphta, Flüssiggas und andere Mineralölprodukte nach internen Verbandsangaben aufgesplittet.

Für Industrieruß wurde für das Produkt vereinfacht angenommen, dass es aus reinem Kohlenstoff besteht. Dieser wurde ebenfalls in CO₂-Äquivalente umgerechnet.

Die Produktionsmengen von Bitumen, Schmierstoffen und Paraffinwachsen stammen aus der amtlichen Mineralölstatistik und beziehen sich auf die Brutteraffinerieerzeugung. Die Produktionsmengen wurden mit den folgenden IPCC Standardwerten (Tabelle 1.2 und Tabelle 1.4 aus Vol. 2 der 2006 IPCC GL IPCC (2006)) in CO₂-Äquivalente umgerechnet.

Tabelle 553: IPCC Standardwerte für EF & Unteren Heizwert

	EF t CO ₂ /TJ	Unterer Heizwert TJ/kt
Bitumen	80,6	40,2
Paraffinwachs	73,3	40,2
Schmieröl	73,3	40,2

Die Summe des Kohlenstoffs aus den Emissionen und der Speicherung in den Produkten entspricht für das Jahr 2017, dem letzten Jahr für das eine entgeltige Energiebilanz vorliegt (Bearbeitungsstand 11.04.2019) 108 % des nichtenergetischen Verbrauchs wie er in Zeile 43 der Energiebilanz gemeldet ist. Somit lassen sich die in der Energiebilanz als nichtenergetischer Verbrauch ausgewiesenen Mengen gut in der stofflichen Verwendung nachweisen. Eine Lücke in der Erfassung von nicht energiebedingten CO₂-Emissionen im Inventar ist nicht zu erkennen.

Tabelle 554: Verifikation der Vollständigkeit des berichteten CO₂ aus der nichtenergetischen Verwendung von fossilen Energieträgern

Jahr	2017	Einheit	Kohle			Mineralöl					Gas	
			Steinkohle + Steinkohlenkoks	Braunkohlen + Braunkohleprodukte	Summe Festbrennstoffe	Rohbenzin (Naphtha)	Petrolkoks	Flüssiggas	Andere Mineralölprodukte	Summe Flüssiggasbrennstoffe	Erdgas	Summe Gas
A: Ausgewiesene NEU-Menge (Energiebilanzzeile 43)		TJ	3.195	14.526	17.720,6	421.279	6.961	124.573	288.633	841.446,0	121.614	121.614,0
B: Kohlenstoffgehalt		kg C/GJ	29,2	30,2		20,0	26,0	17,8	22,4		15,3	
C: Summe des Einsatzes als Feedstock/Nicht-energetische Verwendung		kt C	93,3	397,0	490,3	8.421,4	180,6	2.222,4	6.462,5	17.286,9	1.860,7	1.860,7
D: Summe des Einsatzes als Feedstock/Nicht-energetische Verwendung		kt CO ₂	342,0	1.455,6	1.797,7	30.878,3	662,3	8.148,7	23.695,8	63.385,2	6.822,5	6.822,5
E: Impliziter oxidierter Kohlenstoffanteil		%	141%			119%	114%	46%	124%	112%	99%	99%

Jahr	2017	Einheit	Kohle			Mineralöl					Gas	
			Steinkohle + Steinkohlenkoks	Braunkohlen + Braunkohle- produkte	Summe Festbrennstoffe	Rohbenzin (Naphtha)	Petrolkoks	Flüssiggas	Andere Mineralölpro- dukte	Summe Flüssiggasbrennstoffe	Erdgas	Summe Gas
AR [kt]		EM [kt CO ₂]	AR + EM [C in Gg CO ₂]			AR + EM [C in Gg CO ₂]						
F: Summe berichtetes fossiles IPPU CO₂		7.215	483			36.834	756	3.730	29.419	70.739	6.783	6.783
2 Industrieprozesse		7.215	483			36.834	756	3.730	7.837	49.157	6.783	6.783
2B: Chemische Industrie		5.980				36.834	4	3.730	7.837	48.406	6.783	6.783
2B1: Ammoniak Produktion	3.027	5.344									5.344	5.344
2B5: Karbid Produktion	C	4					4			4		
2B6: Titandioxid Produktion		NE										
2B8: Petrochemie (1)											1.439	1.439
Methanol	1.047											
Ethylene	5.200					12.895		1.306	2.122	16.322		
Propylen	4.150					10.293		1.042	1.694	13.029		
Butene und 1,3-Butadien	2.282					5.869		594	966	7.429		
Benzol	1.799					4.808		487	791	6.086		
Toluol	597					1.579		160	260	1.999		
Xylol	530					1.390		141	229	1.759		
Industrieruß	322	631							1.775	1.775		
2C: Metall Industrie		1.235	483				752			752		
2C1: Eisen- und Stahlproduktion (2)		IE										
2C2: Produktion von Ferrolegierungen	58	6	6									
2C3: Primäraluminiumproduktion	550	752					752			752		
2C5: Bleiproduktion (2)	C	IE										
2C6: Zinkproduktion (2)	C	IE										

Jahr	2017	Einheit	Kohle				Mineralöl					Gas	
			Steinkohle + Steinkohlenkoks	Braunkohlen + Braunkohle- produkte	Summe Festbrennstoffe	Rohbenzin (Naphtha)	Petrolkoks	Flüssiggas	Andere Mineralölpro- dukte	Summe Flüssigbrennstoffe	Erdgas	Summe Gas	
	AR [kt]	EM [kt CO ₂]	AR + EM [C in Gg CO ₂]				AR + EM [C in Gg CO ₂]						
2D: Nichtenergetische Produkte aus Brennstoffen und Lösemitteln (1)													
Schmierstoffe	2509									21.582		21.582	
Wachse, Paraffine, Vaseline, etc.	94									7.397		7.397	
Bitumen	4.289									277		277	
Lösemittel und andere Produktverwendungen (3)		IE	IE							13.908		13.908	

- (1) Um eine vollständige Kohlenstoffbilanzierung zu gewährleisten, wird hier vom Berichtsformat der Quellgruppen im Inventar abgewichen. Darum sind die hier aufgeführten Produktionsmengen nicht mit dem Inventar in 2.B.8 und 2.D vergleichbar. Die Emissionen beziehen sich in der Tabelle auf eine vollständige Umwandlung der Produkte in CO₂ statt auf Emissionen in der Herstellung oder Anwendung wie in den Kategorien des Inventars.
- (2) Aus Vertraulichkeitsgründen werden diese Daten aggregiert berichtet.
- (3) Da ca. über 90% der Lösemittel aus Grundchemikalien aus Steamcrackern gewonnen werden, wird angenommen, dass der Kohlenstoff der im NMVOC emittiert aus den Produkten der Cracker stammt.

19 Anhang 3: Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für einzelne Quell- und Senkenkategorien, inklusive KP-LULUCF-Aktivitäten

19.1 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Energie (1)

19.1.1 Überarbeitung der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen der neuen Bundesländer für das Jahr 1990 und der Folgejahre (1.A.1 und 1.A.2)

Die Probleme der amtlichen Statistik der DDR im Jahr der Wiedervereinigung 1990 und die Schaffung einer einheitlichen gesamtdeutschen amtlichen Statistik wirkten sich spürbar auf die Qualität der bisher berichteten Zahlen zu den Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen der neuen Bundesländer des Jahres 1990 (und Folgejahre) aus. Daher wurden diese Zahlen durch das Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE gGmbH) im Forschungsvorhaben „Basisjahr und Aktualisierung“ (Zander and Merten (2006): FKZ 20541115) überprüft, ggf. vervollständigt bzw. korrigiert und dokumentiert.“ Zur näheren Beschreibung des Vorgehens bei der Überarbeitung der Aktivitätsraten stationärer Feuerungsanlagen verweisen wir auf den NIR 2010.

19.1.2 Energiewirtschaft (1.A.1)

19.1.2.1 *Methodische Aspekte der Ermittlung der Emissionsfaktoren (Kapitel 3.2.6.2)*

Dieser Teil des Anhangs erläutert die wesentlichen Schritte in den Forschungsvorhaben Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) zur Bestimmung von Emissionsfaktoren unter Ausschluss der CO₂-Emissionsfaktoren, deren Ermittlung dem Anhang 2 (Kapitel 18.8) zu entnehmen ist.

Die Ermittlung von Emissionsfaktoren erfordert eine detaillierte Analyse des Anlagenparks hinsichtlich der eingesetzten Technologien und des bauartspezifischen Emissionsverhaltens. Dabei werden drei übergeordnete Kategorien gebildet: Großfeuerungsanlagen, Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der TA Luft sowie Gasturbinen. Der Anlagenbestand wird hinsichtlich der emissionsbestimmenden Eigenschaften klassifiziert und die zugehörigen Emissionsfaktoren bestimmt. Diese so genannten technikspezifischen Faktoren können dann in adäquater Weise aggregiert werden. Diese Datenbasis bildet weiterhin die Grundlage für eine Abschätzung künftiger Emissionen (Veränderung der Anteile der Anlagentypen am Anlagenpark). Aus dieser Vorgehensweise ergeben sich folgende Arbeitsschritte:

1. Charakterisierung des technikspezifischen Emissionsverhaltens der Feuerungsanlagen. In einem ersten Schritt werden die in Deutschland zum Einsatz kommenden Feuerungs- und Emissionsminderungstechniken kurz beschrieben und die emissionsbestimmenden Einflussfaktoren dargestellt. Ausgehend von dieser Charakterisierung werden für die verschiedenen Techniken, differenziert nach Größenklasse und Brennstofftyp, Emissionsfaktoren abgeleitet. Die gewählte Klassifikation orientiert sich dabei auch an den immissionsschutzrechtlichen Vorgaben, was eine Gegenüberstellung der abgeleiteten Emissionsfaktoren mit derzeit oder künftig geltenden Grenzwerten ermöglicht.
2. Analyse der Quellgruppenstruktur
Die Emissionsberechnung erfordert Emissionsfaktoren, die den gleichen Bezug wie die zugehörigen Energieeinsatzdaten aufweisen. Letztere sind nach Kategorien gegliedert, die sich aus der nationalen Energiebilanz (vergleiche Kapitel 3.2) ableiten und sich nicht an den eingesetzten Feuerungstechniken orientieren. Als Kategorien bezeichnet und analysiert werden im Rahmen des Vorhabens: Öffentliche Energieversorgung (CRF 1.A.1a),

Industriekraftwerke (CRF 1.A.1c bei Kraftwerken des Bergbaus, sonst CRF 1.A.2), Fernheizwerke (CRF 1.A.1a), Raffineriekraftwerke (CRF 1.A.1b), Industriefeuerungen (CRF 1.A.1c und 1.A.2) sowie Kleinverbraucher (CRF 1.A.4 und 1.A.5).

Bei der Analyse sind die Anteile der verschiedenen Techniken am Energieeinsatz zu ermitteln. Wesentliche Datenquellen hierfür sind die Kraftwerksdatenbank des DFIU (heute KIT), einschlägige Statistiken, Verbandsmitteilungen (VGB, VDEW, VIK), Betreiberangaben und Fachveröffentlichungen. Weiterhin wurden die von einigen Landesbehörden zur Verfügung gestellten Auszüge aus den Emissionserklärungen der Jahre 1996 und 2004 diesbezüglich ausgewertet.

3. Aggregation der Emissionsfaktoren

Auf der Grundlage der Anteile der einzelnen Techniken, die getrennt nach alten und neuen Bundesländern ermittelt wurden, werden die technikspezifischen Emissionsfaktoren zu kategoriespezifischen Faktoren aggregiert. Abschließend werden Faktoren für Deutschland insgesamt gebildet. Die kategoriespezifischen Faktoren untergliedern sich weiterhin nach Großfeuerungen, TA Luft Feuerungen und Gasturbinen sowie nach dem eingesetzten Brennstoff. Die aggregierten Emissionsfaktoren werden zunächst für das Bezugsjahr 1995 (Rentz et al., 2002) bzw. für das Bezugsjahr 2004 (Fichtner et al., 2011) gebildet.

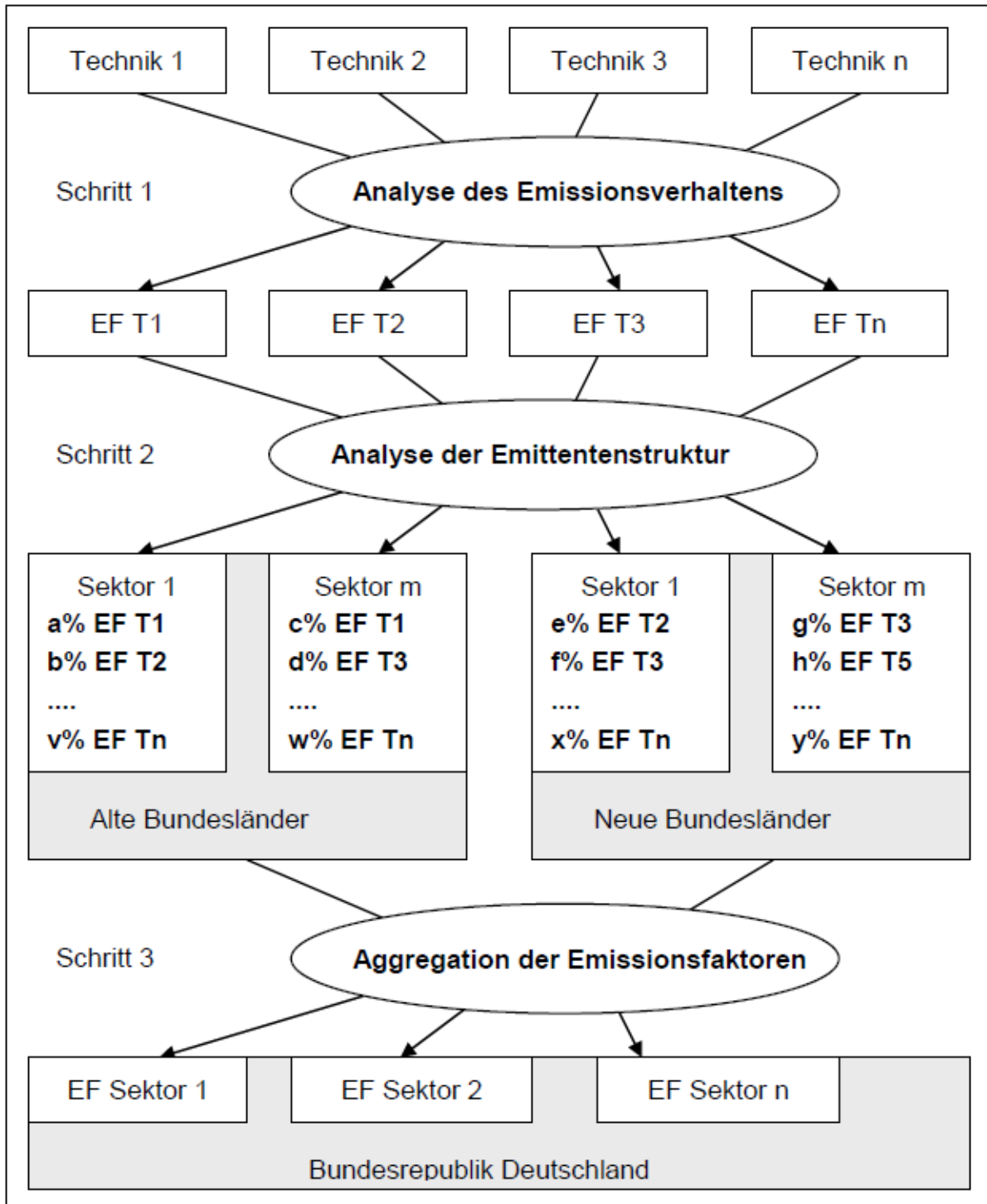
4. Projektionen für die Jahre 2000 und 2010 (Rentz et al., 2002) und für die Jahre 2010 und 2020 (Fichtner et al., 2011)

Zur Beschreibung der fortschreitenden technischen Entwicklung werden wiederum technikspezifische Emissionsfaktoren bestimmt. Diese leiten sich aus der Charakterisierung fortschrittlicher Technologien ab. Eine Zunahme emissionsarmer Techniken an der Gesamtaktivität kann so über eine entsprechende Veränderung der Technologieanteile abgebildet werden. Als Rahmenbedingung für die Fortschreibung werden die jeweils geltenden immissionsschutzrechtlichen Regelungen herangezogen. Für das Bezugsjahr 2010 wird davon ausgegangen, dass die Anforderungen der novellierten TA Luft aus dem Jahre 2002 und der EU-Großfeuerungsanlagenrichtlinie aus dem Jahre 2001 umgesetzt sind; für das Bezugsjahr 2020 gehen wir davon aus, dass die Anforderungen der Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates über Industrieemissionen umgesetzt sind.

Mit Hilfe der hier angewandten Methodik, ausgehend von der Emissionscharakteristik der eingesetzten Feuerungstechnik schrittweise zu aggregierten Faktoren auf unterschiedlicher regionaler und kategoriespezifischer Ebene zu gelangen, können die benötigten Faktoren in transparenter Weise gebildet werden.

Die gewählte Methodik zur Ableitung der Emissionsfaktoren für ein gegebenes Bezugsjahr ist in der nachfolgenden Abbildung 85 dargestellt.

Abbildung 85: Methodik der Emissionsfaktorenberechnung



Die Herkunft und Qualität der Daten wird in den Vorhabensberichten Rentz et al. (2002) und Fichtner et al. (2011) eingehend beschrieben. Ein großer Teil der Daten entstammt den Emissionserklärungen der Bundesländer Baden-Württemberg, Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Thüringen für das Jahr 1996 und den Emissionserklärungen von allen Bundesländern (außer Berlin) für das Jahr 2004. Die darin angegebenen jährlichen Frachten beruhen dabei je nach Schadstoff entweder auf Messergebnissen einer kontinuierlichen Überwachung, auf Einzelmessungen oder auf einer Rechnung auf der Basis physikalischer Gesetzmäßigkeiten, Massenbilanzen oder Emissionsfaktoren. Am Beispiel der Emissionserklärungen des Landes Baden-Württemberg wird exemplarisch analysiert, für welche

Feuerungsarten und Substanzen welche Ermittlungsart überwiegt. Dies erlaubt im Anschluss eine Einordnung der Qualität der Datengrundlage für die abgeleiteten technikspezifischen Emissionsfaktoren. Gleichzeitig verdeutlicht die Darstellung die Vorgehensweise bei der Datenauswertung. Soweit eine ausreichende Anzahl von Daten einer Quellengruppe zur Verfügung steht, wird der Wertebereich über den Median sowie das Perzentil bei 25 % und 75 % charakterisiert¹⁷³. Daraus erhält man eine robuste Schätzung, die, anders als bei der Charakterisierung über den Mittelwert, durch Extremwerte nicht verzerrt wird. Um grundsätzlich die Streuung der Werte zu beschreiben, werden auch die Perzentile bei 5 % und 95 % aufgeführt. Vergleichbare Auswertungen nach Perzentilen erfolgten ebenfalls für die Emissionserklärungen der anderen Bundesländer.

Nachfolgend wird zwischen gemessenen Daten (kontinuierliche Messung oder Einzelmessung) und solchen Daten unterschieden, die auf Rechnung oder Emissionsfaktoren beruhen. Bei der Auswertung werden die Einzeldaten daher zunächst nach Messdaten (M) und Annahmen (A) klassifiziert. Dieser allgemeine Überblick gliedert sich wiederum in Großfeuerungsanlagen, TA Luft Feuerungsanlagen und Gasturbinen. Diese werden weiterhin hinsichtlich der Erklärungspflicht unterteilt in verkürzt (K) und vollständig (V) zu erklärende Anlagen. Für jede der drei Anlagengruppen wird exemplarisch am Beispiel der Daten von Baden-Württemberg eine nach Messdaten und Annahmen getrennte Auswertung und Ableitung von Emissionsfaktoren vorgenommen.

Die Tabelle 555 fasst die berücksichtigten Anlagenarten nochmals nach 4. BImSchV-Nummer und Erklärungsart zusammen.

Tabelle 555: Anlagentypen nach Anhang der 4.BImSchV

Kennung		Großfeuerungsanlagen	Erklärungsart
1 01 1	Kraftwerke	≥ 50 MW für feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe	V
1 02A 1	Feuerungsanlagen	≥ 50 MW für feste und flüssige Brennstoffe	V
1 02B 1	Feuerungsanlagen	≥ 50 MW für gasförmige Brennstoffe	V
Kennung		TA Luft Anlagen	Erklärungsart
1 02A 2	Feuerungsanlagen	1 - < 50 MW feste und flüssige Brennstoffe (außer Heizöl EL)	V
1 02B 2	Feuerungsanlagen	5 - < 50 MW Heizöl EL	K
1 02C 2	Feuerungsanlagen	10 - < 50 MW für Erdgas	K
	Feuerungsanlagen	10 - < 50 MW außer Erdgas	V
1 03 1	Feuerungsanlagen	> 1 MW andere Brennstoffe	V
Kennung		Gasturbinenanlagen	Erklärungsart
1 05 1	Gasturbinen	≥ 50 MW für Erdgas	K
	Gasturbinen	≥ 50 MW außer Erdgas	V
1 05 2	Gasturbinen	< 50 MW für Erdgas	K
	Gasturbinen	< 50 MW außer Erdgas	V

Bei den Analysen werden die Emissionsdaten nach Feuerungstechnik differenziert. Hierfür gibt Tabelle 556 einen Überblick über die Technologieeinteilung nach der Art/Typ Klassifikation.

¹⁷³ Für den gesamten Wertebereich einer Variablen X lässt sich mit Hilfe der Summenhäufigkeitsverteilung abschätzen, welcher Anteil aller Untersuchungseinheiten maximal einen Wert x aufweist. Diesen Wert bezeichnet man als *Quantil* (engl.: quantile) bzw. bei Verwendung von prozentualen Anteilen als *Perzentil* (engl.: percentile). Das bekannteste Perzentil, das die untere Hälfte aller Werte von der Oberen trennt, ist das 50% Perzentil, der sogenannte *Median*. Das 25 und 75% Perzentil schneiden das untere und das obere Viertel der Verteilung ab. Man bezeichnet sie daher auch als untere und obere *Quartile* bzw. als erstes und drittes Quartil (der Median ist quasi das zweite Quartil).

Dabei umfassen die Kategorien 110 bis 118 im Wesentlichen feste Brennstoffe, 120 bis 125 flüssige Brennstoffe und 130 bis 132 gasförmige Brennstoffe.

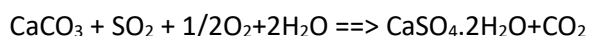
Tabelle 556: Klassifikation der Quellen nach Feuerungstyp

Technologie	
Art/Typ	Typ Bedeutung
110	Feuerungen für feste Brennstoffe / Abfälle
111	Füllschachtfeuerungen
112	Feuerung mit Wurfbeschickung
113	Feuerung mit pneumatischer Beschickung
114	Unterschubfeuerung
115	Feuerung mit mechanisch bewegtem Rost
116	Staubfeuerung mit trockenem Ascheabzug
117	Staubfeuerung mit flüssigem Ascheabzug
118	Wirbelschichtfeuerung
120	Feuerungen für flüssige Brennstoffe / Abfälle
121	Mit Verdampferbrenner
122	Mit Druckzerstäubungsbrenner
123	Mit Dampfzerstäubungsbrenner
124	Mit Drehzerstäubungsbrenner
125	Mit Luftzerstäubungsbrenner
130	Feuerungen für gasförmige Brennstoffe / Abfälle
131	Mit atmosphärischem Gasbrenner
132	Mit Gasgebläsebrenner
141	Mehrstofffeuerungen
142	Mischfeuerungen
815	Gasturbinen

19.1.2.2 CO₂-Emissionen aus der Abgasentschwefelung (CRF 1.A.1, Kalksteinbilanz)

Im Rahmen des Forschungsprojekts Kalksteinbilanz (Lechtenböhrer et al. (2006c), FKZ 20541217/02) wurden für die Kategorie Strom- und Wärmeerzeugung in Öffentlichen Kraftwerken die Daten für die CO₂-Emissionen aus der Abgasentschwefelung (REA) ermittelt (siehe 3.2.6.2). Abgasentschwefelungsanlagen haben die Aufgabe, das in den Verbrennungsgasen enthaltene Schwefeldioxid durch chemisch-physikalische Prozesse in weniger schädliche Substanzen umzuwandeln. Kalkstein dient bei der Entschwefelung von Abgasen typischerweise als Reagenz. Die Entschwefelungstechnik richtet sich im Wesentlichen nach den immissionsschutzrechtlichen Anforderungen und der ökonomischen Verwertbarkeit der anfallenden Reststoffe (Gips). Im Bereich der Stromerzeugungsanlagen dominiert das Kalkstein-Waschverfahren. Gemessen an der installierten Leistung nutzen etwa 87 % der Kraftwerke in Deutschland dieses Verfahren (Rentz et al., 2002).

Die Entschwefelung mit CaCO₃ erfolgt nach mehreren Teilreaktionen. Zur stöchiometrischen Berechnung des Kalksteineinsatzes im Kalkstein-Waschverfahren wird die relevante chemische Brutto-Reaktionsgleichung für das Verfahren zugrunde gelegt (Strauß, 1998):



Daraus kann das molare Gewichts-Verhältnis von Kalkstein zu Gips abgeleitet werden. Daraus folgt, dass pro angefallener Tonne Gips 581,39 Kilogramm Kalkstein eingesetzt werden. Aus den Angaben zum Gipsaufkommen lässt sich der theoretisch maximale Kalksteineinsatz für REA in Stein- und Braunkohlekraftwerken ableiten. Aus dem Gipsaufkommen ist jedoch nicht ersichtlich, ob Kalkstein oder Kalk eingesetzt wird. Um hierzu eine Aussage treffen zu können wurden Angaben des Bundesverbandes Kalk zur Absatzstatistik für ungebrannten und gebrannten Kalk für den Absatzbereich der Luftreinhaltung herangezogen. Über das

Massenverhältnis zwischen CaCO_3 und CO_2 lassen sich dann gemäß obiger Reaktionsgleichung die prozessbedingten CO_2 -Emissionen bestimmen. Die Ergebnisse der Rechnung sind in folgender Tabelle wiedergegeben. Sie berücksichtigen die Zahlen zum Gipsaufkommen in allen Jahren zwischen 1990 und 2011 sowie für die Jahre 2014 bis 2018. Für die Jahre 2012 und 2013 haben wir als vorläufigen Eingangswert für die Berechnung des Gipsaufkommens von 2011 fortgeschrieben. Für das Jahr 2019 wurde der Wert für das Jahr 2018 fortgeschrieben, da noch keine aktuellen statistischen Daten vorliegen. Da die Angaben für das Jahr 2018 erstmals für den vorliegenden Bericht verfügbar sind, erfolgen entsprechende Rückrechnungen. Im Ergebnis führen sie zu geringfügig höheren CO_2 -Emissionen im Vergleich zu den früheren Berichten.

Tabelle 557: CO_2 -Emissionen aus der Rauchgasentschwefelung in Öffentlichen Kraftwerken

Jahr	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
CRF 1.A.1	Angaben in kt									
CO ₂ aus REA der öffentlichen Kraftwerke	618	652	629	662	616	683	867	878	1.005	966
Jahr	2001	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
CRF 1.A.1	Angaben in kt									
CO ₂ aus REA der öffentlichen Kraftwerke	1.135	1.069	1.094	1.156	1.162	1.142	1.076	1.017	985	995
Jahr	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CRF 1.A.1	Angaben in kt									
CO ₂ aus REA der öffentlichen Kraftwerke	1.003	1.028	1.019	979	974	989	921	954	924	961

Quelle: Berechnung auf der Grundlage des Projektes Kalksteinbilanz (Lechtenböhrer et al. (2006c), FKZ 20541217/02), aktualisiert im Jahre 2008 (siehe NIR 2009)

Diese CO_2 -Emissionen wurden im Inventar den Emissionen aus dem Einsatz fester Brennstoffe zugeordnet, weil hier die Ursache für die REA und die CO_2 -Emissionen liegen. Nach einer Expertenschätzung des Forschungsnehmers liegt die Unsicherheit des Kalksteineinsatzes und damit auch die Unsicherheit der damit verbundenen CO_2 -Emissionen bei +/- 10 %.

19.1.3 Verkehr (1.A.3)

19.1.3.1 Verkehr - Ziviler Luftverkehr (1.A.3.a)

19.1.3.1.1 Ableitung der weiteren Emissionsfaktoren (1.A.3.a)

Kerosin

Die Emission von *Schwefeldioxid* ist direkt abhängig vom Schwefelgehalt des Kerosins, der regionalen und zeitlichen Schwankungen unterliegt. IPCC (2006) geht hier mit einem EF von 1 kg SO_2 /t Kerosin von einem Schwefelgehalt von 0,05 Gew.% aus. Nach Angaben des Fachausschusses für Mineralöl- und Brennstoff-Normung¹⁷⁴ (FAM) liegt der typische Wert für den Gesamtschwefelgehalt von Kerosin in Deutschland derzeit bei etwa 0,01 Gew.%, also einem Fünftel des Ansatzes des IPCC. Im Inventarbericht 2009 wird ein Schwefelgehalt von 0,021 Gew.% für Kerosin angesetzt, basierend auf Messungen aus dem Jahre 1998 (Döpelheuer, 2002). Da ein durch verbesserte Verfahren und gesunkene Grenzwerte mit der Zeit abnehmender Emissionsfaktor plausibel erscheint, wird hier eine lineare Abnahme zwischen den Stützjahren 1990 (1,08 g SO_2 /kg Kerosin), 1998 (0,4 g) und 2009 (0,2 g) vorgesehen. Dabei wird von einer vollständigen Umsetzung des Schwefels in Schwefeldioxid ausgegangen. - Wegen

¹⁷⁴ Persönliche Email-Kommunikation mit Dr. Feuerhelm, FAM Hamburg, 9.Juni 2009

der direkten Abhängigkeit des Emissionsfaktors allein vom Schwefelgehalt des Kerosins wird dieser für beide Flugphasen verwendet.

NO_x- und *CO*-Emissionen werden mit Hilfe von impliziten Emissionsfaktoren berechnet, die auf TREMOD-AV-Berechnungen beruhen. Diesen unterliegen Flugzeugtyp- und Betriebszustand-spezifische EF, die zu einem Großteil der EMEP/EEA-Datenbank entstammen. Wenn einzelne Flugzeugtypen nicht direkt und auch nicht unter Verwendung von Flugzeugtypen mit ähnlichen technischen Daten zugeordnet werden können, muss stellenweise mit angepassten Emissionsfaktoren gearbeitet werden. Dazu wurden Regressionsberechnungen durchgeführt, bei denen Emissionsfaktoren über Emissionsfunktionen ermittelt wurden, die den Emissionsfaktor je Triebwerkstyp in Abhängigkeit des Startgewichts berechnen. Als Basis dieser Funktionen dienen die Emissionsfaktoren der vorhandenen Typen gemäß Knörr et al. (2012).

Die *NM VOC*-Emissionsfaktoren ergeben sich jeweils aus der Differenz der EF für Kohlenwasserstoffe und Methan.

Flugbenzin

Abgesehen vom für Kohlendiox verwendeten IPCC-default werden, analog zum Kerosin, sämtliche Emissionfaktoren dem Modell TREMOD AV entnommen.

Die *NM VOC*-Emissionsfaktoren ergeben sich darin jeweils aus der Differenz der EF für Kohlenwasserstoffe und Methan.

Tabelle 558: Emissionsfaktoren 2018 für Flugbenzin

	1.A.3.a		1.D.1.a	
	L/TO	Reiseflug	L/TO	Reiseflug
CO ₂			70.000	
CH ₄	165	0,00	137	0,00
N ₂ O			2,30	
SO ₂			0,46	
NO _x	92,0	143	56,0	82,2
NM VOC	660	579	548	467
CO	17.028	21.025	22.827	29.108

Quelle: (Gores, 2020)

Tabelle 559: Übersicht der Emissionsfaktoren für Kerosin, in kg/TJ

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1.A.3.a - übergreifend																						
CO₂																						73.256
SO₂	19,7	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6
National, LTO																						
CH₄	7,09	7,23	7,63	7,87	8,11	8,30	8,23	8,11	8,48	8,60	8,66	8,30	8,07	7,99	8,00	8,71	9,25	9,23	9,11	9,58	9,78	10,8
N₂O	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81
NO_x	295	324	287	288	283	277	279	277	276	281	290	300	304	309	312	311	310	312	321	322	316	308
NMVOC	28,4	28,9	30,5	31,5	32,4	33,2	32,9	32,4	33,9	34,4	34,7	33,2	32,3	31,9	32,0	34,9	37,0	36,9	36,5	38,3	39,1	43,2
CO	212	211	275	277	285	294	291	291	292	286	280	266	260	254	252	260	265	265	252	255	262	276
National, Cruise																						
CH₄																						0,00
N₂O	2,34	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34
NO_x	337	375	348	345	342	339	341	340	341	347	358	368	374	376	381	383	381	386	397	400	396	390
NMVOC	14,4	16,0	16,6	16,8	17,9	18,4	18,6	18,9	19,9	20,4	20,6	20,3	19,9	19,9	20,2	21,7	22,7	22,0	17,7	18,1	17,7	19,2
CO	147	149	186	190	204	211	206	203	203	203	204	202	197	197	201	212	219	214	154	151	152	155
International, LTO																						
CH₄	14,9	9,03	6,42	6,19	6,01	5,93	5,80	5,72	5,71	5,62	5,50	5,29	5,31	5,19	5,12	5,08	4,97	5,12	5,06	5,19	5,36	5,17
N₂O	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
NO_x	297	306	303	305	306	311	318	324	325	330	331	338	342	345	346	349	353	352	357	358	355	357
NMVOC	59,7	36,1	25,7	24,8	24,0	23,7	23,2	22,9	22,9	22,5	22,0	21,2	21,2	20,8	20,5	20,3	19,9	20,5	20,2	20,8	21,4	20,7
CO	249	227	236	234	234	230	227	219	217	211	209	203	203	199	199	197	194	196	192	192	195	192
International, Cruise																						
CH₄																						0,00
N₂O	2,34	2,33	2,33	2,33	2,33	2,33	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34
NO_x	313	317	329	329	330	333	335	338	338	342	343	346	352	354	360	362	362	366	370	372	373	375
NMVOC	13,3	8,96	5,98	5,66	5,51	5,54	5,38	5,27	5,15	5,02	4,89	4,77	4,66	4,53	4,39	4,39	4,71	4,35	4,17	4,23	4,32	4,25
CO	73,8	61,6	47,7	46,8	46,2	45,7	43,8	42,4	41,5	40,6	39,7	38,6	37,8	37,3	37,0	36,8	40,1	36,2	34,2	34,2	34,7	34,6

Quelle: (Gores, 2020)

^a gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 3.6, Tabelle 3.6.5: Methan-Emissionen während Reiseflug vernachlässigbar gering

19.1.3.1.2 Detailübersicht der für Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren zugrunde gelegten Unsicherheiten (1.A.3.a)

Tabelle 560: Übersicht der zu berücksichtigten Teilunsicherheiten der Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren

Einzelkomponenten	Teil- Unsicher- heiten		AR (Kerosin & Flugbenzin)		SF (LTO/ Cruise)		AR (Kerosin) LTO bzw. Cruise		EM(CO ₂) LTO u. Cruise		EM(CH ₄) LTO u. Cruise		EM(N ₂ O) LTO u. Cruise		Quelle / Begründung der Annahmen
	%		Ges.	n / i	n	i	n	i	n	i	n	i	n	i	
AR von AGEB und BAFA	-5	5	x	x											Öko-Institut / DIW 2007. Hier werden die höheren Unsicherheiten der Energiebilanz verwendet. Die Unsicherheiten der BAFA-Daten liegen bei +3, -1% (konservativ durch den Ansatz der Unsicherheiten der Mineralölstatistik, die auf den BAFA-Daten basiert.)
Splitfaktor national/international															Ergibt sich seit v42 aus den TREMOD-Berechnungen zum nationalen Flugverkehr im Verhältnis zur Energiebilanz. Keine eigene Einflussgröße mehr.
Kerosinverbrauch	n & i	-5,0	5				x	x							berechnet
Daten des Statistischen Bundesamtes zu Flugbewegungen	n	-0,1	0,1			x									Die Luftfahrtstatistik beruht auf dem Verkehrsstatistikgesetz. Erhoben werden die Angaben zu §§ 12, 13 VerkStatG. Nach diesem Gesetz ist die gesamte zivile Luftfahrt, die mit Flugzeugen, Hubschraubern, Luftschiffen, Motorseglern, Segelflugzeugen und bemannten Ballonen betrieben wird, in die Erhebung einzubeziehen, soweit davon die Flugplätze in Deutschland berührt werden.
	i	0	0,1				x								
Realdistanzzuschlag	n & i	-3	3			x	x								Die Daten des StBA liegen nach Großkreisentfernungen vor. Es wurde ein Umwegfaktor für die Cruise-Flugphase verwendet, um die tatsächlich geflogenen Strecken abzuschätzen (s. IFEU und Öko-Institut 2010).
Zuordnung von Kerosin- Verbrauchswerten zu Flugzeugtypen	n	-5	5			x									Flugzeugtypen nach StBA werden Emissionsfaktoren aus der EMEP-EEA Datenbank zugewiesen. Dabei gibt es vier Qualitätsstufen der Zuweisung: a) direkt, b) über ähnliche Typen, c) über Regressionsfunktionen abh. vom Startgewicht und d) pauschale EF.
	i	-5	5				x								
LTO/Cruise-Aufteilung	n	-6	6					x							berechnet
	i	-6	6						x						berechnet
Kerosinverbrauch	n	-8	8						x		x		x		berechnet
LTO bzw. Cruise	i	-8	8							x		x		x	berechnet
Emissionsfaktoren	CO ₂	5	5						x	x					IPCC 2006, S.3.69, geringe Unsicherheit, da EF nur vom C-Gehalt des Brennstoffs abhängig ist.
	CH ₄	-57	100								x	x			IPCC 2006, S.3.69, abh. von Technologie und damit große Unsicherheit bei Vereinheitlichung durch Tier 1 Ansatz
	N ₂ O	-70	150										x	x	IPCC 2006, S.3.69, abh. von Technologie und damit große Unsicherheit bei Vereinheitlichung durch Tier 1 Ansatz
Gesamt-Unsicherheit oben				+5%	+5%	+6%	+6%	+8%	+8%	+9%	+9%	+58%	+58%	+70%	+70%
Gesamt-Unsicherheit unten				-5%	-5%	+6%	-6%	-8%	-8%	-9%	-9%	-100%	-100%	-150%	-150%

n = nationaler Anteil, i = internationaler Anteil

Quelle:(Gores, 2020)

19.1.3.2 Ableitung der Aktivitätsraten zum Straßenverkehr (1.A.3.b)**19.1.3.2.1 Abgleich auf die Energiebilanz**

Als Basis der ZSE-Datenerfassung des Straßenverkehrs wird der Endenergieverbrauch entsprechend den Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen zugrunde gelegt. Die Summe der Aktivitätsraten der einzelnen Strukturelemente muss für jedes Jahr den Angaben der Energiebilanz in Terajoule (TJ) entsprechen. Die Eckdaten der Energiebilanz sind in folgender Tabelle 561 dargestellt.

Tabelle 561: Energieeinsatz im Straßenverkehr 1990-2019

	Ottokraftstoff	Dieselmkraftstoff	Biokraftstoffe ^a	CNG, LPG und	Petroleum	Schmierstoffe ^b
Energieeinsatz gemäß Energiebilanzen 1990-2019 (Stand: 10/2020) in TJ						
1990	1.330.479	735.920	0	138	0	2.495
1991	1.332.285	785.174	0	137	0	1.668
1992	1.344.129	853.502	0	229	0	1.275
1993	1.350.617	907.787	0	184	473	857
1994	1.276.637	932.060	0	184	559	586
1995	1.299.982	964.013	1.504	138	610	447
1996	1.299.879	964.580	2.046	115	638	365
1997	1.297.487	979.586	3.652	106	357	261
1998	1.300.463	1.022.794	4.081	106	637	202
1999	1.300.602	1.097.036	5.370	100	637	113
2000	1.237.055	1.108.105	12.276	94	414	81
2001	1.199.318	1.097.416	16.740	98	471	73
2002	1.166.381	1.105.842	20.460	607	472	75
2003	1.108.989	1.078.352	29.948	694	0	71
2004	1.072.720	1.110.931	40.042	1.887	0	73
2005	992.377	1.078.620	78.897	5.484	0	77
2006	930.834	1.082.042	143.881	9.051	0	76
2007	892.982	1.073.987	155.752	14.787	0	79
2008	854.002	1.102.624	126.181	22.796	0	80
2009	829.227	1.114.939	113.765	32.285	0	86
2010	791.416	1.168.063	120.129	30.591	0	81
2011	787.803	1.197.252	115.828	32.384	0	80
2012	742.000	1.223.718	120.513	32.438	0	76
2013	741.150	1.283.637	109.358	30.508	0	77
2014	744.661	1.296.828	113.957	28.983	0	77
2015	708.672	1.348.789	105.764	26.420	0	77
2016	709.179	1.393.481	106.054	22.705	0	77
2017	719.580	1.425.424	108.049	20.667	0	77
2018	692.694	1.377.104	112.594	21.514	0	80
2019	699.936	1.392.585	111.857	23.233	0	82

Quellen: Auswertetabellen der Energiebilanzen, Mineralöl-Zahlen des Mineralölwirtschaftsverbandes (MWV, 2020b) und Amtliche Mineralöl-daten (BAFA, 2020).

^a Biodiesel, Biobenzin und Biogas, ^b als Bestandteil von Zweitakter-Kraftstoffgemisch 1:50

Die Energiebilanz wird auch zur Modellierung der Verkehrsmengengerüste in TREMOD herangezogen. So führt das DIW zur Ableitung der Gesamtfahrleistung eine Kraftstoffverbrauchsberechnung durch Heilwig (2002). Die Ergebnisse der Berechnung werden für den PKW-Verkehr z.T. in TREMOD übernommen. Da das DIW mit der Kraftstoffverbrauchsberechnung die Inländerfahrleistung abbildet, werden in TREMOD zur Abschätzung der Inlandsfahrleistung – insbesondere für den Güterverkehr – z.T. andere Quellen

und Annahmen verwendet (siehe ausführliche Beschreibung in Knörr et al. (2002)). Auch diese Abschätzung berücksichtigt die Eckwerte der Energiebilanz.

Allerdings ist es aufgrund der zahlreichen Abhängigkeiten und Unsicherheiten in der Modellierung sowie der zu berücksichtigenden Eckdaten nicht mit vernünftigem Aufwand möglich, Fahrleistung und Energieverbrauch für jedes Jahr und jede Fahrzeugschicht so abzugleichen, dass die Ergebnisse einerseits die Summe der Energiebilanz ergeben und andererseits die Fahrleistungen und durchschnittlichen Energieverbräuche in der Zeitreihe plausibel sind. Aus diesem Grunde werden die TREMOD-Ergebnisse für den Energieverbrauch am Ende so korrigiert, dass sie jedes Bezugsjahr in der Summe den Werten der Energiebilanz entsprechen.

Da TREMOD den Energieverbrauch in Tonnen berechnet müssen die Ergebnisse zunächst in [TJ] umgerechnet werden. Dazu werden die Heizwerte der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen angesetzt (siehe Tabelle 562).

Tabelle 562: mittlere Heizwerte für Otto- und Dieseldieselkraftstoffe

Geltungszeitraum	Ottokraftstoff	Dieseldieselkraftstoff
1990-1992	43,543 MJ/kg	42,704 MJ/kg
ab 1993	43,543 MJ/kg	42,960 MJ/kg
ab 2014	42,280 MJ/kg	

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB)

Die Korrekturfaktoren werden in TREMOD separat für die einzelnen Fahrzeugkategorien wie folgt abgeleitet:

- Zunächst wird ein Korrekturfaktor für Ottokraftstoff aus dem berechneten Ottokraftstoff-Verbrauch aller Fahrzeugkategorien und dem Absatz an Ottokraftstoff gemäß der Energiebilanz abgeleitet.
- Der Korrekturfaktor für den Ottokraftstoff wird auch für Diesel verbrauchende Fahrzeuge der PKW und sonstigen Fahrzeuge $\leq 3,5$ t (Leichte Nutzfahrzeuge (LNF), Wohnmobile, motorisierte Zweiräder (MZR)) zur Kraftstoffanpassung an die Energiebilanz verwendet.
- Die Differenz zwischen dem korrigierten Dieseldieselkraftstoff-Verbrauch der PKW sowie der sonstigen Fahrzeuge $\leq 3,5$ t und der Energiebilanz wird den schweren Nutzfahrzeugen und Bussen zugeordnet.
- Der Korrekturfaktor für die schweren Nutzfahrzeuge und Busse berechnet sich damit aus deren nach dem Inlandsprinzip berechneten Energieverbrauch und der für diese Gruppe berechneten Differenz zur Energiebilanz.

Die folgende Tabelle fasst die verwendeten Anpassungsfaktoren zusammen.

Tabelle 563: Korrekturfaktoren zur Anpassung an die Energiebilanz

	Ottokraftstoffe ^a	Dieselkraftstoffe ^a	
	<i>Pkw, Leichte Nutzf., motor. Zweiräder</i>	<i>Pkw, Leichte Nutzfahrzeuge</i>	<i>Schwere Nutzf., Busse</i>
1990	1,046	1,046	1,035
1995	1,012	1,012	0,991
2000	0,967	0,967	1,021
2005	0,917	0,917	0,838
2006	0,895	0,895	0,877
2007	0,882	0,882	0,833
2008	0,881	0,881	0,828
2009	0,870	0,870	0,867
2010	0,858	0,858	0,910
2011	0,867	0,867	0,891
2012	0,846	0,846	0,950
2013	0,867	0,867	0,960
2014	0,883	0,883	0,910
2015	0,881	0,881	0,926
2016	0,893	0,893	0,926
2017	0,908	0,908	0,926
2018	0,878	0,878	0,899
2019	0,880	0,880	0,910

^a jeweils inklusive biogene Beimischungen

Quelle: (Knörr et al., 2020c)

19.1.3.2.2 Zuordnung von Bio-Kraftstoffen, Petroleum sowie Erd- und Flüssiggas auf die Strukturelemente

Die Energiebilanz enthält für die einzelnen Verkehrsträger auch Angaben zu Biomasse sowie weiteren Kraftstoffen. Diese werden wie folgt weiter zugeordnet:

- Biodiesel und Bioethanol werden gemäß dem Anteil des jeweiligen Verkehrsträgers am Verbrauch des entsprechenden fossilen Kraftstoffs aufgeteilt.
- Petroleum wird den Bussen auf Außerortsstraßen entsprechend ihrem Anteil am Verbrauch von konventionellem Dieselkraftstoff zugeordnet.

19.1.3.2.3 Aktivitätsrate für Verdunstung

Als Aktivitätsrate für die Verdunstungsemissionen wird der gesamte Ottokraftstoff-Verbrauch *innerorts* angesetzt, bei Mopeds der *Gesamtverbrauch*. Es werden die Energiebilanz-korrigierten Werte verwendet.

19.1.3.3 Ableitung der Emissionsfaktoren

19.1.3.3.1 Emissionsfaktoren aus TREMOD

Im ZSE werden für *Antrieb* und *Verdunstung* aus spezifischeren TREMOD-Daten erzeugte implizite Emissionsfaktoren in [kg/TJ] bzw. [kg/t] angegeben. Für Ottokraftstoffe und Diesel können diese Werte direkt aus TREMOD abgeleitet werden. Hierfür werden die Emissionen in [t] sowie der Energieeinsatz in [TJ] (umgerechnet aus den Ergebnissen „Energieverbrauch in t“ mit den Heizwerten nach Tabelle 562) aus den TREMOD-Ergebnissen abgeleitet und entsprechend zugeordnet. Die impliziten Emissionsfaktoren (IEF) ergeben sich als Quotient aus den spezifischen Emissionen in [t] dividiert durch den spezifischen Energieverbrauch in [TJ].

$$IEF [kg \text{ pro } TJ]_{\text{Inventar}} = EM [kg]_{\text{spezifisch, TREMOD}} \div AR [TJ]_{\text{spezif. Verbrauch, TREMOD}}$$

Hinsichtlich der impliziten Emissionsfaktoren für die Verdunstung wird analog vorgegangen:

$$IEF [kg \text{ pro } t]_{\text{Inventar}} = EM [kg]_{\text{spezifisch, TREMOD}} \div AR [t]_{\text{spezif. Verbrauch, TREMOD}}$$

Grundsätzlich werden für diese Ableitung die nicht auf die Energiebilanz korrigierten TREMOD-Daten verwendet. Eine Verwendung der korrigierten Emissionen und Energieverbräuche würde allerdings, da sich der Korrekturfaktor bei der Berechnung der IEF gemäß

$$EM_{\text{korr.}} \div AR_{\text{korr.}} = EM_{\text{TREMOD}} \div AR_{\text{TREMOD}}$$

aufhebt, zu identischen Ergebnissen führen.

19.1.3.3.2 Emissionsfaktoren für Biodiesel, Bio-Ethanol, Petroleum, Erd- und Flüssiggas

Die Emissionsfaktoren für Biodiesel und Petroleum werden durchweg denjenigen von konventionellem Diesel gleichgesetzt. Die Emissionsfaktoren von Bioethanol werden denjenigen von konventionellem Ottokraftstoff gleichgesetzt.

Ausnahmen:

- Als EF(CO₂) von Biodiesel wird mit 70,8 t/TJ ein default gemäß IPCC (2006): Band 2, Kap. 2 - Stationary Combustion, S. 2.20, Tab. 2.4 angesetzt.
- Der EF(SO₂) von Petroleum wird in den Jahren, in denen Dieselkraftstoff einen höheren Wert aufweist, mit 24 kg/TJ angesetzt. In allen anderen Jahren wird der niedrigere Wert von Dieselkraftstoff übernommen.

Wie für Diesel und Ottokraftstoffe werden auch für Flüssig- und Erdgas die Emissionsfaktoren aus dem „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs 4.1“ (Keller et al., 2017) verwendet.

19.1.4 CO₂-Emissionen aus der Schmierstoff-Mitverbrennung in Zweitakt-Ottomotoren

Innerhalb des deutschen Treibhausgas-Inventars werden für sämtliche mobilen Quellen CO₂-Emissionen aus der Schmierstoff-Mitverbrennung erfasst. Gemäß den Anforderungen an die Emissionsberichterstattung werden dabei die auf Zweitakt-Ottomotoren entfallenden Emissionen direkt der jeweiligen Emissionsquelle zugeordnet, da hier der Schmierstoff als Teil des Zweitakter-Kraftstoffgemisches betrachtet wird. Alle nicht von Zweitaktern verursachten Mitverbrennungs-Emissionen werden dagegen unter CRF 2.D.1 (Produktanwendung) berichtet. (siehe Kapitel 4.5.1)

Für die gesamte Zeitreihe ab 1990 wird vereinfacht davon ausgegangen, dass das in Deutschland getankte Zweitakt-Gemisch aus 49 Teilen Ottokraftstoff und einem Teil Schmiermittel zusammengesetzt ist (Gemisch 1:50). Zumindest für die Mehrzahl der Zweitakt-Fahrzeuge stellt dieses Mischungsverhältnis seit den Achtzigerjahren den Standard dar. Zu Motoren, die mit einem Verhältnis von 1:100 auskommen (neuere mobile Geräte wie Kettensägen, Rasenmäher etc.) liegen keine belastbaren Anwendungsdaten vor.

Zweitakt-Fahrzeuge kommen aktuell in Form von Mopeds und kleineren Motorrädern lediglich im Straßenverkehr zum Einsatz. Bis Ende der Neunzigerjahre bestand zudem ein Teil der PKW- und Nutzfahrzeug-Flotte aus noch in der DDR produzierten Zweitaktern.

Innerhalb TREMOD liegen entsprechende separate Verbrauchsangaben für PKW und leichte Nutzfahrzeuge (bis 1999) sowie Zweiräder vor.

Angaben zum Einsatz *mobiler Zweitakt-Geräte* stehen aktuell sowohl für Haushalte (1.A.4.b ii) als auch die Forstwirtschaft (1.A.4.c ii) aus TREMODD MM heraus zur Verfügung.

Die Angaben zum Ottokraftstoffverbrauch im Straßenverkehr wie auch in den mobilen Quellen in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen bzw. in den Haushalten entsprechen den Angaben der Energiebilanz.

Um die auf Zweitakter entfallenden Kraftstoffverbräuche vollständig abzubilden, müssen daher – gemäß dem Mischungsverhältnis von 1:50 – die Mengen hinzugefügter Schmierstoffe berechnet werden. Ausgehend von einem Anteil r_V von 2 Volumen-% muss dazu, über das Verhältnis der mittleren Dichten (ρ) und Heizwerte (H_i) beider Komponenten, der auf die Energiemenge in Terajoule bezogene Anteil r_E ermittelt werden:

$$r_{E\%} = r_{V\%} \times \frac{\rho_{\text{Schmierstoff}}}{\rho_{\text{Kraftstoff}}} \times \frac{H_{i\text{Schmierstoff}}}{H_{i\text{Kraftstoff}}}$$

$$r_{E\%} = 2\% \times \frac{0,875 \frac{\text{kg}}{\text{T}}}{0,750 \frac{\text{kg}}{\text{T}}} \times \frac{40,000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{43,543 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 2,1435\%$$

Aus den jährlich auf Zweitakter entfallenden Energieeinsätzen in [TJ] und Anteil r_E werden dann die als Teil des Zweitaktgemisches mitverbrannten Schmierstoffmengen in [TJ] berechnet.

Die CO₂-Emissionen aus der Schmieröl-Mitverbrennung in Zweitaktern des Straßenverkehrs können somit gesondert ausgewiesen werden (siehe Kapitel 3.2.10.2 & 19.1.3.2). In den CRF-Tabellen erfolgt dies unter CRF 1.A.3.b v – *Other (please specify): CO₂ from lubricant co-incineration in 2-stroke road vehicles*.

Hinsichtlich mobiler Maschinen und Geräte wird keine gesonderte Schmierstoffmenge in Terajoule berechnet, sondern vereinfacht der auf diese Zweitakter entfallende Energieeinsatz um 2,1435 % nach oben korrigiert. Die CO₂-Emissionen aus der Schmieröl-Mitverbrennung in Zweitaktern in mobilen Maschinen und Geräten sind damit in den Gesamtemissionen der entsprechenden Sektoren enthalten (siehe Kapitel 3.2.12). Auch innerhalb der CRF-Tabellen entfällt damit eine gesonderte Ausweisung.

Emissionsfaktoren

Um die CO₂-Emissionen aus dem verbrannten Zweitakt-Gemisch im Inventar abzubilden, wurden für die gesamte Zeitreihe gewichtete implizite Emissionsfaktoren gebildet, die zu 49/50 aus dem jahresspezifischen EF(CO₂) für Ottokraftstoff (bzw. dem tier1-EF für Bioethanol) sowie zu 1/50 aus dem default-Wert von 73.300 kg CO₂/TJ für Schmierstoff gemäß (IPCC, 2006): Band 2, Kap. 2 - *Stationary Combustion*, Seite 2.20, Tabelle 2.4 zusammengesetzt sind.

Diese IEF inkl. 2 Vol.% Schmierstoff liegen damit geringfügig über den für die reinen Kraftstoffe (Ottokraftstoff, Bioethanol) angesetzten Werten.

Tabelle 564: Ableitung der EF(CO₂) für Zweitaktgemische, in kg/TJ

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Ottokraftstoffe	73.069	73.075	73.094	73.103	73.119	75.287	75.285	75.285	75.285	75.284
Bioethanol					71.607					
Schmierstoffe ^a					73.300					
Zweitaktmix										
fossil	73.074	73.079	73.098	73.107	73.123	75.247	75.245	75.245	75.245	75.244
biogen					71.641					

Quelle: eigene Berechnungen

^a Default-Emissionsfaktor gemäß IPCC (2006): Band 2, Kapitel 2 - *Stationary Combustion*, Seite 2.20, Tabelle 2.4

Tabelle 565: CO₂ aus in Zweitakt-Ottomotoren mitverbrannten Schmierstoffen, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1.A.3.b	183	32,8	5,90	5,64	5,97	5,85	5,54	5,65	5,65	5,66	5,68	5,67	5,87	6,00
1.A.4.b ii	2,29	1,77	1,18	1,07	1,34	1,58	1,49	1,34	1,41	1,50	1,48	1,47	1,41	1,39
1.A.4.c ii	4,53	4,40	4,87	4,46	2,35	2,14	0,60	0,59	0,63	2,54	2,41	2,43	2,67	2,66
Summe	190	39,0	12,0	11,2	9,66	9,57	7,62	7,58	7,70	9,69	9,57	9,56	9,94	10,0

Quelle: eigene Berechnungen, basierend auf (Knörr et al., 2020b; Knörr et al., 2020c)

Rückrechnungen gegenüber Submission 2020

Zum einen erfolgte eine alle Jahre umfassende Neuberechnung der Kraftstoffverbräuche von Straßen-Zweitakttern. Zum anderen erfolgte eine Revision der Ottokraftstoff-Verbräuche der Zweitakter in 1.A.4.b ii und c ii aktualisiert ab 2002.

Daraus resultiert die nachfolgend dargestellte Anpassung der Mengen mitverbrannter Schmierstoffe.

Tabelle 566: revidierte Mengen mitverbrannter Schmierstoffen, in Terajoule

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Submission 2021	2.588	531	163	152	132	131	104	103	105	132	131	130	136
Submission 2020	2.753	548	160	151	132	131	105	105	107	135	133	133	129
Änderung absolut	-164	-16,1	3,34	1,50	-0,21	-0,82	-0,90	-1,20	-1,77	-2,38	-2,44	-2,56	6,98
Änderung relativ	-5,98%	-2,94%	2,09%	1,00%	-0,16%	-0,62%	-0,86%	-1,15%	-1,66%	-1,77%	-1,83%	-1,93%	5,43%

Quelle: eigene Berechnungen

Die Revision der resultierenden CO₂-Emissionen fällt prozentual identisch aus.

Tabelle 567: revidierte Kohlendioxid-Emissionen, in Kilotonnen

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Submission 2021	190	39,0	12,0	11,2	9,66	9,57	7,62	7,58	7,70	9,69	9,57	9,56	9,94
Submission 2020	202	40,1	11,7	11,1	9,68	9,63	7,69	7,67	7,83	9,87	9,75	9,75	9,43
Änderung absolut	-12,1	-1,18	0,24	0,11	-0,02	-0,06	-0,07	-0,09	-0,13	-0,17	-0,18	-0,19	0,51
Änderung relativ	-5,98%	-2,94%	2,09%	1,00%	-0,16%	-0,62%	-0,86%	-1,15%	-1,66%	-1,77%	-1,83%	-1,93%	5,43%

Quelle: eigene Berechnungen

Kohlendioxid aus der Schmierstoff-Mitverbrennung in Viertakt-Ottomotoren sowie sonstigen Motoren in Verkehrsträgern und mobilen Maschinen und Geräten wird dagegen als *Emission aus der Produktanwendung* separat unter CRF 2.D.1 berichtet. (siehe Kapitel 4.5.1)

19.1.5 Berechnung der fossilen Anteile der eingesetzten Biokraftstoffe sowie der aus deren Einsatz resultierenden Kohlendioxid-Emissionen

Mit der vorliegenden Berichterstattung werden im deutschen Treibhausgas-Inventar erstmals die fossilen Anteile der eingesetzten Biokraftstoffe sowie die aus deren Einsatz resultierenden Kohlendioxid-Emissionen erfasst und berichtet.

Aus Kapazitätsgründen war es dabei leider nicht möglich, die Erstellung und Implementierung eines auf landes- wie jahresspezifischen Daten beruhenden Ansatzes rechtzeitig abzuschließen. Aus diesem Grund wird für die aktuelle Submission auf einen Proxy-Ansatz zurückgegriffen, der im Folgenden ausführlich beschrieben wird.

Methodische Aspekte

Im Rahmen eines landesspezifischen Ansatzes sollen zukünftig jährliche statistische Daten zur Zusammensetzung der inländisch abgesetzten Biokraftstoffe Anwendung finden. Aktuell werden dagegen die in den einzelnen Quellgruppen aus dem Einsatz von Biodiesel und Biobenzin resultierenden CO₂-Emissionen zugrunde gelegt.

Tabelle 568: aus dem Einsatz von Biodiesel und Biobenzin resultierendes CO₂, in Kilotonnen

	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Kohlendioxid aus Biobenzin										
1.A.2.g vii	0,00	0,00	0,34	2,10	7,74	10,3	10,6	10,2	10,1	9,06
1.A.3.b	0,00	0,00	81,9	488	2.190	2.201	2.206	2.172	2.230	2.162
1.A.4.b ii	0,00	0,00	0,18	1,18	9,35	13,1	13,2	12,8	13,1	12,5
1.A.4.c ii	0,00	0,00	0,23	1,49	4,27	5,16	4,90	4,77	5,61	5,27
1.A.5.b	0,00	0,00	0,44	3,37	13,5	10,4	9,36	7,63	7,54	7,29
Zwischensumme	0,00	0,00	83,1	496	2.224	2.240	2.244	2.208	2.267	2.196
Kohlendioxid aus Biodiesel										
1.A.1.c	0,00	26,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1.A.2.g vii	0,00	0,00	93,6	167	207	169	170	176	177	175
1.A.3.b	106	869	2.754	5.103	6.340	5.224	5.230	5.388	5.667	5.614
1.A.3.c	0,00	0,00	12,5	28,4	67,8	51,4	51,6	42,9	38,8	38,4
1.A.4.a ii	0,00	0,00	14,8	26,7	31,3	22,5	23,1	23,7	23,7	23,1
1.A.4.c ii	0,00	0,00	100	182	242	201	202	210	216	215
1.A.5.b	0,00	0,00	2,33	15,17	5,31	2,24	2,17	1,56	1,15	1,13
Zwischensumme	106	869	2.977	5.523	6.894	5.670	5.679	5.841	6.124	6.066
gesamt	106	869	3.060	6.019	9.119	7.910	7.923	8.049	8.391	8.262

Quelle: eigene Berechnungen

In einem nächsten Schritt werden dann die fossilen Anteile dieser Emissionen berechnet. Dabei werden folgende konservative Annahmen getroffen:

- 100 % des Biodiesels werden aus FAME erzeugt.
- 5,50 % des in diesen FAME enthaltenen Kohlenstoffs sind fossilen Ursprungs.¹⁷⁵
- 90 % des Biobenzins werden aus Bioethanol erzeugt, 10 % aus ETBE.
- 66,67 % des im ETBE enthaltenen Kohlenstoffs sind fossilen Ursprungs.¹⁷⁶

Daraus ergeben sich folgende prozentuale Anteile fossilen Kohlenstoffs im eingesetzten Biodiesel und Biobenzin:

- 5,50 % des in Deutschland eingesetzten Biodiesels sind fossilen Ursprungs.
- 6,66 % des in Deutschland eingesetzten Biobenzins sind fossilen Ursprungs.

Basierend auf den oben dargestellten Gesamtemissionen resultieren daraus die in Tabelle 2 aufgeführten Kohlendioxid-Mengen, die den nationalen Gesamtemissionen zugerechnet werden.

¹⁷⁵ WG I - Note on fossil carbon content in biofuels; Calculating the fossil fuel content of biofuels that replace fossil diesel (biodiesel)

¹⁷⁶ WG I - Note on fossil carbon content in biofuels; Table 1 - Carbon content and fossil fraction of carbon content of biogasoline

Tabelle 569: CO₂ aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe, in Kilotonnen

	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
fossiles Kohlendioxid aus Biobenzin										
1.A.2.g vii	0,00	0,00	0,02	0,14	0,52	0,69	0,71	0,68	0,67	0,60
1.A.3.b	0,00	0,00	5,46	32,5	146	147	147	145	149	144
1.A.4.b ii	0,00	0,00	0,01	0,08	0,62	0,88	0,88	0,85	0,87	0,83
1.A.4.c ii	0,00	0,00	0,02	0,10	0,28	0,34	0,33	0,32	0,37	0,35
1.A.5.b	0,00	0,00	0,03	0,22	0,90	0,69	0,62	0,50	0,50	0,47
Zwischensumme	0,00	0,00	5,54	33,1	148	149	150	147	151	146
fossiles Kohlendioxid aus Biodiesel										
1.A.1.c	0,00	1,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1.A.2.g vii	0,00	0,00	5,15	9,17	11,4	9,31	9,35	9,67	9,75	9,63
1.A.3.b	5,86	47,80	151,47	281	349	287	288	296	312	309
1.A.3.c	0,00	0,00	0,69	1,56	3,73	2,83	2,84	2,36	2,13	2,11
1.A.4.a ii	0,00	0,00	0,82	1,51	1,73	1,24	1,27	1,30	1,30	1,27
1.A.4.c ii	0,00	0,00	5,53	10,3	13,3	11,0	11,1	11,6	11,9	11,8
1.A.5.b	0,00	0,00	0,13	0,83	0,29	0,12	0,12	0,09	0,06	0,06
Zwischensumme	5,86	47,80	163,69	304	379	312	312	321	337	334
gesamt	5,86	47,80	169,23	337	527	461	462	468	488	480

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 570: CO₂ aus den fossilen Anteilen der eingesetzten Biokraftstoffe, in Kilotonnen

	1995	2000	2004	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
1.A.2.g vii – Bauwirtschaftlicher Verkehr & mobile Maschinen der Bauwirtschaft										
aus Biobenzin	0,00	0,00	0,02	0,14	0,52	0,69	0,71	0,68	0,67	0,60
aus Biodiesel	0,00	0,00	5,15	9,17	11,41	9,31	9,35	9,67	9,75	9,63
gesamt	0,00	0,00	5,17	9,31	11,9	9,99	10,1	10,4	10,4	10,2
1.A.3.b - Straßenverkehr										
aus Biobenzin	0,00	0,00	5,46	32,5	146	147	147	145	149	144
aus Biodiesel	5,86	47,8	151	281	349	287	288	296	312	309
gesamt	5,86	47,8	157	313	495	434	435	441	460	453
davon: PKW	1,85	14,3	66,0	148	288	272	274	277	286	278
davon: LNF	0,42	4,20	14,3	27,5	32,6	28,5	29,4	31,4	34,3	34,7
davon: SNF (inkl. Busse)	3,59	29,3	76,5	137	170	130	127	129	136	136
davon: Zweiräder	0,00	0,00	0,12	0,75	3,50	3,66	3,73	3,70	3,80	3,70
1.A.3.c - Schienenverkehr										
aus Biodiesel	0,00	0,00	0,69	1,56	3,73	2,83	2,84	2,36	2,13	2,11
1.A.4 – Fahrzeuge und mobile Maschinen in GHD, Land- und Forstwirtschaft										
aus Biobenzin										
1.A.4.b ii	0,00	0,00	0,01	0,08	0,62	0,88	0,88	0,85	0,87	0,83
1.A.4.c ii	0,00	0,00	0,02	0,10	0,28	0,34	0,33	0,32	0,37	0,36
Zwischensumme	0,00	0,00	0,03	0,18	0,91	1,22	1,20	1,17	1,25	1,18
aus Biodiesel										
1.A.4.a ii	0,00	0,00	0,81	1,47	1,72	1,24	1,27	1,30	1,30	1,27
1.A.4.c ii	0,00	0,00	5,48	10,0	13,3	11,0	11,1	11,6	11,9	11,8
Zwischensumme	0,00	0,00	6,30	11,5	15,0	12,3	12,4	12,9	13,2	13,1
gesamt	0,00	0,00	6,33	11,7	15,9	13,5	13,6	14,0	14,4	14,3
1.A.5.b – militärischer Verkehr										
aus Biobenzin	0,00	0,00	0,03	0,22	0,90	0,69	0,62	0,50	0,50	0,47
aus Biodiesel	0,00	0,00	0,13	0,83	0,29	0,12	0,12	0,09	0,06	0,06
gesamt	0,00	0,00	0,16	1,06	1,19	0,82	0,74	0,59	0,57	0,53

Quelle: eigene Berechnungen

Unsicherheiten und Zeitreihenkonsistenz

Die hier zugrunde gelegten Unsicherheitenangaben entsprechen den in den einzelnen Quellkategorien für die eigentlichen Biokraftstoffe gemachten Angaben und werden über die gesamte Zeitreihe hinweg konsistent angewendet.

Kategoriespezifische Qualitätssicherung/-kontrolle und Verifizierung

Eine über die hinsichtlich der in den einzelnen Quellkategorien eingesetzten eigentlichen Biokraftstoffe hinaus gehende allgemeine Qualitätskontrolle und eine Qualitätssicherung ist nicht erfolgt. Dies wird erst nach erfolgreicher Implementierung der landesspezifischen Methodik erfolgen.

Kategoriespezifische Rückrechnungen

Da die Kohlendioxid-Emissionen aus den fossilen Anteilen der eingesetzten flüssigen Biokraftstoffe erstmalig berichtet werden, wird auf eine Beschreibung der Rückrechnungen verzichtet.

Geplante Verbesserungen

Sofern in vorhergehenden Berichterstattungen in diesem Kapitel Verbesserungen benannt wurden, sind diese in Form einer Übersicht unter Kapitel 10.4 Verbesserungen des Inventars, Tabelle 496 zu finden. Sind diese bereits erledigt, sind sie im selben Kapitel in Tabelle 495 abgebildet.

19.2 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Industrieprozesse (2)

Dieses Kapitel wird derzeit nicht benötigt.

19.3 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Landwirtschaft (3)

19.3.1 Schätzung der Emissionen zusätzlicher Tierkategorien

Die CRF-Tabellen unter IPCC (2006): Vol. 4 sehen die Emissionsberichterstattung für zusätzliche, in Kapitel 5 nicht berücksichtigte Tierkategorien vor:

- Deer (Gehegewild),
- Rabbit (Kaninchen),
- Reindeer (Rentiere),
- Ostrich (Strauße),
- Fur-bearing animals (Pelztiere).

Rentiere werden in Deutschland nicht gehalten. Für die übrigen vier Kategorien werden nachfolgend die Treibhausgasemissionen mit Tier-1-Verfahren exemplarisch für ein Jahr geschätzt. Tabelle 571 fasst die Ergebnisse dieser Berechnungen zusammen. Diese Daten dienen als Grundlage für die Entscheidung, dass die entsprechenden Emissionen als geringfügig einzustufen sind und daher nicht im NIR berichtet werden müssen, siehe Kapitel 21.

Tabelle 571: Gesamt-THG-Emissionen von Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren

	CH ₄ [kt a ⁻¹]	N ₂ O [kt a ⁻¹]	CO _{2eq} [kt a ⁻¹]
insgesamt	5,635	0,108	172,91
Gehegewild	5,348	0,085	159,11
Kaninchen	0,194	0,011	7,98
Strauße	0,043	0,003	1,83
Pelztiere (Nerze)	0,050	0,009	3,99

19.3.1.1 Tierplatzzahlen

In Deutschland gibt es für Gehegewild, Kaninchen, Strauße und Pelztiere keine offizielle Erhebung der Tierzahlen. Tabelle 572 zeigt unter Angabe der verwendeten Informationsquelle Schätzungen des Statistischen Bundesamtes zum mittleren Tierbestand (Statistisches Bundesamt, Referat G 105, C. Schreiner, pers. Mitteilung, 2012). Diese Zahlen werden als durchgängig belegte Tierplätze (AAP) interpretiert (siehe Kapitel 5.1.3.2). Die FAO bietet für Kaninchen ebenfalls Zahlen an, die aber weit unter den nationalen Zahlen liegen; daher ist der Ansatz, der hier gewählt wird, als konservativ einzustufen.

Tabelle 572: Mittlerer jährlicher Tierbestand nach Schätzungen des Statistischen Bundesamtes

	Tierbestand	Quelle
Gehegewild	264.500	Landesverbände für landwirtschaftliche Wildtierhaltung, Umfrage im Zeitraum 2008/2009
Kaninchen	440.000	Bundesverband deutscher Kaninchenfleisch- und -wollerzeuger e.V.
Strauße	7.632	Tierseuchenkasse (2012)
Pelztiere (Nerze)	63.500	Lnderabfrage zur Haltung von Pelztieren (Stand März 2012)

19.3.1.2 CH₄-Emissionen aus der Verdauung

Für Strauße werden keine CH₄-Emissionen aus der Verdauung berechnet, da IPCC (2006): Vol. 4 keine Methodik angibt. Die Emissionsberechnung für Gehegewild, Kaninchen und Pelztiere erfolgt durch Multiplikation der Tierzahl mit dem entsprechenden Emissionsfaktor.

Für Gehegewild wird der CH₄-Default-Emissionsfaktor aus IPCC (2006): Vol. 4, 10.28, Tab. 10.10, verwendet (20 kg pl⁻¹ a⁻¹).

Dagegen gibt IPCC (2006): Vol. 4 keinen Emissionsfaktor für Kaninchen an. Laut Fußnote 1 zur Table 10.10 auf S. 10.28 in IPCC (2006): Vol. 4 kann der Emissionsfaktor approximiert werden, indem man eine Tierkategorie mit ähnlichem Verdauungssystem auswählt und deren Emissionsfaktor mithilfe des mit 0,75 potenzierten Verhältnisses der Tiergewichte skaliert. Für eine solche Schätzung wurde das Pferd als Vergleichstier gewählt, da es weder Wiederkäuer (Rind, Schaf, Ziege) noch Allesfresser (Schwein) ist. Nach (IPCC (2006): Vol. 4, 10.28, Table 10.10) wird für das Pferdengewicht mit 550 kg pro Tier gerechnet. Das Kaninchengewicht wird mit 3,0 kg angesetzt (Lebendendgewicht eines Mastkaninchens, nach (LfL Bayern, 2006)). Mit dem CH₄-Emissionsfaktor für Pferde (18 kg pl⁻¹ a⁻¹, IPCC (2006): Vol. 4, 10.28, Table 10.10), ergibt sich damit für Kaninchen ein CH₄-Emissionsfaktor von 0,36 kg pl⁻¹ a⁻¹.

Für Pelztiere wird der von anderen Ländern (Estland, Island, Lettland, Litauen, Norwegen; jeweils NIR 2017) verwendete CH₄-Emissionsfaktor von 0,1 kg pl⁻¹ a⁻¹ übernommen.

Tabelle 573 zeigt die beispielhaft berechneten jährlichen Emissionen aus der Verdauung bei Gehegewild, Kaninchen und Pelztieren.

Tabelle 573: CH₄-Emissionen aus der Verdauung bei Gehegewild, Kaninchen und Pelztieren

	EF [kg pl ⁻¹ a ⁻¹]	CH ₄ [kt a ⁻¹]	CO _{2eq} [kt a ⁻¹]
insgesamt		5,45	136,37
Gehegewild	20,00	5,29	132,25
Kaninchen	0,36	0,16	3,96
Pelztiere (Nerze)	0,10	0,0064	0,16

19.3.1.3 CH₄-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Es werden die Default-Emissionsfaktoren aus IPCC (2006): Vol. 4, 10.83, Tab. 10A-9, verwendet. Die resultierenden Emissionen sind Tabelle 574 zu entnehmen.

Tabelle 574: CH₄-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management bei Gehegewild, Kaninchen, Strauße und Pelztieren

	EF [kg pl ⁻¹ a ⁻¹]	CH ₄ [kt a ⁻¹]	CO _{2eq} [kt a ⁻¹]
insgesamt		0,180	4,50
Gehegewild	0,22	0,058	1,45
Kaninchen	0,08	0,035	0,88
Strauße	5,67	0,043	1,08
Pelztiere (Nerze)	0,68	0,043	1,08

19.3.1.4 N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Zur Berechnung der N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management wird die N-Ausscheidung sowie ggf. die Aufteilung der Tierpopulation auf verschiedene Haltungssysteme benötigt. Letzteres ist für Gehegewild, Kaninchen, Pelztiere und Strauße in Deutschland nicht bekannt. Es wird daher vereinfachend für Gehegewild ganzjährige Freilandhaltung und für Kaninchen, Pelztiere und Strauße eine ganzjährige Haltung in festmistbasierten Ställen angenommen. Zu den N-Ausscheidungen siehe Kapitel 19.3.1.4.1. Die resultierenden N₂O-Emissionen finden sich in Kapitel 19.3.1.4.2.

19.3.1.4.1 N-Ausscheidungen

Weder IPCC (2006): Vol. 4 noch EMEP/EEA (2019) geben einen Default-Wert für die N-Ausscheidung von Gehegewild an. Für die deutschen Berechnungen wurde der Wert aus Dänemark verwendet (16 kg pl⁻¹ a⁻¹, UNFCCC (2020a)), da davon ausgegangen wird, dass die Gehegewildhaltung in Dänemark und Deutschland vergleichbar ist.

Für Kaninchen gibt IPCC (2006): Vol. 4, 10.59, Tab. 10.19, eine Default-N-Ausscheidung von 8,1 kg pl⁻¹ a⁻¹ an. Dieser Wert erscheint unrealistisch hoch, da er in der Größenordnung des Gesamtzuwachses an Lebendmasse pro Tierplatz und Jahr liegt. Letzterer berechnet sich bei jährlich ca. vier Durchgängen (n_{round} , abgeleitet aus 87 Tagen Mastdauer nach (LfL Bayern, 2006)) und einem Lebendendgewicht von ca. 3 kg Tier⁻¹ (siehe ebenfalls LfL Bayern) zu rund 12 kg pl⁻¹ a⁻¹. Daher wird die N-Ausscheidung von Kaninchen auf Grundlage der tierischen N-Bilanz geschätzt, siehe Gleichung 56:

Gleichung 56: Berechnung der N-Ausscheidung von Kaninchen (N-Bilanz)

$$N_{\text{excr, rabbit}} = n_{\text{round}} \cdot \Delta W_{\text{round}} \cdot (x_{\text{N}} \cdot x_{\text{XP, feed}} \cdot x_{\text{feed}} - x_{\text{N, ret}})$$

mit

$N_{\text{excr, rabbit}}$	N-Ausscheidung (in kg Platz ⁻¹ a ⁻¹)
n_{round}	Anzahl der Mastdurchgänge pro Jahr (in Durchgang a ⁻¹)
ΔW_{round}	Gewichtszunahme pro Mastdurchgang (in kg Durchgang ⁻¹ Platz ⁻¹)
x_{N}	N-Gehalt von Rohprotein (1/6,25 kg kg ⁻¹)
$x_{\text{XP, feed}}$	Rohprotein-Gehalt des Futters (Frischmasse) (in kg kg ⁻¹)
x_{feed}	Futteraufwand (Frischmasse) pro kg Gewichtszunahme (in kg kg ⁻¹)

$x_{N,ret}$ spezifische N-Retention (kg kg⁻¹)

In konservativer Weise wird ΔW_{round} vereinfachend mit dem Mastendgewicht (siehe oben) gleichgesetzt. Der Rohproteingehalt des Futters, $x_{XP,feed}$, liegt nach Beduco NV (2020) bei etwa 0,17 kg kg⁻¹. Der Futteraufwand x_{feed} beträgt ca. 3,5 kg kg⁻¹ (LfL Bayern, 2006). Laut DLG (2005), S.12, ist $x_{n,ret} = 0,03$ kg kg⁻¹. Damit ergibt Gleichung 56 eine N-Ausscheidung von 0,8 kg pl⁻¹ a⁻¹.

Für Strauße geben weder IPCC (2006): Vol. 4 noch EMEP/EEA (2019) Defaultwerte für die N-Ausscheidung an. Für die deutschen Berechnungen wird auch hier der dänische Wert verwendet (UNFCCC, 2020a): 15,6 kg pl⁻¹ a⁻¹.

Für Nerze gibt gibt IPCC (2006): Vol. 4, 10.59, Tab. 10.19, eine Default-N-Ausscheidung von 4,59 kg pl⁻¹ a⁻¹ N an.

19.3.1.4.2 Direkte N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Die direkten N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management für Kaninchen, Pelztier und Strauße ergeben sich aus der Multiplikation der Tierplatzzahl mit der jährlichen N-Ausscheidung pro Platz, dem entsprechenden N₂O-N-Emissionsfaktor (0,005 kg kg⁻¹ für Kaninchen und Pelztier sowie 0,001 kg kg⁻¹ für Strauße, siehe Kapitel 5.3.4.2.2) und dem Molgewichtsverhältnis von N₂O zu N (44/28). Für Gehegewild entsteht im Bereich Wirtschaftsdünger-Management keine N₂O-Emission, da die Freilandhaltung als „Weidegang“ anzusehen ist; die daraus resultierenden Emissionen werden bei den direkten N₂O-Emissionen aus Böden berichtet, siehe Kapitel 19.3.1.6.

Tabelle 575: Direkte N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management bei Gehegewild, Kaninchen, Straußen und Pelztieren

	N_{excr} [kg pl⁻¹ a⁻¹]	N₂O [kt a⁻¹]	CO_{2eq} [kt a⁻¹]
insgesamt		0,005	1,56
Gehegewild	16	NO	NO
Kaninchen	0,8	0,003	0,82
Strauße	15,6	0,0002	0,06
Pelztier (Nerze)	4,59	0,002	0,68

19.3.1.5 Indirekte N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Indirekte N₂O-Emissionen aus Auswaschung/Oberflächenabfluss werden wie bei den anderen Tieren (siehe Kapitel 5.3.1) nicht berechnet. Die Berechnung indirekter N₂O-Emissionen infolge der Deposition reaktiven Stickstoffs aus NH₃- und NO-Emissionen aus Stall und Lager wird im Folgenden beschrieben. Stickstoffeinträge aus Einstreu können dabei mangels Daten nicht berücksichtigt werden.

Zunächst werden die NH₃- und NO-Emissionen aus Stall und Lager ermittelt. Die Berechnung der NO-Emissionen erfolgt dabei analog zur Berechnung der direkten N₂O-Emissionen aus Stall und Lager (siehe Kapitel 19.3.1.4.2). Der Emissionsfaktor wird wie bei den anderen Tieren (siehe Kapitel 5.3.4.2.2) mit zehn Prozent des N₂O-Emissionsfaktors angesetzt: 0,0013 kg kg⁻¹ für Kaninchen und Pelztier bzw. 0,0001 kg kg⁻¹ für Strauße.

Die NH₃-Emissionen aus dem Stall werden durch Multiplikation der ausgeschiedenen TAN-Menge (total ammoniacal nitrogen) mit dem entsprechenden Emissionsfaktor berechnet. Dabei ist die TAN-Menge das Produkt aus der N-Ausscheidung und deren relativem TAN-Gehalt. Die NH₃-Emissionen aus dem Lager sind proportional zur TAN-Menge, die nach Abzug der N-Verluste aufgrund der NH₃-Emissionen aus dem Stall verbleibt. Als Proportionalitätsfaktor dient der Lager-Emissionsfaktor. Für Kaninchen und Strauße liegen keine Daten zu TAN-Gehalt und Emissionsfaktoren vor; daher wurden die entsprechenden Default-Werte für Pferde und Gänse aus EMEP/EEA (2019)-3B-31 übernommen. Die schließlich verwendeten Daten sind in Tabelle

576 aufgelistet, wobei die Emissionsfaktoren in kg NH₃-N pro kg TAN angegeben sind. Für Gehegewild entfällt die Berechnung, da es sich ganzjährig im Freien aufhält.

Tabelle 576: Eingangsdaten zur Berechnung der NH₃-Emissionen (Emissionsfaktoren [EF] in kg NH₃-N pro kg TAN

	TAN-Gehalt [%]	EF Stall [kg kg ⁻¹]	EF Lager [kg kg ⁻¹]	Bemerkung
Kaninchen	60	0,22	0,35	Default für Pferde, EMEP/EEA (2019) -3B-31
Strauße	70	0,57	0,16	Default für Gänse, EMEP/EEA (2019)-3B-31
Pelztiere (Nerze)	60	0,27	0,09	Default, EMEP/EEA (2019)-3B-31

Die resultierende Deposition von reaktivem Stickstoff (N_{reac}) sowie die daraus folgenden indirekten N₂O-Emissionen sind in Tabelle 577 wiedergegeben, wobei nach IPCC (2006): Vol. 4, 11.24, Tab. 11.3, der Emissionsfaktor $EF_4 = 0,01$ kg N₂O-N pro kg N_{reac} verwendet wurde.

Tabelle 577: Indirekte N₂O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs aus NH₃- und NO-Emissionen aus Stall und Lager

	N_{reac} [kt a ⁻¹]	N ₂ O [kt a ⁻¹]	CO _{2eq} [kt a ⁻¹]
insgesamt	0,2164	0,00340	1,01
Kaninchen	0,0000	0,00000	0,00
Strauße	0,1043	0,00164	0,49
Pelztiere (Nerze)	0,0533	0,00084	0,25

19.3.1.6 Direkte N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden

Infolge der Ausbringung des Wirtschaftsdüngers von Kaninchen, Straußen und Pelztieren sowie des Freilandaufenthalts von Gehegewild entstehen direkte N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden.

Die Emissionen durch Wirtschaftsdünger- Ausbringung werden berechnet, indem die jeweilige N-Menge, die nach N-Verlusten (als NH₃, N₂O, NO und N₂) aus Stall und Lager noch zur Verfügung steht, mit dem IPCC-Default-Emissionsfaktor EF_1 (0,01 kg N₂O-N pro kg N, IPCC (2006): Vol. 4, 11.11, Tab. 11.1) und dem Molgewichtsverhältnis 44/28 multipliziert wird.

Die durch das Gehegewild verursachte N₂O-Emission ergibt sich, indem die Tierzahl mit der TAN-Ausscheidung, dem N₂O-N-Emissionsfaktor für Weidegang und dem Molgewichtsverhältnis 44/28 multipliziert wird. Dabei ist die TAN-Menge das Produkt aus der N-Ausscheidung und deren relativem TAN-Gehalt. Letzterer ist nicht bekannt, weshalb der Wert für Schafe nach EMEP/EEA (2019)-3B-31 übernommen wird (50 %). Als Emissionsfaktor wird gemäß IPCC (2006): Vol. 4, 11.11, Tab. 11.1, der $EF_{3\text{PRP,SO}}$ für Schafe und andere Tiere angewendet (0,01 kg N₂O-N pro kg N-Ausscheidung).

Tabelle 578 zeigt die N-Menge, deren Multiplikation mit dem jeweiligen Emissionsfaktor und dem Molgewichtsverhältnis 44/28 zur ebenfalls angegebenen Emission führt.

Tabelle 578: Direkte N₂O-Emissionen aus Böden infolge Gehegewild-Freilandaufenthalt und Wirtschaftsdüngerausbringung bei Kaninchen, Straußen und Pelztieren.

	N [kt a ⁻¹]	N ₂ O [kt a ⁻¹]	CO _{2eq} [kt a ⁻¹]
insgesamt	4,765	0,0749	22,31
Gehegewild	4,232	0,0665	19,82
Kaninchen	0,241	0,0038	1,13
Strauße	0,065	0,0010	0,31
Pelztiere (Nerze)	0,227	0,0036	1,06

19.3.1.7 Indirekte N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden

Zur Berechnung der indirekten Emissionen aus der Deposition reaktiven Stickstoffs werden die NH₃-N-Emissionen aus dem Gehegewild-Freilandaufenthalt und der Ausbringung von Wirtschaftsdünger sowie die entsprechenden NO-N-Emissionen benötigt. Tabelle 580 zeigt die verwendeten Emissionsfaktoren zur Berechnung der NH₃-Emissionen.

Tabelle 579: Parameter zur Berechnung der indirekten N₂O-Emissionen aus der Deposition reaktiven Stickstoffs infolge Freilandaufenthalt und Ausbringung (Emissionsfaktoren [EF] in kg NH₃-N pro kg TAN)

	EF _{NH₃-N}		Bemerkung
	Freiland	Ausbringung	
Gehegewild	0,09		Default für Schafe, EMEP/EEA (2019)-3B-31
Kaninchen		0,90	Default für Pferde, EMEP/EEA (2019)-3B-31
Strauße		0,45	Default für Gänse, EMEP/EEA (2019)-3B-31
Pelztiere (Nerze)		0,90	Default für Pferde, EMEP/EEA (2019)-3B-31

Die NO-N-Emissionen aus dem Gehegewild-Freilandaufenthalt sowie aus der Wirtschaftsdünger-Ausbringung von Kaninchen, Straußen und Pelztieren werden analog zu Kapitel 5.3.4.2.2 mit dem von Stehfest and Bouwman (2006) abgeleiteten Emissionsfaktor 0,012 kg NO-N pro kg verfügbaren Stickstoffs berechnet.

Die resultierende Deposition von reaktivem Stickstoff (N_{reac}) sowie die daraus folgenden indirekten N₂O-Emissionen sind in Tabelle 580 wiedergegeben, wobei nach IPCC (2006): Vol. 4, 11.24, Tab. 11.3, der Emissionsfaktor EF₄ = 0,01 kg N₂O-N pro kg N_{reac} verwendet wurde.

Tabelle 580: Indirekte N₂O-Emissionen als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs (N_{reac}) aus NH₃- und NO-Emissionen aus Gehegewild-Freilandaufenthalt und Ausbringung

	N _{reac} [kt a ⁻¹]	N ₂ O [kt a ⁻¹]	CO _{2eq} [kt a ⁻¹]
insgesamt	0,456	0,0072	2,13
Gehegewild	0,241	0,0038	1,13
Kaninchen	0,096	0,0015	0,45
Strauße	0,014	0,0002	0,07
Pelztiere (Nerze)	0,104	0,0016	0,49

Die indirekten Emissionen als Folge von Auswaschung/Oberflächenabfluss werden berechnet, indem die auf den Boden ausgebrachte N-Menge (N_{applied}) mit FRAC_{Leach} (0,3 kg kg⁻¹ nach IPCC (2006): Vol. 4, 11.24, Tabelle 11.3) und dem Emissionsfaktor EF₅ = 0,0075 kg N₂O-N (kg N leaching/runoff)⁻¹ (IPCC (2006): Vol. 4, 11.24, Tab. 11.3) multipliziert wird.

Tabelle 581: Indirekte N₂O-Emissionen aus Böden infolge Auswaschung/Oberflächenabfluss

	N_{applied} [kt a⁻¹]	N₂O [kt a⁻¹]	CO_{2eq} [kt a⁻¹]
insgesamt	4,765	0,0168	5,02
Gehegewild	4,232	0,0150	4,46
Kaninchen	0,241	0,0009	0,25
Strauße	0,065	0,0002	0,07
Pelztiere (Nerze)	0,227	0,0008	0,24

19.3.2 Verteilungen von Haltungs- Lager- und Ausbringungsverfahren sowie Weidegangdaten (CRF 3.B, 3.D)

Tabelle 582 bis Tabelle 585 zeigen (gerundet auf ganze Prozentwerte) die auf nationaler Ebene aggregierten Verteilungen von Haltungs- Lager- und Ausbringungsverfahren sowie Angaben zum Weidegang. Da Büffel zusammen mit den Rindern sowie Esel und Maultiere mit den Pferden berichtet werden (siehe Kapitel 5.1.3.2.2), sind sie in den nachstehenden Tabellen nicht gesondert aufgeführt.

Die Emissionsberechnungen wurden nicht mit den Daten aus Tabelle 582 bis Tabelle 585 durchgeführt, sondern mit den dahinter stehenden Daten in Bundesland-Auflösung, siehe Kap. 3.4.3 in Rösemann et al. (2021). Die Tabellen umfassen auch Angaben zu Emissionsfaktoren (u. a. auch für NH₃). Zu weiteren Details siehe Kap. 3.4.4, 4.2.2, 5.2.2, 6.2.2, 7.2.2, 8.2.2 und 8.3.8.3 in Rösemann et al. (2021).

Tabelle 582: Häufigkeitsverteilungen von Tierhaltungsverfahren(in %) sowie zugehörige Einstreumengen und NH₃-Emissionsfaktoren

livestock category	housing type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	bedding material (straw) kg place d ⁻¹	NH ₃ -N EF for housing, kg NH ₃ -N per kg TAN in excreta
		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		
dairy cows	tied systems, straw based	31	31	31	31	15	15	15	15	13	13	13	12	12	12	11	11	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5.0	0.066
	tied systems, slurry based	39	39	39	39	36	36	36	36	34	34	33	31	30	28	27	25	24	23	21	20	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	0.066	
	loose housing, straw based	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	5.0	0.197	
	loose housing, slurry based	28	28	28	28	46	46	46	46	49	49	50	52	53	55	56	57	59	60	61	63	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	0.197	
	loose housing, deep bedding time spent on pastures (in % of year)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.0	0.197
male beef cattle	tied systems, straw based	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	2.0	0.066	
	tied systems, slurry based	7	7	7	7	4	4	4	4	4	4	4	5	5	6	7	7	8	8	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0.066		
	loose housing, slurry based	85	85	85	85	89	89	89	89	91	91	87	84	81	77	74	71	67	64	61	57	54	54	54	54	54	54	54	54	54	0.197		
	loose housing, sloped floor time spent on pastures (in % of year)	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	6	8	10	13	15	17	19	22	24	26	29	29	29	29	29	29	29	29	29	2.5	0.213	
		4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3		
female beef cattle	tied systems, straw based	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	2.0	0.066	
	tied systems, slurry based	16	16	16	16	18	18	18	18	18	18	18	17	16	16	15	15	14	14	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0.066		
	loose housing, slurry based	48	48	48	48	50	50	50	50	50	50	50	49	49	48	48	47	46	46	45	45	44	44	44	44	44	44	44	44	44	0.197		
	loose housing, straw based time spent on pastures (in % of year)	28	28	28	28	23	23	23	23	22	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	3.0	0.197	
		20	20	19	19	19	19	20	20	19	19	20	19	19	19	19	19	19	20	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	17			
dairy heifers	tied systems, straw based	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	2.0	0.066		
	tied systems, slurry based	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	16	15	15	14	13	13	12	11	11	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0.066		
	loose housing, slurry based	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	48	48	47	47	47	46	46	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	0.197		
	loose housing, straw based time spent on pastures (in % of year)	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	27	28	29	30	31	32	33	33	34	35	35	35	35	35	35	35	35	35	3.0	0.197	
		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		

livestock category	housing type	Year																												bedding material (straw) kg place d ⁻¹	NH3-N EF for housing, kg NH3-N per kg TAN in excreta						
		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017			2018	2019				
calves	tied systems, straw based	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	0.066	
	loose housing, deep bedding	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	2.5	0.197	
	time spent on pastures (in % of year)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
suckler cows	tied systems, straw based	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	5.0	0.066	
	tied systems, slurry based	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0.066		
	loose housing, slurry based	10	10	10	10	8	8	8	8	7	7	8	9	9	10	11	11	12	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	0.197	
	loose housing, deep bedding	80	80	80	80	83	83	83	83	85	85	83	81	79	77	75	73	71	69	67	65	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	8.0	0.197
time spent on pastures (in % of year)	42	41	42	42	42	42	43	43	44	44	44	44	45	44	45	45	45	46	46	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	
mature males > 2 years	tied systems, straw based	15	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	5.0	0.066	
	tied systems, slurry based	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	0.066	
	loose housing, slurry based	34	34	34	34	35	35	35	35	36	36	36	36	35	35	35	35	34	34	34	34	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	0.197	
	loose housing, straw based	43	43	43	43	42	42	42	42	41	41	41	42	42	42	43	43	43	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	5.0	0.197
	time spent on pastures (in % of year)	35	33	33	34	33	33	33	32	33	33	32	32	32	32	32	32	33	33	33	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
fattening pigs	fully slatted floor, slurry	49	49	49	49	57	57	57	57	62	62	63	64	64	65	66	67	68	69	70	71	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	0.3		
	partly slatted floor, slurry	40	40	40	40	34	34	34	34	31	31	31	30	29	28	27	26	26	25	24	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	0.3	
	plane floor with bedding	8	8	8	8	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0.3	0.4	
	deep bedding	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.0	0.4	
	time spent on pastures (in % of year)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
weaners	fully slatted floor, slurry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3		
	partly slatted floor, slurry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3		
	plane floor with bedding	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0.4	
	deep bedding	45	45	45	45	57	57	57	57	62	62	63	64	64	65	66	67	68	68	69	70	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	0.2	0.4
	time spent on pastures (in % of year)	41	41	41	41	33	33	33	33	28	28	28	27	27	26	26	25	25	24	24	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
sows	straw based	10	10	10	10	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0.5	0.34	
	Slurry based	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0.34		
	time spent on pastures (in % of year)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

livestock category	housing type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	bedding material (straw) kg place d ⁻¹	NH3-N EF for housing, kg NH3-N per kg TAN in excreta	
		boars	straw based	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	slurry based	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0.34
	time spent on pastures (in % of year)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
laying hens	cages; ≥2010: small group housing systems	95	95	95	95	95	94	92	90	89	88	87	85	84	81	77	73	70	68	62	38	18	14	13	11	11	10	10	9	9	7		*)	
	floor management, aviary	4	4	4	4	4	5	5	7	7	7	7	7	7	9	12	14	15	17	22	45	63	64	64	64	64	64	63	65	62	62	0.5 kg per place and year	*)	
	free range, organic farming	1	1	1	1	1	2	2	4	4	5	7	8	9	10	11	13	14	15	16	18	19	22	23	24	26	26	27	26	29	30	0.5 kg per place and year	*)	
broilers	floor management	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1.4 kg per place and year	0.09 kg per kg of total N excreted	
pullets	floor management	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.75 kg per place and year	0.09 kg per kg of total N excreted	
ducks	floor management	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	22 kg per place and year	0.16 kg per kg of total N excreted	
geese	floor management	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		0.57	
turkeys, female	floor management	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	10.3 kg per place and year	0.222 kg per kg of total N excreted	
turkeys, male	floor management	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	10.3 kg per place and year	0.222 kg per kg of total N excreted	
horses	straw based system	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	8.0 / 5.0	0.22	
	time spent on pastures (in % of year)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21				
sheep without lambs	straw based system	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.4	0.22	
	time spent on pastures (in % of year)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	56	55			
lambs	straw based system	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.16	0.22	
	time spent on pastures (in % of year)	57	57	58	58	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	55	55	55	55	55	55	55	55	56	55			
goats	straw based system	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.4	0.22	
	time spent on pastures (in % of year)	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34			

*) s. Tabelle S85: Legehennen, haltungsspezifische partielle NH₃-Emissionsfaktoren

Tabelle 583: Häufigkeitsverteilungen von Lagerverfahren (in %), Mengen an vergorenen Energiepflanzen sowie zugehörige Emissionsfaktoren

livestock category	storage type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system	NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	CH ₄ MCF for storage, % von Bo < 10 °C	maximum CH ₄ producing capacity (Bo) m ³ CH ₄ per kg VS
		cattle, untreated slurry	open tank (% of total untreated slurry)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0.150	0.000	17.0	0.23
	solid cover (% of total untreated slurry)	23	23	23	23	22	22	22	22	22	22	23	23	24	25	26	26	27	28	28	29	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	0.015	0.005	17.0	0.23		
	natural crust (% of total untreated slurry)	33	33	33	33	41	41	41	41	41	41	39	38	37	35	34	33	32	30	29	28	26	26	26	26	26	26	26	26	26	0.045	0.005	10.0	0.23			
	plastic film (% of total untreated slurry)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.023	0.000	17.0	0.23			
	artificial crust (chaff) (% of total untreated slurry)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.030	0.000	17.0	0.23			
	storage below animal confinements > 1 month (% of total untreated)	42	42	42	42	36	36	36	36	36	36	36	36	36	37	37	37	37	37	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	0.045	0.002	17.0	0.23			

livestock category	storage type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system	NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	CH ₄ MCF for storage, % von Bo < 10 °C	maximum CH ₄ producing capacity (Bo) m ³ CH ₄ per kg VS
		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019						
cattle, digestion of slurry	% of total cattle slurry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	4	7	9	11	15	18	22	24	27	28	28	29	28	28							
	% of total solid manure of cattle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5	5	5	5							
	gas tight storage (% of slurry)	0	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	20	25	30	35	41	46	57	59	61	62	62	62	62	0.000		0.000		2.7 ¹⁾	0.23	
	open tank (% of slurry)	100	99	98	97	96	95	95	94	93	92	91	90	89	88	86	85	80	75	70	65	59	54	43	41	39	38	38	38	38	0.045		0.005		3.1 ¹⁾	0.23	
cattle, storage of digestates	gas tight storage (% of solid manure)	0	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	20	25	30	35	41	46	57	59	61	62	62	62	62	0.000		0.000		1.2 ¹⁾	0.23	
	open tank (% of solid manure)	100	99	98	97	96	95	95	94	93	92	91	90	89	88	86	85	80	75	70	65	59	54	43	41	39	38	38	38	38	0.045		0.005		1.6 ¹⁾	0.23	
	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.600		0.013	0.005	0.005	2.0	0.23
	sloped floor (%)	46	46	46	46	39	39	39	39	38	38	30	27	25	23	22	21	21	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23	
male beef cattle, solid manure	sloped floor (%)	54	54	54	54	61	61	61	61	62	62	70	73	75	77	78	79	79	80	80	80	81	81	81	81	81	81	81	81	81	0.600		0.010	0.005	17.0	0.23	

livestock category	storage type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system		NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	CH ₄ MCF for storage, % von Bo < 10 °C	maximum CH ₄ producing capacity (Bo), m ³ CH ₄ per kg VS	
		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system	kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	kg N ₂ O-N per kg N in storage system	kg N ₂ O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	% von Bo	m ³ CH ₄ per kg VS		
	of total solid manure)																																						
female beef cattle, solid manure	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23		
dairy heifers, solid manure	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23		
calves, solid manure	heap (% of total solid manure)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23		
	deep bedding (% of total solid manure)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.600		0.010		17.0	0.23			
suckler cows, solid manure	heap (% of total solid manure)	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	7	9	10	11	13	14	16	17	18	20	22	22	22	22	22	22	22	22	22	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23			
	deep bedding (% of total solid manure)	92	92	92	92	93	93	93	93	94	94	93	91	90	89	87	86	84	83	82	80	78	78	78	78	78	78	78	78	78	0.600		0.010		17.0	0.23			
mature males, solid manure	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.600	0.013	0.005	0.005	2.0	0.23			

livestock category	storage type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system	NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	CH ₄ MCF for storage, % von Bo < 10 °C	maximum CH ₄ producing capacity (Bo), m ³ CH ₄ per kg VS
		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019						
pigs, untreated slurry	open tank (% of total untreated slurry)	47	47	47	47	27	27	27	27	27	27	25	23	22	20	19	17	15	14	12	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0.150		0.000		25.0	0.30
	solid cover (% of total untreated slurry)	18	18	18	18	22	22	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	25	25	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	0.015		0.005		25.0	0.30
	natural crust (% of total untreated slurry)	3	3	3	3	13	13	13	13	13	13	14	16	17	19	20	22	23	25	26	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	0.105		0.005		15.0	0.30
	plastic film (% of total untreated slurry)	0	0	0	0	6	6	6	6	6	6	6	5	4	4	3	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.023		0.000		25.0	0.30
	artificial crust (chaff) (% of total untreated slurry)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0.030		0.000		25.0	0.30
	storage below animal confinements > 1 month (% of total untreated slurry)	32	32	32	32	31	31	31	31	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	0.105		0.002		25.0	0.30

livestock category	storage type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system	NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	CH ₄ MCF for storage, % von Bo < 10 °C	maximum CH ₄ producing capacity (Bo), m ³ CH ₄ per kg VS
		pigs, digested slurry	% of total pig slurry	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	3	4	5	6	8	10	12	13	15	15	16	16	16	16					
pigs, storage of digestates	gas tight storage (% of digestates)	0	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	20	25	30	35	41	46	57	59	61	62	62	62	62	0.000		0.000		3.5 ^{*)}	0.30	
pigs, storage of digestates	open tank (% of digestates)	100	99	98	97	96	95	95	94	93	92	91	90	89	88	86	85	80	75	70	65	59	54	43	41	39	38	38	38	38	0.045		0.005		3.9 ^{*)}	0.30	
fattening pigs / weaners, solid manure	heap (% of total solid manure)	75	75	75	75	70	70	70	70	69	69	69	70	70	71	71	71	72	72	73	73	74	74	74	74	74	74	74	74	74	0.600	0.030	0.005	0.005	3.0	0.30	
	deep bedding (% of total solid manure)	25	25	25	25	30	30	30	30	31	31	31	30	30	29	29	29	28	28	27	27	26	26	26	26	26	26	26	26	26	0.600		0.010		25.0	0.30	
sows / boars, solid manure	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.600	0.030	0.005	0.005	3.0	0.30	
laying hens	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.080		0.001		1.5	0.39	
broilers	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,300		0.001		1.5	0.36	
pullets	heap (% of total solid)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,300		0.001		1.5	0.39	

livestock category	storage type	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system	NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	CH ₄ MCF for storage, % von Bo < 10 °C	maximum CH ₄ producing capacity (Bo), m ³ CH ₄ per kg VS
		ducks	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.240	0.001	1.5	0.36
geese	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.160	0.001	1.5	0.36		
turkeys, female	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.240	0.001	1.5	0.36		
turkeys, male	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.240	0.001	1.5	0.36		
poultry, digested solid manure			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	3	4	5	6	8	10	11	11	13	13	14	13	13	12	12						
poultry, storage of digestates	gas tight storage (% of digestates)	0	1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	20	25	30	35	41	46	57	59	61	62	62	62	62	62	0.000	0.000	1.1 ^(*)	see animal-specific		
poultry, storage of digestates	open tank (% of digestates)	100	99	98	97	96	95	95	94	93	92	91	90	89	88	86	85	80	75	70	65	59	54	43	41	39	38	38	38	38	0.045	0.005	1.6 ^(*)	values (above)			
horses	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.350	0.005	2.0	0.30		
sheep	heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.320	0.005	2.0	0.19		

livestock category	storage type	1990-2019																				NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system	NH ₃ -N EF for storage, kg NH ₃ -N per kg TAN in storage system (leachate / urine)	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system	N ₂ O EF for storage, kg N ₂ O-N per kg N in storage system (leachate / urine)	CH ₄ MCF for storage, % von Bo < 10 °C	maximum CH ₄ producing capacity (Bo) m ³ CH ₄ per kg VS								
		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009							2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
goats	manure heap (% of total solid manure)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.280	0.005	2.0	0.18
digestion of energy crops	amount of energy crops digested (1000 kt fresh matter)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,12	0,20	0,25	0,57	0,65	1,0	1,5	2,1	2,5	3,3	8,9	12,4	16,9	19,7	25,3	31,8	39,7	43,5	52,6	55,1	57,2	56,9	55,9	55,1	55,1				
	gas tight storage (% of digestates)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	13	14	16	21	26	32	37	42	48	59	62	64	65	65	65	65	65	0.000	0.000	1.0 ^{*)}	0.36
	open tank (% of digestates)	100	99	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	87	86	84	79	74	68	63	58	52	41	38	36	35	35	35	35	35	0.045	0.005	1.4 ^{*)}	0.36

*) digestion of slurry, solid manure, poultry manure and energy crops: MCFs are overall values for the system "pre-storage (if existent) + digester + storage of digestates"

Tabelle 584: Häufigkeitsverteilungen von Ausbringungsverfahren (in %) sowie zugehörige Emissionsfaktoren

livestock category	application type	1990-2019																				2018	2019	NH ₃ -N EF for application, kg NH ₃ -N per kg TAN applied											
		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009				2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017			
cattle, untreated slurry	broadcast, without incorporation	11	11	11	11	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.50
	broadcast, incorporation < 1 h	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7	9	11	11	11	11	0,10	

livestock category	application type	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	NH ₃ -N EF for application, kg NH ₃ -N per kg TAN applied
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	3	3	4	5	6	7	7	8	9	10	11	11	17	14	11	7	7	7	7	7	0,26
	broadcast, incorporation < 6h	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,35
	broadcast, incorporation < 8h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,40
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	20	20	20	20	22	22	20	18	16	14	12	11	9	7	5	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,43
	broadcast, incorporation < 24h	32	32	32	32	9	9	9	9	9	9	8	8	7	6	5	4	3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,46
	broadcast, incorporation < 48h	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,50
	broadcast, vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	5	6	8	9	11	12	14	16	17	17	17	16	16	15	15	15	15	15	0,50
	broadcast, grassland	44	44	44	44	42	42	42	42	41	41	41	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	46	46	47	48	48	48	48	48	48	0,60
	trailing hose, without incorporation	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,46
	trailing hose, incorporation < 1 h	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	0,04
	trailing hose, incorporation < 4h	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0,15
	trailing hose, incorporation < 6h	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,20
	trailing hose, incorporation < 8h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,24
	trailing hose, incorporation < 12h	0	0	0	0	9	9	9	9	9	9	8	7	6	6	5	4	3	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,30
	trailing hose, incorporation < 24h	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,39
	trailing hose, incorporation < 48h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,46
	trailing hose, vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	0,35
	trailing hose, short vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,46
	trailing hose, grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	0,54
	trailing shoe, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0,04

livestock category	application type	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	NH ₃ -N EF for application, kg NH ₃ -N per kg TAN applied	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																						
	trailing shoe, incorporation < 4 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	
	trailing shoe, incorporation < 8 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,24	
	trailing shoe, incorporation < 12 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,30	
	trailing shoe, grassland injection (open slot)	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	5	5	5	5	0,36	
	grubber and injection	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	0,24	
		0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0,04	
cattle, solid manure	broadcast, without incorporation	14	14	14	14	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0,90	
	broadcast, incorporation < 1 h	5	5	5	5	11	11	11	11	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10	0,09	
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	9	9	9	9	9	9	10	12	13	15	16	18	19	21	22	24	25	27	28	29	31	32	32	32	32	32	0,45	
	broadcast, incorporation < 12h	11	11	11	11	28	28	28	28	29	29	28	28	28	28	28	28	28	27	27	27	27	27	27	27	27	26	26	26	26	26	26	0,81
	broadcast, incorporation < 24h	43	43	43	43	24	24	24	24	25	25	23	22	20	19	17	16	14	12	11	9	8	6	5	3	2	0	0	0	0	0	0	0,90
	broadcast, incorporation < 48h	7	7	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,90
	broadcast, vegetation/grassland	20	20	20	20	25	25	25	25	23	23	24	24	24	24	25	25	26	26	26	26	26	27	27	27	28	28	28	28	28	28	28	0,90
pigs, untreated slurry	broadcast, without incorporation	7	7	7	7	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	
	broadcast, incorporation < 1 h	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	0,04	
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	3	4	5	5	6	7	8	8	9	9	15	11	8	5	5	5	5	5	0,09	
	broadcast, incorporation < 6h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11
	broadcast, incorporation < 8h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	3	3	4	4	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	29	29	29	29	28	28	25	23	20	18	16	13	11	8	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,16

livestock category	application type	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	NH ₃ -N EF for application, kg NH ₃ -N per kg TAN applied	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																						
	broadcast, incorporation < 24h	49	49	49	49	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,21	
	broadcast, incorporation < 48h	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	
	broadcast, vegetation	30	30	30	30	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23	22	22	22	22	22	22	21	20	19	19	19	19	19	0,25	
	broadcast, grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	0,30	
	trailing hose, without incorporation	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	
	trailing hose, incorporation < 1 h	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	6	7	9	9	9	9	9	0,02	
	trailing hose, incorporation < 4h	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5	5	6	6	6	10	8	6	4	4	4	4	0,06	
	trailing hose, incorporation < 6h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	
	trailing hose, incorporation < 8h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0,0925	
	trailing hose, incorporation < 12h	0	0	0	0	10	10	10	10	10	10	9	8	7	7	6	5	4	3	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11
	trailing hose, incorporation < 24h	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,14	
	trailing hose, incorporation < 48h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,17	
	trailing hose, vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	8	11	14	17	20	22	25	28	31	31	31	32	34	35	35	35	35	35	0,125	
	trailing hose, short vegetation	1	1	1	1	8	8	8	8	9	9	8	7	6	6	5	4	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,175	
	trailing hose, grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0,21	
	trailing shoe, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0,02	
	trailing shoe, incorporation < 4 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0,06	
	trailing shoe, incorporation < 8 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0925	
	trailing shoe, incorporation < 12 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11	
	trailing shoe, grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	5	5	5	5	0,12	
	trailing shoe, injection (open slot)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	4	4	4	0,06	

livestock category	application type	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	NH ₃ -N EF for application, kg NH ₃ -N per kg TAN applied	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																						
pigs, solid manure	grubber and injection	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	0,02	
	broadcast, without incorporation	36	36	36	36	29	29	29	29	31	31	30	28	26	24	22	20	18	17	15	13	11	9	7	6	4	2	2	2	2	2	0,90	
	broadcast, incorporation < 1 h	4	4	4	4	15	15	15	15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	0,09	
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	2	2	2	2	1	1	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	27	29	31	33	35	35	35	35	0,45		
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	0,81	
	broadcast, incorporation < 24h	53	53	53	53	33	33	33	33	30	30	28	26	24	23	21	19	17	15	13	11	9	8	6	4	2	0	0	0	0	0	0,90	
	broadcast, incorporation < 48h	8	8	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,90	
	broadcast, vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	6	7	9	10	12	13	14	16	17	19	20	22	23	23	23	23	23	0,90	
cattle and pigs, leachate	broadcast, without incorporation	50	50	50	50	50	50	50	50	50	45	41	36	32	27	23	18	14	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,20	
	broadcast, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	5	5	5	5	5	5	0,02	
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	4	5	6	7	7	8	8	19	15	12	9	9	9	9	9	0,07	
	broadcast, incorporation < 8h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	4	5	6	6	7	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0,116	
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,144	
	broadcast, vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	6	7	8	10	11	13	14	15	15	15	15	14	13	13	13	13	13	0,20	
	grassland trailing hose	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	49	49	49	49	48	48	48	48	48	47	47	47	47	48	48	49	49	49	49	0,20	
	trailing hose, without incorporation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18
	trailing hose, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	0,01
	trailing hose, incorporation < 4h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	4	3	3	2	2	2	2	2	0,05
	trailing hose, incorporation < 8h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,09
	trailing hose, incorporation < 12h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,12

livestock category	application type	199	199	199	199	199	199	199	199	199	199	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	NH ₃ -N EF for application, kg NH ₃ -N per kg TAN applied
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																					
	trailing hose, vegetation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	4	6	7	9	9	9	9	9	0,10
	trailing hose, grassland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0,14
	trailing shoe, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0,01
	trailing shoe, incorporation < 4 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0,05
	trailing shoe, incorporation < 8 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,09
	trailing shoe, incorporation < 12 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12
	trailing shoe, grassland injection (open slot)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	4	4	4	0,08
	grubber and injection	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,04
	grubber and injection	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	0,01
laying hens, solid manure	broadcast, without incorporation	8	8	8	8	5	5	5	5	8	8	9	10	11	11	12	13	14	14	15	16	16	17	18	19	19	20	20	20	20	20	0,90
	broadcast, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9	13	17	22	26	31	35	39	44	48	52	57	61	65	70	70	70	70	70	0,18
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	11	11	11	11	21	21	21	20	19	19	18	17	17	16	15	14	14	13	12	12	11	10	10	10	10	10	0,40
	broadcast, incorporation < 24h	92	92	92	92	84	84	84	84	70	70	66	61	57	53	48	44	39	35	31	26	22	18	13	9	4	0	0	0	0	0	0,45
poultry, except laying hens, solid manure	broadcast, without incorporation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	5	6	7	9	10	11	12	14	15	16	17	19	20	20	20	20	20	0,90
	broadcast, incorporation < 1 h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	broadcast, incorporation < 4h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9	13	17	22	26	31	35	39	44	48	52	57	61	65	70	70	70	70	70	0,18
	broadcast, incorporation < 12h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	3	4	5	5	6	6	7	8	8	9	10	10	10	10	10	10	0,40
	broadcast, incorporation < 24h	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94	88	81	75	69	63	56	50	44	38	31	25	19	13	6	0	0	0	0	0	0,45

Tabelle 585: Legehennen, haltungsspezifische partielle NH₃-Emissionsfaktoren

[in kg NH ₃ -N per excreted kg N]	≤ 2000	2001 - 2009	≥2010
cage housing; as of 2010: small-group housing		0.164	0.066
floor management, aviary	0.351	linear interpolation	0.090
intensive outdoor management, free-range management, organic production		0.099	

19.4 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quell-/Senkenkategorie Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (4)

Dieses Kapitel wird derzeit nicht benötigt.

19.5 Weitere detaillierte methodische Beschreibungen für die Quellkategorie Abfall und Abwasser (6)

Dieses Kapitel wird derzeit nicht benötigt.

20 Anhang 4: CO₂-Referenzverfahren und Vergleich mit dem Sektoransatz

Allgemeine Hinweise

Das in Kapitel 3.2.1.1 bereits kurz vorgestellte Referenzverfahren soll grundsätzlich für alle Berichtsstaaten anwendbar sein. Allein diese Abstraktion und Verallgemeinerung führt unausweichlich zu Diskrepanzen zum Sektoralen Ansatz.

Insgesamt erlaubt der Sektorale Ansatz wesentlich differenziertere und exaktere Berechnungen, deren Ergebnisse insbesondere auf Detailebene ggf. stark von denen des Referenzverfahrens abweichenden.

Die in den vergangenen Jahren begonnenen und mit dieser Submission fortgesetzten Arbeiten insbesondere zur Beseitigung von Fehlern bei der Überführung landesspezifischer Aktivitätsdaten in die Struktur des Referenzverfahrens haben auf maximal aggregierter Ebene eine sehr gute Übereinstimmung der mit beiden Berechnungsansätzen erzielten Ergebnisse zur Folge (siehe Kapitel 3.2.1.1). Auf *Brennstoffgruppen*-, vor allem aber auf *Brennstoff*-Ebene auch weiterhin bestehende Abweichungen lassen sich zumindest teilweise mit landesspezifischen Besonderheiten erklären, können bisher aber nicht zufriedenstellend beseitigt werden.

Das Referenzverfahren bietet damit auch in Zukunft Raum für weitere Verbesserungen. Neben der Prüfung und ggf. Revision insbesondere der für den nicht-energetischen Verbrauch genutzten Eingangsdaten und Rechenwege würde eine größtmögliche Flexibilisierung der Datenhaltung im CRF-Reporter die Vergleichbarkeit beider Ansätze weiter verbessern.

20.1 Vergleich der Ergebnisse des sektoralen und des Referenz-Ansatzes

Im Folgenden soll genauer auf die Ergebnisse der Gegenüberstellung der mit sektoralen und Referenzansatz berechneten CO₂-Emissionen eingegangen werden.

CRF-Berichtstabelle 1.A(c) enthält einen Vergleich des sektoralen Ansatzes mit den Ergebnissen des Referenzansatzes. Da der nicht-energetische Verbrauch (NEV) der betrachteten Brennstoffe an anderer Stelle erfolgt (Industrieprozesse und Produkthanwendung), werden die laut Energiebilanzen darauf entfallenden Mengen vom Referenzansatz abgezogen. Dies betrifft neben Schmierstoffen, Bitumen und Rohbenzin auch Diesel, leichtes und schweres Heizöl, Flüssiggas, andere Mineralöle und Petrolkoks, Stein- und Braunkohlen, Koks und Erdgas.

Für das Jahr 2019 ergibt sich daraus ein nicht-energetischer Verbrauch von etwa 922 Petajoule (siehe CRF-Tabelle 1.A(d), Summe aus Zellen D27, D38 und D41).

Für den separat ausgewiesenen Torf werden in 1.AA und 1.AB identische Emissionsfaktoren und Einsatzmengen verwendet. Daher weist Tabelle 1.A(c) hier keinerlei Abweichungen aus.

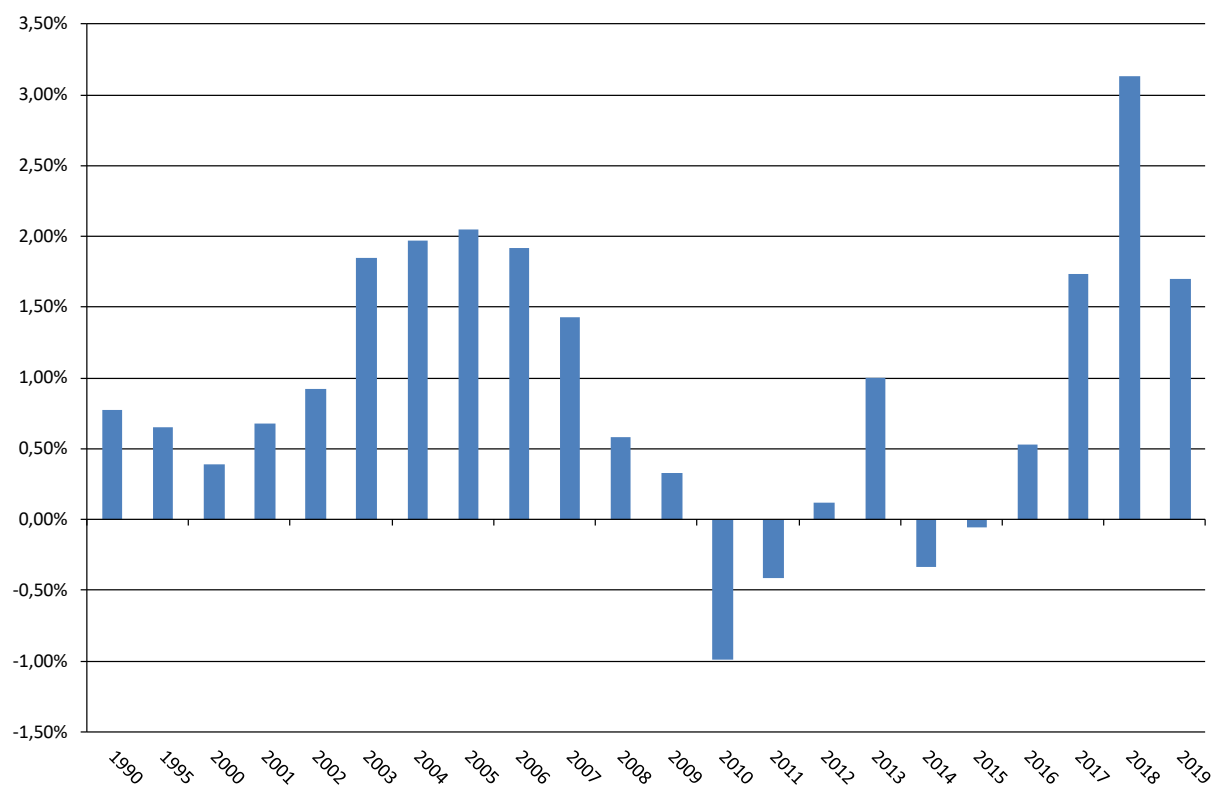
Die Ergebnisse des Vergleichs von sektoralen und Referenzansatz sind in den nachfolgenden Tabellen nochmals illustriert. Für das Jahr 2019 ergibt sich für den Referenzansatz ein um

1,70 % höherer energetischer Brennstoffeinsatz bei um 0,40 % niedrigeren Referenz-Emissionen (siehe Kapitel 3.2.1.1).

Betrachtet man den gesamten Zeitraum ab 1990, liegen die für das Referenzverfahren ausgewiesenen Brennstoffeinsätze (abzüglich der nicht-energetisch verwendeten Mengen) zumeist über denen des sektoralen Ansatzes. Ausnahmen bilden hier die Jahre 2010, 2011, 2014 und 2015.

Tabelle 586: Vergleich der mittels sektoraler und Referenzansatz (ohne NEV) ermittelten Energieeinsätze, in Terajoule

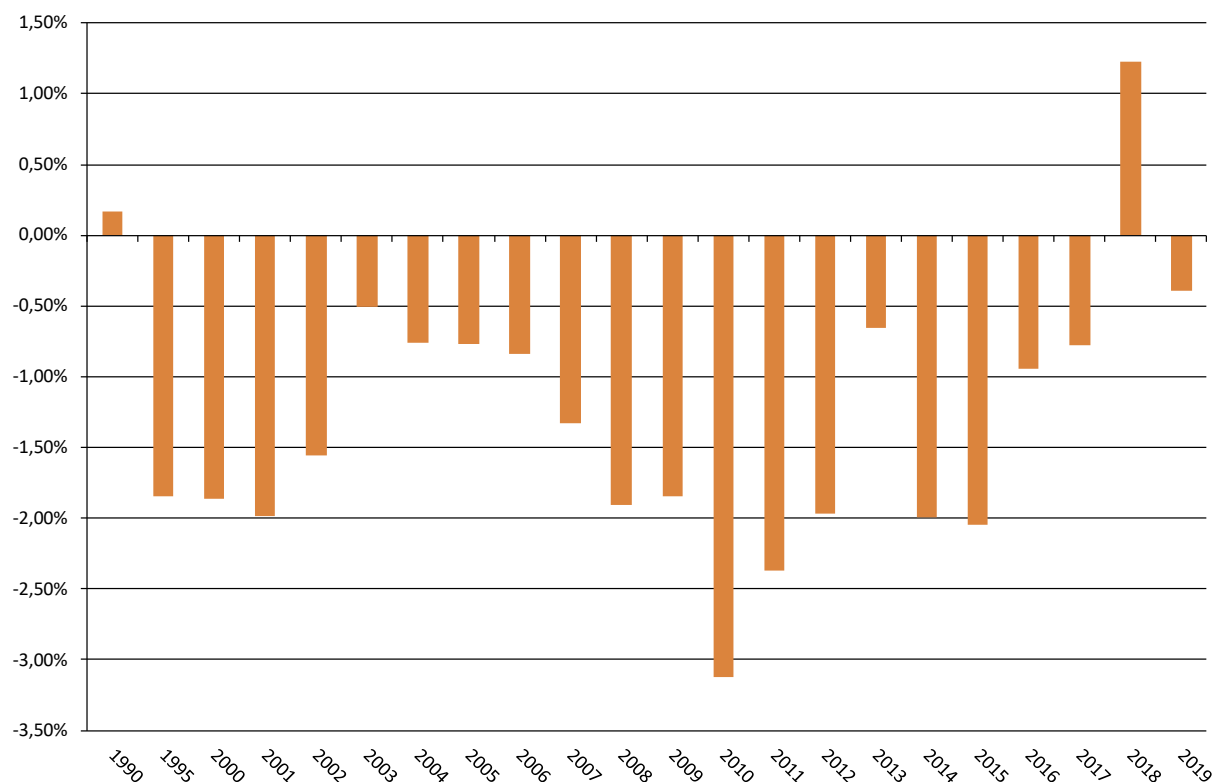
Jahr	1.AA	1.AB (inkl. NEV)	1.AB (exkl. NEV)	1.AB (exkl. NEV) minus 1.AA	
1990	11.679	12.926	11.770	91	0,78%
1995	10.931	12.120	11.002	71	0,65%
2000	10.559	11.847	10.600	41	0,39%
2001	10.841	12.098	10.914	74	0,68%
2002	10.620	11.902	10.718	98	0,92%
2003	10.614	12.006	10.810	196	1,85%
2004	10.422	11.830	10.627	205	1,97%
2005	10.209	11.691	10.418	209	2,05%
2006	10.344	11.773	10.543	199	1,92%
2007	9.931	11.236	10.072	141	1,42%
2008	10.100	11.295	10.158	58	0,58%
2009	9.452	10.530	9.484	31	0,33%
2010	9.902	10.959	9.804	-98	-0,99%
2011	9.509	10.612	9.470	-39	-0,41%
2012	9.566	10.665	9.578	11	0,12%
2013	9.796	10.981	9.894	98	1,00%
2014	9.243	10.329	9.213	-31	-0,33%
2015	9.317	10.396	9.311	-5	-0,06%
2016	9.514	10.668	9.565	50	0,53%
2017	9.305	10.622	9.466	161	1,73%
2018	8.994	10.235	9.276	282	3,14%
2019	8.688	9.757	8.836	148	1,70%

Abbildung 86: prozentuale Abweichungen der im Referenzverfahren erfassten jährlichen Gesamt-Aktivitätsraten von den Gesamtmengen gemäß sektoraler Ansatz

Hinsichtlich der im Referenzansatz berechneten Kohlendioxid-Emissionen ergibt sich ein umgekehrtes Bild: Diese fallen zwar in der Regel geringer aus, als mit dem sektoralen Ansatz berechnet. Die einzigen Ausnahme stellen hier die Jahre 1990 und 2018 dar (siehe Kapitel 3.2.1.1).

Tabelle 587: Vergleich der mittels sektoralen und Referenzansatz (ohne NEV) ermittelten CO₂-Emissionen, in Kilotonnen

	1.AA	1.AB (exkl. NEV)	1.AB (exkl. NEV) minus 1.AA	
1990	985.750	987.396	1.646	0,17%
1995	877.992	861.820	-16.172	-1,84%
2000	836.709	821.091	-15.618	-1,87%
2001	859.485	842.460	-17.025	-1,98%
2002	844.824	831.671	-13.153	-1,56%
2003	841.586	837.358	-4.229	-0,50%
2004	827.538	821.239	-6.300	-0,76%
2005	809.118	802.898	-6.220	-0,77%
2006	820.233	813.331	-6.902	-0,84%
2007	795.003	784.428	-10.575	-1,33%
2008	800.638	785.372	-15.266	-1,91%
2009	744.627	730.858	-13.770	-1,85%
2010	781.894	757.469	-24.425	-3,12%
2011	757.935	739.943	-17.991	-2,37%
2012	763.396	748.349	-15.047	-1,97%
2013	781.038	775.904	-5.134	-0,66%
2014	742.279	727.503	-14.776	-1,99%
2015	746.838	731.554	-15.284	-2,05%
2016	750.159	743.064	-7.095	-0,95%
2017	731.676	725.972	-5.704	-0,78%
2018	702.188	710.826	8.638	1,23%
2019	661.823	659.205	-2.618	-0,40%

Abbildung 87: prozentuale Abweichungen der mit dem Referenzverfahren berechneten jährlichen Kohlendioxid-Emissionen von den Ergebnissen des sektoralen Ansatzes

21 Anhang 5: Überprüfung der Vollständigkeit und der potentiell nicht erfassten Quellen und Senken von Treibhausgasemissionen

Die folgenden zwei Tabellen enthalten die Quellen für Treibhausgase, die im Treibhausgasinventar von Deutschland noch nicht direkt berichtet werden. Dies bezieht sich auf Emissionen, für die die notwendigen Berechnungsgrundlagen nicht zur Verfügung stehen oder nur mit großem Aufwand ermittelt werden können. Diese müssen jedoch den mit der Definition des notation keys „NE“ vorgegebenen Kriterien der Vernachlässigbarkeit entsprechen. Die hierfür erforderlichen Schätzungswerte sind ebenfalls aufgelistet.

Weiterhin erfolgt eine Zusammenfassung der CRF-Tabelle 9(a), in der die an anderer Stelle im Inventar als „IE“ berichteten Emissionen.

Zusätzliche Informationen finden sich in Kapitel 1.8.

Tabelle 588: Vollständigkeit - Übersicht der Quellen und Senken, deren Emissionen nicht geschätzt (not estimated, NE) werden

Emissions 2017			
kt CO ₂ equiv	national total (without LULUCF)	809.799	
kt CO ₂ equiv	thereof 0,1 %	810	
kt CO ₂ equiv	thereof 0,05 %	405	
Category code	Category description	Assumption for estimated emission (in kt CO ₂ equiv)	Reference to NIR
1.B.2.d	Geothermal Energy	< 1	see NIR Chapter 3.3.2.4
2.A.4.c	Non-metallurgical magnesium production	< 100	see NIR Chapter 4.2.4.3.2
2.B.4.a	Caprolactam	< 17,9	see NIR Chapter 4.3.4.2
2.B.6	Titan dioxid production	< 300	see NIR chapter 4.3.6
2.D.3	Asphalt - asphalt roofing	0,2	see NIR Chapter 4.5.5.2
2.D.3	Asphalt - road paving	2,5	see NIR Chapter 4.5.5.2
3.A.4	Deer	132	see NIR Chapter 19.3.1
3.A.4	Rabbits	3,96	see NIR Chapter 19.3.1
3.A.4	Fur-bearing animals	0,16	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(a).4	Deer	1,45	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(a).4	Fur-bearing animals	1,08	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(a).4	Rabbits	0,88	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(a).4	Ostrich	1,08	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(b).4	Fur-bearing animals	0,68	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(b).4	Rabbits	0,82	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(b).4	Ostrich	0,06	see NIR Chapter 19.3.1
3.B(b).5	Indirect emissions	1,01	see NIR Chapter 19.3.1
3.D	Other animals	29,48	The entries for other animals are not shown in CRF Reporter under 3 D., see NIR Chapter 19.3.1
5.A	Flaring	0,51	see NIR Chapter 7.2.1.2.8
5.E.	accidental fires (buildings, cars ...)	< 100	see NIR Chapter 7.6
Sum		695	

Tabelle 589: Vollständigkeit – Übersicht der Quellen und Senken, die an anderer Stelle berichtet werden (included elsewhere, IE)

Aus Konsistenz- und Platzgründen wird diese Tabelle nur noch in Table 9 der CRF-Tabellen geführt.

22 Anhang 6: Zusatzinformationen als Bestandteil des NIR oder andere hilfreiche Referenzinformationen

22.1 Zusatzinformationen zur Inventarerstellung und zum Nationalen System

22.1.1 Festlegungen im Grundsatzpapier „Nationales System“ zur Emissionsberichterstattung

Durch das Grundsatzpapier „Nationales System“ zur Emissionsberichterstattung haben die Staatssekretäre vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB); Bundesministerium des Innern (BMI); Bundesministerium der Verteidigung (BMVg); Bundesministerium der Finanzen (BMF); Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi); Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) die Zuständigkeiten für die Quell- und Senkengruppen sowie die notwendige Finanzierung für 2008 geregelt. Die Vereinbarung lautet:

BMUB, BMI, BMVg, BMF, BMWi, BMVBS, BMEL Berlin, den 05.06.2007

Grundsatzpapier „Nationales System“ zur Emissionsberichterstattung

Die Staatssekretäre der betroffenen Ressorts stellen zum Thema „Nationales System“ zur Emissionsberichterstattung nach Art. 5(1) Kyoto-Protokoll einvernehmlich fest:

1. *Das Umweltbundesamt, Fachgebiet I 4.6¹⁷⁷ „Emissionssituation“ ist die zuständige Nationale Koordinierungsstelle („single national entity“) für die Berichterstattung nach VN-Klimarahmenkonvention und Kyoto-Protokoll. Die Nationale Koordinierungsstelle ist dafür zuständig, das nationale Inventar zu erstellen, auf eine ständige Verbesserung des Inventars hinzuwirken, die am nationalen System Beteiligten zu unterstützen und die Entscheidungen des Koordinierungsausschusses vorzubereiten.*
2. *Für alle zu klärenden Fragen im Rahmen des Nationalen Systems sowie zur offiziellen Erörterung und Freigabe der Inventare und der nach den Artikeln 5, 7 und 8 des Kyoto-Protokolls notwendigen Berichte wird ein Koordinierungsausschuss aller betroffenen Ressorts eingerichtet, der den Prozess begleitet und insbesondere Zweifelsfragen, z.B. bei der Festlegung einzelner Emissionsfaktoren, klärt. Insbesondere legt der Ausschuss die Hauptquell- und -senkengruppen, die Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung der Datenerhebung und -verarbeitung sowie den jährlichen Qualitätskontroll- und Qualitätssicherungsplan fest. Soweit erforderlich kann der Ausschuss die Methoden zur Berechnung der Emissionen in den Kategorien und zur Berechnung des Abbaus in den Senkengruppen festlegen. Die Federführung hat BMU. Ausschusssitzungen finden statt, wenn mindestens ein Ressort die Notwendigkeit hierfür sieht. Nachgeordnete Behörden und weitere an der Erstellung der Inventare beteiligte Institutionen können nach Bedarf zu Sitzungen hinzugezogen werden.*
3. *Für die Erstellung des nationalen Inventars werden Daten zur Berechnung der Emissionen und des Abbaus verwendet, die nach Maßgabe der Anforderungen des Art. 3 Abs. 1 der Entscheidung 280/2004/EG und des Art. 2 Abs. 1 der Durchführungsbestimmungen zur Berechnung der Emissionen in den Quell- und des Abbaus in den Senkengruppen erforderlich sind. Die Erstellung des Inventars erfolgt jährlich. Dabei ist die Durchführung einer Qualitätskontrolle nach den Anforderungen des Art.*

¹⁷⁷ Anm. des Autors: aktuell I 2.6.

12 der Durchführungsbestimmungen sicherzustellen. Ebenso ist eine nachweisbare Dokumentation und Archivierung erforderlich.

Bestehende Datenflüsse, etwa auf der Grundlage freiwilliger Vereinbarungen oder gesetzlicher Vorschriften sollen nicht grundlegend geändert, sondern nur ggf. vervollständigt und verbessert werden, um eine verlässliche Datengrundlage zu schaffen. Daher ist mit der Zuständigkeit nicht zwingend die Erhebung und Weitergabe von Daten verbunden. Für die Aufgabenverteilung zwischen BMU/UBA, BMVBS und BMWI wird insbesondere auf Anlage 1 verwiesen.

Die Zuständigkeiten für die Sicherstellung der Datenlieferung an die Nationale Koordinierungsstelle sowie die Qualitätskontrolle, Dokumentation und Archivierung der Daten verteilen sich wie folgt auf die Ressorts:

- a) Für die Kategorie 1 (Energie) ist - mit Ausnahme der Kategorien 1.A.3 (Verkehr) und 1.A.5a (Energie: Sonstige), soweit Emittenten der Bundeswehr betroffen sind, - das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie zuständig.
 - b) Für die Kategorien 2 (Produktionsprozesse) und 3 (Verwendung von Lösemitteln und anderen Erzeugnissen) ist das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie zuständig.
 - c) für die Kategorie 1.A.3 (Verkehr) ist das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung zuständig.
 - d) Für die Kategorie 1.A.5a (Energie: Sonstige) ist, soweit Emittenten der Bundeswehr betroffen sind, das Bundesministerium für Verteidigung zuständig. Soweit Daten der Geheimhaltung unterliegen, werden vom Umweltbundesamt die Erfordernisse der Geheimhaltung berücksichtigt.
 - e) Für die Quell- und Senkengruppen 4 (Landwirtschaft) und 5 (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft, ist das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zuständig.
 - f) Für die Kategorie 6 (Abfall) und Kategorie 7 sowie die Treibhausgas-Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse, ist das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zuständig.
 - g) Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz ist auch für die Erstellung der Tabellen im einheitlichen Berichtsformat nach Art. 2 Abs. 2 Buchstabe a der der Entscheidung 2005/166/EG (Durchführungsbestimmungen) in den Quell- und Senkengruppen 4 und 5. Grundsätzlich sind für Durchführungsaufgaben der amtlichen Statistik einschließlich Datenlieferung, Qualitätskontrolle, Dokumentation und Archivierung der Daten die nach den einschlägigen Statistikvorschriften bestimmten Behörden zuständig. Die Zusammenarbeit der statistischen Ämter des Bundes und der Länder mit den mit der Berichterstattung befassten Stellen erfolgt durch das Statistische Bundesamt. Dabei ist die statistische Geheimhaltung sicher zu stellen.
4. Die zuständigen Ressorts klären kurzfristig, wie die anforderungsgerechte Bereitstellung der Daten dauerhaft sichergestellt wird, soweit dies nicht schon der Fall ist. Insbesondere betrifft dies Vereinbarungen, Verordnungen oder Gesetze, die zur Institutionalisierung des Nationalen Systems erforderlich werden. Freiwillige Vereinbarungen mit Verbänden und/oder Einzelunternehmen stehen gesetzlichen Vorschriften für die Zwecke der Emissionsberichterstattung grundsätzlich gleich. Umweltbundesamt und Statistisches Bundesamt prüfen, wie im Abstimmungsgespräch am 12.09.2006 vereinbart, darüber hinaus, welche Daten aus dem amtlichen statistischen System für die Berichterstattung bereit gestellt werden können oder nach ihrer Auffassung zusätzlich über das amtliche statistische System erhoben werden sollen. Die Ressorts, UBA und Statistisches Bundesamt übermitteln ihre entsprechenden Vorschläge bis zum 15.07.2007 an das BMU.

5. *Bis zum 31.07.2007 wird BMU die beteiligten Ressorts zur Abstimmung der Vorschläge und Festlegung eines Fahrplans zur Implementierung der notwendigen Instrumente einladen. Die zuständigen Ressorts bzw. die Bundesregierung werden die Etablierung der erforderlichen Instrumente schnellstmöglich veranlassen.*
6. *Soweit für die Wahrnehmung der unter 3. genannten Zuständigkeiten zusätzliche Mittel erforderlich sind, werden diese aus den Einnahmen des Verkaufs von AAUs finanziert, in Erweiterung der Vereinbarung der Staatssekretäre vom 22.12.2006 zu Artikel 3.4 Kyoto-Protokoll.*

Hierzu wird bereits für das Haushaltsjahr 2008 ein Einnahmetitel im Einzelplan 16 eingerichtet. Die zu finanzierenden Mehrbedarfe werden nach Prüfung durch BMF als Ausgaben in den Einzelplänen der Ressorts ausgewiesen. Die Nachmeldungen der Ressorts hierzu müssen bis zum 6.6.2007 gegenüber BMF erfolgen.

Sollten über den in im Haushalt 2008 festgestellten Mehrbedarf hinaus in den kommenden Jahren zusätzliche Haushaltsmittel erforderlich sein, werden in den darauf folgenden Jahren im entsprechenden Umfang zusätzliche AAUs veräußert.

[...]

Anlage: Aufgabenverteilung zwischen BMU/UBA, BMVBS und BMWi

Zwischen BMU, BMVBS und BMWi besteht Einigkeit, dass die bisherigen Strukturen der Emissionsberichterstattung beibehalten werden sollen und UBA auch weiterhin seine bisherigen Aufgaben in den Kategorien 1, 1.A.3, 2 und 3 ausübt. BMVBS und BMWi stellen sicher, dass etwaige Datenlücken in den Quellgruppen, für die sie zuständig sind, geschlossen werden.

Im Einzelnen:

BMW:

Zur Kategorie 1: Die Inventare in diesem Bereich werden im UBA u.a. auf Basis der Energiedaten, die der vom BMWi mit der Erstellung der Energiebilanzen beauftragte Auftragnehmer übermittelt hat, sowie auf Basis weiterer Statistiken und Verbandsangaben, erstellt.

Zur Kategorie 2: Die Inventare in diesem Bereich werden im UBA auf Basis von Daten erstellt, die u.a. aus der Statistik im Produzierenden Gewerbe (ProdGewStatG) sowie aus Mitteilungen von Verbänden/Einzelunternehmen stammen.

Zur Kategorie 3: Die Inventare in diesem Bereich werden im UBA auf Basis von Daten erstellt, die u.a. aus der Statistik im Produzierenden Gewerbe (ProdGewStatG), aus der Außenhandelsstatistik sowie aus Mitteilungen von Verbänden/Einzelunternehmen stammen.

Die bestehenden Optimierungsnotwendigkeiten werden zwischen BMWi, BMU und UBA kurzfristig geklärt. Soweit Datenoptimierungen durch Änderung bestehender Erhebungen auf Grundlage des Umweltstatistikgesetzes (UStatG) oder der 13. BImSchV erforderlich sein sollten, ist das BMU zuständig. Das UBA übernimmt die Dokumentation und Archivierung der im UBA eingehenden Daten.

BMVBS:

Zur Kategorie 1.A.3 (Verkehr) werden Emissionen bei UBA über das TREMOD-Modell berechnet. Für die Schließung von Lücken und für die Emissionen des internationalen Luftverkehrs stellt das BMVBS, soweit notwendig, Daten/Berechnungen zur Verfügung bzw. stellt sicher, dass diese durch Dritte zur Verfügung gestellt werden. Die Emissionen des Schiffsverkehrs können derzeit aus Daten der Energiebilanz und Default-Emissionsfaktoren berechnet werden. Das UBA übernimmt die Dokumentation und Archivierung der im UBA eingehenden Daten.

22.1.2 Zusatzinformationen zum Qualitätssystem Emission

22.1.2.1 Mindestanforderungen an ein System zur Qualitätskontrolle und –sicherung

Wie bereits im Hauptteil beschrieben werden die Anforderungen an das System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung (QK/QS-System) und an die Maßnahmen zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung im Wesentlichen durch das Kapitel 8 der *IPCC Good Practice Guidance* definiert.

Aus diesen wurden von UBA „Allgemeine Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Treibhausgasemissionsberichterstattung“ abgeleitet (Stand November 2007), die im Folgenden wiedergegeben werden.

22.1.2.1.1 Einführung

Die Vertreter der beteiligten Ressorts im Koordinierungsausschuss des Nationalen Systems Emissionsinventare legen die in diesem Dokument beschriebenen allgemeinen Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung (QK/QS) bei der Treibhausgasemissionsberichterstattung fest. Sie werden damit Grundlage für die Erhebung, Verarbeitung, Weitergabe und Berichterstattung von allen Daten, die der THG-Berichterstattung dienen.

Diese QK/QS Mindestanforderungen müssen auf allen Ebenen der Inventarerstellung eingehalten werden. In vielen Fällen kann dabei auf existierenden Prozessen und Systemen aufgebaut werden, z. B. den Qualitätsstandards der öffentlichen Statistik. Im Anhang 1 dieses Dokuments ist exemplarisch die Umsetzung der QK/QS Mindestanforderungen und das QK/QS System im Umweltbundesamt dargestellt. Eine entsprechende Beschreibung zur Umsetzung dieser Mindestanforderungen ist von allen beteiligten Institutionen vorzunehmen, so dass sie im Rahmen der Berichterstattung 2009 mit dem Inventarbericht veröffentlicht werden kann. Auf Anfrage unterstützt das Umweltbundesamt die Ministerien bei der Erstellung der QK/QS Systeme in den jeweiligen Zuständigkeitsbereichen.

22.1.2.1.2 System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung

Die *Durchführungsbestimmungen 2005/166/EG zur Entscheidung 280/2004/EG* verlangen, dass das nationale Treibhausgasinventar den QK/QS Anforderungen der *IPCC good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories* (IPCC good practice guidance) und der *IPCC good practice guidance for land use, land-use change and forestry* (IPCC Good Practice Guidance for LULUCF) entspricht.

Um die Verbesserung der Transparenz, Konsistenz, Vergleichbarkeit, Vollständigkeit und Genauigkeit der nationalen Emissionsinventare und insbesondere die Erfüllung der Anforderungen an die „Gute Inventarpraxis“ zu gewährleisten, fordern die *IPCC Good Practice Guidance* die Einführung eines Qualitätskontroll- und Qualitätssicherungssystems. Ein QK/QS System umfasst:

- eine zuständige Stelle für die Koordinierung der QK/QS Aktivitäten
- die Entwicklung und Umsetzung eines QK/QS-Plans
- allgemeine QK Verfahren
- kategoriespezifische QK Verfahren
- QS Verfahren und
- Verfahren für die Berichterstattung,
- Verfahren für die Dokumentation und Archivierung

QK/QS Maßnahmen können im Konflikt zu Anforderungen an Pünktlichkeit und Kosteneffizienz stehen. Bei der Entwicklung eines QK/QS Systems sollen deshalb die vorhandenen zeitlichen,

personellen und materiellen Ressourcen berücksichtigt werden. Es ist gute Praxis, höhere Anforderungen an die Datenqualität der Hauptkategorien zu stellen. Für andere Kategorien ist es nicht notwendig, alle kategoriespezifischen QK Verfahren umzusetzen. Des Weiteren sind nicht alle Maßnahmen jährlich notwendig, z.B. muss die Methodik zur Erhebung von Daten nur einmalig detailliert überprüft werden. Danach reichen periodische Kontrollen, ob die Voraussetzungen für die Anwendung der Methodik weiterhin gegeben sind. Ein weiteres Kriterium für die Anforderungen an die QK/QS Maßnahmen ist die Unsicherheit einer Angabe. Um die gesamte Unsicherheit des Inventars zu reduzieren, sollten diejenigen Kategorien detailliert überprüft werden, die eine hohe Unsicherheit aufweisen.

22.1.2.1.3 Zuständige Stelle für die Koordinierung der QK/QS Aktivitäten

Das Umweltbundesamt als Nationale Koordinierungsstelle ist zuständig für das QK/QS System des nationalen Treibhausgasinventars und hat dafür die Stelle des Koordinators für das Qualitätssystem Emissionen (QSE) eingerichtet. Es ist gute Praxis, dass alle an der Inventarerstellung beteiligten Unternehmen und Organisationen einen QK/QS Koordinator ernennen und dem QSE Koordinator mitteilen.

Der QK/QS Koordinator ist verantwortlich dafür, dass ein QK/QS System entwickelt und umgesetzt wird. Die Umsetzung sollte in geeigneter Weise institutionalisiert werden, z.B. durch eine Hausanweisung oder Verbändevereinbarung.

Damit die nationale Koordinierungsstelle ihre unterstützenden Aufgaben zielgerichtet wahrnehmen kann, sind dem QSE Koordinator für die Wahrnehmung der folgenden weiteren Funktionen namentlich Personen zu benennen:

Fachverantwortlicher – Zuständige Person für die Datengewinnung, Dateneingabe, Berechnung entsprechend den vorgegebenen Methoden, für die Durchführung von QK-Maßnahmen und die Erstellung des Textbeitrags für den Nationalen Inventarbericht.

Qualitätskontrollverantwortlicher - Zuständige Person für die Prüfung und Freigabe der Daten und Berichtsteile (Funktion kann vom QK/QS Koordinator mit wahrgenommen werden).

22.1.2.1.4 QK/QS Plan

Der QK/QS Plan soll die Organisation und Durchführung von QK/QS Maßnahmen sicherstellen. Er enthält eine Darstellung über alle durchzuführenden QK/QS Maßnahmen sowie den Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen. Der QK/QS Plan legt die Schwerpunkte der durchzuführenden Maßnahmen fest. Kriterien für die Auswahl der Quellgruppen, die detailliert geprüft werden, sind u.a.:

- die Relevanz der Kategorie (Hauptkategorie ja/nein, Unsicherheiten hoch/gering)
- der Zeitpunkt und die Ergebnisse der letzten detaillierten QK/QS Maßnahme für die Quellgruppe
- Änderungen der Methodik oder der Datengrundlage
- Ergebnisse der jährlichen Inventarüberprüfung unter der Klimarahmenkonvention und dem Kyoto Protokoll
- vorhandene Ressourcen zur Durchführung der QK/QS Maßnahmen

Es ist gute Praxis, einen QK/QS Plan anzulegen und jährlich nach Ende der Inventarerstellung zu überprüfen und zu aktualisieren.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der jährlichen Inventarüberprüfung und der Ergebnisse aus den ihr bekannten QK/QS-Maßnahmen erstellt die nationale Koordinierungsstelle für das gesamte Inventar einen Verbesserungsplan. Auf dieser Grundlage leitet sie Vorschläge für einen verbindlichen Inventar-Plan für das nächste Berichtsjahr ab, der dem Koordinierungsausschuss

als Beschlussvorlage vorgelegt wird. Der QK/QS Koordinator legt gemeinsam mit dem QSE Koordinator in der Nationalen Koordinierungsstelle Verfahren und Termine fest, wie und in welchem Umfang die QK/QS-Maßnahmen der Institution in den Inventar-Plan für das Gesamtinventar Eingang finden.

22.1.2.1.5 Allgemeine Qualitätskontrolle

Nach der Definition der IPCC (Kapitel 8.1 *Good Practice Guidance*) ist die Qualitätskontrolle (QK) ein System routinemäßiger fachlicher Maßnahmen zur Messung und Kontrolle der Qualität des in Erarbeitung befindlichen Inventars.

Hierfür soll das QK-System:

- Routinemäßige und einheitliche Überprüfungen ermöglichen, um für die Integrität, Korrektheit und Vollständigkeit der Daten Sorge zu tragen;
- Fehler und Auslassungen ermitteln und beheben;
- Inventarmaterial dokumentieren und archivieren sowie alle QK-Aktivitäten aufzeichnen.

In Tabelle 8.1 der *IPCC Good Practice Guidance* ist eine vollständige Liste der allgemeinen QK-Maßnahmen dargestellt. Anforderungen an die allgemeinen QK-Verfahren nach Tier 1 lassen sich aus den in Kapitel 8.6 der *IPCC Good Practice Guidance* benannten ableiten. Typische allgemeine Qualitätskontrollmaßnahmen bei der Ermittlung der Aktivitätsrate sind die Überprüfung der Daten auf Übertragungsfehler, Überprüfung auf Vollständigkeit, Überprüfung der Formeln zur Zusammenfassung der Daten sowie Plausibilitätsprüfungen anhand von externen Datenquellen und früheren Berechnungen. Lieferanten von Emissionsberechnungen müssen zusätzliche QK-Maßnahmen durchführen, z.B. die Überprüfung der Formeln zur Berechnung der Emissionen.

Die notwendigen Qualitätskontrollen sollen in Form von Checklisten dokumentiert werden. Die Listen sollen mindestens die durchgeführte Maßnahme, das Ergebnis der Kontrolle, die ggf. umgesetzte Korrektur und den Bearbeiter enthalten. Im Anhang 2 dieses Dokuments ist exemplarisch eine Checkliste im Umweltbundesamt dargestellt.

Nicht alle Qualitätskontrollen müssen jährlich durchgeführt werden, sondern können auch periodisch umgesetzt werden. Dies gilt insbesondere für Aspekte der Datenerhebung, die sich nicht jährlich ändern. Für Hauptkategorien werden höhere Anforderungen an die Häufigkeit und Vollständigkeit der QK-Maßnahmen als für andere Kategorien gestellt. Es ist darauf zu achten, dass alle Kategorien zumindest periodisch einer detaillierten Qualitätskontrolle unterliegen.

22.1.2.1.6 Quellgruppenspezifische Qualitätskontrolle

Ergänzend zu den Tier 1 Verfahren sollten die besonders relevanten Kategorien (z.B. Hauptkategorien), immer unter Abwägung von Ressourcenaspekten, bei der Ermittlung von Aktivitätsraten, Emissionen und Unsicherheiten einer Qualitätskontrolle nach Tier 2 unterzogen werden (siehe Kapitel 8.7 *Good Practice Guidance*). Die Kapitel der *IPCC Good Practice Guidance* zu den einzelnen Kategorien (Kapitel 1-5) enthalten zusätzliche Hinweise zu kategoriespezifischen QK-Maßnahmen. Diese müssen bei der Erstellung des QK/QS Plans berücksichtigt werden. :

Werden zusammengefasste **Aktivitätsraten** aus Sekundärquellen verwendet, ist es gute Praxis, die QK Maßnahmen bei der Erstellung der Sekundärquellen zu evaluieren. Ist das Niveau dieser Maßnahmen ausreichend, reicht es darauf in der Dokumentation zu verweisen. Falls die Sekundärquellen den Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle nicht genügen, sollen QK/QS Kontrollen von der Institution durchgeführt werden, die die Daten verwendet. Die Ergebnisse der nachträglichen QK/QS Kontrollen sollen in die Bestimmung der Unsicherheiten

der Aktivitätsraten einfließen. Des Weiteren sollen, soweit möglich, verschiedene Quellen verglichen werden, um die Güte der Daten zu ermitteln.

Bei der Verwendung von anlagenspezifischen Aktivitätsdaten ist es gute Praxis, die Methodik und den QK/QS Standard bei der Datenermittlung zu überprüfen. Sollten diese nicht den Mindestanforderungen genügen, soll die Verwendung der Daten grundsätzlich überdacht und ggf. die Unsicherheitsangaben angepasst werden.

Bei **Emissionsdaten** gehört es zur guten Praxis, die verwendeten Emissionsfaktoren zu überprüfen. Dazu gehört die Verwendung von nationalen Emissionsfaktoren für Hauptkategorien und die Überprüfung der Gültigkeit der IPCC Standardfaktoren unter nationalen Gegebenheiten. Werden Emissionen durch direkte Messung ermittelt ist es gute Praxis, die Messmethoden und verwendeten Qualitätsstandards zu überprüfen. Emissionsdaten und Emissionsfaktoren sollen mit Daten der Vorjahre sowie unabhängigen Quellen überprüft und Abweichungen erklärt werden.

Die **Qualitätskontrolle** der Unsicherheiten umfasst die Überprüfung, ob die Berechnung frei von Fehlern ist und die Dokumentation zur Reproduktion der Ergebnisse ausreichend ist. Bei der Verwendung von Expertenschätzungen soll die Qualifikation der Experten und die Methodik zur Schätzung überprüft und dokumentiert werden.

22.1.2.1.7 Verfahren zur Qualitätssicherung

Während das Ziel der Qualitätskontrolle hauptsächlich die korrekte Anwendung einer Methodik ist, soll bei der Qualitätssicherung die Methodik als solche untersucht und ggf. verbessert werden.

Nach der Definition der IPCC (Kapitel 8.1 *Good Practice Guidance*) beruhen die Maßnahmen der **Qualitätssicherung** (QS) „auf einem planvollen System von Überprüfungen durch Personen, die nicht unmittelbar an der Erarbeitung des Inventars mitwirkten. Solche Überprüfungen – am besten durch unabhängige Dritte – sollten an einem fertig gestellten Inventar nach Realisierung von QK-Prozeduren erfolgen. Durch sie wird:

- verifiziert, dass die Kriterien der Datenqualität erfüllt wurden,
- dafür Sorge getragen, dass das Inventar die bestmöglichen Schätzungen von Emissionen und Senken auf der Grundlage des neuesten Standes der Wissenschaft und der verfügbaren Daten berücksichtigt, und
- die Effizienz des QK-Systems gefördert“.

Das geforderte Instrument der Qualitätssicherung sind Peer Reviews. Die Durchführung von Audits wird angeregt, stellt aber keine verbindliche Anforderung dar.

22.1.2.1.8 Verfahren zur Berichterstattung

Die Einleitung, Koordinierung und Gesamtorganisation der Berichterstattung erfolgt durch die Nationale Koordinierungsstelle. Zuarbeiten von Datenteilen oder Berichten durch Dritte erfolgen unter Beachtung der Vereinbarungen über Umfang Form und Zeitpunkt dieser Zuarbeit.

22.1.2.1.9 Dokumentation und Archivierung

Es besteht die generelle Pflicht alle Daten und Informationen zur Inventarberechnung für jedes Berichtsjahr zu dokumentieren und zu archivieren. Die Dokumentation soll es ermöglichen, die Emissionsberechnung vollständig nachzuvollziehen. Die allgemeinen Anforderungen an die Dokumentation und Archivierung für den gesamten Prozess der Erstellung von Treibhausgasinventaren ergeben sich aus Kapitel 8.10.1 der *IPCC Good Practice Guidance*.

Die Datenlieferanten haben die Pflicht, die folgenden Informationen zu den an das UBA gelieferten Daten für die Inventarberechnungen zu dokumentieren:

Lieferanten von Daten:

- Veröffentlichung / Quelle der Aktivitätsdaten mit detailliertem Verweis auf entsprechende Tabellennummern und -bezeichnungen und Seiten der Originalquellen;
- Erhebungsinhalte (Definitionen der erhobenen Merkmale, Abschneidegrenzen, Erhebungseinheiten) und Erhebungsmethodik;
- Rechtsgrundlagen, Verordnungen, auf denen die Erhebung basiert;
- Zeitliche und räumliche Vergleichbarkeit zu Vorjahresdaten, Veränderungen hinsichtlich Definitionen, Geltungsbereichen, Abschneidegrenzen, Quellen von Aktivitätsraten oder der Methodik der Datengewinnung;
- Revisionen von bereits veröffentlichten Daten;
- Genauigkeit bzw. quantitative Fehlerangabe der Aktivitätsdaten, Methodik der Fehlerschätzung und Benennung der Experten, welche die Fehlerschätzung vorgenommen haben.
- Geheimhaltung und Datenschutz: Dokumentation falls Einzelangaben als geheim gelten.

Diese Dokumentation soll dem UBA jährlich zusammen mit den Daten zur Verfügung gestellt werden und wird vom UBA zentral archiviert.

Qualitätskontrolle

Im Rahmen der Qualitätskontrolle soll die Dokumentation zuständige und durchführende Mitarbeiter, Art, Datum und Ergebnisse der Qualitätskontrollen sowie Korrekturen und Modifikationen, die durch die Qualitätskontrollen ausgelöst wurden, erfassen. Die Dokumentation und Archivierung der Qualitätskontrollen erfolgt intern durch die Daten liefernde Einrichtung. Eine allgemeine Beschreibung der regelmäßig durchgeführten Qualitätskontrollen wird dem UBA für den nationale Inventarbericht und die Inventarüberprüfung zur Verfügung gestellt.

Lieferanten von Emissionsberechnungen

Für Lieferanten von Emissionsberechnungen umfassen die Mindestanforderungen zur Dokumentation zusätzlich die folgenden Bestandteile:

- Beschreibung der Berechnungsmethodik und Begründung der Wahl der Methode;
- Annahmen und Kriterien zu Auswahl von Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren;
- Dokumentation der Emissionsfaktoren und deren Quellen mit detaillierten Verweis auf entsprechende Nummern und Seiten der Originalquellen;
- Berechnungsmodelle;
- Berechnungsdateien, Berechnungssoftware.

Punkte 1-4 werden im Rahmen der gelieferten Beschreibungen für den nationalen Inventarbericht dokumentiert und archiviert. Für Berechnungsmodelle ist eine gesonderte Dokumentation der Modelle entsprechend allgemeiner wissenschaftlichen Praxis erforderlich sowie eine interne Dokumentation in Form von Handbüchern oder Anleitungen. Die Dokumentation und Archivierung der Berechnungsdateien oder Berechnungssoftware erfolgt intern beim Datenlieferanten. Diese sollen dem UBA zur Verfügung gestellt werden, falls dies im Rahmen der Inventarüberprüfung gefordert wird.

Qualitätssicherung

Lieferanten von Emissionsberechnungen sind neben Maßnahmen zur Qualitätskontrolle auch zur Qualitätssicherung verpflichtet. Im Rahmen der Qualitätssicherung soll die Dokumentation die zuständigen und durchführenden Mitarbeiter, Art, Datum und Ergebnisse der Qualitätssicherung sowie Korrekturen und Modifikationen, die durch die Qualitätssicherung ausgelöst wurden, erfassen. Darüber hinaus sollen kategorie-spezifische Qualitätskontrollen dokumentiert werden.

Die Dokumentation und Archivierung der Qualitätssicherung erfolgt intern durch die Daten liefernde Einrichtung, sowie durch eine Zusammenfassung der Sicherungsmaßnahmen im nationalen Inventarbericht.

Vertrauliche Daten / Geheimhaltung

Generell sind vertrauliche Daten bei der Übermittlung als solche zu kennzeichnen, damit bei ihrer Verwendung entsprechende Vorkehrungen getroffen werden.

Im Rahmen der Inventarüberprüfung besteht eine generelle Pflicht, vertrauliche Daten offen zu legen, falls dies im Rahmen der Inventarüberprüfung aus Gründen der Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Emissionsberechnungen von den Inventarprüfern für erforderlich gehalten wird. Inwieweit dies tatsächlich die Offenlegung von Einzelangaben berührt, soll im Einzelfall mit der Daten liefernden Einrichtung geklärt werden.

22.1.2.1.10 Anlage 1: Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Emissionsberichterstattung im Umweltbundesamt

22.1.2.1.10.1 Einführung

Die vom Koordinierungsausschuss des Nationalen Systems Emissionsinventare beschlossenen allgemeinen Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung (QK/QS) bei der Treibhausgasemissionsberichterstattung gelten für alle Beteiligten. Sie sind Grundlage für die Erhebung, Verarbeitung, Weitergabe und Berichterstattung von allen Daten, die der THG-Berichterstattung dienen und damit auch verbindlich für alle Arbeitseinheiten, die im Umweltbundesamt an der Erfüllung dieser Aufgabe mitwirken.

22.1.2.1.10.2 System zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung

Über die vom Koordinierungsausschuss des Nationalen Systems Emissionsinventare beschlossenen allgemeinen Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung (QK/QS) bei der Treibhausgasemissionsberichterstattung gelten im Umweltbundesamt die konkreten Festlegungen der Hausanordnung Nr. 11/2005, die das im QSE-Handbuch festgelegte Verfahren für alle an der Emissionsberichterstattung Beteiligten des UBA verbindlich vorschreibt (Geschäftsordnung des Umweltbundesamtes, Band II, Ziffer XV).

Die Anforderungen von Kapitel 8 der IPCC *Good Practice Guidance* sind über die Hausanordnung vollständig umgesetzt. Für eine effektive Erfassung und Durchführung von Maßnahmen zur kontinuierlichen Inventarverbesserung wurden geeignete UBA-spezifische Instrumente etabliert (Verbesserungsplan und Inventarplan, siehe unter 22.1.2.1.10.3). Im Ergebnis wurde das Qualitätssystem Emissionsinventare (QSE) entwickelt, dass die in Kapitel 22.1.2.1.2 benannten Punkte implementiert hat.

22.1.2.1.10.2.1 Zuständige Stelle für die Koordinierung der QK/QS Aktivitäten im UBA

Hausanordnung Nr. 11/2005 regelt, dass das Fachgebiet *Emissionssituation* (FG V 1.6) "Nationale Koordinierungsstelle" im UBA ist. Diese Zuständigkeit ist in der Organisationsübersicht des UBA

unter der Rubrik: „Kontaktstellen internationaler Organisationen“ ausgewiesen und von den relevanten Ministerien durch einen Staatssekretärsbeschluss vom 05.06.2007 bestätigt worden.

Die Rollen und Verantwortlichkeiten der Nationalen Koordinierungsstelle und der an der Emissionsberichterstattung beteiligten Fachgebiete ergeben sich aus Kapitel 3.2 "Rollen und Verantwortlichkeiten" des QSE-Handbuchs. Die Fortschreibung und Pflege des QSE-Handbuchs und dessen Anhänge und Anlagen obliegt der Nationalen Koordinierungsstelle unter Einbeziehung der durch die Fachabteilungen benannten Ansprechpartner/innen. Die auf der Intranetseite der Nationalen Koordinierungsstelle veröffentlichte Version des QSE-Handbuchs und der mitgeltenden Unterlagen ist verbindlich.

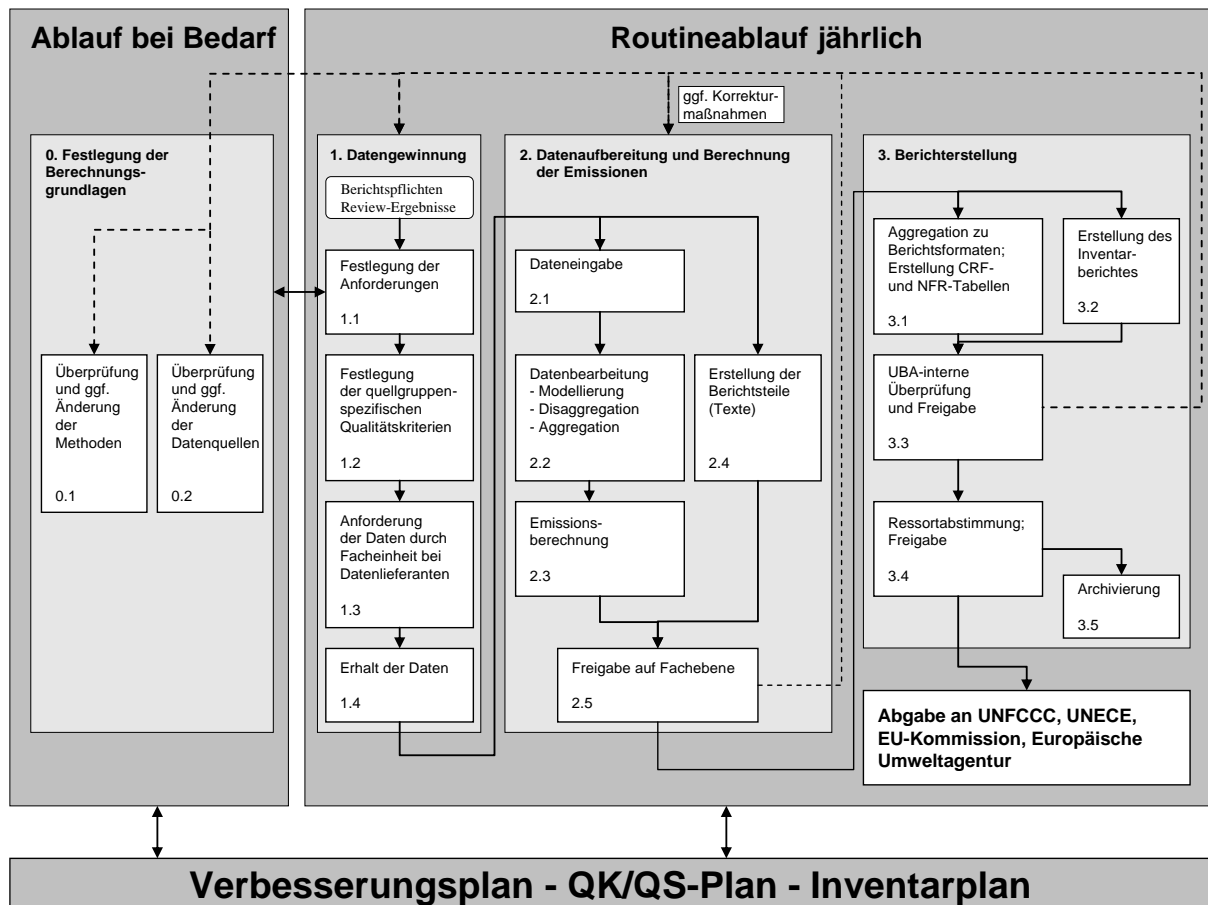
22.1.2.1.10.2.2 Verfahren zur Berichterstattung

Komplexe Tätigkeiten sind im Allgemeinen dadurch gekennzeichnet, dass am Ende des Durchlaufens einer Vielzahl von unterschiedlichen, aber miteinander in Verbindung stehenden und aufeinander aufbauenden Tätigkeiten (Prozessen), ein Produkt erzeugt wird. Für ein erfolgreiches Management dieser Prozesse ist es wichtig, sich dieser existierenden oder zu schaffenden Prozessabläufe bewusst zu werden und sie auf eine logische, der Realität entsprechende Weise zu beschreiben (Tätigkeiten, Abhängigkeiten, Verantwortlichkeiten, Zuständigkeiten u.v.m.) und in Verbindung zu setzen.

In der Praxis lassen sich die Abläufe komplexer Prozesse nicht widerspruchsfrei in die hierarchisch geprägten, traditionellen Strukturen von Unternehmen und Institutionen einpassen. Sie laufen diesen oft diametral entgegen, da sie meist Organisationseinheiten übergreifend gelagert sind. Eine an der Erstellung des Produkts orientierte Organisation von zusammenhängenden Arbeitsprozessen erfordert es, dass man sich von starren Hierarchiestrukturen löst und die Arbeitsprozesse mit dem Ziel der Verbesserung neu definiert.

Die Emissionsberichterstattung wurde daher zunächst als ein Prozess beschrieben, bei dem über mehrere miteinander verbundene Tätigkeiten am Ende ein Produkt (NIR und Inventare) entsteht (siehe Abbildung 88) Weiterführende Informationen finden sich im QSE-Handbuch Kapitel 4.3.

Abbildung 88: Übersicht zum gesamten Prozess der Emissionsberichterstattung



Den innerhalb der abgebildeten Haupt- und Teilprozesse ablaufenden Tätigkeiten wurden über ein Rollenkonzept entsprechende Zuständigkeiten zugeordnet, die diese Prozesse durchführen/ausführen. Beispielsweise arbeiten viele Mitarbeiter in unterschiedlichen Arbeitseinheiten und Quellgruppen, führen dort aber im Wesentlichen die gleichen Tätigkeiten aus. Dies führte zur Entwicklung einer Personengruppe (Rolle; z.B. Fachverantwortliche). Dieser muss eine weitere Personengruppe (Rolle) nachgeordnet sein, die sicherstellt, dass die Anforderungen, die die erste Gruppe bei Ihrer Arbeit zu beachten und zu erfüllen hat, auch erreicht worden sind (z.B. Fachlicher Ansprechpartner). Des Weiteren wurde gemäß den Anforderungen des IPCC (siehe Kapitel 22.1.2.1.2) ein Koordinator für das QSE bestellt, damit sichergestellt wird, dass das System weiterentwickelt wird.

Im Ganzen wurde ein umfassendes Rollenkonzept entwickelt, das den vielfältigen Anforderungen Rechnung trägt, die dem UBA aus seiner Aufgabe als Nationale Koordinierungsstelle erwachsen. Hierzu gehören folgende Rollen:

1. Fachverantwortlicher auf operativer Ebene (FV)

- Wesentliche Zuständigkeiten: Datengewinnung, Dateneingabe und Berechnung entsprechend den vorgegebenen Methoden, Durchführung von QK-Maßnahmen, Erstellen des NIR-Textes.

2. QK-Verantwortlicher (QKV)

- Ist Vorgesetzter des FV
- Wesentliche Zuständigkeiten: Prüfung und Freigabe der Daten und Berichtsteile

3. Fachliche Ansprechpartner (FAP)

- Mitarbeiter der Nationalen Koordinierungsstelle
- Wesentliche Zuständigkeiten: Quellgruppenspezifische Betreuung der fachlich Zuarbeitenden (Inventararbeit und Berichterstellung) und Qualitätskontrolle/Qualitätssicherung in den zugehörigen Kategorien in NIR und ZSE.

4. Berichtskordinator (NIRK)

- Mitarbeiter der Nationalen Koordinierungsstelle
- Wesentliche Zuständigkeiten: Koordination von textlichen Zuarbeiten, Erstellung des NIR aus den einzelnen Zulieferungen, übergreifende QK und QS für den NIR

5. ZSE-Koordinator (ZSEK)

- Mitarbeiter der Nationalen Koordinierungsstelle
- Wesentliche Zuständigkeiten: Wartung der Datenbanken, Emissionsberechnung und Aggregation, Übergreifende QK und QS bei Eingabe und Berechnung des Inventars

6. QSE-Koordinator (QSEK)

- Mitarbeiter der Nationalen Koordinierungsstelle
- Wesentliche Zuständigkeiten: Aufrechterhaltung und Fortentwicklung des QSE (System, Checklisten, Verbesserungsplan, Inventarplan, QK/QS-Plan und QSE-Handbuch)

7. NaSE-Koordinator (NaSEK)

- Mitarbeiter der Nationalen Koordinierungsstelle
- Wesentliche Zuständigkeiten: termingerechte und anforderungskonforme Berichterstattung, Einbindung nationaler Institutionen, Festlegung/Dokumentation von rechtlichen Vereinbarungen

Die oben erläuterten Rollen haben i.d.R. Aufgaben in mehreren Haupt- und Teilprozessen der Emissionsberichterstattung.

22.1.2.1.10.3 QK-Plan, QS-Plan und Inventarplan

Um zu gewährleisten, dass alle Verbesserungspotentiale, die im Zuge der Inventararbeiten ermittelt werden, einer systematischen Umsetzung zugeführt werden können, ist es unerlässlich diese zunächst auf koordinierte Weise zusammenzutragen. Dabei sind die erkannten Verbesserungspotentiale mit allen Informationen zu versehen (Herkunft des Verbesserungspotentials, Quellgruppe, Zuständigkeit, Priorität, etc.), die für eine zielgerichtete Weiterverwendung notwendig sind. Aufbauend auf diesen grundlegenden Informationen sind Festlegungen zur Umsetzung der erkannten Verbesserungspotentiale zu treffen (Handlungsbedarf/Korrekturmaßnahme, Terminsetzungen, etc.).

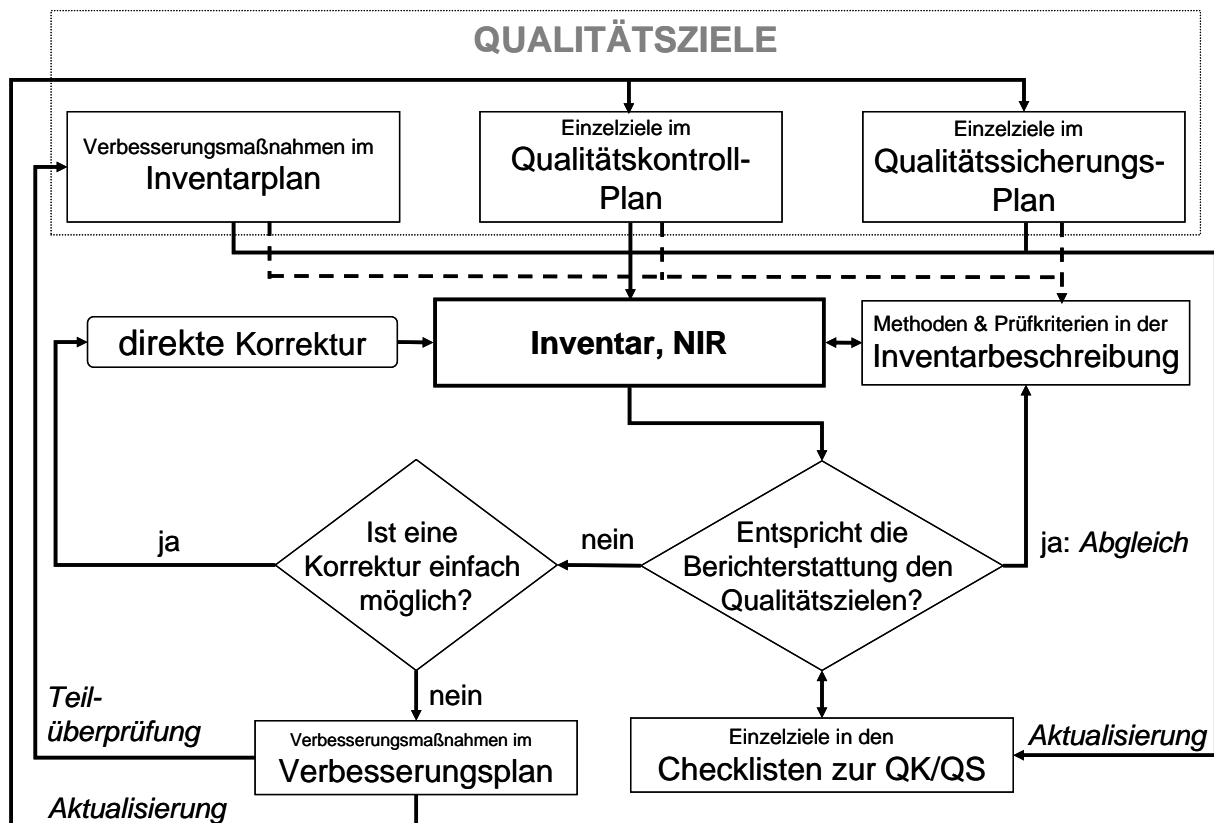
Zur Steuerung und Dokumentation im Rahmen des NaSE und des QSE (siehe Abbildung 89) wurden Verfahren festgelegt, wie die ermittelten Verbesserungspotentiale für das systematische Management der Verbesserungspotentiale aufbereitet und weiterverwendet werden sollen. Ziel ist es, die zentralen Fragen, WER, WAS, WIE, WANN und WARUM tun soll, zu beantworten:

WER: Gibt den Bezug zum Rollenkonzept: zuständig ist eine bestimmte Person xy mit der Rolle z.B. Fachverantwortlicher (FV)

WAS: Gibt den Bezug zum Objekt, das verbessert soll, z.B. Verbesserung der CO₂-Berechnung in Kategorie xy

- WIE: Gibt den Bezug zum Ziel, das erreicht werden soll, z.B. durch Erreichen einer bestimmten Verbesserung laut Inventarplan oder Checkliste.
- WANN: Gibt den Bezug zum Zeitpunkt, bis zu dem die Verbesserung laut Inventarplan durchgeführt sein muss
- WARUM: Gibt den Bezug zum Ursprung der notwendigen Handlung, z.B. aufgrund einer Empfehlung aus dem Überprüfungsprozess der UNFCCC

Abbildung 89: Steuerung und Dokumentation im Rahmen des NaSE und des QSE



Die **Qualitätsziele** wurden den allgemeinen Qualitätszielen der *IPCC Good Practice Guidance* entnommen (Transparenz, Konsistenz, Genauigkeit, Vergleichbarkeit, Vollständigkeit). Darüber hinaus sind für die einzelnen Kategorien operative Einzelziele zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung aus dem Vergleich zwischen den Anforderungen aus den *IPCC Good Practice Guidance*, den Ergebnissen der unabhängigen Inventarüberprüfungen (UNFCCC und EU) und der Inventarrealität abgeleitet worden.

In einem **Verbesserungsplan** werden alle Verbesserungsmöglichkeiten beziehungsweise Beanstandungen aus den Ergebnissen der unabhängigen Inventarüberprüfungen, gesammelt und mit möglichen Korrekturmaßnahmen hinterlegt. Sie werden durch die Nationale Koordinierungsstelle kategorisiert, mit Prioritäten versehen und in Rücksprache mit den Fachverantwortlichen teilweise in den **Inventarplan** überführt. Dort werden sie mit Terminen und Verantwortlichkeiten hinterlegt. Der Inventarplan durchläuft als Anhang des NIR einen Abstimmungs- und Freigabeprozess im UBA und im Koordinierungsausschuss und stellt somit ein verbindliches Vorgabedokument für die zukünftig umzusetzenden Verbesserungsmaßnahmen dar.

Um die Kontrolle und Durchführung von Maßnahmen zur Inventarverbesserung transparent und effektiv zu steuern, sind sie nach Maßgabe der *IPCC Good Practice Guidance* (Kapitel 8.5) im

Qualitätskontrollplan/Qualitätssicherungsplan (QK/QS-Plan) rollenspezifisch sowie gegebenenfalls kategoriespezifisch vorgegeben. Der QK-Plan bezieht sich ausschließlich auf die Ziele der Qualitätskontrolle des Inventars. Im QS-Plan können die Ziele der Qualitätssicherung das Inventar, den Prozess der Berichterstattung oder das QSE selbst zum Gegenstand haben. Weiterhin erfolgt im Qualitätssicherungsplan die zeitliche Planung von Qualitätssicherungsmaßnahmen, die durch externe Dritte vorgenommen werden.

In den **Checklisten zur Qualitätskontrolle und zur Qualitätssicherung** sind entsprechend den Qualitätskontroll- und Qualitätssicherungsplänen alle Einzelziele im Prozess der Emissionsberichterstattung aufgeführt. Die Checklisten werden allen für Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung verantwortlichen Akteuren zur Verfügung gestellt und sollen die Kontrolle der Erreichung der Einzelziele erleichtern. In den Checklisten wird die Durchführung von Maßnahmen zur Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung dokumentiert. Sofern Einzelziele nicht erreicht werden und keine direkte Korrektur möglich ist, hat ein Eintrag in den Verbesserungsplan (siehe oben) zu erfolgen.

22.1.2.1.10.4 Verfahren zur allgemeinen und kategoriespezifischen Qualitätskontrolle

Aus den Anforderungen der IPCC Good Practice Guidance hat das Umweltbundesamt ein Checklistenkonzept entwickelt, in dem die Qualitätsanforderungen als konkrete Ziele formuliert wurden. Diese Einzelziele gilt es, zu erreichen. Die Zielerreichung wird in den Checklisten eingetragen und dokumentiert. Es sind Einträge von Ja (Ziel ist erreicht), über „Trifft nicht zu“ (Zielformulierung korrespondiert nicht mit der speziellen Situation der Quellgruppe; nur sehr selten als Antwort möglich) bis hin zu „Nein“ (Ziel konnte nicht erreicht werden) möglich.

Die Checklisten bestehen aus einem allgemeinen Teil, der die gesamten Tier 1 QK-Anforderungen der IPCC Good Practice Guidance reflektiert und mit jeder Berichterstattung durchgeführt wird. Zusätzlich beinhalten die Checklisten einen kategoriespezifischen Teil (Tier 2), der konkrete Zielvorgaben für den Bereich der Hauptkategorien macht.

Checklisten gibt es für die ersten fünf Rollen des Rollenkonzepts. In dem Maße, wie die verschiedenen Rollen für verschiedene Haupt- und Teilprozesse der Emissionsberichterstattung zuständig sind (vergleiche Kapitel 22.1.2.1.10.2.2), beziehen sich auch die Checklisten überwiegend auf mehrere Haupt- und Teilprozesse der Emissionsberichterstattung. Sie stellen somit einen Querschnitt durch die Emissionsberichterstattung her. Hierbei ist für die Checklisten der FV und der FAP eine gemeinsame Grundgesamtheit der zu erreichenden Ziele vorgesehen. Da die FAP dafür zuständig sind, die Arbeiten der FV zu prüfen, lässt sich dies am besten gewährleisten, wenn sich beide an gleichen Zielen orientieren müssen.

22.1.2.1.10.5 Verfahren zur Qualitätssicherung

Bereits mit dem Rollenkonzept sind die Verfahren derart gestaltet, dass die Qualitätssicherung immer zumindest über ein Vieraugenprinzip gestützt wird. In diesem Zusammenhang wurde den Fachlichen Ansprechpartnern (FAP) die Aufgabe übertragen, die Qualität der Emissionsberechnungen und textlichen Zuarbeiten der Fachverantwortlichen (FV) sicherzustellen.

IPCC stellt unter dem Punkt „Überprüfung durch unabhängige Experten (Experten-Peer Review)“ klar, dass das obige von UBA gewählte formale Prüfverfahren, die Überprüfungen eines Experten-Peer Review ergänzen, aber nicht ersetzen kann (Good Practice Guidance; Kapitel 8.8). Um unter Abwägung der vorhandenen Ressourcen, der begründeten Forderung nach Einbeziehung externer Experten entsprechen zu können, werden zum einen, für konkrete Fragestellungen, detaillierte Überprüfungen durch externe Dritte im Rahmen von Forschungsvorhaben und Gutachten durchgeführt. Eine Beauftragung Dritter wird generell von

beiden Seiten (d.h. FV und FAP) gemeinsam betreut. Zum anderen wurde das Instrument eines unregelmäßig durchgeführten Workshops zum Nationalen System ins Leben gerufen. Ziel dieses Workshops ist es, nationale Experten ins UBA zu laden und gemeinsam mit den UBA-Experten (FV) zu ausgewählten Kategorien aktuelle Inventarfragen zu besprechen.

Audits wurden im Umweltbundesamt bislang nicht durchgeführt und sind zurzeit nicht geplant. Laut Good Practice Guidance sind Audits nicht zwingend durchzuführen.

22.1.2.1.10.6 Dokumentation und Archivierung

Bei der Erstellung der deutschen Treibhausgas-Inventare soll eine im Grundsatz einheitliche Praxis bei der Dokumentation und Archivierung erreicht werden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der zentralen Dokumentation und Archivierung in der Nationalen Koordinierungsstelle und der dezentralen Dokumentation und Archivierung, die in den Facheinheiten des UBA und in anderen Institutionen erfolgt.

Die Dokumentationsverfahren für Daten und Kontextinformationen unterscheiden sich bedarfsgemäß und umfassen einige Informationen überlappend, wobei es sich teilweise um Redundanzen handelt und teilweise um Informationen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad. Bei beiden ist die Konsistenz regelmäßig sicherzustellen.

Um eine im Grundsatz einheitliche Praxis für alle Arbeitseinheiten des Umweltbundesamtes zu erreichen, sind für die verwendeten Instrumente allgemeine oder speziell für die Emissionsberichterstattung entwickelte Vorgaben einzuhalten. Im Umweltbundesamt können für die Dokumentation die in Tabelle 590 beschriebenen Instrumente verwendet werden. Dabei sind die jeweils genannten Vorgaben zur Dokumentation einzuhalten. Sofern keine speziellen Vorgaben bestehen, sind die Anforderungen aus den „Allgemeinen Mindestanforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung bei der Treibhausgasemissionsberichterstattung“ einzuhalten.

Tabelle 590: Dokumentationsinstrumente im Umweltbundesamt

Instrument	Vorgaben zur Dokumentation
öffentlich verfügbar	
Nationales Inventar (CRF-Tabellen, CRF-Reporter)	Anhang 2, QSE-Handbuch: Anleitung zur Durchführung der Rückrechnungen in den CRF-Tabellen
Nationaler Inventarbericht	Anhang 3, QSE-Handbuch: Vorgaben bei der Erstellung von Berichtsteilen im Nationalen System
Publikation	GO des UBA: Punkt 6.2 Veröffentlichungen
veröffentlichte Handbücher, Anleitungen	Bei IT-Beschreibungen: Vorgehensmodell UBA, sonst: keine speziellen Vorgaben
intern zentral in der Nationalen Koordinierungsstelle verfügbar	
Datenbank ZSE	Anhang 5, QSE-Handbuch: Vorgaben für die Datendokumentation im ZSE
Inventarbeschreibung	Anhang 4, QSE-Handbuch: Anforderungen an die Dokumentation und Archivierung
intern dezentral verfügbar	
Akten der zentralen Registratur	GO des UBA: Punkt 4.2.10 Aktenbehandlung
Handakte	keine speziellen Vorgaben
interne Handbücher, Anleitungen	Bei IT-Beschreibungen: Vorgehensmodell UBA, sonst: keine speziellen Vorgaben

Ein integriertes Dokumentationskonzept legt fest, welche wesentlichen Inhalte in den genannten Dokumentationsinstrumenten vorgehalten werden sollen und wie zwischen den genannten

Dokumentationsinstrumenten Konsistenz und Transparenz durch ein entsprechendes Verweissystem zwischen diesen Instrumenten herzustellen ist (siehe Anhang 4, QSE-Handbuch).

22.1.2.1.11 Anhang 2: Beispiel einer allgemeinen Checkliste für die Rolle Fachverantwortlicher

Im unten stehenden Beispiel (Stand: CHKL 2010) sind nur die relevanten Anforderungen abgebildet. Darüber hinaus gehende Detailinformationen wurden zur Verbesserung der Übersichtlichkeit entfernt.

Tabelle 591: Allgemeine Checkliste für Fachverantwortliche

Prozess Nr.	Teilprozess Bezeichnung	Einzelziel	Optionales Ziel
Hauptprozess: 0. Festlegung der Berechnungsgrundlagen			
0.1	Überprüfung und ggf. Änderung der Methoden	Die Berechnungsmethode steht im Einklang mit der aktuellen Hauptkategorienanalyse.	
0.1	Überprüfung und ggf. Änderung der Methoden	Die Auswahl der Berechnungsmethode ist nach dem Entscheidungsbaum der IPCC-Good Practice Guidance erfolgt, bzw. stimmt mit diesen überein.	Abweichungen vom Entscheidungsbaum der IPCC-Good Practice Guidance sind fachlich und nachvollziehbar begründet und dokumentiert.
0.1	Überprüfung und ggf. Änderung der Methoden	Die Auswahl der Berechnungsmethode hat die Anforderungen aus dem Inventarplan berücksichtigt.	Abweichungen vom Inventarplan wurden fachlich und nachvollziehbar begründet und dokumentiert.
0.1	Überprüfung und ggf. Änderung der Methoden	Die ausgewählte Berechnungsmethode kann für die gesamte Zeitreihe ab 1990 angewendet werden oder wird bereits konsistent angewandt.	Bei Methodenwechsel in der Zeitreihe(n) ist die Durchführung einer Rekalkulation gemäß QSE-Handbuch (Anhang 2) und die Erstellung einer nachvollziehbaren Dokumentation sichergestellt.
0.1	Überprüfung und ggf. Änderung der Methoden	Abweichungen von den durch 0.1.01-0.1.04 geforderten Zielen sind fachlich und nachvollziehbar begründet und dokumentiert.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Wurden neue Datenquellen verwendet?	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Die Datenquelle(n) ist/sind für die Zukunft langfristig verfügbar (z.B. auf Basis gesetzlicher Grundlagen, Vereinbarungen mit längerer Laufzeit [> 3 Jahre] etc.).	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Aus der/den Datenquelle(n) ist eine/mehrere vollständige Zeitreihe(n) ab 1990 verfügbar.	Lücken in der Datenverfügbarkeit für Zeitreihe(n) ab 1990 wurden nachvollziehbar begründet und dokumentiert.
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Aus der/den Datenquelle(n) ist eine/mehrere vollständige Zeitreihe(n) ab 1990 verfügbar.	Für den Umgang mit Datenlücken wurde gemäß der IPCC Good Practice Guidance (Kap. 7.3.2.2) ein fachlich geeignetes Vorgehen (Inter-/Extrapolation) festgelegt und nachvollziehbar dokumentiert. Hinweis: Fortschreibung ist keine Extrapolation !
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Aus der/den Datenquelle(n) ist eine/mehrere vollständige Zeitreihe(n) ab 1990 verfügbar.	Nach der Schließung von Datenlücken ist, wo notwendig, eine Rekalkulation der Zeitreihe(n) gemäß QSE-Handbuch (Anhang 2) erfolgt und diese nachvollziehbar in NIR und CRF dokumentiert.

Prozess Nr.	Teilprozess Bezeichnung	Einzelziel	Optionales Ziel
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Die Datenquelle(n) deckt/decken die Kategorie vollständig ab.	Die unvollständige Abdeckung wurde in einer Hochrechnung und in der Unsicherheitenberechnung berücksichtigt. Alle Schritte sind nachvollziehbar dokumentiert.
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Für die Datenquelle(n) liegen Angaben von Unsicherheiten (Höhe und Verteilung) vor.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	EF und AR stimmen in Ihrem Quellgruppenzuschnitt überein.	Bei fehlender Übereinstimmung von EF und AR können andere Datenquellen Deckungsgleichheit herstellen. Alternativ wurde die fehlende Übereinstimmung in einer Hochrechnung und in der Unsicherheitenberechnung berücksichtigt und alles nachvollziehbar dokumentiert.
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Die Verfahren zur Berechnung der Ausgangsdaten sind nachvollziehbar beschrieben.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Die Auswahl der Datenquelle(n) hat die Anforderungen aus dem Inventarplan berücksichtigt.	Abweichungen wurden nachvollziehbar begründet und dokumentiert.
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Die Annahmen und Kriterien, die zur Auswahl der jeweiligen Datenquelle(n) geführt haben sind nachvollziehbar dokumentiert.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Für die Datenquelle(n) werden durch den Datenlieferanten geeignete routinemäßige Qualitätskontrollen durchgeführt. Bei Einzelvorhaben wurden einmalige Qualitätskontrollen durchgeführt. Die Durchführung ist dokumentiert.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Bei der Verwendung einer/mehrerer neuer Datenquellen wurde eine Rekalkulation gemäß QSE-Handbuch (Anhang 2) auf Basis dieser andere(n) Datenquelle(n) durchgeführt.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Bei Verwendung von IPCC-Default-EF sind diese hinsichtlich ihrer Generierung mit den nationalen Gegebenheiten verglichen worden und in Deutschland anwendbar. Das Ergebnis dieser Prüfung wurde nachvollziehbar dokumentiert.	Für IPCC Default-Werte die nicht mit den nationalen Gegebenheiten übereinstimmen, wurden die Abweichungen in den Unsicherheiten berücksichtigt und dokumentiert .
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Bei Verwendung anderer EF als der IPCC Default-EF, wurden diese nachvollziehbar begründet und dokumentiert. Hinweis: Die Verwendung anderer EF ist nur zulässig, wenn diese eine exaktere Berechnung der landesspezifischen Emissionen ermöglichen.	
0.2	Überprüfung und ggf. Änderung der Datenquellen	Ein Vergleich der verwendeten AR gegen andere Datenquellen (z.B. EU-ETS, IEA, EPER etc.) ist erfolgt und das Ergebnis nachvollziehbar dokumentiert.	
Hauptprozess: 1. Datengewinnung			
1.1	Festlegung der Anforderungen	Die Anforderungen an die Daten berücksichtigen die Hinweise aus dem Inventarplan und den Inventarüberprüfungen (z.B. S&A Report, Centralized Review).	
Prozess Nr.	Teilprozess Bezeichnung	Einzelziel	Optionales Ziel

1.3	Anforderung der Daten durch Fachinheit bei Datenlieferanten	Die Anforderungen an die QK und die Datenformate sind an die Datenlieferanten und/oder die Auftragnehmer weitergegeben worden und diese Weitergabe ist dokumentiert. Hinweis: Wo Datenlieferanten über NaSE-Vereinbarungen eingebunden sind, ist Ziel erreicht.	Der Datenlieferant (z.B. Verbände) führt eigene routinemäßige Qualitätskontrollen durch und dieses Ergebnis ist dokumentiert.
1.4	Erhalt der Daten	Der Datenlieferant bzw. der Auftragnehmer hat die geforderten Qualitätskontrollen durchgeführt und dokumentiert.	Der Datenlieferant (z.B. Verbände) führt eigene routinemäßige Qualitätskontrollen durch und dieses Ergebnis wurde dokumentiert.
1.4	Erhalt der Daten	Die erhaltenen Daten sind vollständig und weisen keine Datenlücken auf.	Alle Datenlücken in der Zeitreihe ab 1990 sind im Einklang mit den IPCC Good Pract. Guidance durch Extrapolation/Interpolation (Kap.7.3.2.2) geschlossen worden und nachvollziehbar dokumentiert und begründet. Hinweis: Fortschreibung ist keine Extrapolation
1.4	Erhalt der Daten	Die erhaltenen Daten sind konsistent mit den Vorjahreswerten und nachvollziehbar beschrieben.	Deutliche Abweichungen von den Vorjahreswerten sind nachvollziehbar begründet und dokumentiert.
1.4	Erhalt der Daten	Die erhaltenen Daten liegen im Vergleich zu anderen Datenquellen (z.B. ETS-Daten, IEA, EPER etc.) in der gleichen Größenordnung. Das Prüfungsergebnis wurde dokumentiert.	Die Ursachen für Abweichungen sind nachvollziehbar begründet und dokumentiert.
1.4	Erhalt der Daten	Die Methodik/Annahmen auf denen die Unsicherheitsbestimmungen basieren, sind nachvollziehbar dokumentiert.	Konnten keine Annahmen abgeleitet werden, wurde alternativ eine Expertenschätzung durchgeführt und die Qualifikation des Experten nachvollziehbar dokumentiert.
1.4	Erhalt der Daten	Die Unsicherheitsbestimmungen sind vollständig und plausibel.	

Hauptprozess: 2. Datenaufbereitung / Emissionsberechnung

2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE) /	Die EF sind vollständig im ZSE eingetragen.	
2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Die Dokumentation der Datenherkunft von EF ist vollständig und entspricht den Anforderungen des QSE Handbuchs (Anhänge 3, 4 und 5).	
2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Die Entwicklung der EF innerhalb der Zeitreihe ist plausibel und im Falle von Auffälligkeiten (z.B. Größenordnungsänderungen) nachvollziehbar begründet und dokumentiert.	Unplausible EF wurden korrigiert.
2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Die AR sind vollständig im ZSE eingetragen.	
2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Die Dokumentation der Datenherkunft von AR ist vollständig und entspricht den Anforderungen des QSE Handbuchs (Anhänge 3, 4 und 5).	

Prozess Nr.	Teilprozess Bezeichnung	Einzelziel	Optionales Ziel
-------------	-------------------------	------------	-----------------

2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Die Entwicklung der AR innerhalb der Zeitreihe ist plausibel und im Falle von Auffälligkeiten (z.B. Größenordnungsänderungen) nachvollziehbar begründet und dokumentiert.	Unplausible Abweichungen wurden korrigiert.
2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Nach Abschluss der Dateneingabe in das ZSE wurde die Richtigkeit der Eingabe von	

		Zahlen, Einheiten und Umrechnungsfaktoren überprüft und bestätigt.	
2.1	Dateneingabe (bevorzugt ZSE)	Die Unsicherheiten sind vollständig im ZSE eingegeben und entsprechend den Anforderungen des QSE Handbuchs (Anhänge 3, 4 und 5) dokumentiert.	
2.2	Datenbearbeitung (Modellbildung, Disaggregation, Aggregation)	Eine adäquate Beschreibung der Modelle in Bezug auf Aufbau, Modellstruktur, Rechengang, Annahmen etc. liegt in der Inventarbeschreibung vor.	
2.3	Emissionsberechnung	Die aktuellen Inventarberechnungen sind mit Berechnungen vorhergehender Berichterstattungen abgeglichen worden.	Bei signifikanten Änderungen oder auffälligen Abweichungen vom erwarteten Trend, wurde die Rechnung und die Eingangsdaten der Berechnung überprüft und weiterbestehende Unterschiede begründet und dokumentiert.
2.3	Emissionsberechnung	Die Ergebnisse der Emissionsberechnung der aktuellen/vorhergehenden Berichterstattungen sind mit anderen Datenquellen für Deutschland, insbesondere ETS-Daten, abgeglichen worden und vergleichbar. Das Ergebnis wurde nachvollziehbar dokumentiert.	Wenn eine Vergleichbarkeit nicht gegeben ist bzw. ein Vergleich nicht durchgeführt wurde, ist dies fachlich und nachvollziehbar begründet worden.
2.3	Emissionsberechnung	Der nationale implizierte EF (national Implied EF; siehe S&A Report I) der vorhergehenden Berichterstattung ist mit den implizierten EF anderer Länder vergleichbar (gleiche Größenordnung).	Extreme implied EF, sind im NIR fachlich und nachvollziehbar begründet und dokumentiert worden bzw. es wurde auf eine bestehende Begründung verwiesen.
2.4	Erstellung Berichtsteile (Texte)	Die Kategorie ist für den NIR entsprechend der geforderten sechs Unterkapitel des NIR ("Beschreibung der Quellgruppe", "Methodische Aspekte" etc.) vollständig und nachvollziehbar beschrieben.	
2.5	Freigabe auf der Fachebene	Die Werte von AR, EF, ED und deren Unsicherheiten im NIR sind aktuell und mit den Werten im ZSE kongruent.	
2.5	Freigabe auf der Fachebene	Die Dokumentation der Datenherkunft von AR, EF, ED und deren Unsicherheiten im NIR ist aktuell und mit den Angaben im ZSE kongruent.	Fehlende oder unvollständige Dokumentationen der Datenherkunft sind fachlich und nachvollziehbar begründet und dokumentiert.

22.1.3 Das Datenbanksystem Zentrales System Emissionen

Als informationstechnologisches Werkzeug für die Inventarerstellung etabliert und pflegt das Umweltbundesamt seit 1998 eine integrierte nationale Datenbank, das *Zentrale System Emissionen (ZSE)*. Das ZSE setzt die vielfältigen Anforderungen an die Emissionsberechnung und -berichterstattung um und automatisiert wesentliche Arbeitsschritte. Es unterstützt die Inventarplanung und die Berichterstattung (z. B. durch Emissionsberechnung, -rekalkulation und Fehleranalyse) sowie das Inventarmanagement (z. B. durch Archivierung, jährliche Evaluierung der Daten) und das Qualitätsmanagement auf der Datenebene (siehe UBA 2003a, Projekthandbuch Decor). Mit Hilfe des ZSE werden die Schlüsselanforderungen der Transparenz, Konsistenz, Vollständigkeit, Vergleichbarkeit und Genauigkeit auf der Datenebene erfüllt.

Dabei wird der Datendokumentation eine zentrale Rolle eingeräumt. Das ZSE speichert die zuständigen Bearbeiter, die Datenquellen und Berechnungsverfahren sowie die Unsicherheiten von Zeitreihenwerten. Auch Zeitpunkt und Verursacher von Änderungen werden festgehalten. Das System verfügt über eine Historienverwaltung, die gelöschte Werte archiviert und bei Bedarf wiederherstellt. Rückverfolgungen und Rekonstruktion von Daten sowie eine unabhängige Überprüfung durch Dritte werden so ermöglicht. Für die Durchführung der Qualitätssicherung auf der Datenebene werden unterstützende Instrumente bereitgestellt (z. B. eine Komponente

zur Erfassung von Unsicherheiten, Plausibilitätsprüfungen). Der Transparenz wird vor allem dadurch Rechnung getragen, dass die Datenerfassung in derselben Struktur erfolgt, in der die Daten bereitstehen und sämtliche Bearbeitungen und Transformationen hin zu einem Berichtsformat erst im ZSE selbst und damit nachvollziehbar erfolgen. Das ZSE verwaltet dazu detaillierte technik-spezifische Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren, die über Rechenregeln (Berechnungsverfahren) zu aggregierten, kategoriespezifischen Werten für die Berichtsformate verdichtet werden. Die Aggregation der einzelnen ZSE-Zeitreihen zu den CRF-Berichtszeilen beispielsweise sind in Anhang 3 bzw. Kapitel 3ff jeweils bei den einzelnen Kategorien beschrieben. Neben der Aggregation und Modellbildung für Berechnungen unterstützt das ZSE auch die Durchführung von Szenarien- und Prognoseberechnungen sowie beim Reference Approach.

Über das Zentrale System Emissionen wird zudem der Datenaustausch im Rahmen des Nationalen Systems, also innerhalb des UBA und mit Dritten, organisiert. Neben der Direkteingabe werden dazu aus vorhandenen Datenbanken aggregierte Werte über eine Standardschnittstelle importiert (z. B. TREMOD für Verkehrsdaten oder GAS-EM für Daten zur Landwirtschaft). Ziel ist es, dass Inventardaten möglichst direkt von den inhaltlich zuständigen Fachverantwortlichen in das ZSE eingepflegt oder vom ZSE-Administrator über die Importschnittstelle eingelesen werden. Dies gilt für UBA-interne und für externe Mitwirkende am Nationalen System. Um dies zu erreichen, wurden verschiedene Maßnahmen umgesetzt:

- Mit der Bereitstellung eines *Standardisierten Importformats des ZSE* im Jahr 2002 wurde der direkte Datenimport aus anderen emissionsrelevanten Datenbanken ermöglicht.
- Im September 2002 wurde den beteiligten Fachexperten aus dem UBA ein direkter Zugang zum ZSE über das UBA-Netzwerk ermöglicht
- Seit November 2002 werden jährlich Schulungen für die betroffenen UBA-Mitarbeiter zur Handhabung des ZSE durchgeführt.
- Seit 2005 erfolgt die Erfassung qualitativer und quantitativer Angaben über die Datenunsicherheit im ZSE.
- Seit 2006 erfolgt die Erfüllung der Berichtsverpflichtungen unter der Genfer Luftreinhaltekonvention und von EU-Regelungen (z. B. der NEC-Richtlinie) über das ZSE.
- Über einen Fernzugriff können seit 2008 auch UBA-externe Datenlieferanten und Experten sowie Projektpartner interaktiv mit dem ZSE arbeiten.

22.2 Ergänzenden Informationen wie nach Artikel 7, Absatz 1 des Kyoto-Protokolls gefordert

22.2.1 KP-LULUCF

Die CRF-Tabellen werden separat berichtet.

22.2.2 Standard Electronic Format (SEF) Tabellen

22.2.2.1 Standard Electronic Format for the reported year 2020 (Commitment Period 2)

Report type	RREG1
Registry	DE
Reported year	2020
Submission year	2021
CP	2
Version	1
Status	FINAL
Validity	VALID

Party	Germany
Submission year	2021
Reported year	2020
Commitment period	2

Table 1. Total quantities of Kyoto Protocol units by account type at beginning of reported year

	Account type	Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs
1	Party holding accounts	NO	NO	NO	2.849.400	NO	NO
2	Entity holding accounts	NO	30.612	NO	3.525.829	NO	NO
3	Retirement account	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4	Previous period surplus reserve account	NO					
5	Article 3.3/3.4 net source cancellation accounts	NO	NO	NO	NO		
6	Non-compliance cancellation account	NO	NO	NO	NO		
7	Voluntary cancellation account	NO	NO	NO	6.044.122	NO	NO
8	Cancellation account for remaining units after carry-over	NO	NO	NO	NO	NO	NO
9	Article 3.1 ter and quater ambition increase cancellation account	NO					
10	Article 3.7 ter cancellation account	NO					
11	tCER cancellation account for expiry					NO	
12	ICER cancellation account for expiry						NO
13	ICER cancellation account for reversal of storage						NO
14	ICER cancellation account for non-submission of certification report						NO
15	tCER replacement account for expiry	NO	NO	NO	NO	NO	
16	ICER replacement account for expiry	NO	NO	NO	NO		
17	ICER replacement account for reversal of storage	NO	NO	NO	NO		NO
18	ICER replacement account for non-submission of certification report	NO	NO	NO	NO		NO
	Total	NO	30.612	NO	12.419.351	NO	NO

Party Germany
 Submission year 2021
 Reported year 2020
 Commitment period 2

Table 2 (a). Annual internal transactions

Transaction type		Additions						Subtractions						
		Unit type						Unit type						
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs	
Article 6 issuance and conversion														
1	Party-verified projects		NO					NO		NO				
2	Independently verified projects		NO					NO		NO				
Article 3.3 and 3.4 issuance or cancellation														
3	3.3 Afforestation and reforestation			NO				NO	NO	NO	NO			
4	3.3 Deforestation			NO				NO	NO	NO	NO			
5	3.4 Forest management			NO				NO	NO	NO	NO			
6	3.4 Cropland management			NO				NO	NO	NO	NO			
7	3.4 Grazing land management			NO				NO	NO	NO	NO			
8	3.4 Revegetation			NO				NO	NO	NO	NO			
9	3.4 Wetlands drainage and management			NO				NO	NO	NO	NO			
Article 12 afforestation and reforestation														
10	Replacement of expired tCERs							NO	NO	NO	NO	NO		
11	Replacement of expired ICERs							NO	NO	NO	NO			
12	Replacement for reversal of storage							NO	NO	NO	NO			NO
13	Cancellation for reversal of storage													NO
14	Replacement for non-submission of certification report							NO	NO	NO	NO			NO
15	Cancellation for non-submission of certification report													NO
Other cancellation														
16	Voluntary cancellation							NO	NO	NO	3.027.031		NO	NO
17	Article 3.1 ter and quater ambition increase cancellation							NO						
Sub-total			NO	NO				NO	NO	NO	3.027.031		NO	NO

Transaction type		Retirement					
		Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs
1	Retirement	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2	Retirement from PPSR	NO					
Total		NO	NO	NO	NO	NO	NO

Party Germany
 Submission year 2021
 Reported year 2020
 Commitment period 2

Table 2 (b). Total annual external transactions

		Additions						Subtractions					
		Unit type						Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs
Total transfers and acquisitions													
1	AU	NO	NO	NO	10.000	NO	NO	NO	NO	NO	1.126.643	NO	NO
2	CDM	NO	NO	NO	12.843.510	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3	CH	NO	NO	NO	1.586.822	NO	NO	NO	NO	NO	1.716.638	NO	NO
4	EU	NO	NO	NO	352.177	NO	NO	NO	NO	NO	12.337.359	NO	NO
5	GB	NO	NO	NO	3.108.414	NO	NO	NO	NO	NO	73.684	NO	NO
6	IT	NO	NO	NO	23.949	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
7	NL	NO	NO	NO	28.214	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8	ES	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	75.460	NO	NO
Sub-total		NO	NO	NO	17.953.086	NO	NO	NO	NO	NO	15.329.784	NO	NO

Table 2 (c). Annual transactions between PPSR accounts

		Additions						Subtractions					
		Unit type						Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs
Transfers and acquisitions between PPSR accounts													
Sub-total		NO						NO					

Table 2 (d). Share of proceeds transactions under decision 1/CMP.8, paragraph 21 - Adaptation fund

		Amount transferred or converted						Amount contributed as SoP to the adaptation fund					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs
1	First international transfers of AAUs	NO						NO					
2	Issuance of ERU from party-verified projects		NO						NO				
3	Issuance of independently verified ERUs		NO						NO				

Table 2 (e). Total annual transactions

1	Total (Sum of sub-totals in table 2a and table 2b)	NO	NO	NO	17.953.086	NO	NO	NO	NO	NO	18.356.815	NO	NO
---	-----------------------------------------------------------	----	----	----	------------	----	----	----	----	----	------------	----	----

Party Germany
 Submission year 2021
 Reported year 2020
 Commitment period 2

Table 3. Annual expiry, cancellation and replacement

Transaction or event type		Requirement to replace or cancel			Replacement						Cancellation					
		Unit type			Unit type						Unit type					
		tCERs	ICERs	CERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs
Temporary CERs																
1	Expired in retirement and replacement accounts	NO			NO	NO	NO	NO	NO							
2	Expired in holding accounts	NO												NO		
Long-term CERs																
3	Expired in retirement and replacement accounts		NO		NO	NO	NO	NO								
4	Expired in holding accounts		NO												NO	
5	Subject to reversal of storage		NO		NO	NO	NO	NO		NO					NO	
6	Subject to non-submission of certification Report		NO		NO	NO	NO	NO		NO					NO	
Carbon Capture and Storage CERs																
7	Subject to net reversal of storage			NO							NO	NO	NO	NO		
8	Subject to non-submission of certification report			NO							NO	NO	NO	NO		
Total		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	

Party Germany
 Submission year 2021
 Reported year 2020
 Commitment period 2

Table 4. Total quantities of Kyoto Protocol units by account type at end of reported year

	Account type	Unit type					
		AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs
1	Party holding accounts	NO	NO	NO	4.269.200	NO	NO
2	Entity holding accounts	NO	30.612	NO	1.702.300	NO	NO
3	Retirement account	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4	Previous period surplus reserve account	NO					
5	Article 3.3/3.4 net source cancellation accounts	NO	NO	NO	NO		
6	Non-compliance cancellation account	NO	NO	NO	NO		
7	Voluntary cancellation account	NO	NO	NO	9.071.153	NO	NO
8	Cancellation account for remaining units after carry-over	NO	NO	NO	NO	NO	NO
9	Article 3.1 ter and quater ambition increase cancellation account	NO					
10	Article 3.7 ter cancellation account	NO					
11	tCER cancellation account for expiry					NO	
12	ICER cancellation account for expiry						NO
13	ICER cancellation account for reversal of storage						NO
14	ICER cancellation account for non-submission of certification report						NO
15	tCER replacement account for expiry	NO	NO	NO	NO	NO	
16	ICER replacement account for expiry	NO	NO	NO	NO		
17	ICER replacement account for reversal of storage	NO	NO	NO	NO		NO
18	ICER replacement account for non-submission of certification report	NO	NO	NO	NO		NO
	Total	NO	30.612	NO	15.042.653	NO	NO

Party Germany
 Submission year 2021
 Reported year 2020
 Commitment period 2

Table 5 (a). Summary information on additions and subtractions

	Additions						Subtractions					
	Unit type						Unit type					
	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	ICERs	ICERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	ICERs	ICERs
1 Assigned amount units issued	NO						NO					
2 Article 3 paragraph 7 ter cancellations							NO					
3 Cancellation following increase in ambition							NO					
4 Cancellation of remaining units after carry over							NO	NO	NO	NO	NO	NO
5 Non-compliance cancellation							NO	NO	NO	NO	NO	NO
6 Carry-over		NO			NO			NO		NO		
7 Carry-over to PPSR	NO						NO					
Total	NO	NO			NO		NO	NO	NO	NO	NO	NO

Table 5 (b). Summary information on annual transactions

	Additions						Subtractions					
	Unit type						Unit type					
	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	ICERs	ICERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	ICERs	ICERs
1 Year 1 (2013)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2 Year 2 (2014)	NO	NO	NO	1.761.325	NO	NO	NO	NO	NO	NO	151.074	NO
3 Year 3 (2015)	NO	NO	NO	4.556.137	NO	NO	NO	NO	NO	NO	5.639.465	NO
4 Year 4 (2016)	NO	NO	NO	2.367.730	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2.351.699	NO
5 Year 5 (2017)	NO	28.999	NO	3.763.731	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2.737.210	NO
6 Year 6 (2018)	NO	1	NO	7.368.752	NO	NO	NO	NO	NO	NO	4.784.889	NO
7 Year 7 (2019)	NO	1.612	NO	12.538.235	NO	NO	NO	NO	NO	NO	10.315.344	NO
8 Year 8 (2020)	NO	NO	NO	17.953.086	NO	NO	NO	NO	NO	NO	18.356.815	NO
9 Year 2021	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
10 Year 2022	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
11 Year 2023	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	NO	30.612	NO	50.308.996	NO	NO	NO	NO	NO	NO	44.337.496	NO

Table 5 (c). Summary information on annual transactions between PPSR accounts

	Additions						Subtractions					
	Unit type						Unit type					
	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	ICERs	ICERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	ICERs	ICERs
1 Year 1 (2013)	NO						NO					
2 Year 2 (2014)	NO						NO					
3 Year 3 (2015)	NO						NO					
4 Year 4 (2016)	NO						NO					
5 Year 5 (2017)	NO						NO					
6 Year 6 (2018)	NO						NO					
7 Year 7 (2019)	NO						NO					
8 Year 8 (2020)	NO						NO					
9 Year 2021	NO						NO					
10 Year 2022	NO						NO					
11 Year 2023	NO						NO					
Total	NO						NO					

Table 5 (d). Summary information on expiry, cancellation and replacement

	Requirement to replace or cancel			Replacement						Cancellation					
	Unit type			Unit type						Unit type					
	ICERs	ICERs	CERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	ICERs	ICERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	ICERs	ICERs
1 Year 1 (2013)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2 Year 2 (2014)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3 Year 3 (2015)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4 Year 4 (2016)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5 Year 5 (2017)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6 Year 6 (2018)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
7 Year 7 (2019)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8 Year 8 (2020)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
9 Year 2021	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
10 Year 2022	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
11 Year 2023	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Table 5 (e). Summary information on retirement

Year	Retirement					
	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	ICERs	ICERs
1 Year 1 (2013)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2 Year 2 (2014)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3 Year 3 (2015)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4 Year 4 (2016)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
5 Year 5 (2017)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6 Year 6 (2018)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
7 Year 7 (2019)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
8 Year 8 (2020)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
9 Year 2021	NO	NO	NO	NO	NO	NO
10 Year 2022	NO	NO	NO	NO	NO	NO
11 Year 2023	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Party Germany
 Submission year 2021
 Reported year 2020
 Commitment period 2

Table 6 (a). Memo item: Corrective transactions relating to additions and subtractions

	Additions						Subtractions					
	Unit type						Unit type					
	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs

Table 6 (b). Memo item: Corrective transactions relating to replacement

	Requirement for replacement		Replacement					
	Unit type		Unit type					
	tCERs	ICERs	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs

Table 6 (c). Memo item: Corrective transactions relating to retirement

	Retirement					
	Unit type					
	AAUs	ERUs	RMUs	CERs	tCERs	ICERs

22.2.2.2 Discrepant transactions

No discrepant transactions occurred in 2020.

22.2.3 Detailliertere Informationen über das nationale System und Änderungen im nationalen System

Alle Informationen wurden in den vorangegangenen Kapiteln gegeben.

22.2.4 Weitere detaillierte Informationen zu den Nationalen Registern und der Buchführung der Kyoto-Einheiten

The required documents are confidential and accessible for assessors only.

22.3 Zusatzinformationen zu den Trends der Treibhausgase

Hier finden sie die detaillierten Tabellen zur Trenddiskussion der Kapitel 0.2 und 2.

Tabelle 592: Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie

THG Emissionen/Senken, CO ₂ -äquivalent (kt)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
CO ₂ -Emissionen (ohne LULUCF)	1.052.477	1.014.225	965.893	956.132	939.815	938.968	959.151	931.324	923.357	895.874	899.852	916.649	899.971	901.152	887.089
Net CO ₂ emissions/removals	1.074.783	984.792	929.709	920.389	911.270	902.697	928.519	900.389	891.523	862.318	876.761	889.942	900.750	901.526	885.475
CH ₄ (mit LULUCF)	117.807	112.298	108.788	109.547	105.756	103.447	100.907	96.510	91.594	90.694	86.739	83.230	79.300	75.974	71.056
CH ₄ (ohne LULUCF)	119.467	113.955	110.461	111.206	107.413	105.102	102.566	98.165	93.247	92.348	88.394	84.886	80.959	77.642	72.723
N ₂ O(mit LULUCF)	64.897	62.703	64.192	61.072	62.798	61.048	62.638	59.762	47.022	43.282	42.727	44.840	43.813	43.463	45.392
N ₂ O(ohne LULUCF)	65.792	63.621	65.115	61.980	63.701	61.945	63.533	60.652	47.908	44.165	43.608	46.016	45.020	44.703	46.660
F-Gase Summe	13.395	12.835	13.307	16.094	16.496	17.092	16.089	16.284	16.803	15.077	13.293	14.027	14.151	13.548	13.988
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	1.248.577	1.202.061	1.152.180	1.142.845	1.124.865	1.120.555	1.138.786	1.103.881	1.078.776	1.044.927	1.042.612	1.058.745	1.037.235	1.034.138	1.017.526
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	1.273.439	1.175.203	1.118.592	1.109.670	1.098.880	1.086.836	1.110.707	1.075.490	1.049.482	1.013.908	1.022.056	1.034.871	1.040.879	1.037.420	1.018.845

THG Emissionen/Senken, CO ₂ -äquivalent (kt)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ -Emissionen (ohne LULUCF)	866.697	878.320	851.624	854.927	790.295	832.949	809.217	813.985	831.454	792.588	795.610	800.687	785.883	754.112	711.428
Net CO ₂ emissions/removals	863.715	872.405	849.393	841.821	769.986	820.112	797.191	793.061	810.768	768.329	773.018	777.359	762.063	732.417	691.623
CH ₄ (mit LULUCF)	67.889	64.123	62.135	61.053	58.632	57.608	56.513	57.237	56.564	55.395	55.094	53.793	53.168	51.359	49.271
CH ₄ (ohne LULUCF)	69.558	65.885	63.904	62.832	60.420	59.404	58.348	59.078	58.410	57.246	56.953	55.656	55.032	53.325	51.146
N ₂ O(mit LULUCF)	43.760	42.793	45.817	44.568	45.072	37.002	37.117	37.502	37.738	38.599	38.432	38.238	37.607	35.808	35.122
N ₂ O(ohne LULUCF)	45.059	43.993	47.025	45.788	46.304	38.246	38.391	38.810	39.081	39.977	39.850	39.635	39.024	37.251	36.588
F-Gase Summe	14.184	14.118	14.193	14.232	14.690	14.247	14.427	14.618	14.663	14.674	15.126	15.250	15.417	14.611	13.978
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	992.530	999.355	973.769	974.780	908.688	941.805	917.274	923.342	940.420	901.255	904.262	907.968	892.076	855.890	809.799
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	992.515	996.401	974.515	964.672	891.400	932.008	908.357	905.567	922.922	880.226	884.946	887.900	871.536	837.605	793.335

THG Emissionen/Senken, nach Quell- und Senkengruppen, CO ₂ -äquivalent (kt)															
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
1. Energie	1.036.998	999.900	950.944	941.856	919.415	917.794	938.792	907.406	897.773	873.260	870.228	890.651	874.271	869.451	852.646
2. Industrieprozesse	96.833	93.109	93.332	94.517	100.297	98.539	96.590	96.852	83.005	74.929	77.835	74.473	73.086	76.979	78.905
3. Landwirtschaft	76.509	69.439	67.716	66.472	65.950	65.996	66.631	65.805	66.318	66.700	66.078	66.818	64.460	63.801	63.374
4. Landnutzung, -sänderung & Forstwirtschaft	24.862	-26.857	-33.587	-33.176	-25.985	-33.719	-28.079	-28.391	-29.294	-31.019	-20.556	-23.874	3.645	3.282	1.320
CO ₂	22.307	-29.433	-36.184	-35.743	-28.545	-36.271	-30.632	-30.936	-31.833	-33.556	-23.091	-26.707	779	374	-1.614
N ₂ O & CH ₄	2.555	2.575	2.596	2.567	2.560	2.552	2.553	2.544	2.540	2.537	2.535	2.833	2.866	2.908	2.934
5. Abfall	38.235	39.613	40.188	40.000	39.204	38.226	36.772	33.818	31.680	30.038	28.471	26.803	25.418	23.907	22.601

THG Emissionen/Senken, nach Quell- und Senkengruppen, CO ₂ -äquivalent (kt)															
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1. Energie	832.308	842.089	816.005	821.591	763.670	801.528	777.704	784.607	801.910	761.932	766.896	769.782	751.229	720.536	677.361
2. Industrieprozesse	75.654	75.818	76.974	73.247	65.801	62.599	62.530	61.622	61.387	61.259	60.289	62.144	66.115	63.254	61.356
3. Landwirtschaft	63.319	62.040	62.691	63.076	63.572	63.162	63.305	64.148	64.915	66.448	66.075	65.582	64.685	62.487	61.839
4. Landnutzung, -sänderung & Forstwirtschaft	-14	-2.954	746	-10.108	-17.288	-9.797	-8.916	-17.775	-17.497	-21.029	-19.316	-20.068	-20.539	-18.286	-16.464
CO ₂	-2.983	-5.915	-2.231	-13.107	-20.308	-12.838	-12.026	-20.924	-20.686	-24.259	-22.592	-23.328	-23.819	-21.694	-19.805
N ₂ O & CH ₄	2.968	2.961	2.978	2.998	3.020	3.040	3.110	3.149	3.189	3.230	3.276	3.260	3.280	3.408	3.341
5. Abfall	21.248	19.407	18.098	16.866	15.644	14.516	13.735	12.965	12.208	11.616	11.002	10.460	10.046	9.613	9.243

Tabelle 593: Anteile an der Emissionsentwicklung in Deutschland, nach Treibhausgas und Kategorie

THG Emissionen																														
/Senken, Anteile	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Treibhausgase* (%)																														
CO ₂ -Emissionen*	84,29	84,37	83,83	83,66	83,55	83,79	84,23	84,37	85,59	85,74	86,31	86,58	86,77	87,14	87,18	87,32	87,89	87,46	87,70	86,97	88,44	88,22	88,16	88,41	87,94	87,98	88,18	88,10	88,11	87,85
CH ₄ *	9,44	9,34	9,44	9,59	9,40	9,23	8,86	8,74	8,49	8,68	8,32	7,86	7,65	7,35	6,98	6,84	6,42	6,38	6,26	6,45	6,12	6,16	6,20	6,01	6,15	6,09	5,92	5,96	6,00	6,08
N ₂ O*	5,20	5,22	5,57	5,34	5,58	5,45	5,50	5,41	4,36	4,14	4,10	4,24	4,22	4,20	4,46	4,41	4,28	4,71	4,57	4,96	3,93	4,05	4,06	4,01	4,28	4,25	4,21	4,22	4,18	4,34
F-Gase Summe	1,07	1,07	1,15	1,41	1,47	1,53	1,41	1,48	1,56	1,44	1,28	1,32	1,36	1,31	1,37	1,43	1,41	1,46	1,46	1,62	1,51	1,57	1,58	1,56	1,63	1,67	1,68	1,73	1,71	1,73
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

THG Emissionen																														
/Senken, Anteile	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Kategorien* (%)																														
1. Energie	83,05	83,18	82,53	82,41	81,74	81,91	82,44	82,20	83,22	83,57	83,47	84,12	84,29	84,07	83,80	83,86	84,26	83,80	84,28	84,04	85,11	84,78	84,97	85,27	84,54	84,81	84,78	84,21	84,19	83,65
2. Industrieprozesse	7,76	7,75	8,10	8,27	8,92	8,79	8,48	8,77	7,69	7,17	7,47	7,03	7,05	7,44	7,75	7,62	7,59	7,90	7,51	7,24	6,65	6,82	6,67	6,53	6,80	6,67	6,84	7,41	7,39	7,58
4. Landwirtschaft	6,13	5,78	5,88	5,82	5,86	5,89	5,85	5,96	6,15	6,38	6,34	6,31	6,21	6,17	6,23	6,38	6,21	6,44	6,47	7,00	6,71	6,90	6,95	6,90	7,37	7,31	7,22	7,25	7,30	7,64
5. Abfall	3,06	3,30	3,49	3,50	3,49	3,41	3,23	3,06	2,94	2,87	2,73	2,53	2,45	2,31	2,22	2,14	1,94	1,86	1,73	1,72	1,54	1,50	1,40	1,30	1,29	1,22	1,15	1,13	1,12	1,14
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

* ohne Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung & Forstwirtschaft (LULUCF)

Tabelle 594: Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen und SO₂ in Deutschland seit 1990

Emissionsentwicklung (kt)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
CO ₂ -Emissionen (ohne LULUCF)	1.052.477	1.014.225	965.893	956.132	939.815	938.968	959.151	931.324	923.357	895.874	899.852	916.649	899.971	901.152	887.089
Netto-CO ₂ -Emissionen/ -Einbindungen	1.074.783	984.792	929.709	920.389	911.270	902.697	928.519	900.389	891.523	862.318	876.761	889.942	900.750	901.526	885.475
CH ₄ (ohne LULUCF)	4.712	4.492	4.352	4.382	4.230	4.138	4.036	3.860	3.664	3.628	3.470	3.329	3.172	3.039	2.842
CH ₄ (mit LULUCF)	4.779	4.558	4.418	4.448	4.297	4.204	4.103	3.927	3.730	3.694	3.536	3.395	3.238	3.106	2.909
N ₂ O(ohne LULUCF)	218	210	215	205	211	205	210	201	158	145	143	150	147	146	152
N ₂ O(mit LULUCF)	221	213	219	208	214	208	213	204	161	148	146	154	151	150	157
F-Gase Summe (CO ₂ -äquivalent)	13.395	12.835	13.307	16.094	16.496	17.092	16.089	16.284	16.803	15.077	13.293	14.027	14.151	13.548	13.988
NO _x	2.854	2.630	2.483	2.382	2.255	2.198	2.116	2.043	2.016	1.982	1.907	1.850	1.788	1.742	1.694
SO ₂	5.475	3.976	3.247	2.911	2.425	1.752	1.484	1.234	987	807	651	630	567	539	498
NMVOG	3.891	3.380	3.066	2.883	2.468	2.341	2.243	2.188	2.131	1.969	1.804	1.709	1.618	1.537	1.533
CO	13.204	10.944	9.461	8.570	7.581	7.181	6.621	6.386	5.868	5.461	5.147	4.949	4.647	4.397	4.148
Emissionsentwicklung (kt)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ -Emissionen (ohne LULUCF)	866.697	878.320	851.624	854.927	790.295	832.949	809.217	813.985	831.454	792.588	795.610	800.687	785.883	754.112	711.428
Netto-CO ₂ -Emissionen/ -Einbindungen	863.715	872.405	849.393	841.821	769.986	820.112	797.191	793.061	810.768	768.329	773.018	777.359	762.063	732.417	691.623
CH ₄ (ohne LULUCF)	2.716	2.565	2.485	2.442	2.345	2.304	2.261	2.289	2.263	2.216	2.204	2.152	2.127	2.054	1.971
CH ₄ (mit LULUCF)	2.782	2.635	2.556	2.513	2.417	2.376	2.334	2.363	2.336	2.290	2.278	2.226	2.201	2.133	2.046
N ₂ O(ohne LULUCF)	147	144	154	150	151	124	125	126	127	130	129	128	126	120	118
N ₂ O(mit LULUCF)	151	148	158	154	155	128	129	130	131	134	134	133	131	125	123
F-Gase Summe (CO ₂ -äquivalent)	14.184	14.118	14.193	14.232	14.690	14.247	14.427	14.618	14.663	14.674	15.126	15.250	15.417	14.611	13.978
NO _x	1.642	1.652	1.608	1.545	1.455	1.470	1.444	1.435	1.434	1.389	1.362	1.338	1.289	1.207	1.133
SO ₂	477	476	459	454	396	405	389	372	360	339	336	311	303	292	263
NMVOG	1.486	1.483	1.421	1.359	1.245	1.361	1.273	1.257	1.212	1.174	1.147	1.142	1.147	1.125	1.121
CO	3.921	3.903	3.865	3.856	3.298	3.621	3.555	3.295	3.255	3.091	3.194	3.061	3.082	2.957	2.881

Tabelle 595: Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO₂ in Deutschland seit 1990/1995

Emissionsentwicklung		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Trend gegenüber 1990/1995 (%)																
CO ₂ -Emissionen (ohne LULUCF)			-3,6	-8,2	-9,2	-10,7	-10,8	-8,9	-11,5	-12,3	-14,9	-14,5	-12,9	-14,5	-14,4	-15,7
Netto-CO ₂ -Emissionen/ -Einbindungen			-8,4	-13,5	-14,4	-15,2	-16,0	-13,6	-16,2	-17,1	-19,8	-18,4	-17,2	-16,2	-16,1	-17,6
CH ₄ (ohne LULUCF)			-4,7	-7,7	-7,0	-10,2	-12,2	-14,3	-18,1	-22,3	-23,0	-26,4	-29,4	-32,7	-35,5	-39,7
N ₂ O(ohne LULUCF)			-3,4	-1,1	-5,9	-3,2	-5,9	-3,5	-7,9	-27,5	-33,3	-34,2	-30,9	-32,5	-33,0	-30,1
F-Gase Summe								-5,9	-4,7	-1,7	-11,8	-22,2	-17,9	-17,2	-20,7	-18,2
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF			-3,7	-7,7	-8,5	-9,9	-10,3	-8,8	-11,6	-13,6	-16,3	-16,5	-15,2	-16,9	-17,2	-18,5
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF			-7,7	-12,2	-12,9	-13,7	-14,7	-12,8	-15,5	-17,6	-20,4	-19,7	-18,7	-18,3	-18,5	-20,0
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF, ggü. Basisjahr*			-4,0	-8,0	-8,7	-10,2	-10,5	-9,1	-11,8	-13,9	-16,6	-16,7	-15,5	-17,2	-17,4	-18,7
NO _x			-7,8	-13,0	-16,5	-21,0	-23,0	-25,9	-28,4	-29,3	-30,5	-33,2	-35,2	-37,3	-39,0	-40,6
SO ₂			-27,4	-40,7	-46,8	-55,7	-68,0	-72,9	-77,5	-82,0	-85,3	-88,1	-88,5	-89,7	-90,2	-90,9
NMVOG			-13,1	-21,2	-25,9	-36,6	-39,9	-42,4	-43,8	-45,2	-49,4	-53,6	-56,1	-58,4	-60,5	-60,6
CO			-17,1	-28,3	-35,1	-42,6	-45,6	-49,9	-51,6	-55,6	-58,6	-61,0	-62,5	-64,8	-66,7	-68,6
Emissionsentwicklung		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Trend gegenüber 1990/1995 (%)																
CO ₂ -Emissionen (ohne LULUCF)		-17,7	-16,5	-19,1	-18,8	-24,9	-20,9	-23,1	-22,7	-21,0	-24,7	-24,4	-23,9	-25,3	-28,3	-32,4
Netto-CO ₂ -Emissionen/ -Einbindungen		-19,6	-18,8	-21,0	-21,7	-28,4	-23,7	-25,8	-26,2	-24,6	-28,5	-28,1	-27,7	-29,1	-31,9	-35,7
CH ₄ (ohne LULUCF)		-42,4	-45,6	-47,3	-48,2	-50,2	-51,1	-52,0	-51,4	-52,0	-53,0	-53,2	-54,3	-54,9	-56,4	-58,2
N ₂ O(ohne LULUCF)		-32,6	-34,1	-29,4	-31,3	-30,5	-43,0	-42,8	-42,2	-41,8	-40,5	-40,8	-41,1	-42,1	-44,8	-45,9
F-Gase Summe		-17,0	-17,4	-17,0	-16,7	-14,1	-16,6	-15,6	-14,5	-14,2	-14,1	-11,5	-10,8	-9,8	-14,5	-18,2
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF		-20,5	-20,0	-22,0	-21,9	-27,2	-24,6	-26,5	-26,0	-24,7	-27,8	-27,6	-27,3	-28,6	-31,5	-35,1
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF		-22,1	-21,8	-23,5	-24,2	-30,0	-26,8	-28,7	-28,9	-27,5	-30,9	-30,5	-30,3	-31,6	-34,2	-37,7
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF, ggü. Basisjahr*		-20,7	-20,2	-22,2	-22,2	-27,4	-24,8	-26,8	-26,3	-24,9	-28,0	-27,8	-27,5	-28,8	-31,7	-35,3
NO _x		-42,4	-42,1	-43,7	-45,9	-49,0	-48,5	-49,4	-49,7	-49,7	-51,3	-52,3	-53,1	-54,8	-57,7	-60,3
SO ₂		-91,3	-91,3	-91,6	-91,7	-92,8	-92,6	-92,9	-93,2	-93,4	-93,8	-93,9	-94,3	-94,5	-94,7	-95,2
NMVOG		-61,8	-61,9	-63,5	-65,1	-68,0	-65,0	-67,3	-67,7	-68,8	-69,8	-70,5	-70,7	-70,5	-71,1	-71,2
CO		-70,3	-70,4	-70,7	-70,8	-75,0	-72,6	-73,1	-75,0	-75,3	-76,6	-75,8	-76,8	-76,7	-77,6	-78,2

* Basisjahr für CO₂, CH₄ & N₂O ist das Jahr 1990, für HFC, PFC, SF₆ & NF₃ das Jahr 1995

Tabelle 596: Veränderungen der Emissionen direkter und indirekter Treibhausgase und SO₂ in Deutschland, seit dem jeweils letzten Jahr

Emissionsentwicklung	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Trend gegenüber dem jeweils letzten Jahr (%)															
CO ₂ -Emissionen (ohne LULUCF)		-3,6	-4,8	-1,0	-1,7	-0,1	+2,1	-2,9	-0,9	-3,0	+0,4	+1,9	-1,8	+0,1	-1,6
Netto-CO ₂ -Emissionen/ -Einbindungen		-8,4	-5,6	-1,0	-1,0	-0,9	+2,9	-3,0	-1,0	-3,3	+1,7	+1,5	+1,2	+0,1	-1,8
CH ₄ (ohne LULUCF)		-4,7	-3,1	+0,7	-3,5	-2,2	-2,5	-4,4	-5,1	-1,0	-4,4	-4,0	-4,7	-4,2	-6,5
N ₂ O(ohne LULUCF)		-3,4	+2,4	-4,9	+2,8	-2,8	+2,6	-4,6	-21,3	-8,0	-1,3	+4,9	-2,3	-0,8	+4,4
F-Gase Summe							-5,9	+1,2	+3,2	-10,3	-11,8	+5,5	+0,9	-4,3	+3,2
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF		-3,7	-4,1	-0,8	-1,6	-0,4	+1,6	-3,1	-2,3	-3,1	-0,2	+1,5	-2,0	-0,3	-1,6
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF		-7,7	-4,8	-0,8	-1,0	-1,1	+2,2	-3,2	-2,4	-3,4	+0,8	+1,3	+0,6	-0,3	-1,8
NO _x		-7,8	-5,6	-4,1	-5,3	-2,5	-3,8	-3,5	-1,3	-1,7	-3,8	-3,0	-3,3	-2,6	-2,8
SO ₂		-27,4	-18,3	-10,3	-16,7	-27,8	-15,3	-16,9	-20,0	-18,3	-19,3	-3,3	-10,0	-4,8	-7,7
NM VOC		-13,1	-9,3	-6,0	-14,4	-5,2	-4,2	-2,4	-2,6	-7,6	-8,4	-5,3	-5,4	-5,0	-0,2
CO		-17,1	-13,5	-9,4	-11,5	-5,3	-7,8	-3,5	-8,1	-6,9	-5,7	-3,9	-6,1	-5,4	-5,7
Emissionsentwicklung	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Trend gegenüber dem jeweils letzten Jahr (%)															
CO ₂ -Emissionen (ohne LULUCF)	-2,3	+1,3	-3,0	+0,4	-7,6	+5,4	-2,8	+0,6	+2,1	-4,7	+0,4	+0,6	-1,8	-4,0	-5,7
Netto-CO ₂ -Emissionen/ -Einbindungen	-2,5	+1,0	-2,6	-0,9	-8,5	+6,5	-2,8	-0,5	+2,2	-5,2	+0,6	+0,6	-2,0	-3,9	-5,6
CH ₄ (ohne LULUCF)	-4,5	-5,5	-3,1	-1,7	-4,0	-1,7	-1,9	+1,3	-1,2	-2,1	-0,5	-2,4	-1,2	-3,4	-4,1
N ₂ O(ohne LULUCF)	-3,6	-2,2	+7,1	-2,7	+1,1	-17,9	+0,3	+1,0	+0,6	+2,3	-0,4	-0,5	-1,6	-4,8	-1,9
F-Gase Summe	+1,4	-0,5	+0,5	+0,3	+3,2	-3,0	+1,3	+1,3	+0,3	+0,1	+3,1	+0,8	+1,1	-5,2	-4,3
Gesamt-Emissionen ohne LULUCF	-2,5	+0,7	-2,6	+0,1	-6,8	+3,6	-2,6	+0,7	+1,8	-4,2	+0,3	+0,4	-1,8	-4,1	-5,4
Gesamt-Emissionen / -Einbindungen inkl. LULUCF	-2,6	+0,4	-2,2	-1,0	-7,6	+4,6	-2,5	-0,3	+1,9	-4,6	+0,5	+0,3	-1,8	-3,9	-5,3
NO _x	-3,0	+0,6	-2,7	-3,9	-5,8	+1,1	-1,8	-0,6	-0,0	-3,1	-2,0	-1,7	-3,7	-6,4	-6,1
SO ₂	-4,0	-0,3	-3,5	-1,1	-12,8	+2,4	-4,0	-4,5	-3,1	-5,9	-1,0	-7,3	-2,8	-3,7	-9,5
NM VOC	-3,1	-0,2	-4,2	-4,4	-8,4	+9,4	-6,5	-1,2	-3,5	-3,2	-2,3	-0,5	+0,5	-1,9	-0,3
CO	-5,5	-0,4	-1,0	-0,2	-14,5	+9,8	-1,8	-7,3	-1,2	-5,0	+3,3	-4,2	+0,7	-4,1	-2,6

Tabelle 597: Veränderungen der Emissionen in Deutschland nach Kategorien, seit 1990 / seit dem jeweils letzten Jahr

Emissionsentwicklung gegenüber 1990, Veränderung in %																														
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1. Energie		-3,6%	-8,3%	-9,2%	-11,3%	-11,5%	-9,5%	-12,5%	-13,4%	-15,8%	-16,1%	-14,1%	-15,7%	-16,2%	-17,8%	-19,7%	-18,8%	-21,3%	-20,8%	-26,4%	-22,7%	-25,0%	-24,3%	-22,7%	-26,5%	-26,0%	-25,8%	-27,6%	-30,5%	-34,7%
2. Industrieprozesse		-3,8%	-3,6%	-2,4%	3,6%	1,8%	-0,3%	0,0%	-14,3%	-22,6%	-19,6%	-23,1%	-24,5%	-20,5%	-18,5%	-21,9%	-21,7%	-20,5%	-24,4%	-32,0%	-35,4%	-35,4%	-36,4%	-36,6%	-36,7%	-37,7%	-35,8%	-31,7%	-34,7%	-36,6%
3. Landwirtschaft		-9,2%	-11,5%	-13,1%	-13,8%	-13,7%	-12,9%	-14,0%	-13,3%	-12,8%	-13,6%	-12,7%	-15,7%	-16,6%	-17,2%	-17,2%	-18,9%	-18,1%	-17,6%	-16,9%	-17,4%	-17,3%	-16,2%	-15,2%	-13,2%	-13,6%	-14,3%	-15,5%	-18,3%	-19,2%
5. Abfall		3,6%	5,1%	4,6%	2,5%	0,0%	-3,8%	-11,6%	-17,1%	-21,4%	-25,5%	-29,9%	-33,5%	-37,5%	-40,9%	-44,4%	-49,2%	-52,7%	-55,9%	-59,1%	-62,0%	-64,1%	-66,1%	-68,1%	-69,6%	-71,2%	-72,6%	-73,7%	-74,9%	-75,8%
Emissionsentwicklung gegenüber dem jeweils letzten Jahr, Veränderung in %																														
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1. Energie		-3,6%	-4,9%	-1,0%	-2,4%	-0,2%	2,3%	-3,3%	-1,1%	-2,7%	-0,3%	2,3%	-1,8%	-0,6%	-1,9%	-2,4%	1,2%	-3,1%	0,7%	-7,0%	5,0%	-3,0%	0,9%	2,2%	-5,0%	0,7%	0,4%	-2,4%	-4,1%	-6,0%
2. Industrieprozesse		-3,8%	0,2%	1,3%	6,1%	-1,8%	-2,0%	0,3%	-14,3%	-9,7%	3,9%	-4,3%	-1,9%	5,3%	2,5%	-4,1%	0,2%	1,5%	-4,8%	-10,2%	-4,9%	-0,1%	-1,5%	-0,4%	-0,2%	-1,6%	3,1%	6,4%	-4,3%	-3,0%
3. Landwirtschaft		-9,2%	-2,5%	-1,8%	-0,8%	0,1%	1,0%	-1,2%	0,8%	0,6%	-0,9%	1,1%	-3,5%	-1,0%	-0,7%	-0,1%	-2,0%	1,0%	0,6%	0,8%	-0,6%	0,2%	1,3%	1,2%	2,4%	-0,6%	-0,7%	-1,4%	-3,4%	-1,0%
5. Abfall		3,6%	1,5%	-0,5%	-2,0%	-2,5%	-3,8%	-8,0%	-6,3%	-5,2%	-5,2%	-5,9%	-5,2%	-5,9%	-5,5%	-6,0%	-8,7%	-6,7%	-6,8%	-7,2%	-7,2%	-5,4%	-5,6%	-5,8%	-4,9%	-5,3%	-4,9%	-4,0%	-4,3%	-3,9%

22.4 Rückrechnungen: detaillierte Betrachtung auf Grundlage von CRF Table 8

Die folgenden Tabellen geben einen numerischen Überblick über die revidierten Emissionsangaben für die Jahre 1990 und 2018 gemäß CRF-Tabellen 8s1 bis 8s4 der aktuellen CRF-Submission. Die Erläuterungen zu den abgebildeten Rekalkulationen entnehmen Sie bitte Kapitel 10.1 dieses Berichtes sowie den jeweiligen kategoriespezifischen Kapiteln.

22.4.1 Überblick für das Berichtsjahr 1990

Tabelle 598: revidierte Kohlendioxid-Emissionen 1990

	Submission 2020	Submission 2021 [kt]	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	1.021.884,3	1.074.783,4	52.899,1	5,18	4,238	4,155
1. Energie	989.470,2	989.590,1	119,9	0,01	0,010	0,009
A. Verbrennung von Energieträgern	985.629,8	985.749,6	119,9	0,01	0,010	0,009
1. Energieerzeugung	423.905,8	423.905,8	0,0	0,00	0,000	0,000
2. Verarbeitendes Gewerbe	185.107,6	185.165,0	57,4	0,03	0,005	0,005
3. Verkehr	161.807,2	161.927,1	119,9	0,07	0,010	0,009
4. Übrige Sektoren	203.011,7	202.954,3	-57,4	-0,03	-0,005	-0,005
5. Sonstige	11.797,5	11.797,5	0,0	0,00	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	3.840,5	3.840,5	0,0	0,00	0,000	0,000
1. Festbrennstoffe	1.832,8	1.832,8	0,0	0,00	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	2.007,7	2.007,7	0,0	0,00	0,000	0,000
C. Transport und Lagerung von CO ₂	NO	NO				
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	59.694,7	59.694,7	0,0	0,00	0,0000	0,0000
A. Mineralische Industrie	23.522,4	23.522,4	0,0	0,00	0,000	0,000
B. Chemische Industrie	8.109,4	8.109,4	0,0	0,00	0,000	0,000
C. Metallherstellung	25.079,9	25.079,9	0,0	0,00	0,000	0,000
D. nichtenerg. Brennstoffnutz. & Lösemittelleinsatz	2.983,1	2.983,1	0,0	0,00	0,000	0,000
3. Landwirtschaft	3.183,6	3.192,0	8,4	0,26	0,000	0,000
4. Landnutzung, Landnutzungsänd., Forstw.	-30.464,2	22.306,6	52.770,8	-173,22		4,145
A. Forste / Wälder	-71.305,1	-22.066,0	49.239,2	-69,05		3,867
B. Ackerland	12.514,2	13.511,1	996,9	7,97		0,078
C. Grasland	23.546,6	26.094,4	2.547,8	10,82		0,200
D. Feuchtgebiete	3.525,8	3.668,3	142,5	4,04		0,011
E. Siedlungen	2.584,6	2.429,1	-155,6	-6,02		-0,012
5. Abfall & Abwasser	NO,NE,NA	NO,NE,NA				
6. Sonstige	NA	NA				
sowie nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	18.458,0	18.326,1	-131,9	-0,72	-0,011	-0,010
Internationaler Flugverkehr	12.052,7	11.920,7	-131,9	-1,10	-0,011	-0,010
Internationaler Seeverkehr	6.405,3	6.405,3	0,0	0,00	0,000	0,000
Multilaterale Operationen	NE	NE				
CO₂ aus Biomasse	22.101,4	22.101,4	0,0	0,00	0,000	0,000
aufgefangenes CO₂	NO	NO				
Langzeit-C-Speicherung in Mülldeponien	NA	NA				
Indirektes CO₂	NE	NO,NE,IE				

Tabelle 599: revidierte Methan-Emissionen 1990

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	122.060,5	119.467,2	-2.593,3	-2,12	-0,208	-0,204
1. Energie	40.523,1	40.426,6	-96,5	-0,24	-0,008	-0,008
A. Verbrennung von Energieträgern	6.669,2	6.572,7	-96,5	-1,45	-0,008	-0,008
1. Energieerzeugung	280,2	280,2	0,0	0,00	0,000	0,000
2. Verarbeitendes Gewerbe	251,6	251,6	0,1	0,03	0,000	0,000
3. Verkehr	1.672,5	1.574,0	-98,6	-5,89	-0,008	-0,008
4. Übrige Sektoren	4.185,5	4.187,5	2,0	0,05	0,000	0,000
5. Sonstige	279,4	279,4	0,0	0,00	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	33.853,9	33.853,9	0,0	0,00	0,000	0,000
1. Festbrennstoffe	25.553,4	25.553,4	0,0	0,00	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	8.300,4	8.300,4	0,0	0,00	0,000	0,000
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	351,5	351,5	0,0	0,00	0,000	0,000
3. Landwirtschaft	43.453,4	40.231,3	-3.222,1	-7,42	-0,258	-0,253
4. Landnutzung, Landnutzungsänd., Forstw.	868,0	1.659,8	791,8	91,22		0,062
A. Forste / Wälder	41,5	39,4	-2,1	-5,07		0,000
B. Ackerland	218,2	146,1	-72,1	-33,03		-0,006
C. Grasland	528,6	1.063,2	534,6	101,12		0,042
D. Feuchtgebiete	33,0	363,1	330,1	1000,11		0,026
E. Siedlungen	46,6	48,0	1,4	2,93		0,000
5. Abfall & Abwasser	36.864,5	36.798,0	-66,5	-0,18	-0,005	-0,005
A. Deponierung von festen Abfällen	34.200,2	34.200,2	0,0	0,00	0,000	0,000
B. Biolog. Behandlung von festen Abfällen	25,3	25,3	0,0	0,00	0,000	0,000
D. Abwasserbehandlung	2.639,0	2.572,5	-66,5	-2,52	-0,005	-0,005
6. Sonstige	NO	NA				
sowie, nur nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	6,0	6,6	0,6	10,06	0,000	0,000
Internationaler Flugverkehr	4,4	5,0	0,6	13,61	0,000	0,000
Internationaler Seeverkehr	1,6	1,6	0,0	0,00	0,000	0,000
Multilaterale Operationen	NE	NE				

Tabelle 600: revidierte Lachgas-Emissionen 1990

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	63.306,5	65.792,5	2.485,9	3,93	0,199	0,195
1. Energie	7.054,6	6.981,8	-72,8	-1,03	-0,006	-0,006
A. Verbrennung von Energieträgern	7.052,3	6.979,5	-72,7	-1,03	-0,006	-0,006
1. Energieerzeugung	3.167,1	3.167,1	0,0	0,00	0,000	0,000
2. Verarbeitendes Gewerbe	1.349,7	1.350,4	0,7	0,05	0,000	0,000
3. Verkehr	1.498,4	1.423,1	-75,3	-5,03	-0,006	-0,006
4. Übrige Sektoren	975,8	977,7	1,9	0,19	0,000	0,000
5. Sonstige	61,3	61,3	0,0	0,00	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	2,4	2,3	-0,1	-4,04	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	2,4	2,3	-0,1	-4,04	0,000	0,000
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	21.362,6	23.391,9	2.029,2	9,50	0,163	0,159
B. Chemische Industrie	21.335,1	21.335,1	0,0	0,00	0,000	0,000
C. Metallherstellung	26,5	26,5	0,0	0,00	0,000	0,000
D. nichtenerg. Brennstoffnutz. & Lösemittelinsatz	0,7	0,7	0,0	0,00	0,000	0,000
G. Übrige Produktanwendung	0,3	2.029,5	2.029,2	751.771	0,163	0,159
3. Landwirtschaft	32.668,1	33.086,1	418,0	1,28	0,033	0,033
B. Düngewirtschaft	3.912,9	3.623,0	-289,9	-7,41	-0,023	-0,023
D. Landwirtschaftliche Böden	28.755,1	29.463,0	707,8	2,46	0,057	0,056
J. Übrige	0,1	0,1	0,0	0,00	0,000	0,000
4. Landnutzung, Landnutzungsänd., Forstw.	783,7	895,3	111,6	14,23		0,009
A. Forste / Wälder	298,5	442,6	144,1	48,27		0,011
B. Ackerland	191,0	190,8	-0,2	-0,09		0,000
C. Grasland	42,6	65,0	22,4	52,55		0,002
D. Feuchtgebiete	18,6	34,1	15,5	83,17		0,001
E. Siedlungen	51,9	19,3	-32,7	-62,86		-0,003
H. Sonstige	102,5	73,1	-29,4	-28,69		-0,002

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
5. Abfall & Abwasser	1.437,4	1.437,4	0,0	0,00	0,000	0,000
6. Sonstige	NA	NA				
sowie nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	197,9	196,6	-1,2	-0,62	0,000	0,000
Internationaler Flugverkehr	113,9	112,6	-1,2	-1,07	0,000	0,000
Internationaler Seeverkehr	84,0	84,0	0,0	0,00	0,000	0,000
Multilaterale Operationen	NE	NE				
Indirektes N₂O	NO,IE	NE,IE				

Tabelle 601: revidierte HFC-Emissionen 1990

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
Nationale Gesamtemissionen	50,32	50,32	0,00	0,00	0,00	0,00
2.E.1. Elektronik-Industrie	50,32	50,32	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabelle 602: revidierte PFC-Emissionen 1990

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
Nationale Gesamtemissionen	3.068,79	3.069,55	0,76	0,02	0,0001	0,0001
2.C.3. Aluminiumproduktion	2.888,66	2.888,66	0,00	0,00	0,00	0,00
2.E.1. Elektronik-Industrie	171,58	171,58	0,00	0,00	0,00	0,00
2.E.4. Wärmeüberträger	8,56	9,32	0,76	8,92	0,0001	0,0001

Tabelle 603: revidierte SF₆-Emissionen 1990

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
Nationale Gesamtemissionen	4.428,00	4.428,00	0,00	0,00	0,000	0,000
2.B.9. Produktion von FKW & SF ₆	114,00	114,00	0,00	0,00	0,000	0,000
2.C.4. Magnesiumproduktion	180,12	180,12	0,00	0,00	0,000	0,000
2.E.1. Elektronik-Industrie	84,36	84,36	0,00	0,00	0,000	0,000
2.G.1. Elektrische Betriebsmittel	867,84	867,84	0,00	0,00	0,000	0,000
2.G.2. SF ₆ und FKW aus sonst. Produktverw.	3.181,68	3.181,68	0,00	0,00	0,000	0,000

Tabelle 604: revidierte *Unspecified-Mix*-Emissionen 1990

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
Nationale Gesamtemissionen	5.840,68	5.567,08	-273,60	-4,68	-0,022	-0,021
2.B.9. Produktion von FKW & SF ₆	5.567,08	5.567,08	0,00	0,00	0,00	0,00
2.H. Other	273,60					

Tabelle 605: revidierte NF₃-Emissionen 1990

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
Nationale Gesamtemissionen	6,88	6,88	0,00	0,00	0,000	0,000
2.E.1. Elektronik-Industrie	6,88	6,88	0,00	0,00	0,000	0,000

22.4.2 Überblick für das Berichtsjahr 2018

Tabelle 606: revidierte Kohlendioxid-Emissionen 2018

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	726.047,6	732.417,6	6.370,0	0,88	0,744	0,761
1. Energie	704.108,9	704.196,0	87,1	0,01	0,010	0,010
A. Verbrennung von Energieträgern	702.102,1	702.188,3	86,2	0,01	0,010	0,010
1. Energieerzeugung	290.118,5	294.160,4	4.041,9	1,39	0,472	0,483
2. Verarbeitendes Gewerbe	128.961,3	125.290,3	-3.670,9	-2,85	-0,429	-0,438
3. Verkehr	161.664,1	161.950,8	286,7	0,18	0,033	0,034
4. Übrige Sektoren	120.609,9	120.037,6	-572,3	-0,47	-0,067	-0,068
5. Sonstige	748,3	749,2	0,9	0,12	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	2.006,7	2.007,6	0,9	0,04	0,000	0,000
1. Festbrennstoffe	665,1	665,0	-0,1	-0,01	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	1.341,7	1.342,6	1,0	0,07	0,000	0,000
C. Transport und Lagerung von CO ₂	NO	NO				
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	48.339,7	47.060,3	-1.279,4	-2,65	-0,149	-0,153
A. Mineralische Industrie	19.561,7	19.704,5	142,8	0,73	0,017	0,017
B. Chemische Industrie	5.496,5	5.497,0	0,5	0,01	0,000	0,000
C. Metallherstellung	21.247,9	19.827,9	-1.420,0	-6,68	-0,166	-0,170
D. nichtenerg. Brennstoffnutz. & Lösemittelsatz	2.033,6	2.030,9	-2,7	-0,13	0,000	0,000
3. Landwirtschaft	2.913,8	2.855,4	-58,4	-2,00	-0,007	-0,007
4. Landnutzung, Landnutzungsänd., Forstw.	-29.314,8	-21.694,2	7.620,6	-26,00		0,910
A. Forste / Wälder	-67.275,9	-58.069,7	9.206,2	-13,68		1,099
B. Ackerland	15.738,5	16.542,2	803,7	5,11		0,096
C. Grasland	15.334,6	16.921,5	1.587,0	10,35		0,189
D. Feuchtgebiete	4.314,3	4.242,9	-71,4	-1,65		-0,009
E. Siedlungen	5.813,2	4.599,5	-1.213,7	-20,88		-0,145
G. Holzernteprodukte	-3.239,4	-5.930,5	-2.691,1	83,08		-0,321
5. Abfall & Abwasser	NO,NE,NA	NO,NE,NA				
6. Sonstige	NO	NA				
sowie nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	34.342,2	34.145,9	-196,3	-0,57	-0,023	-0,023
Internationaler Flugverkehr	30.062,0	29.873,7	-188,4	-0,63	-0,022	-0,022
Internationaler Seeverkehr	4.280,1	4.272,3	-7,9	-0,18	-0,001	-0,001
Multilaterale Operationen	NE	NE				
CO₂ aus Biomasse	100.806,1	103.009,2	2.203,1	2,19	0,257	0,263
aufgefangenes CO₂	NO	NO				
Langzeit-C-Speicherung in Mülldeponien	NA	NA				
Indirektes CO₂	NO,NE,IE	NO,NE,IE				

Tabelle 607: revidierte Methan-Emissionen 2018

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
Nationale Gesamtemissionen und -einbindungen	53.607,9	53.324,7	-283,1	-0,53	-0,033	-0,034
1. Energie	10.737,5	10.870,9	133,3	1,24	0,016	0,016
A. Verbrennung von Energieträgern	4.219,6	4.323,9	104,3	2,47	0,012	0,012
1. Energieerzeugung	2.679,0	2.731,2	52,2	1,95	0,006	0,006
2. Verarbeitendes Gewerbe	295,1	289,8	-5,3	-1,78	-0,001	-0,001
3. Verkehr	227,5	234,8	7,3	3,20	0,001	0,001
4. Übrige Sektoren	1.016,8	1.066,8	50,1	4,92	0,006	0,006
5. Sonstige	1,3	1,3	0,0	0,87	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	6.517,9	6.547,0	29,0	0,45	0,003	0,003
1. Festbrennstoffe	1.618,4	1.665,0	46,6	2,88	0,005	0,006
2. Öl und Erdgas	4.899,5	4.881,9	-17,6	-0,36	-0,002	-0,002
2. Industrieprozesse & Produktanwendung						
B. Chemische Industrie	512,3	512,2	0,0	0,00	0,000	0,000
C. Metallherzeugung	470,1	470,1	0,0	0,00	0,000	0,000
G. Übrige Produktanwendung	7,1	6,9	-0,1	-1,98	0,000	0,000
3. Landwirtschaft	35,1	35,2	0,1	0,34	0,000	0,000
A. Verdauung	32.543,1	31.209,1	-1.333,9	-4,10	-0,156	-0,159
B. Düngewirtschaft	25.068,6	23.979,7	-1.088,9	-4,34	-0,127	-0,130
J. Übrige	6.131,8	5.913,9	-217,9	-3,55	-0,025	-0,026
4. Landnutzung, Landnutzungsänd., Forstw.	1.342,6	1.315,5	-27,1	-2,02	-0,003	-0,003
A. Forste / Wälder	966,0	1.965,2	999,3	103,44		0,119
B. Ackerland	47,7	45,2	-2,5	-5,32		0,000
C. Grasland	222,4	136,1	-86,3	-38,81		-0,010
D. Feuchtgebiete	507,1	1.121,6	614,5	121,18		0,073
E. Siedlungen	45,9	502,4	456,5	994,65		0,055
5. Abfall & Abwasser	142,9	160,0	17,1	11,98		0,002
A. Deponierung von festen Abfällen	8.849,0	8.767,3	-81,7	-0,92	-0,010	-0,010
B. Biolog. Behandlung von festen Abfällen	7.578,4	7.555,8	-22,6	-0,30	-0,003	-0,003
C. Müllverbrennung	719,4	698,6	-20,8	-2,89	-0,002	-0,002
E. Sonstige	547,3	510,4	-36,9	-6,74	-0,004	-0,004
6. Sonstige	3,9	2,5	-1,4	-37,06	0,000	0,000
sowie, nur nachrichtlich:	NO	NA				
Internationale Verkehre						
Internationaler Flugverkehr	5,4	5,4	0,0	0,32	0,000	0,000
Internationaler Seeverkehr	4,5	4,5	0,0	0,45	0,000	0,000
Multilaterale Operationen	0,9	0,9	0,0	-0,37	0,000	0,000

Tabelle 608: revidierte Lachgas-Emissionen 2018

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
Nationale Gesamtemissionen	36.935,4	37.250,8	315,5	0,85	0,037	0,038
1. Energie	5.437,4	5.469,3	31,9	0,59	0,004	0,004
A. Verbrennung von Energieträgern	5.436,4	5.468,3	31,9	0,59	0,004	0,004
1. Energieerzeugung	2.394,2	2.446,0	51,8	2,17	0,006	0,006
2. Verarbeitendes Gewerbe	867,6	829,5	-38,1	-4,39	-0,004	-0,005
3. Verkehr	1.728,5	1.739,2	10,7	0,62	0,001	0,001
4. Übrige Sektoren	443,6	451,1	7,4	1,68	0,001	0,001
5. Sonstige	2,6	2,6	0,0	0,20	0,000	0,000
B. Diffuse Emissionen aus Brennstoffen	1,0	1,0	0,0	-0,39	0,000	0,000
2. Öl und Erdgas	1,0	1,0	0,0	-0,39	0,000	0,000
2. Industrieprozesse & Produktanwendung	1.093,4	1.070,2	-23,2	-2,12	-0,003	-0,003
B. Chemische Industrie	649,4	649,4	0,0	0,00	0,000	0,000
C. Metallherzeugung	17,5	15,7	-1,8	-10,47	0,000	0,000
D. nichtenerg. Brennstoffnutz. & Lösemiteileinsatz	1,3	1,3	0,0	0,38	0,000	0,000
G. Übrige Produktanwendung	425,2	403,9	-21,4	-5,03	-0,002	-0,003
3. Landwirtschaft	28.108,0	28.422,8	314,8	1,12	0,037	0,038
B. Düngewirtschaft	3.196,9	2.976,4	-220,5	-6,90	-0,026	-0,026
D. Landwirtschaftliche Böden	24.646,4	25.188,9	542,4	2,20	0,063	0,065
J. Übrige	264,6	257,5	-7,1	-2,68	-0,001	-0,001

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
4. Landnutzung, Landnutzungsänderung, Forstw.	1.417,1	1.443,0	25,9	1,83		0,003
A. Forste / Wälder	228,9	379,3	150,4	65,71		0,018
B. Ackerland	514,2	510,9	-3,3	-0,64		0,000
C. Grasland	93,5	102,6	9,0	9,66		0,001
D. Feuchtgebiete	22,6	41,8	19,2	85,03		0,002
E. Siedlungen	253,0	146,5	-106,5	-42,10		-0,013
H. Sonstige	111,2	94,1	-17,1	-15,39		-0,002
5. Abfall & Abwasser	879,4	845,5	-34,0	-3,86	-0,004	-0,004
B. Biolog. Behandlung von festen Abfällen	316,0	305,6	-10,5	-3,31	-0,001	-0,001
D. Abwasserbehandlung	496,2	505,8	9,7	1,95	0,001	0,001
E. Sonstige	67,2	34,0	-33,2	-49,35	-0,004	-0,004
6. Sonstige	NO	NA				
sowie nachrichtlich:						
Internationale Verkehre	340,8	338,9	-1,8	-0,54	0,000	0,000
Internationaler Flugverkehr	283,3	281,6	-1,7	-0,61	0,000	0,000
Internationaler Seeverkehr	57,4	57,3	-0,1	-0,19	0,000	0,000
Multilaterale Operationen	NE	NE				
Indirektes N₂O	NO,IE	NE,IE				

Tabelle 609: revidierte HFC-Emissionen 2018

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
Nationale Gesamtemissionen	10.487,1	10.250,1	-237,0	-2,26	-0,028	-0,028
2.B.9. Produktion von FKW & SF ₆	IE	IE				
2.C.4. Magnesiumproduktion	18,3	18,3	0,0	0,00	0,000	0,000
2.E.1. Elektronik-Industrie	15,3	15,3	0,0	0,00	0,002	0,002
2.F.1. Kälte- und Klimaanlage	9.147,7	9.167,6	19,9	0,22	0,002	0,002
2.F.2. Schaumherstellung	897,0	576,8	-320,3	-35,70	-0,037	-0,038
2.F.3. Feuerlöschmittel	45,6	105,9	60,3	132,35	0,007	0,007
2.F.4. Aerosole	352,6	355,6	3,0	0,86	0,000	0,000
2.F.5. Lösemittel	IE	IE				
2.G.4. Andere	10,6	10,6	0,0	0,00	0,000	0,000

Tabelle 610: revidierte PFC-Emissionen 2018

	Submission	Submission	Änderung		Auswirkung auf nat.	
	2020	2021			Gesamtemissionen	
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				ohne LULUCF	mit LULUCF
					[%]	
Nationale Gesamtemissionen	289,8	289,6	-0,16	-0,06	0,000	0,000
2.B.9. Produktion von FKW & SF ₆	IE	IE				
2.C.3. Aluminiumproduktion	126,0	126,0	0,00	0,00	0,000	0,000
2.E.1. Elektronik-Industrie	158,5	158,5	0,00	0,00	0,000	0,000
2.F.1. Kälte- und Klimaanlage	5,2	5,1	-0,16	-3,10	0,000	0,000
2.F.5. Lösemittel	IE	IE				
2.G.2. SF ₆ und FKW aus sonst. Produktverw.	IE,NA	IE				

Tabelle 611: revidierte SF₆-Emissionen 2018

	Submission 2020	Submission 2021	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	mit LULUCF
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen	3.870,7	3.870,6	-0,05	0,00	0,000	0,000
2.B.9. Produktion von FKW & SF ₆	1,0	1,0	0,00	0,00	0,000	0,000
2.C.3. Aluminiumproduktion	IE,NA	IE				
2.C.4. Magnesiumproduktion	86,9	86,9	0,00	0,00	0,000	0,000
2.E.1. Elektronik-Industrie	27,2	27,2	0,00	0,00	0,000	0,000
2.E.3. Photovoltaik	0,0					
2.G.1. Elektrische Betriebsmittel	276,0	276,0	0,00	0,00	0,000	0,000
2.G.2. SF ₆ und FKW aus sonst.Produktverw.	3.479,5	3.479,5	0,00	0,00	0,000	0,000

Tabelle 612: revidierte Unspecified-Mix-Emissionen 2018

	Submission 2020	Submission 2021	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	mit LULUCF
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen	186,9	52,9	-134,01	-71,71	-0,016	-0,016
2.B.9. Produktion von FKW & SF ₆	52,9	52,9	0,00	0,00	0,000	0,000
2.H. Other	134,0	0,0	-134,01	-100	-0,016	-0,016

Tabelle 613: revidierte NF₃-Emissionen für 2018

	Submission 2020	Submission 2021	Änderung		Auswirkung auf nat. Gesamtemissionen	
					ohne LULUCF	mit LULUCF
	[kt CO ₂ -Äquivalente]				[%]	
Nationale Gesamtemissionen	11,75	11,75	0,00	0,00	0,000	0,000
2.E.1. Elektronik-Industrie	11,75	11,75	0,00	0,00	0,000	0,000

23 Anhang 7: Unsicherheiten nach Kategorien

Die Unsicherheiten für die deutschen Treibhausgasinventare wurden vollständig für alle Kategorien und jeweils das Basisjahr, 2019 sowie den Trend ermittelt. In Deutschland werden die Unsicherheiten jedes Jahr nach der Tier 1 und nach der Tier 2 Methode berechnet.

Die Ergebnisse der diesjährigen Unsicherheitenanalyse sind nach den Vorgaben von Tabelle 3.4 und 3.5 der IPCC Guidelines 2006 (IPCC, 2006) in den Tabelle 614 und Tabelle 615 dargestellt.

Tabelle 614: Unsicherheiten nach Sektoren (Approach 1, Fehlerfortpflanzung gemäß Tabelle 3.4 der 2006 IPCC Guidelines)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
IPCC category	Gas	Base year emissions or removals	Year x emissions or removals	Activity data uncertainty	Emission factor / estimation parameter uncertainty	Combined uncertainty	Contribution to Variance by Category in Year x	Type A sensitivity	Type B sensitivity	Uncertainty in trend in national emissions introduced by emission factor / estimation parameter uncertainty	Uncertainty in trend in national emissions introduced by activity data uncertainty	Uncertainty introduced into the trend in total national emissions
		Input data	Input data	Input data	Input data	$\sqrt{E^2 + F^2}$ $\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{(G \cdot D)^2}{(\sum D)^2}$ $\frac{(G + D)^2}{(\sum D)^2}$	Note B	$\left \frac{D}{\sum C} \right $ $\left \frac{D}{\sum C} \right $	I * F	J * E *	$\sqrt{K^2 + L^2}$
		t CO ₂ equivalent	t CO ₂ equivalent	Note A	Note A					Note C	Note D	
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	CO2	338.451,16	213.483,89	3,53	1,33	3,77	0,77	0,01	0,17	0,84	0,32	0,81
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	CH4	172,17	2.620,39	9,29	60,86	61,57	0,03	0,00	0,00	0,03	0,18	0,03
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	N2O	2.407,46	1.837,86	3,24	19,19	19,46	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00
1 A 1 b, Petroleum Refining	CO2	20.165,56	21.757,40	3,14	4,26	5,29	0,02	0,01	0,02	0,08	0,10	0,02
1 A 1 b, Petroleum Refining	CH4	16,06	17,70	2,69	19,02	19,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 1 b, Petroleum Refining	N2O	100,39	68,75	2,73	30,14	30,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	CO2	65.289,06	9.580,89	4,19	2,96	5,13	0,00	0,02	0,01	0,04	0,03	0,00
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	CH4	91,98	162,64	28,41	142,15	144,96	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	N2O	659,23	166,03	5,15	21,79	22,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 a, Iron and steel	CO2	35.269,33	35.729,81	4,75	3,38	5,83	0,05	0,01	0,03	0,19	0,14	0,05
1 A 2 a, Iron and steel	CH4	62,45	65,21	8,21	24,52	25,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 a, Iron and steel	N2O	155,10	111,53	4,76	34,97	35,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 b, Non-ferrous metals	CO2	1.629,22	1.623,56	10,91	0,93	10,95	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
1 A 2 b, Non-ferrous metals	CH4	1,39	1,80	11,04	68,95	69,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 b, Non-ferrous metals	N2O	17,14	8,58	9,97	62,50	63,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	CO2	3,65	4,36	5,22	2,24	5,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	CH4	0,65	2,41	4,12	44,19	44,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	N2O	2,81	10,34	0,00	53,19	53,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

CLIMATE CHANGE Nationaler Inventarbericht Deutschland – 2021

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	CO2	2.015,91	259,85	5,07	1,39	5,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	CH4	4,48	0,19	5,69	37,38	37,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	N2O	24,65	2,37	5,06	53,53	53,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	CO2	18.507,38	13.286,38	3,62	0,95	3,75	0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,00
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	CH4	50,28	15,61	3,30	22,66	22,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	N2O	205,26	122,39	2,92	26,93	27,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 2 g, Other	CO2	127.739,52	73.409,55	0,00	3,47	3,47	0,08	0,01	0,06	0,00	0,29	0,08
1 A 2 g, Other	CH4	132,37	207,42	3,00	30,38	30,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 2 g, Other	N2O	945,39	575,84	2,87	14,53	14,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 3 a, Domestic Aviation	CO2	2.412,42	2.218,13	7,65	3,82	8,55	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00
1 A 3 a, Domestic Aviation	CH4	3,11	3,22	10,19	76,48	77,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 a, Domestic Aviation	N2O	24,32	22,26	7,45	111,77	112,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 b, Road Transport	CO2	151.886,32	157.719,80	0,00	4,65	4,65	0,64	0,03	0,12	0,00	0,82	0,67
1 A 3 b, Road Transport	CH4	1.561,12	227,48	4,79	14,63	15,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 b, Road Transport	N2O	1.343,42	1.748,58	6,32	17,22	18,34	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00
1 A 3 c, Railways	CO2	2.900,52	739,59	0,00	10,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 3 c, Railways	CH4	2,60	0,23	8,91	30,03	31,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 c, Railways	N2O	6,68	1,83	8,85	65,47	66,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 d, Domestic Navigation	CO2	3.644,53	1.624,16	16,58	2,17	16,72	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
1 A 3 d, Domestic Navigation	CH4	1,83	0,62	21,11	31,18	37,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 d, Domestic Navigation	N2O	34,17	16,56	7,69	118,14	118,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 e, Other Transportation	CO2	1.083,27	1.193,97	2,85	0,95	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 e, Other Transportation	CH4	5,31	5,85	2,85	71,13	71,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 3 e, Other Transportation	N2O	14,49	10,55	2,92	48,73	48,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 4 a, Commercial/Institutional	CO2	64.111,32	32.634,75	0,00	7,84	7,84	0,08	0,01	0,03	0,00	0,29	0,08
1 A 4 a, Commercial/Institutional	CH4	1.461,71	48,04	25,24	172,33	174,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 4 a, Commercial/Institutional	N2O	147,44	94,37	6,85	78,61	78,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 4 b, Residential	CO2	128.635,75	88.718,78	0,00	8,51	8,51	0,68	0,00	0,07	0,00	0,84	0,71
1 A 4 b, Residential	CH4	2.484,41	753,72	15,52	144,98	145,81	0,01	0,00	0,00	0,01	0,12	0,02
1 A 4 b, Residential	N2O	768,86	288,96	9,16	85,62	86,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	CO2	10.207,22	5.784,98	0,00	13,08	13,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	CH4	241,37	244,50	10,72	69,21	70,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	N2O	61,37	67,83	12,84	93,40	94,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 5, Other: Military	CO2	11.797,50	917,10	0,00	5,18	5,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 A 5, Other: Military	CH4	279,43	1,14	3,30	33,74	33,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 A 5, Other: Military	N2O	61,33	4,16	3,24	86,46	86,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 B 1, Solid Fuels	CO2	1.832,80	614,61	0,00	36,08	36,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
1 B 1, Solid Fuels	CH4	25.553,44	153,35	0,00	24,10	24,10	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1 B 2 a, Oil	CO2	477,63	411,33	0,00	24,90	24,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1 B 2 a, Oil	CH4	301,35	76,06	0,00	30,75	30,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 B 2 a, Oil	N2O	0,32	0,26	0,00	30,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 B 2 b, Natural Gas	CO2	986,51	624,89	0,00	22,29	22,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
1 B 2 b, Natural Gas	CH4	7.997,44	4.910,51	0,00	16,39	16,39	0,01	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01
1 B 2 c, Venting and Flaring	CO2	543,52	344,92	0,00	138,74	138,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
1 B 2 c, Venting and Flaring	CH4	1,65	0,59	0,00	133,13	133,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 B 2 c, Venting and Flaring	N2O	1,95	0,74	0,00	68,30	68,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 A 1, Cement Production	CO2	15.297,27	13.286,64	2,50	2,00	3,20	0,00	0,00	0,01	0,04	0,03	0,00
2 A 2, Lime Production	CO2	5.986,62	4.549,42	2,39	10,60	10,87	0,00	0,00	0,08	0,01	0,05	0,00
2 A 3, Glass Production	CO2	780,48	866,17	3,13	11,19	11,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 A 4, Other Process Uses of Carbonates	CO2	1.458,01	710,45	5,92	12,26	13,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 B 1, Ammonia Production	CO2	6.025,00	4.077,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 2, Nitric Acid Production	N2O	3.258,45	365,80	1,00	5,00	5,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 3, Adipic Acid Production	N2O	18.076,68	200,17	2,00	6,00	6,32	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 5, Carbide Production	CO2	443,16	7,96	10,00	10,00	14,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 7, Soda Ash Production	CO2	667,25	401,87	0,00	2,50	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production	CO2	973,97	830,11	11,19	13,64	17,64	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production	CH4	333,69	465,62	15,10	16,60	22,44	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
2 B 9 a, By-product Emissions	HFC-23	C	C	0,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 9 b, Fugitive Emissions	SF6	159,60	1,06	0,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 9 b, Fugitive Emissions	HFC-134a	C	C	0,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 9 b, Fugitive Emissions	HFC-227ea	C	C	0,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 9 b, Fugitive Emissions	CF4	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 B 10, Other	N2O	C	C	20,00	62,00	65,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 1, Iron and Steel Production	CO2	22.810,29	18.091,66	0,00	8,33	8,33	0,03	0,00	0,01	0,00	0,17	0,03
2 C 1, Iron and Steel Production	CH4	4,67	4,97	0,00	67,44	67,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 1, Iron and Steel Production	N2O	26,54	14,76	8,08	67,28	67,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 2, Ferroalloys Production	CO2	429,00	5,86	50,00	7,00	50,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 2, Ferroalloys Production	CH4	8,58	1,60	50,00	50,00	70,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 3, Aluminium Production	CO2	1.011,92	694,35	1,00	50,00	50,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
2 C 3, Aluminium Production	SF6	C	C	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 3, Aluminium Production	CF4	1.544,51	75,53	0,00	15,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 3, Aluminium Production	C2F6	256,20	15,08	0,00	15,03	15,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 4, Magnesium Production	SF6	C	C	0,00	30,04	30,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 4, Magnesium Production	HFC-134a	0,00	10,37	0,00	35,00	35,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 C 5, Lead Production	CO2	157,87	71,14	5,08	36,26	36,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

CLIMATE CHANGE Nationaler Inventarbericht Deutschland – 2021

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2 C 6, Zinc Production	CO2	670,80	304,38	0,00	40,17	40,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 D 1, Lubricant Use	CO2	188,37	208,04	0,00	34,90	34,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 D 2, Paraffin Wax Use	CO2	242,70	427,94	0,00	70,71	70,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
2 D 2, Paraffin Wax Use	N2O	0,70	1,23	0,00	60,57	60,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 D 3, Other	CO2	2.552,00	1.391,02	0,00	9,52	9,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 E, Electronics Industry	SF6	47,28	23,35	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	NF3	5,29	10,96	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	HFC-23	17,11	14,67	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	HFC-32	0,00	0,03	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	CF4	102,61	66,72	0,00	13,69	13,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	C2F6	162,48	50,30	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	C3F8	0,00	14,75	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	c-C4F8	0,00	5,19	0,00	17,00	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	C6F14	25,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-23	16,25	70,64	0,00	13,83	13,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-32	0,76	202,07	0,00	7,64	7,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-43-10mee	C	C	0,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-125	149,88	2.174,36	0,00	6,93	6,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-134a	2.268,24	5.296,86	0,00	5,59	5,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-143a	71,33	1.418,39	0,00	11,02	11,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-152a	90,07	37,48	0,00	2,55	2,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-227ea	0,65	101,65	0,00	3,55	3,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-236fa	C	C	0,00	10,05	10,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-245fa	C	C	0,00	8,30	8,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-365mfc	C	C	0,00	7,98	7,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	C2F6	0,00	2,35	0,00	22,85	22,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	C3F8	19,91	1,83	0,00	19,85	19,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	C6F14	C	C	0,00	20,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

CLIMATE CHANGE Nationaler Inventarbericht Deutschland – 2021

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2 G, Other Product Manufacture and Use	CH4	4,53	30,95	20,00	20,00	28,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	N2O	C	C	0,00	39,21	39,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	SF6	C	C	0,00	9,53	9,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	HFC-134a	0,00	0,20	0,00	22,36	22,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	HFC-245fa	0,00	10,16	0,00	21,94	21,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	HFC-365mfc	0,00	0,72	0,00	21,88	21,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	C10F18	C	C	0,00	24,93	24,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 A, Enteric Fermentation	CH4	17.718,25	13.902,78	4,00	20,00	20,40	0,10	0,00	0,01	0,06	0,31	0,10
3 A, Enteric Fermentation	CH4	13.685,10	8.696,12	2,23	11,16	11,38	0,01	0,00	0,01	0,02	0,11	0,01
3 A, Enteric Fermentation	CH4	1.411,78	1.110,91	3,49	12,39	12,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
3 B, Manure Management	CH4	2.195,74	2.065,09	4,00	20,00	20,40	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00
3 B, Manure Management	CH4	2.384,27	1.321,67	2,19	10,95	11,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
3 B, Manure Management	CH4	2.684,67	2.248,89	3,21	16,03	16,34	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00
3 B, Manure Management	CH4	151,25	198,07	4,68	10,18	11,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 B, Manure Management	N2O	955,79	697,34	4,00	100,00	100,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01
3 B, Manure Management	N2O	991,69	693,42	1,99	49,66	49,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
3 B, Manure Management	N2O	376,40	466,92	3,12	77,98	78,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
3 B, Manure Management	N2O	127,19	139,26	4,80	47,93	48,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
3 B, Manure Management	N2O	1.171,95	940,33	40,00	400,00	402,00	0,17	0,00	0,00	0,04	0,42	0,18
3 D, Agricultural Soils	N2O	29.462,98	24.963,97	25,01	67,32	71,82	3,83	0,01	0,02	0,70	1,88	4,02
3 G, Liming	CO2	2.200,53	2.101,57	3,90	2,92	4,87	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
3 H, Urea Application	CO2	481,05	523,50	1,00	1,00	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 I, Other Carbon-containing Fertilizers	CO2	510,45	196,03	3,00	3,00	4,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 J, Other	CH4	0,28	1.315,52	10,00	20,00	22,36	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00
3 J, Other	N2O	0,12	257,54	9,52	97,10	97,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
4 A, Forest Land	CO2	-22.065,98	-57.454,13	0,00	7,63	7,63	0,23	0,00	0,05	0,00	0,56	0,32
4 A, Forest Land	CH4	39,43	47,24	0,00	77,15	77,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4 A, Forest Land	N2O	464,07	384,91	0,00	101,53	101,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
4 B, Cropland	CO2	13.511,10	16.336,74	0,00	20,13	20,13	0,13	0,01	0,01	0,00	0,40	0,16
4 B, Cropland	CH4	146,13	135,19	0,00	61,56	61,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
4 B, Cropland	N2O	233,76	642,07	0,00	169,39	169,39	0,01	0,00	0,00	0,00	0,12	0,01
4 C, Grassland	CO2	26.094,43	17.006,82	0,00	47,86	47,86	0,79	0,00	0,03	0,00	2,22	4,94
4 C, Grassland	CH4	1.063,20	1.116,91	0,00	373,44	373,44	0,21	0,00	0,00	0,00	0,47	0,22
4 C, Grassland	N2O	66,62	121,55	0,00	128,36	128,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
4 D, Wetlands	CO2	3.668,32	4.333,77	0,00	33,71	33,71	0,03	0,00	0,00	0,00	0,18	0,03	
4 D, Wetlands	CH4	363,06	506,25	0,00	71,88	71,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	
4 D, Wetlands	N2O	34,10	41,99	0,00	166,81	166,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
4 E, Settlements	CO2	2.429,08	4.122,12	0,00	15,69	15,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,01	
4 E, Settlements	CH4	47,97	69,57	0,00	58,06	58,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4 E, Settlements	N2O	96,71	275,56	0,00	115,94	115,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	
4 G, Harvested Wood Products	CO2	-1.330,35	-4.150,51	0,00	28,36	28,36	0,02	0,00	0,01	0,00	0,29	0,08	
5 A, Solid Waste Disposal	CH4	34.200,20	7.189,33	0,00	50,00	50,00	0,15	0,02	0,01	0,00	0,40	0,16	
5 B, Biological Treatment of Solid Waste	CH4	25,34	701,44	1,42	202,22	202,22	0,02	0,00	0,00	0,00	0,16	0,03	
5 B, Biological Treatment of Solid Waste	N2O	15,97	306,19	1,46	162,28	162,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	
5 D 1, Domestic Wastewater	CH4	2.563,25	450,60	3,18	23,90	24,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
5 D 1, Domestic Wastewater	N2O	1.389,87	485,52	34,57	4.046,05	4.046,20	4,59	0,00	0,00	0,02	2,20	4,82	
5 D 2, Industrial Wastewater	CH4	9,25	46,40	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5 D 2, Industrial Wastewater	N2O	31,59	27,09	50,00	300,00	304,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
5 E, Other	CH4	0,00	2,43	2,00	60,00	60,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5 E, Other	N2O	0,00	33,58	2,00	60,00	60,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total		ΣC 1.277.134,69	ΣD 793.334,59				ΣH 12,74					ΣM 17,67	
Percentage uncertainty in total inventory:							$\sqrt{\Sigma H}$ 3,57	Trend uncertainty:					$\sqrt{\Sigma M}$ 4,20

Tabelle 615: Unsicherheiten nach Sektoren (Approach 2, Monte-Carlo-Simulation, gemäß Tabelle 3.5 der 2006 IPCC Guidelines)

A Category	B Z	C gas	D Base year emissions or removals t CO2 equivalent	E Emissions or removals 2019 t CO2 equivalent	F Activity data uncertainty		G Emission factor uncertainty		H Combined uncertainty		I Contribution to variance 2019 fraction	J Inventory trend in nationalemissions for 2016 increase with respect to base year % of base year	K Uncertainty introduced into the trend in total national emissions with respect to base year	
					-%	+	-%	+	-%	+			-%	+
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production	fossil fuels	CO2	338.451,16	213.483,89	8,28	8,74	2,64	2,67	3,67	3,72	0,07	-36,92	13,90	14,40
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		CH4	172,17	2.620,39	33,68	54,15	48,63	115,45	30,29	44,15	0,00	1.422,00	48,18	68,47
1 A 1 a, Public Electricity and Heat Production		N2O	2.407,46	1.837,86	26,57	29,57	51,26	50,53	22,23	22,59	0,00	-23,66	254,92	348,33
1 A 1 b, Petroleum Refining	fossil fuels	CO2	20.165,56	21.757,40	9,74	10,41	9,38	10,58	5,04	5,21	0,00	7,89	72,25	75,98
1 A 1 b, Petroleum Refining		CH4	16,06	17,70	37,81	34,20	32,22	63,02	19,36	19,95	0,00	10,21	201,83	253,12
1 A 1 b, Petroleum Refining		N2O	100,39	68,75	53,27	51,51	31,09	31,43	34,35	34,58	0,00	-31,52	477,50	670,94

A		B	C	D	E	F	G	H	I	J				
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy	fossil fuels	CO2	65.289,06	9.580,89	11,58	12,33	11,12	11,60	4,99	5,15	0,00	-85,33	2,27	2,35
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		CH4	91,98	162,64	25,71	30,87	62,49	114,47	58,99	109,59	0,00	76,82	287,58	579,34
1 A 1 c, Manufacture of Solid Fuels and Other Energy		N2O	659,23	166,03	12,30	13,68	41,95	44,97	26,09	26,59	0,00	-74,81	27,13	33,32
1 A 2 a, Iron and steel	fossil fuels	CO2	35.269,33	35.729,81	13,46	14,83	10,55	11,02	5,50	5,88	0,00	1,31	92,69	99,13
1 A 2 a, Iron and steel		CH4	62,45	65,21	11,31	10,62	31,61	34,07	24,88	25,38	0,00	4,41	407,34	553,52
1 A 2 a, Iron and steel		N2O	155,10	111,53	42,57	37,72	71,50	92,97	37,41	37,82	0,00	-28,10	10.276,72	15.951,91
1 A 2 b, Non-ferrous metals	fossil fuels	CO2	1.629,22	1.623,56	9,80	10,49	1,40	1,38	8,20	8,78	0,00	-0,35	37,16	40,41
1 A 2 b, Non-ferrous metals		CH4	1,39	1,80	20,34	14,34	68,56	76,51	68,84	71,36	0,00	29,79	457,75	964,52
1 A 2 b, Non-ferrous metals		N2O	17,14	8,58	34,77	21,84	53,56	47,52	63,06	65,06	0,00	-49,98	138,68	246,50
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print	fossil fuels	CO2	3,65	4,36	8,55	8,93	3,05	3,19	5,62	5,76	0,00	19,51	13,49	14,54
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		CH4	0,65	2,41	42,41	42,13	56,79	65,87	49,81	49,64	0,00	268,52	97,25	140,48
1 A 2 d, Pulp, Paper and Print		N2O	2,81	10,34	10,51	11,14	10,16	11,81	7,08	7,61	0,00	268,52	15,86	17,06
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco	fossil fuels	CO2	2.015,91	259,85	7,10	8,29	3,14	3,32	3,66	3,75	0,00	-87,11	0,78	0,81
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		CH4	4,48	0,19	34,18	40,28	39,45	54,36	38,78	38,56	0,00	-95,72	5,45	8,78
1 A 2 e, Food Processing, Beverages and Tobacco		N2O	24,65	2,37	22,93	23,46	54,08	66,40	40,17	44,69	0,00	-90,37	8,83	16,30
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals	fossil fuels	CO2	18.507,38	13.286,38	12,14	13,92	2,04	2,15	2,84	2,93	0,00	-28,21	11,51	11,71
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		CH4	50,28	15,61	44,37	54,05	33,56	33,96	26,02	26,23	0,00	-68,96	265,11	356,51
1 A 2 f, Non-Metallic Minerals		N2O	205,26	122,39	31,05	41,58	35,44	43,23	23,52	23,86	0,00	-40,37	97,35	146,99
1 A 2 g, Other	fossil fuels	CO2	127.739,52	73.409,55	15,03	17,08	3,56	3,83	2,84	2,93	0,01	-42,53	18,49	18,99
1 A 2 g, Other		CH4	132,37	207,42	41,44	52,55	67,00	157,77	17,84	22,27	0,00	56,69	75,41	92,17
1 A 2 g, Other		N2O	945,39	575,84	41,81	50,18	30,56	30,29	12,69	12,89	0,00	-39,09	126,08	143,90
1 A 3 a, Domestic Aviation	fossil fuels	CO2	2.412,42	2.218,13	12,66	12,93	5,32	5,71	8,37	8,68	0,00	-8,05	294,00	319,95
1 A 3 a, Domestic Aviation		CH4	3,11	3,22	37,74	30,84	72,87	189,87	46,97	75,57	0,00	3,65	334,62	614,89
1 A 3 a, Domestic Aviation		N2O	24,32	22,26	39,38	36,61	63,87	146,66	58,36	109,32	0,00	-8,48	400,39	887,08
1 A 3 b, Road Transport	fossil fuels	CO2	151.886,32	157.719,80	34,73	43,42	6,06	7,08	4,62	4,64	0,06	3,84	140,90	153,20
1 A 3 b, Road Transport		CH4	1.561,12	227,48	27,57	41,45	63,75	151,21	13,23	14,95	0,00	-85,43	17,26	21,25
1 A 3 b, Road Transport		N2O	1.343,42	1.748,58	39,66	57,49	33,73	70,34	14,01	16,76	0,00	30,16	7.701,33	9.982,88
1 A 3 c, Railways	fossil fuels	CO2	2.900,52	739,59	10,49	10,48	3,24	3,21	9,94	10,11	0,00	-74,50	6,29	7,12
1 A 3 c, Railways		CH4	2,60	0,23	12,77	12,55	32,68	35,54	30,55	32,07	0,00	-91,01	5,77	8,63
1 A 3 c, Railways		N2O	6,68	1,83	15,17	14,07	38,65	61,62	37,96	55,60	0,00	-72,53	30,58	51,33
1 A 3 d, Domestic Navigation	fossil fuels	CO2	3.644,53	1.624,16	8,15	14,33	4,95	8,95	16,66	16,53	0,00	-55,44	34,76	46,49
1 A 3 d, Domestic Navigation		CH4	1,83	0,62	17,94	21,37	29,50	34,86	36,66	38,84	0,00	-66,27	39,08	60,30
1 A 3 d, Domestic Navigation		N2O	34,17	16,56	13,85	11,59	45,68	66,08	35,28	48,84	0,00	-51,52	90,93	135,26

A		B	C	D	E	F		G		H	I		J	
1 A 3 e, Other Transportation	fossil fuels	CO2	1.083,27	1.193,97	1,18	1,73	1,05	1,04	1,51	1,81	0,00	10,22	18,85	20,43
1 A 3 e, Other Transportation		CH4	5,31	5,85	5,31	3,71	43,55	64,81	40,22	59,04	0,00	10,07	700,52	1.105,34
1 A 3 e, Other Transportation		N2O	14,49	10,55	3,60	2,65	51,08	51,27	48,65	48,69	0,00	-27,22	95,68	154,99
1 A 4 a, Commercial/Institutional	fossil fuels	CO2	64.111,32	32.634,75	9,63	10,82	1,66	1,73	5,70	5,80	0,00	-49,10	13,33	14,41
1 A 4 a, Commercial/Institutional		CH4	1.461,71	48,04	28,79	30,64	52,82	78,38	47,40	73,09	0,00	-96,71	22,82	43,45
1 A 4 a, Commercial/Institutional		N2O	147,44	94,37	32,63	41,31	36,02	48,70	30,40	35,27	0,00	-35,99	55,82	75,95
1 A 4 b, Residential	fossil fuels	CO2	128.635,75	88.718,78	9,36	10,36	1,30	1,43	6,18	6,32	0,04	-31,03	19,66	21,20
1 A 4 b, Residential		CH4	2.484,41	753,72	18,75	20,08	45,95	66,20	42,36	60,01	0,00	-69,66	362,36	593,58
1 A 4 b, Residential		N2O	768,86	288,96	27,31	43,98	52,83	75,34	34,37	39,94	0,00	-62,42	75,22	105,83
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing	fossil fuels	CO2	10.207,22	5.784,98	26,57	27,65	7,14	6,78	12,97	13,14	0,00	-43,32	48,40	52,46
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		CH4	241,37	244,50	14,43	14,14	45,96	67,87	39,54	58,09	0,00	1,29	66,81	104,28
1 A 4 c, Agriculture/Forestry/Fishing		N2O	61,37	67,83	31,05	35,13	46,08	75,26	30,68	42,52	0,00	10,52	192,84	277,72
1 A 5, Other: Military	fossil fuels	CO2	11.797,50	917,10	8,26	9,45	2,93	3,23	3,73	3,84	0,00	-92,23	1,45	1,51
1 A 5, Other: Military		CH4	279,43	1,14	31,29	44,23	69,59	115,70	32,21	32,94	0,00	-99,59	3,91	5,86
1 A 5, Other: Military		N2O	61,33	4,16	29,06	33,19	61,42	173,43	39,85	76,81	0,00	-93,21	9,98	17,94
1 B 1, Solid Fuels	fossil fuels	CO2	1.832,80	614,61	3,02	3,00	25,08	30,57	31,88	32,00	0,00	-66,47	82,61	116,15
1 B 1, Solid Fuels		CH4	25.553,44	153,35	24,67	23,97	34,17	41,52	25,98	25,92	0,00	-99,40	1,43	2,43
1 B 2 a, Oil		CO2	477,63	411,33	35,97	47,36	30,53	31,20	25,99	28,32	0,00	-13,88	421,12	560,18
1 B 2 a, Oil		CH4	301,35	76,06	11,03	11,05	21,09	21,29	30,79	30,59	0,00	-74,76	20,27	22,40
1 B 2 a, Oil		N2O	0,32	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	29,81	29,65	0,00	-18,74	457,38	637,26
1 B 2 b, Natural Gas		CO2	986,51	624,89	27,56	35,70	32,34	35,53	22,41	22,27	0,00	-36,66	34,44	44,65
1 B 2 b, Natural Gas		CH4	7.997,44	4.910,51	26,30	33,22	52,53	64,48	19,40	22,79	0,00	-38,60	26,20	31,27
1 B 2 c, Venting and Flaring		CO2	543,52	344,92	2,99	3,00	10,00	9,99	15,59	15,56	0,00	-36,54	85,07	100,35
1 B 2 c, Venting and Flaring		CH4	1,65	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	19,27	19,24	0,00	-64,51	36,93	48,08
1 B 2 c, Venting and Flaring		N2O	1,95	0,74	2,99	3,00	25,06	24,96	68,46	68,58	0,00	-61,93	126,30	200,66
2 A 1, Cement Production		CO2	15.297,27	13.286,64	2,48	2,49	2,00	2,00	3,21	3,22	0,00	-13,14	26,08	26,77
2 A 2, Lime Production		CO2	5.986,62	4.549,42	2,69	2,70	7,34	5,98	7,14	6,19	0,00	-24,01	26,89	28,58
2 A 3, Glass Production		CO2	780,48	866,17	8,46	9,71	24,78	28,86	11,58	11,81	0,00	10,98	1.091,82	1.242,59
2 A 4, Other Process Uses of Carbonates		CO2	1.458,01	710,45	10,06	9,74	8,52	8,31	13,07	13,20	0,00	-51,27	11,80	14,01
2 B 1, Ammonia Production		CO2	6.025,00	4.077,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,01	0,00	-32,33	2,34	2,37
2 B 2, Nitric Acid Production		N2O	3.258,45	365,80	0,99	1,00	4,98	4,99	5,07	5,06	0,00	-88,77	0,86	0,92
2 B 3, Adipic Acid Production		N2O	18.076,68	200,17	2,01	2,00	5,91	6,01	6,24	6,36	0,00	-98,89	0,09	0,09
2 B 5, Carbide Production		CO2	443,16	7,96	10,04	9,98	9,98	10,11	13,84	14,52	0,00	-98,20	8,35	9,73
2 B 7, Soda Ash Production		CO2	667,25	401,87	0,00	0,00	0,00	0,00	2,51	2,50	0,00	-39,77	10,39	10,65

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J				
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production	CO2	973,97	830,11	43,20	56,97	21,44	21,97	17,20	18,40	0,00	-14,77	504,20	613,73
2 B 8, Petrochemical and Carbon Black Production	CH4	333,69	465,62	26,19	27,55	14,69	16,07	19,63	20,04	0,00	39,54	277,05	341,19
2 B 9 a, By-product Emissions	HFC-23	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	2,98	0,00	-99,96	0,00	0,00
2 B 9 b, Fugitive Emissions	SF6	159,60	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	3,03	3,01	0,00	-99,34	0,03	0,03
2 B 9 b, Fugitive Emissions	HFC-134a	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	3,01	2,99	0,00	21,83	23,42	24,12
2 B 9 b, Fugitive Emissions	HFC-227ea	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	3,00	0,00		0,00	0,00
2 B 9 b, Fugitive Emissions	CF4	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
2 B 10, Other	N2O	C	C	19,84	20,14	62,50	62,31	63,17	68,03	0,00	0,00	483,09	1.015,25
2 C 1, Iron and Steel Production	CO2	22.810,29	18.091,66	20,38	22,57	6,68	6,88	8,24	8,57	0,00	-20,69	177,23	193,33
2 C 1, Iron and Steel Production	CH4	4,67	4,97	0,99	1,00	77,24	79,93	66,39	66,69	0,00	6,50	233,67	458,67
2 C 1, Iron and Steel Production	N2O	26,54	14,76	28,53	17,52	69,73	74,67	68,25	69,99	0,00	-44,40	1.153,00	2.784,48
2 C 2, Ferroalloys Production	CO2	429,00	5,86	50,85	50,01	6,95	7,00	51,03	50,95	0,00	-98,63	138,13	246,92
2 C 2, Ferroalloys Production	CH4	8,58	1,60	50,85	50,02	50,60	50,31	62,76	80,75	0,00	-81,38	216,39	473,44
2 C 3, Aluminium Production	CO2	1.011,92	694,35	1,00	1,01	49,52	49,88	49,55	49,77	0,00	-31,38	1.578,71	2.829,07
2 C 3, Aluminium Production	SF6	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	10,05	10,86	0,00	-53,68	12,08	13,42
2 C 3, Aluminium Production	CF4	1.544,51	75,53	0,00	0,00	0,00	0,00	14,98	15,00	0,00	-95,11	1,02	1,18
2 C 3, Aluminium Production	C2F6	256,20	15,08	0,00	0,00	0,00	0,00	14,89	14,92	0,00	-94,11	1,25	1,45
2 C 4, Magnesium Production	SF6	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	17,35	10,95	0,00	-74,62	7,27	8,62
2 C 4, Magnesium Production	HFC-134a	0,00	10,37	0,00	0,00	0,00	0,00	20,40	12,92	0,00		0,00	0,00
2 C 5, Lead Production	CO2	157,87	71,14	21,51	23,47	35,03	39,21	36,41	36,55	0,00	-54,93	75,64	111,96
2 C 6, Zinc Production	CO2	670,80	304,38	0,00	0,00	0,00	0,00	40,01	40,25	0,00	-54,62	52,28	80,72
2 D 1, Lubricant Use	CO2	188,37	208,04	25,02	25,18	49,57	49,42	32,43	37,41	0,00	10,44	248,78	368,43
2 D 2, Paraffin Wax Use	CO2	242,70	427,94	0,00	0,00	0,00	0,00	70,69	69,79	0,00	76,32	199,94	480,28
2 D 2, Paraffin Wax Use	N2O	0,70	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	61,13	59,94	0,00	76,32	198,10	411,14
2 D 3, Other	CO2	2.552,00	1.391,02	19,95	20,00	10,01	9,99	9,51	9,56	0,00	-45,49	26,57	29,32
2 E, Electronics Industry	SF6	47,28	23,35	0,00	0,00	0,00	0,00	6,99	7,40	0,00	-50,62	9,65	10,34
2 E, Electronics Industry	NF3	5,29	10,96	0,00	0,00	0,00	0,00	6,98	7,35	0,00	107,13	18,81	20,24
2 E, Electronics Industry	HFC-23	17,11	14,67	0,00	0,00	0,00	0,00	6,97	7,46	0,00	-14,29	59,65	64,04
2 E, Electronics Industry	HFC-32	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	7,04	7,41	0,00		0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	CF4	102,61	66,72	0,00	0,00	0,00	0,00	6,50	6,69	0,00	-34,98	16,78	17,76
2 E, Electronics Industry	C2F6	162,48	50,30	0,00	0,00	0,00	0,00	6,97	7,39	0,00	-69,04	4,38	4,74
2 E, Electronics Industry	C3F8	0,00	14,75	0,00	0,00	0,00	0,00	7,01	7,37	0,00		0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	c-C4F8	0,00	5,19	0,00	0,00	0,00	0,00	6,99	7,37	0,00		0,00	0,00
2 E, Electronics Industry	C6F14	25,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-100,00	0,00	0,00

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J				
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-23	16,25	70,64	0,00	0,00	0,00	0,00	13,82	13,86	0,00	334,61	25,95	31,70
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-32	0,76	202,07	0,00	0,00	0,00	0,00	7,61	7,59	0,00	26.630,38	13,51	15,46
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-43-10mee	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	1,98	1,99	0,00		0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-125	149,88	2.174,36	0,00	0,00	0,00	0,00	6,95	6,96	0,00	1.350,75	17,10	21,38
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-134a	2.268,24	5.296,86	0,00	0,00	0,00	0,00	5,56	5,61	0,00	133,52	17,09	19,07
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-143a	71,33	1.418,39	0,00	0,00	0,00	0,00	11,02	11,03	0,00	1.888,52	15,26	17,02
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-152a	90,07	37,48	0,00	0,00	0,00	0,00	2,56	2,54	0,00	-58,39	8,44	9,89
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-227ea	0,65	101,65	0,00	0,00	0,00	0,00	3,56	3,57	0,00	15.619,90	17,70	24,09
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-236fa	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	10,19	10,02	0,00		0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-245fa	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	8,30	8,25	0,00		0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	HFC-365mfc	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	8,05	7,96	0,00		0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	C2F6	0,00	2,35	0,00	0,00	0,00	0,00	22,83	22,89	0,00		0,00	0,00
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	C3F8	19,91	1,83	0,00	0,00	0,00	0,00	19,87	19,79	0,00	-90,81	2,84	3,67
2 F, Product Uses as Substitutes for ODS	C6F14	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	19,86	19,92	0,00		0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	CH4	4,53	30,95	19,73	19,95	20,04	20,00	26,65	29,70	0,00	583,37	53,82	73,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	N2O	C	C	90,36	118,41	40,04	56,65	39,19	39,58	0,00	-84,29	13,28	23,45
2 G, Other Product Manufacture and Use	SF6	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	9,49	9,57	0,00	-40,03	19,69	20,53
2 G, Other Product Manufacture and Use	HFC-134a	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	22,57	22,63	0,00		0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	HFC-245fa	0,00	10,16	0,00	0,00	0,00	0,00	21,89	22,07	0,00		0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	HFC-365mfc	0,00	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	21,90	22,07	0,00		0,00	0,00
2 G, Other Product Manufacture and Use	C10F18	C	C	0,00	0,00	0,00	0,00	24,89	24,83	0,00		0,00	0,00

CLIMATE CHANGE Nationaler Inventarbericht Deutschland – 2021

A		B	C	D	E	F	G	H	I	J				
3 A, Enteric Fermentation	dairy cows	CH4	17.718,25	13.902,78	4,00	3,99	19,89	20,24	20,34	20,66	0,01	-21,53	226,05	279,82
3 A, Enteric Fermentation	non-dairy cattle	CH4	13.685,10	8.696,12	10,91	11,38	13,48	14,33	11,41	11,42	0,00	-36,46	48,30	54,45
3 A, Enteric Fermentation	other animals	CH4	1.411,78	1.110,91	16,46	17,07	33,46	41,88	12,88	12,99	0,00	-21,31	115,86	133,72
3 B, Manure Management	dairy cows	CH4	2.195,74	2.065,09	4,01	4,03	20,17	20,21	20,42	20,97	0,00	-5,95	160,25	201,02
3 B, Manure Management	non-dairy cattle	CH4	2.384,27	1.321,67	8,67	9,59	22,80	26,61	11,19	11,17	0,00	-44,57	30,82	34,54
3 B, Manure Management	swine	CH4	2.684,67	2.248,89	7,53	7,13	20,32	21,78	16,38	16,35	0,00	-16,23	1.752,23	2.045,92
3 B, Manure Management	other animals	CH4	151,25	198,07	15,04	16,92	49,66	60,55	11,15	11,44	0,00	30,95	71,75	83,57
3 B, Manure Management	dairy cows	N2O	955,79	697,34	4,01	4,03	57,04	99,27	57,17	98,72	0,00	-27,04	1.591,16	3.478,24
3 B, Manure Management	non-dairy cattle	N2O	991,69	693,42	30,97	44,81	45,86	99,54	33,13	45,90	0,00	-30,08	208,91	312,86
3 B, Manure Management	swine	N2O	376,40	466,92	28,52	20,77	52,10	97,33	46,08	76,49	0,00	24,05	187,26	345,40
3 B, Manure Management	other animals	N2O	127,19	139,26	45,27	62,69	77,94	176,74	32,12	44,74	0,00	9,49	846,41	1.261,01
3 B, Manure Management	deposition	N2O	1.171,95	940,33	40,05	39,90	95,07	401,12	95,39	412,10	0,01	-19,76	132,31	749,69
3 D, Agricultural Soils		N2O	29.462,98	24.963,97	78,65	171,82	69,89	220,97	39,90	70,63	0,25	-15,27	921,28	1.559,57
3 G, Liming		CO2	2.200,53	2.101,57	3,88	3,57	3,76	3,50	4,47	4,78	0,00	-4,50	37,96	30,71
3 H, Urea Application		CO2	481,05	523,50	1,00	1,01	0,99	0,99	1,41	1,43	0,00	8,83	15,89	16,20
3 I, Other Carbon-containing Fertilizers		CO2	510,45	196,03	3,03	3,02	3,01	3,02	4,23	4,28	0,00	-61,60	5,96	6,22
3 J, Other		CH4	0,28	1.315,52	10,00	10,00	20,08	20,08	21,73	22,89	0,00	476.698,04	28,34	35,85
3 J, Other		N2O	0,12	257,54	95,20	378,50	60,17	103,00	56,17	96,80	0,00	206.768,07	70,47	149,27
4 A, Forest Land		CO2	-22.065,98	-57.454,13	0,00	0,00	0,00	0,00	8,83	8,91	0,03	160,37	31,12	34,49
4 A, Forest Land		CH4	39,43	47,24	0,00	0,00	0,00	0,00	58,29	116,95	0,00	19,81	181,84	459,89
4 A, Forest Land		N2O	464,07	384,91	0,00	0,00	0,00	0,00	94,81	378,82	0,18	-17,06	133,89	475,01
4 B, Cropland		CO2	13.511,10	16.336,74	0,00	0,00	0,00	0,00	14,60	12,42	0,01	20,91	106,18	149,10
4 B, Cropland		CH4	146,13	135,19	0,00	0,00	0,00	0,00	42,66	64,89	0,00	-7,49	537,01	981,18
4 B, Cropland		N2O	233,76	642,07	0,00	0,00	0,00	0,00	72,82	156,10	0,01	174,67	114,13	301,52
4 C, Grassland		CO2	26.094,43	17.006,82	0,00	0,00	0,00	0,00	97,93	81,10	0,17	-34,83	218,73	438,48
4 C, Grassland		CH4	1.063,20	1.116,91	0,00	0,00	0,00	0,00	51,01	92,22	0,00	5,05	399,58	856,66
4 C, Grassland		N2O	66,62	121,55	0,00	0,00	0,00	0,00	75,89	175,88	0,00	82,46	105,62	275,67
4 D, Wetlands		CO2	3.668,32	4.333,77	0,00	0,00	0,00	0,00	47,14	127,81	0,10	18,14	297,23	624,71
4 D, Wetlands		CH4	363,06	506,25	0,00	0,00	0,00	0,00	80,23	333,17	0,01	39,44	132,05	557,80
4 D, Wetlands		N2O	34,10	41,99	0,00	0,00	0,00	0,00	86,61	355,53	0,00	23,15	127,97	464,33
4 E, Settlements		CO2	2.429,08	4.122,12	0,00	0,00	0,00	0,00	18,41	17,10	0,00	69,70	65,30	104,64
4 E, Settlements		CH4	47,97	69,57	0,00	0,00	0,00	0,00	40,92	64,89	0,00	45,02	150,98	295,37
4 E, Settlements		N2O	96,71	275,56	0,00	0,00	0,00	0,00	56,51	130,56	0,00	184,92	124,50	296,93
4 G, Harvested Wood Products		CO2	-1.330,35	-4.150,51	0,00	0,00	0,00	0,00	61,79	62,07	0,01	211,99	175,48	202,67
5 A, Solid Waste Disposal		CH4	34.200,20	7.189,33	0,00	0,00	0,00	0,00	32,41	22,22	0,00	-78,98	9,95	14,05
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		CH4	25,34	701,44	12,11	34,90	70,79	207,01	60,73	116,93	0,00	2.668,10	98,32	257,82
5 B, Biological Treatment of Solid Waste		N2O	15,97	306,19	15,41	17,35	37,64	70,66	33,41	46,77	0,00	1.817,80	80,68	135,80
5 D 1, Domestic Wastewater		CH4	2.563,25	450,60	30,08	29,76	36,20	35,83	43,24	51,26	0,00	-82,42	3,45	5,68
5 D 1, Domestic Wastewater		N2O	1.389,87	485,52	87,37	156,37	96,69	349,39	78,86	253,51	0,00	-65,07	863,74	3.613,79

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J				
5 D 2, Industrial Wastewater	CH4	9,25	46,40	0,00	0,00	0,00	0,00	50,20	50,16	0,00	401,52	84,29	151,68
5 D 2, Industrial Wastewater	N2O	31,59	27,09	49,81	49,53	99,90	511,98	99,91	525,59	0,00	-14,24	100,68	258,44
5 E, Other	CH4	0,00	2,43	1,93	2,09	59,68	59,46	59,72	59,35	0,00		92,17	193,14
5 E, Other	N2O	0,00	33,58	1,92	2,10	59,45	59,40	59,52	59,66	0,00		49,92	934,65
Total	THG	1.277.134,69	793.334,59					2,99	3,41	100,00	-37,88	12,64	13,57

Die Unsicherheitsbestimmung für die Kategorien erfolgte einerseits bereits sukzessive im Rahmen der Zuarbeit der datenliefernden Facheinheiten im UBA zur aktuellen Emissionsberichterstattung. Andererseits wurden für Quellgruppen, für die bisher keine oder nur unvollständige Angaben zu den Unsicherheiten vorlagen, im Rahmen von Forschungsvorhaben weitere Unsicherheitsbestimmungen von externen Experten durchgeführt und die Ergebnisse in die Unsicherheitenanalyse der aktuellen Berichterstattung eingearbeitet.

Die Unsicherheiten in der Kategorien Landwirtschaft und LULUCF werden von Experten des TI abgeschätzt.

24 Referenzen

20. BImSchV: Zwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen oder Lagern von Ottokraftstoffen, Kraftstoffgemischen oder Rohbenzin) in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. August 2014 (BGBl. I S. 1447), die durch Artikel 2 der Verordnung vom 24. März 2017 (BGBl. I S. 656) geändert worden ist, published by BGBl. (2017).
21. BImSchV: Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. August 2014 (BGBl. I S. 1453), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 24. März 2017 (BGBl. I S. 656) geändert worden ist, published by BGBl. (2017).
30. BImSchV: Dreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen - 30. BImSchV), published by BGBl. (2017).
- 91/271/EWG (1991): Richtlinie des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L 135/40, 30 S. 91, Artikel 2 Nr. 6.
- AGEB (2020a): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2019 [Press release]
- AGEB (2020b): Heizwerte der Energieträger und Faktoren für die Umrechnung von spezifischen Mengeneinheiten in Wärmeinheiten (2005-2018). from Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=heizwerte2005bis2018.pdf
- AGEB (Ed.) (2003). *Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland - Jahre 1990-1999*. Frankfurt a. M.: Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke.
- AMD (2003): *Umweltbericht*. Dresden. Retrieved from <http://data.theeuropeanlibrary.org/BibliographicResource/3000070766859>
- Anderl, M., Kappel, E., Köther, T., Muik, B., Pazdernik, K., Schodl, B., Poupa, S., Wappel, D., & Wieser, M. (2008): *Austria's Informative Inventory Report (IIR) 2008 - Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*. Wien: Umweltbundesamt (Österreich).
- Andreas, L. (2000): *Langzeitemissionsverhalten von Deponien für Siedlungsabfälle in den neuen Bundesländern*: Forum für Abfallwirtschaft und Altlasten e.V.
- Arbeitsgruppe Boden (1994): *Bodenkundliche Kartieranleitung* (Vol. 4). Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).
- Arbeitsgruppe Boden (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung* (Vol. 45). Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).
- ATV (2004): *Produktionsspezifische Abwässer und Abfälle aus der Glas- und Mineralfaserindustrie*. Hennef: GFA.
- Austermann-Haun, U., & Carozzi, A. (2011): *Bereitstellung einer qualitätsgesicherten Datengrundlage für die Emissionsberichterstattung zur Umsetzung von internationalen Luftreinhalte- und Klimaschutzvereinbarungen für ausgewählte Industriebranchen – hier: N2O Emissionsfaktoren aus der Abwasserreinigung der vier relevantesten Industriebereiche*. Detmold. Retrieved from
- Austermann-Haun, U., & Witte, H. (2014): *Liste der großtechnischen Anaerobanlagen zur Industrieabwasserreinigung in Deutschland, Stand April 2014*. Hochschule Ostwestfalen-Lippe. Detmold.
- Bachmaier, J., & Gronauer, A. (2007): *Klimabilanz von Biogasstrom*.
- BAFA (2020). Mineralölstatistik. Retrieved from http://www.bafa.de/DE/Energie/Rohstoffe/Mineraloel/mineraloel_node.html
- BAIUDbw (2019): Brennstoffeinsatz der Bundeswehr (unveröffentlicht). nicht veröffentlicht.
- Baker, J. M., Ochsner, T. E., Venterea, R. T., & Griffis, T. J. (2007): Tillage and soil carbon sequestration—What do we really know? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1), 1-5.
- Barghorn, M., Goessele, P., & Kaworski, W. (1986): *Laufende Aktualisierung des Datenmaterials aus der Bundesweiten Hausmuellanalyse*.
- Baritz, R., Seufert, G., Montanarella, L., & Van Ranst, E. (2010): Carbon concentrations and stocks in forest soils of Europe. *Forest Ecology and Management*, 260(3), 262-277.
- Bauer, S., Polcher, D. A., & Greßmann, A. (2010): *Evaluierung der Anforderungen der 20. BImSchV für Binnentankschiffe im Hinblick auf die Wirksamkeit der Emissionsminderung klimarelevanter Gase* (FKZ 3709 45 326). München. Retrieved from
- BauGB: Baugesetzbuch, (2015).
- Bayern, L. (2009): Wirtschaftsdünger und Gewässerschutz.
- BBodSchG: Bundesbodenschutzgesetz - Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderung und zur Sanierung von Altlasten, (1998).
- BDZ (2005): *Zement-Jahresbericht 2004/2005*: Bundesverband der Deutschen Zementindustrie (BDZ).
- BDZ (2017): *Betriebs- und Leistungsfähigkeit von vollbiologischen Kleinkläranlagen bis 50 EW*.
- Bechtold, M., Tiemeyer, B., Laggner, A., Leppelt, T., Frahm, E., & Belting, S. (2014): Large-scale regionalization of water table depth in peatlands optimized for greenhouse gas emission upscaling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(9), 3319.

- Becker, A., Düpütell, D., Gärtner, A., Hirschberger, R., & Oberdörfer, M. (2012): Emissionen klimarelevanter Gase aus Kläranlagen. *Immissionsschutz*(04).
- Beduco NV (2020). Nährstoffgehalte von Kaninchenfutter. Retrieved from <http://docplayer.org/28662297-Kaninchen-rohfett-rohprotein.html>
- Bender (2009a): *Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCC- und UNECE-Berichterstattung - Bereich Lageranlagen* (Bericht Nr. M74 244/7, UBA FKZ 3707 42 103/01).
- Bender (2009b): *Inventarverbesserung 2008, Verbesserung und Ergänzung der aktuellen Inventardaten, IPCC-Kategorie (1996) 1.B.2 Diffuse Emissionen aus Erdöl und Erdgas* (UBA FKZ 360 16 012).
- Bender, M., & von Müller, G. (2019): *Konsolidierung der Treibhausgasemissionsberechnungen unter der 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls und der neuen Klimaschutz-Berichterstattungspflichten an die EU* (FKZ 3716 41 107 0).
- Betzenbichler, W., Kolmetz, S., & Randall, S. (2016a): *Erarbeitung wissenschaftlich-methodischer Grundlagen zur Umsetzung der Empfehlungen aus den internationalen Inventarüberprüfungen - Verbesserung des Qualitätsmanagements und der Verifikation der deutschen Emissionsinventare*. Freising, Dessau-Roßlau: VERICO.
- Betzenbichler, W., Kolmetz, S., & Randall, S. (2016b): *Erarbeitung wissenschaftlich-methodischer Grundlagen zur Umsetzung der Empfehlungen aus den internationalen Inventarüberprüfungen - Verbesserung des Qualitätsmanagements und der Verifikation der deutschen Emissionsinventare*. Freising, Dessau-Roßlau. Retrieved from
- Beyer, M., Chudy, A., Hoffmann, L., Jentsch, W., Laube, W., Nehring, K., & Schiemann, R. (2004): *Rostocker Futterbewertungssystem: Kennzahlen des Futterwertes und Futterbedarfs auf der Basis von Nettoenergie*. Dummerstorf: Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere.
- BGR, B. f. G. u. R. (1995): *Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1: 1 000 000, digitale Version (BÜK 1000/LBA_V2)*. Hannover (Digitales Archiv FISBo BGR): BGR–BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN ROHSTOFFE
- BGR, B. f. G. u. R. (1997): *Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1: 1 000 000, digitale Version (BÜK 1000/LBA_V2)*. Hannover (Digitales Archiv FISBo BGR): BGR–BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN ROHSTOFFE
- BGR, B. f. G. u. R. (Cartographer) (2008). *Gruppen der Bodenausgangsgesteine in Deutschland 1 : 5 000 000 (BAG 5000), FISBo BGR*
- BGR, B. f. G. u. R. (2011): *Schätzprofile der BÜK 1000 n 2.3; FISBo BGR*
https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Informationsgrundlagen/Bodenkundliche_Karten_Datenbanken/BUEK1000/buek1000_node.html
- Biertümpfel, A., Rudel, H., Werner, A., & Vetter, A. (2009): *15 Jahre Energieholzversuche in Thüringen*. Jena. Retrieved from <http://www.tll.de/ainfo/pdf/ehol1009.pdf>
- Bittkau, O. (2017, September 2017). [Telefongespräch zu CO₂-Emissionen aus Erdölpipelines].
- BKG, B. f. K. u. G. (Cartographer) (2015). *Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland LBM-DE2015*
- BLE, B. f. L. u. E. (2020): *Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2019*. Retrieved from: <https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Waldbrandstatistik/Waldbrandstatistik-2019.html>
- BLfU (2011): *Den Boden fest im Blick - 25 Jahre Bodendauerbeobachtung in Bayern*. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt (BLfU).
- Blum, U., & Heinbach, R. (2006): *Endbericht zum BZE Ringversuch Humus 2006*. Freising. Retrieved from http://bfh-web.fh-eherswalde.de/bze/front_content.php
- Blum, U., & Heinbach, R. (2007): *Endbericht zum BZE Ringversuch Mineralboden 2007*. Freising. Retrieved from
- BMBF, & UBA (Eds.). (1998). *Verbundvorhaben Deponiekörper*. Berlin.
- BMEL, B. f. E., Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2016): *Konzept zur Erstellung von THG Emissions- und Kohlenstoffinventaren der Quell- und Senkengruppen Landwirtschaft und LULUCF durch das Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI) im Zuständigkeitsbereich des BMEL*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). Berlin.
- BMEL, B. f. E. u. L. (2020). *Massive Schäden - Einsatz für die Wälder*. Retrieved from <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/wald-trockenheit-klimawandel.html>
- BMELF (2010): *Aufnahmeanweisung für die Inventurstudie 2008 im Rahmen der Treibhausgasberichterstattung*. Bonn. Retrieved from
- BMELV (2009): *Waldbericht der Bundesregierung 2009*. Berlin. Retrieved from www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Waldbericht2009.pdf?__blob
- BMELV (2016): *Konzept zur Erstellung von THG Emissions- und Kohlenstoffinventaren der Quell- und Senkengruppen Landwirtschaft und LULUCF durch das Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI) im Zuständigkeitsbereich des BMEL*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). Berlin.
- BMU (Ed.) (1990). *Eckwerte der oekologischen Sanierung und Entwicklung in den neuen Laendern*: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).
- Boelcke, B. (2007): *ERTRAGSPOTENZIAL UND ERTRAGSAUFBAU VON WEIDEN (SALIX) IN KURZUMTRIEBSPLANTAGEN*.
http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Nachwachsende_Rohstoffe/feste_Brennstoffe/index.jsp?&artikel=3123

- Bolte, A., Hertel, D., Ammer, C., Schmid, I., Nörr, R., Kuhr, M., & Redde, N. (2003): Freilandmethoden zur untersuchung von baumwurzeln. *Forstarchiv*, 74(6), 240-262.
- Börjesson, P., & Berglund, M. (2007): Environmental systems analysis of biogas systems—Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. *Biomass and Bioenergy*, 31(5), 326-344.
- Bösch, B., Kändler, G., Polley, H., Henning, P., & Schmitz, F. (2016): *WEHAM 2012 - Modelle und Algorithmen*.
- Brown, T. J., Idoine, N. E., Raycraft, E. R., Hobbs, S. F., Shaw, R. A., Everett, P., Kresse, C., Deady, E. A., & Bide, T. (2019): *World Mineral Production 2013-2017*. Keyworth, Nottingham: British Geological Survey (BGS).
- BSRIA Limited (Versch. Jahrgänge): *World Market for Air Conditioning*.
- Bundesgesetzblatt (2012): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist) *Teil I Nr. 58*: Bonn.
- Bundesministerium für Verbraucherschutz, E. u. L. B. (1994): *Der Wald in den neuen Bundesländern - Eine Auswertung vorhandener Daten nach dem Muster der Bundeswaldinventur*. Bonn. Retrieved from
- Bundesministerium für Verbraucherschutz, E. u. L. B. (2010): *Aufnahmeanweisung für die Inventurstudie 2008 im Rahmen der Treibhausgasberichterstattung*. . Bonn. Retrieved from
- Bundesverband Deutscher Bestatter, e. V. (2020): Informationen des Bundesverbandes Deutscher Bestatter e.V. zum Anteil der Feuerbestattungen.
- Burschel, P., Kürsten, E., & Larson, B. C. (1993): *Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt: Eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland* (ISSN 0174-1810). Freising. Retrieved from
- BV Glas (2020a). Angaben zum Jahresbericht des Bundesverband Glasindustrie e.V., statistischer Anhang als online-Tabelle. Retrieved from https://www.bvglas.de/media/Facts_and_figures_Jahresberichte/Produktion_von_Glas.pdf
- BV Glas (2020b): Jahresbericht des Bundesverband Glasindustrie e.V. 2019, statistischer Anhang.
- BV Glas (2020c): Scherbeneinsatz in der Behälterglasindustrie 2019.
- BVEG (2018). Jahresbericht des Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., Statistischer Bericht Retrieved from <http://www.erdoel-erdgas.de/>
- BVEG (2020a). Jahresbericht des Bundesverband Erdgas, Erdöl und Geoenergie e.V., Statistischer Bericht Retrieved from <http://www.erdoel-erdgas.de/>
- BVEG (2020b): *Statistischer Bericht 2019*.
- BVKalk (2020). [Mitteilung per E-Mail von Dr. Werner Fuchs am 6.7.2020].
- BWaldG: Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz); „Bundeswaldgesetz vom 2. Mai 1975 (BGBl. I S. 1037), das zuletzt durch Artikel 413 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist“ zur Förderung der Forstwirtschaft, 2. (2015).
- Cambou, A., Shaw, R. K., Huot, H., Vidal-Beaudet, L., Hunault, G., Cannavo, P., Nold, F., & Schwartz, C. (2018): Estimation of soil organic carbon stocks of two cities, New York City and Paris. *Science of the total environment*, 644, 452-464.
- Cech, M., Davis, P., Gambardella, F., Haskamp, A., González, P. H., Spence, M., & Larivé, J.-F. (2017). Performance of European cross-country oil pipelines - Statistical summary of reported spillages in 2015 and since 1971. Retrieved from <https://www.concawe.eu/publication/performance-european-cross-country-oil-pipelines-statistical-summary-reported-spillages-2015-since-1971/>
- Clodic, D., & Barrault, S. (2011): *1990 to 2010 Refrigerant inventories for Europe - Previsions on banks and emissions from 2006 to 2030 for the European Union - Part A 1990 to 2010 refrigerant inventories for Europe*.
- Clodic, D., Barrault, S., & Saba, S. (2012): *Global inventories of the worldwide fleets of refrigerating and airconditioning equipment in order to determine refrigerant emissions - The 1990 to 2006 Updating*.
- Cools, N., Verschelde, P., Hinsch Mikkelsen, J., De Vos, B., & Quataert, P. (2006): *Quality assurance and quality control in forest soil analysis: 4th fsc interlaboratory comparison: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*.
- Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources, L 375/1, European Communities, Pub. L. No. 31 12 (1991).
- Cuhls, C., Mähl, B., Clemens, J., & Herrmann, T. (2015): *Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen*. Dessau-Roßlau.
- Dämmgen, U., Amon, B., Gyldenkerne, S., Hutchings, N. J., Kleine Klausning, H., Haenel, H.-D., & Rösemann, C. (2011): Reassessment of the calculation procedure for the volatile solids excretion rates of cattle and pigs in the Austrian, Danish and German agricultural emission inventories. *Landbauforschung Völkenrode*, 61, 115-126.
- Dämmgen, U., Amon, B., Hutchings, N. J., Haenel, H.-D., & Rösemann, C. (2012a): Data sets to assess methane emissions from untreated cattle and pig slurry and solid manure storage systems in the German and Austrian emission inventories. *Landbauforschung*, 62, 1-20.
- Dämmgen, U., & Hutchings, N. J. (2005): *The assessment of emissions of nitrogen species from agriculture using the methodology of the atmospheric emission inventory guidebook* (9076998787). Wageningen. Retrieved from
- Dämmgen, U., Lüttich, M., Döhler, H., Eurich-Menden, B., & Osterburg, B. (2002): GAS-EM—ein Kalkulationsprogramm für Emissionen aus der Landwirtschaft. *Landbauforschung Völkenrode*, 1(52), 19-42.
- Dämmgen, U., Rösemann, C., Haenel, H.-D., & Hutchings, N. J. (2012b): Enteric methane emissions from German dairy cows. *Landbauforschung*, 62, 21-31.
- Dämmgen, U., Schulz, J., Kleine Klausning, H., Hutchings, N. J., Haenel, H.-D., & Rösemann, C. (2012c): Enteric methane emissions from German pigs. *Landbauforschung*, 62, 83-96.

- Daschner, R., Faulstich, M., & Quicker, P. (2010): *Überprüfung der Emissionsfaktoren für die Abfallverbrennung* (pp. 93). DAV (2016): Anzahl der Asphaltmischwerke in Deutschland.
- DAV (2020): Asphaltproduktion in Deutschland.
- DBFZ (2011): *Emissionsanalyse und Quantifizierung von Stoffflüssen durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung und Inventarisierung der deutschen Landwirtschaft*.
- De Vries, W., Reinds, G. J., Gundersen, P., & Sterba, H. (2006): The impact of nitrogen deposition on carbon sequestration in European forests and forest soils. *Global Change Biology*, 12(7), 1151-1173.
- DEBRIV (2004, 15. September 2004) *Mitteilung vom Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e.V. an das IKP Stuttgart/Interviewer: I. Stuttgart*. DEBRIV.
- DEHSt (2016). [Mitteilung per E-Mail von Detlef Bittner (Fachgebiet E 1.2) am 25.07.2016].
- DEHSt (2017). [Mitteilung per E-Mail von Daniela Malsch (Fachgebiet E 1.2) am 02.08.2017].
- DEHSt (2018). [Mitteilung per E-Mail von Fachgebiet E 1.2 am 27.07.2018].
- DEHSt (2019). [Mitteilung per E-Mail von Daniela Malsch (Fachgebiet V 2.2) am 19.8.2019].
- DEHSt (2020). [Mitteilung per E-Mail von Daniela Malsch (Fachgebiet V 2.2) am 6.7.2020].
- Deichnik, K. (2020): Aktualisierung und Revision des Modells zur Berechnung der spezifischen Verbräuche und Emissionen des von Deutschland ausgehenden Seeverkehrs. from Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie
- DESTATIS (2020). Genesis Datenbank, Tabelle 46321-0005.
- DGE (2008): *Ernährungsbericht 2008*. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE).
- DGMK (1992): *Ansatzpunkte und Potentiale zur Minderung des Treibhauseffektes aus Sicht der fossilen Energieträger*. Hamburg. Retrieved from
- DGMK (2002): *Zusammensetzung von Ottokraftstoffen aus deutschen Raffinerien*. UBA Bibliothek. Retrieved from
- Diaz-Valbuena (2011): Methane, Carbon Dioxide, and Nitrous Oxide Emissions from Septic Tank Systems. *Environmental Science and Technology*.
- Die Verbraucher Initiative e.V. (2005, 09.01.2013). Distickstoffmonoxid. *Zusatzstoffe-Online.de*. Retrieved from http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/284.e942_distickstoffmonoxid.html
- DirektZahlVerpflV: Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung vom 4. November 2004 (BGBl. I S. 2778), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 15. Dezember 2011 (eBAnz 2011 AT144 V1); Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand, (2004).
- DLG (Ed.) (2005). *Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere* (1 ed. Vol. Band 199). Frankfurt/M.: DLG-Verlag.
- DLG (Ed.) (2014). *Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere*. (2 ed. Vol. Band 199). Frankfurt/M.: DLG-Verlag.
- Döpelheuer, A. (2002): Anwendungsorientierte Verfahren zur Bestimmung von CO, HC und Ruß aus Luftfahrttriebwerken: DLR.
- Drexhage, M., & Colin, F. (2001): Estimating root system biomass from breast-height diameters. *Forestry*, 74(5), 491-497.
- Dreyse, T. (2015): *Vergleich des Bodenkohlenstoffmodells CANDY-Carbon-Balance (CCB) mit der Humusbilanzmethode nach VDLUFA am Beispiel von ausgewählten Ackerstandorten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft*. (Diploma), Anhalt University of Applied Sciences and Thünen-Institute of Climate Smart Agriculture. Retrieved from www.vdlufa.de/kongress2015/KB2015_Web.pdf
- DüV: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. , (2007).
- DüV: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen published by BMEL (2017).
- Düwel, O., Siebner, C. S., Utermann, J., & Krone, F. (2007): Gehalte an organischer Substanz in Oberböden Deutschlands-Bericht über länderübergreifende Auswertungen von Punktinformationen im FISBo In B. f. G. u. R. (BGR) (Ed.), *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
- TRGI - G 600 Arbeitsblatt 2018, published by DVGW (2018).
- DVGW (2020). Methan-Emissionen aus dem Verteilnetz (ME-DSO). Retrieved from <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-me-dso/>
- DWA (2007): Merkblatt DWA-M 381
Eindickung von Klärschlamm.
- DWA (ab 1988 - jährlich): Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen - jährliche Veröffentlichung.
- DWD (2013, 26.07.2013). [Persönliche Mitteilung von Herrn Lux am 26.07.2013 "Gemittelte Erdbodentemperaturen in 1 m Tiefe in Deutschland"].
- Ecofys & Environment Agency Austria (2017): *Member State recommendations on reporting systems for cropland & grazing land management emissions & removals GERMANY: 2016 and 2017 Submission*. .
- Edelmann, S. (2013): *Organischer Kohlenstoff in terrestrischen und semiterrestrischen Stadtböden - Eine Bilanzierung der organischen Kohlenstoffgehalte und -mengen in Abhängigkeit von der Flächennutzung im Berliner Stadtgebiet*. (Diploma), HU Berlin, Berlin.
- Edmondson, J. L., Davies, Z. G., McCormack, S. A., Gaston, K. J., & Leake, J. R. (2014): Land-cover effects on soil organic carbon stocks in a European city. *Science of the total environment*, 472, 444-453.

- Edmondson, J. L., Davies, Z. G., McHugh, N., Gaston, K. J., & Leake, J. R. (2012): Organic carbon hidden in urban ecosystems. *Scientific reports*, 2, 963.
- EEA (2017): *Final Review Report. 2017 annual review of national greenhouse gas inventory data pursuant to Article 19(2) of Regulation (EU) No 525/2013. Germany.* .
- EEA (2019): *Final Review Report. 2019 annual review of national greenhouse gas inventory data pursuant to Article 19(2) of Regulation (EU) No 525/2013. Germany.* .
- EEA (2020): *Final Review Report. 2020 Comprehensive Review of National greenhouse gas inventory data pursuant to Article 4(3) of Regulation (EU) No 2018/842 and to Article 3 of Decision No 406/2009/EC. Germany.*
- Einig, K., Jonas, A., & Zaspel, B. (2009): Eignung von CORINE-Geodaten und Daten der Flächenerhebung zur Analyse der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung in Deutschland. *Wirtschaft und Statistik*, 4, 355-364.
- ElektroG: Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten vom 20. Oktober 2015, (2015).
- EMEP (2009): *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2009.* <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>
- EMEP (2016): *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2016.* <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2016>
- EMEP/EEA (2019): *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2019.*
- European Candle Association (2017): Consumption of candles in the European Union (EU 28) [Press release]. Retrieved from <http://eca.ral-candles.eu/index.php?rubrik=19&topnav=8>
- European Commission (2007a): *Reference document on best available techniques (BAT) reference document (BREF) in the ceramic manufacturing industry.* European Commission Retrieved from <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>.
- European Commission (2007b): *Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others industry.* European Commission Retrieved from http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/lvic-s_bref_0907.pdf.
- EUROPEAN COMMISSION DECISION of 27 April 2011 determining transitional Union-wide rules for harmonised free allocation of emission allowances pursuant to Article 10a of Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council (2011/278/EU), 2011/278/EU. (2011).
- European Parliament and Council of the European Union: Regulation (EC) No 1165/2008 concerning livestock and meat statistics and repealing Council directives 93/23/EEC, 93/24/EEC and 93/25/EEC, § Article 4 published by E. Union (2008).
- European Parliament and Council of the European Union DIRECTIVE 2010/75/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control), Directive 2010/75/EU. (2010).
- European Parliament and Council of the European Union Regulation (EU) 2018/842 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on binding annual greenhouse gas emission reductions by Member States from 2021 to 2030 contributing to climate action to meet commitments under the Paris Agreement and amending Regulation (EU) No 525/2013, Regulation (EU) 2018/842. published by O. J. o. t. E. Union (2018).
- EXXON (2014). Förderung von Erdgas in Deutschland. Retrieved from http://www.erdgassuche-in-deutschland.de/erkundung_foerderung/produktion_von_erdgas/index.html
- F-GasV: Verordnung (EU) Nr. 517/2014 des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über fluorierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006, (2014).
- FAO (2020a): FAOSTAT. Retrieved 14.09.2020, from Food and Agriculture Organization of the United Nations <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA>
- FAO (2020b): FAOSTAT-Forestry Database. from FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) <http://faostat3.fao.org/home/E>
- FAOSTAT (ab 2015): FAOSTAT Protein supply quantity. from FAOSTAT <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>
- Fehrenbach, H., Köppen, S., Markwardt, S., & Vogt, R. (2016): *Aktualisierung der Eingangsdaten und Emissionsbilanzen biogener Energienutzungspfade (BioEm).* Dessau-Roßlau. Retrieved from
- Feller, C., Fink, M., Laber, H., Maync, A., Paschold, P. J., Scharpf, H. C., Schlaghecken, J., Strohmeyer, K., Weier, U., & Ziegler, J. (2011): *Düngung im Freilandgemüsebau Großbeeren/Erfurt.* Retrieved from https://www.igzev.de/publikationen/IGZ_Duengung_im_Freilandgemuesebau.pdf
- Fichtner, W., Karl, U., & Hartel, R. (2011): *Fortschreibung der Emissionsfaktoren für Feuerungs- und Gasturbinenanlagen nach 13./17. BImSchV und TA Luft : Endbericht* (pp. X, 140).
- Fliesen, B. K. (2020). [Telefongespräch des UBA mit Jens Fellhauer (fellhauer@fliesenverband.de vom Bundesverband Keramische Fliesen e.V.) am 19.08.2020].
- FNB (2020). Umsetzungsbericht zum Netzentwicklungsplan Gas der Fernleitungsnetzbetreiber. Retrieved from <https://www.fnb-gas.de/netzentwicklungsplan/netzentwicklungsplaene/netzentwicklungsplan-2020/>
- FOEN, F. O. f. t. E. (2010): *Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2008.* Bern, Switzerland Retrieved from
- Forsell, N., Korosuo, A., Federici, S., Gusti, M., Rincón-Cristóbal, J., Rüter, S., Sánchez-Jiménez, B., Dore, C., Brajterman, O., & Gardiner, J. (2018): Guidance on developing and reporting Forest Reference Levels in accordance with regulation (EU) 2018/841. 2018.

- Forsell, N., Korosuo, A., Gusti, M., Rüter, S., Havlik, P., & Obersteiner, M. (2019): Impact of modelling choices on setting the reference levels for the EU forest carbon sinks: how do different assumptions affect the country-specific forest reference levels? *Carbon balance and management*, 14(1), 1-18.
- Fortmann, H., Rademacher, P., Groh, H., & Höper, H. (2012): *Tagungsband 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen*. Hannover. Retrieved from
- Franko, U., Kolbe, H., Thiel, E., & Ließ, E. (2011): Multi-site validation of a soil organic matter model for arable fields based on generally available input data. *Geoderma*, 166(1), 119-134.
- Fraver, S., Wagner, R. G., & Day, M. (2002): Dynamics of coarse woody debris following gap harvesting in the Acadian forest of central Maine, USA. *Canadian Journal of Forest research*, 32(12), 2094-2105.
- Gärtner, S., Münch, J., Reinhardt, G., & Vogt, R. (2008): *Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland* (FKZ: 0327544).
- GASUNIE (2014). Verdichterstationen. Retrieved from <http://www.erdgas-fuer-morgen.de/hoofdmenu/verdichterstationen>
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2006): *Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen*. Frankfurt/m.: Gesellschaft für Ernährungsphysiologie / Ausschuß für Bedarfsnormen.
- GFZ, D. G. (2018). Pilotstandort Ketzin. Retrieved from <http://www.co2ketzin.de/startseite/>
- Gibbs, M. J., & Woodbury, J. W. (1993): Methane and Nitrous Oxide: Methods in National Emissions Inventories and Options for Control : Proceedings, ed. A.R. van Amstel, 81-90. Amersfoort, The Netherlands, 3-5 February 1993.
- GICON (2008): *Implementierung der Bilanz der Emissionsursachen auf Basis der MESAP-Datenbank*. nicht veröffentlicht. Retrieved from
- Gitzhofer, K., Bergmann, G., & Petermann, U. (2008): *Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Glas- und Mineralfaserindustrie*. Offenbach a.M. [u.a.].
- Gores, S. (2020): *Inventartool zum deutschen Flugverkehrsinventar 1990-2019, im Rahmen der Aktualisierung des Moduls TREMOD-AV im Transportemissionsmodell TREMOD*.
- Gottwald, Müller-Syring, & Hilbich (2012): *Verbesserung der Treibhausgasemissionsberichterstattung im Bereich "Gas, Verteilung" durch Datenerhebung und Datenbereitstellung*.
- Gottwald, J., Dobritz, F., & Schneider, L. (2017): *Prüfung der Vollständigkeit der Berichterstattungskategorie 'Keramische Erzeugnisse' insbesondere Emissionsrelevanz feinkeramischer Teilbranchen (Evaluierung in CRF 2.A.4.a/NFR 2.A.6 AR-Keramik) Dokumentationen / Umweltbundesamt (UBA)* (pp. 1). Retrieved from <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/pruefung-der-vollstaendigkeit-der>
- Graf, T., Beck, M., Mauermeier, M., Ismann, D., Portner, J., P., D., & Schmidhalter, a. U. (2014): Humulus lupulus – The Hidden Half. *BrewingScience*, 67, 161–167.
- Graf, T. M. (2016): *Tröpfchenbewässerung im Hopfenbau - Feldversuche, Physiologie und Rhizosphäre*. Technische Universität München. Retrieved from <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1304504/1304504.pdf>
- Graichen, V., Harthan, R. O., & Repenning, J. (2005): *Analyse, Dokumentation und Überarbeitung der Bilanz der Emissionsursachen(BEU)*. Berlin [u.a.].
- Greiner, B., Barghoorn, M., & Dobberstein, J. (1983): *Chemisch-physikalische Analyse von Hausmuell*.
- Grosse, C. (2019): *Qualitätsprüfung der Texte für den nationalen Inventarbericht und Datenerhebung in der Quellgruppe 1.B.2.b* (PNr. 1252 30).
- Grosse, C. (2020): *Qualitätsprüfung der Fachtermini des englischsprachigen Nationalen Inventarberichts und Datenerhebung und -auswertung in der Quellgruppe 1.B.2.b* (PNr. 140 382).
- Grün, E., Schmelz, K.-G., & Schild, L. (2013): Klimarelevante Emissionen des Emschersystems. *KA Korespondenz Abwasser, Abfall*, 60(3), 200.
- Grundner, F., & Schwappach, A. (1952): Massentafeln zur Bestimmung des Holzgehaltes stehender Waldbäume und Waldbestände. Hrsg. SCHÖBER, R: Paul Parey Verlag.
- Grüneberg, E., Ziche, D., & Wellbrock, N. (2014): Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Global Change Biology*, 20(8), 2644-2662.
- Gschrey, B., Schwarz, W., Kimmel, T., Zeiger, B., & Reitz, S. (2015): *Implementierung der ab dem Berichtsjahr 2013 gültigen IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006 in die Inventarerhebung fluorierter Treibhausgase (HFKW, FKW, SF6, NF3)* (1862-4359). Dessau-Roßlau. Retrieved from <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/implementierung-der-ab-dem-berichtsjaehr-2013>
- Gschrey, B., Warncke, K., & Osterheld, S. (2018): *Inventarermittlung der F-Gase 2017/2018 - Daten von HF(C)KW, FKW, SF6, NF3, SF5CF3, H(C)FE und PFPME für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für die Berichtsjahre 2017 und 2018*. Frankfurt am Main. Retrieved from
- Gujer, W. (2006): *Siedlungswasserwirtschaft* (3., bearb. Aufl. ed.). Berlin: Springer.
- Gurgel, A. (2011): Ergebnisse der Versuche mit schnellwachsenden Baumarten nach 18 Jahren Bewirtschaftung in Gülzow *Tagungsband* (Vol. 5, pp. 2-3): Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern.
- Haas, W. (2015): *Kraftstoffpermeation an Zapfsäulen*.
- Haenel, H.-D., Dämmgen, U., & Rösemann, C. (2011): Estimating numbers of piglets, weaners and fattening pigs for the German agricultural emission inventory. *Landbauforsch*, 61, 229-236.
- Haenel, H.-D., Rösemann, C., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., & Osterburg, B. (2020a): *Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2018*.

- Report on methods and data (RMD). Submission 2020. Thünen Report 77* (pp. 448). Retrieved from <https://www.thuenen.de/de/infoteh/publikationen/thuenen-report/> doi:10.3220/REP1584363708000
- Haenel, H.-D., Rösemann, C., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B., & Fuß, R. (2020b): *Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2018. Report on methods and data (RMD). Submission 2020. Thünen Report 77*
- Haenel, H.-D., & Wulf, S. (2016): *Berechnung von CH₄, N₂O-, NO-, N₂- und NH₃-Emissionen durch Vergärung von Gülle, Mist und Energiepflanzen ab Emissionsberichterstattung 2015*. Thünen-Institut, Braunschweig, und KTBL, Darmstadt. . Unveröffentlichtes Manuskript.
- Haenel, R., et al (2020): *Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2018*.
- Hafner, I. A., Gabrieli, C., & Widell, K. (2019): *Refrigeration units in marine vessels: Alternatives to HCFCs and high GWP HFCs*: Nordic Council of Ministers.
- Handke, V., Degel, M., Hohlfeld, A., & Kathöfer, V. (2013): *International Workshop "Comparing ETS and NIR Monitoring Data" : 26th and 27th September 2011*. Dessau-Roßlau.
- Handke, V., Joerss, W., Pfitzner, R., Brinkschneider, F., & Schollenberger, H. (2004): *Das Qualitäts-System-Emissionsinventare-Handbuch. Report to the German Federal Environment Agency (UBA), FKZ 202 42 266, 266*.
- Harthan, R. O., Anderson, G., & Böttcher, H. (2017): *Methodische Anpassung der deutschen THG-Emissionsinventare an die überarbeiteten "UNFCCC" reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention*. Dessau-Roßlau.
- Hedel, R., & Kunze, J. (2012): *Recherche des jährlichen Kohleinsatzes in historischen Schienenfahrzeugen seit 1990*. Probst & Consorten Marketing-Beratung. Dresden.
- Heilwig, R. (2002): *Fahrleistungen und Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr. DIW Wochenbericht(51/52)*, 881.
- Hensmann, M., Haardt, S., & Ebert, D. (2011): *Emissionsfaktoren zur Eisen- und Stahlindustrie für die Emissionsberichterstattung (FKZ 3707 42 301)*. <http://www.uba.de/uba-info-medien/4362.html>
- Hensmann, M., Haardt, S., & Ebert, D. (2012): *Emissionsfaktoren zur Eisen- und Stahlindustrie für die Emissionsberichterstattung (Stand: Juli 2012 ed.)*. Dessau-Roßlau.
- Herold, A., Anderson, G., & Jörß, W. (2016): *Implications of the changed reporting requirements of the Effort Sharing Decision for the EU ETS and the national GHG inventory : work package 1: comparison of ETS and IPCC Climate Change / Umweltbundesamt* (pp. 1). Retrieved from http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_13_2016_implications_of_changed_reporting_requirements.pdf
- <http://webde/gruppen/bibliothek/Onlinebuecher/EB012194.pdf>
- Herold, A., Jörß, W., Koch, M., & Scheffler, M. (2014): *Methodische Anpassung der deutschen THG-Emissionsinventare an die überarbeiteten „UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention“ (FKZ: 3712 41 103-2)*. Berlin. Retrieved from
- Hoffmann, G., Wünsch, C., Schnapke, A., & Sieck, M. (2011): *Nutzung der Potenziale des biogenen Anteils im Abfall zur Energieerzeugung*. Dessau-Roßlau.
- Höper, H., & Schäfer, W. (2012): *Die Bedeutung der organischen Substanz von Mineralboden für den Klimaschutz. Bodenschutz, 3(12)*, 72-80.
- Horn, H. (2013). *Ertragspotenziale von Kurzumtriebsplantagen in Sachsen*. Retrieved from https://www.landwirtschaft.sachsen.de/.../2013_11_28_Vortrag_Horn_Nossen.pdf
- Illichmann, S. (2016): *Recherche des Festbrennstoffeinsatzes historischer Schienenfahrzeuge in Deutschland 2015*. Probst & Consorten Marketing-Beratung. Dresden.
- Institut für Umweltschutz (Ed.) (1990). *Umweltbericht der DDR : Informationen zur Analyse der Umweltbedingungen in der DDR und zu weiteren Massnahmen* (1. Aufl. ed.). Berlin (Ost): Visuell-Verl.
- International Soil Reference Information Centre (1990): *Soil Map of the World: Revised Legend (925102622X)*. Rome. Retrieved from
- IPCC (2000): *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Montreal. Retrieved from <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/index.html>
- IPCC (2003): *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Montreal. Retrieved from <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.html>
- IPCC (2006): *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (N. G. G. I. Programme, E. H.S., B. L., M. K., N. T., & T. K Eds.). Japan: IGES.
- IPCC (2014): *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*. Switzerland. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf
- IPCC (2015): *Climate change 2014: synthesis report* (R. K. Pachauri, L. Mayer, & I. P. o. C. Change Eds.). Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2019): *Refinements: CHAPTER 6 WASTEWATER TREATMENT AND DISCHARGE*.
- IPCC, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014a): *2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol*. Switzerland. Retrieved from <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/index.html>

- IPCC, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T. G. (2014b): *2013 Supplement to the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*. Switzerland. Retrieved from <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/index.html>
- IPCC, Houghton, J. T., Meira Filho, L., Lim, B., Treanton, K., & Mamaty, I. (1997): *Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. v. 1: Greenhouse gas inventory reporting instructions.-v. 2: Greenhouse gas inventory workbook.-v. 3: Greenhouse gas inventory reference manual*. Montreal. Retrieved from <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>
- Jacobs, A., Flessa, H., Don, A., Heidkamp, A., Prietz, R., Dechow, R., Gensior, A., Poeplau, C., Riggers, C., Schneider, F., Tiemeyer, B., Vos, C., Wittnebel, M., Müller, T., Säurich, A., Fahrion-Nitschke, A., Gebbert, S., Hopfstock, R., Jaconi, A., Kolata, H., Lorbeer, M., Schröder, J., Laggner, A., Weiser, C., & Freibauer, A. (2018): *Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung*. Braunschweig. Retrieved from
- Jamet, M., & Knörr, W. (unveröffentlicht): *Überleitung der Fahrleistungserhebung 2014 nach TREMOD - Entwurf des Endberichts zum Forschungsprojekt 84.0523 der BAST*.
- JARN (Versch. Jahrgänge): Special Edition "World Air Conditioner Market". *Japan Air Conditioning, Heating & Refrigeration News, Tokyo 107-0052*.
- Jarvis, S., & Pain, B. (1994): Greenhouse gas emissions from intensive livestock systems: their estimation and technologies for reduction. *Climate Change: Significance for Agriculture and Forestry*, 27, 27-38.
- Joas, D. R., Potrykus, A., Schott, R., & Wenzel, S. (2004): *VOC-Minderungspotenzial beim Transport und Umschlag von Mineralölprodukten mittels Kesselwagen (FKZ 202 44 372)*. Berlin. Retrieved from <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2637.pdf>
- Jochem, D., Weimar, H., Bösch, M., Mantau, U., & Dieter, M. (2015): Estimation of wood removals and fellings in Germany: a calculation approach based on the amount of used roundwood. *European journal of forest research*, 134(5), 869-888.
- Johansson, T., & Hjelm, B. (2012): Stump and root biomass of poplar stands. *Forests*, 3(2), 166-178.
- Jörß, W., & Gronewäller, L. (2010): *Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung : Schlussbericht*. Berlin [u.a.].
- Juhrich, K., & Wachsmann, U. (2007): *Dokumentation der Datenqualität von Aktivitätsdaten für die Berichte über Emissionen aus stationären Feuerungen im Rahmen des Nationalen Inventarberichtes und des Monitoring Mechanismus nach RL EG 99/296*. Dessau.
- Kaltschmitt, M. (2007): *Umwelteffekte einer geothermischen Stromerzeugung - Analyse und Bewertung der klein- und großräumigen Umwelteffekte der geothermischen Stromerzeugung (FKZ 205 421 10)*. Hamburg Harburg. Retrieved from
- Kändler, G., & Bösch, B. (2013): *Methodenentwicklung für die 3. Bundeswaldinventur: Modul 3 Überprüfung und Neukonzeption einer Biomassefunktion—Abschlussbericht*.
- Keller, M., Hausberger, S., Matzer, C., Wüthrich, P., & Notter, B. (2017): Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) Version 3.3. from MK Consulting GmbH, INFRAS AG & IVT / TU Graz http://www.hbefa.net/d/documents/HBEFA33_Hintergrundbericht.pdf http://www.hbefa.net/d/documents/HBEFA33_Documentation_20170425.pdf
- Kern, J., Hellebrand, H. J., Scholz, V., & Linke, B. (2010): Assessment of nitrogen fertilization for the CO₂ balance during the production of poplar and rye. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(5), 1453-1460.
- Kiesel, F. K., Martina (2019): *139. Gasstatistik 2017*. Berlin, Bonn. Retrieved from
- Kirchgessner, M., Roth, F. X., Schwarz, F. J., & Stangl, G. (2008): *Tierernährung*. Frankfurt am Main, Germany: DLG - Verlags Union Agra.
- Kirchgessner, M., Windisch, W., & Müller, H.-L. (1994): *Methane release from dairy cows and pigs*: Paper presented at the Proc XIII Symp on energy metabolism of farm animals.
- Klingenfuß, C., Klein, D.-P., Thrum, T., Fell, H., Klemm, J., & Zeitz, J. (2020): *Natürliche Kohlenstoffspeicher in Berlin*.
- Knörr, W., Allekotte, M., & Gores, S. (2020a): *TREMOD Aviation (TREMOD AV) 2020 - Revision des Modells zur Berechnung des Flugverkehrs (TREMOD-AV)*. Heidelberg, Berlin: Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH & Öko-Institut e.V.
- Knörr, W., Heidt, C., & Bergk, F. (2020b): *TREMOD Mobile Machinery (TREMOD MM) 2020*. from Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
- Knörr, W., Heidt, C., Gores, S., & Bergk, F. (2020c): *TREMOD - Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2035*. Heidelberg [u.a.]: Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH.
- Knörr, W., Heldstab, J., & Kasser, F. (2009): *Ermittlung der Unsicherheiten der mit den Modellen TREMOD und TREMOD-MM berechneten Luftschadstoffemissionen des landgebundenen Verkehrs in Deutschland : Endbericht / Autoren: Wolfram Knörr*: Heidelberg [u.a.] 2009.
- Knörr, W., Höpfner, U., & Lambrecht, U. (2002): *Aktualisierung des "Daten- und Rechenmodells": Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1980-2020 : Endbericht / Wolfram Knörr (Projektleiter)*: Heidelberg [u.a.] 2002.
- Knörr, W., Schacht, A., & Gores, S. (2015): *TREMOD Aviation (TREMOD AV) 2015 - Revision des Modells zur Berechnung des Flugverkehrs (TREMOD-AV)*. Heidelberg, Berlin: Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH & Öko-Institut e.V.

- Knörr, W., Schacht, A., Gores, S., Kotzulla, M., & Wetzel, F. (2012): *Entwicklung eines eigenständigen Modells zur Berechnung der Energieeinsätze und Emissionen des zivilen Flugverkehrs - (TREMOT-AM) / von Wolfram Knörr ; Alexander Schacht ; Sabine Gores*: Dessau-Roßlau 2012.
- Kohlenwirtschaft, S. d. (2020). Herstellung von Braunkohlenbriketts, Braunkohlenkoks, Staub-, Trocken- und Wirbelschichtkohle nach Revieren. Retrieved from <http://www.kohlenstatistik.de/3-0-Uebersichten.html>
- Koj (2020, 02.09.20). [Persönliche Mitteilung Hr. Koj (BAFA) zur Tanklagererhebung].
- Kolmetz, S., Rouvel, L., & Bressler, G. (1995): *Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Kleinverbraucher : IKARUS, Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien, Abschlußbericht Teilprojekt 5 "Haushalte und Kleinverbraucher" Sektor "Kleinverbraucher"*. Jülich: Kernforschungsanlage Juelich.
- König, H. C. (2007): *Waldbrandschutz-Kompendium für Forest und Feuerwehr*. Berlin. Retrieved from
- König, N., Blum, U., Symossek, F., Bussian, B., Ellinghaus, R., Furtmann, K., Gärtner, A., Gutwasser, F., Hauenstein, M., & Kiesling, G. (2005): *Handbuch forstliche Analytik*. Bonn: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.
- Körschens, M., Rogasik, J., Schulz, E., Böning, H., Eich, D., Ellerbrock, R., Franko, U., Hülsbergen, K., Köppen, D., & Kolbe, H. (2004): *Humusbilanzierung: Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland*. Bonn. Retrieved from
- Kraftfahrtbundesamt (Versch. Jahrgänge): *Fahrzeugzulassungen Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter*.
- Kreißig, J. (1996): *Ganzheitliche Bilanzierung von Dachbahnen aus Bitumen : Kurzbericht*. Frankfurt am Main.
- Krismann, A., & Hennenberg, K. (2012): Umsetzung der Biodiversitätsziele bei der nachhaltigen Bioenergienutzung (Kurztitel: BfN-Biodiv-Ziele).
- KrWG: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen, 22. (2012).
- KTBL (2020a): *Berechnung des Anfangsgewichts der Milchkuh*.
- KTBL (2020b): *Documentation for data processing of the activity data for the biogas production for the National Inventory Report, Submission 2021 for 2019*. KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft Darmstadt.
- Langer, B. u. (2012): *Ermittlung von Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten im Bereich IPCC (1996) 1.B.2.b.iii* (Bericht Nr. M96023/01, UBA FKZ 360 16 035).
- Lechtenböhmer, S., Dienst, C., Fishedick, M., Hanke, T., Langrock, T., Assonov, S. S., & Brenninkmeijer, C. (2005): *Treibhausgasemissionen des russischen Erdgas-Exportpipeline-Systems : Ergebnisse und Hochrechnungen empirischer Untersuchungen in Russland ; Endbericht*.
- Lechtenböhmer, S., Nanning, S., Buttermann, H.-G., & Hillebrand, B. (2006a): *Bilanzierung der Gewinnung und Verwendung von Kalkstein und Ausweisung der CO2-Emissionen*. Dessau.
- Lechtenböhmer, S., Nanning, S., Buttermann, H.-G., & Hillebrand, B. (2006b): *Bilanzierung der Gewinnung und Verwendung von Kalkstein und Ausweisung der CO2-Emissionen (Forschungsbericht 205 41 217/02, UBA-FB 000949205 41 217/02) (20/06)*. Wuppertal, Münster. Retrieved from http://www.eefa.de/pdf/UBA-Texte_29_06.pdf
- Lechtenböhmer, S., Nanning, S., Hillebrand, B., & Buttermann, H.-G. (2006c): *Einsatz von Sekundärbrennstoffen : Umsetzung des Inventarplanes und nationale unabhängige Überprüfung der Emissionsinventare für Treibhausgase, Teilvorhaben 02*. Dessau.
- Lenk, T., Vogelbusch, F., & Falken, C. (2004): *Auswirkungen des Tanktourismus auf das deutsche Steueraufkommen – eine finanzwissenschaftliche Bestandsaufnahme.*: Paper presented at the UNITI Bundesverband mittelständischer Mineralölunternehmen e. V. - Mitgliederversammlung 2004, München.
- Leppelt, T., Dechow, R., Gebbert, S., Freibauer, A., Lohila, A., Augustin, J., Drösler, M., Fiedler, S., Glatzel, S., & Höper, H. (2014): Nitrous oxide emission hotspots from organic soils in Europe. *Biogeosciences Discussions*, 11, 9135-9182.
- Leverenz (2010): *Evaluation of Greenhouse Gas Emissions from Septic Systems*.
- LfL Bayern (2006). Untersuchungen zur tiergerechten Kaninchenmast. Retrieved from <https://www.lfl.bayern.de/ilt/tierhaltung/kleintiere/023092/index.php>
- Linde Gas (2017). Branchen - Lebensmittel & Getränke - Milchprodukte. Retrieved from http://www.linde-gas.de/de/industries/food_and_beverage/dairy/index.html
- Liski, J. (1995): *Variation in soil organic carbon and thickness of soil horizons within a boreal forest stand—effect of trees and implications for sampling* (0037-5330).
- Liski, J., Perruchoud, D., & Karjalainen, T. (2002): Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe. *Forest Ecology and Management*, 169(1), 159-175.
- Luftfahrt-Bundesamt (Versch. Jahrgänge): *Bestand an Luftfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland*.
- Luo, Z., Wang, E., & Sun, O. J. (2010): Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139(1), 224-231.
- Maazallahi, H., Fernandez, J. M., Menoud, M., Zavala-Araiza, D., Weller, Z. D., Schwietzke, S., von Fischer, J. C., Denier van der Gon, H., and Röckmann, T. (2020). Methane mapping, emission quantification and attribution in two European cities; Utrecht, NL and Hamburg, DE; *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, Retrieved from <https://doi.org/10.5194/acp-2020-657>
- Maier, J., & Vetter, R. (2004): *Erträge und Zusammensetzung von Kurzumtriebs-Gehölzen (Weide, Pappel, Blauglockenbaum)*.
- Marx, M., Jörg Rinklebe, Kastler, M., Molt, C., Kaufmann-Boll, C., Lazar, S., Lischeid, P. D. G., Schilli, C., & Körschens, M. (2016): *Erarbeitung fachlicher, rechtlicher und organisatorischer Grundlagen zur Anpassung an den Klimawandel*

- aus Sicht des Bodenschutzes: Teil 3: Bestimmung der Veränderungen des Humusgehalts und deren Ursachen auf Ackerböden Deutschlands.* Dessau. Retrieved from <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erarbeitung-fachlicher-rechtlicher-0>
- Matthäi, D. M., & Petereit, D. N. (2004): Die Qualitätskerze *Sonderdruck*. Jahrbuch für den Praktiker 2004: ECA.
- Matthäi, M., Gutberlet, H., Feller, K.-H., Schimmelpfennig, M., & Stübiger, M. (2010): Messung der Lichtstärke von Kerzen unterschiedlicher Zusammensetzung: Westdeutsche Dochtfabrik GmbH; Sasol Wax GmbH; FH Jena.
- Meiners, H. (2005) *persönliche Mitteilung am 28.09.2005 - basierend auf dem Forschungsbericht FKZ 203 41 253/05 "Teilbereich 1 – Prognostische Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen"/Interviewer: M. Hüllenkrämer*. DMT, Gelsenkirchen.
- Meiners, H. O., Michael; Kerber, Vitali (2018): *Vertwerten von Grubengas als Beitrag zur Emissionsvermeidung und zur Gefahrenabwehr*. Essen. Retrieved from http://www.grubengas.de/german/DMT_Gutachten%20Emissionsvermeidung+Anlagen.pdf
- Mokany, K., Raison, R., & Prokushkin, A. S. (2006): Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*, 12(1), 84-96.
- Molitor, R., Hausberger, S., & Benke, G. (2004): Abschätzung der Auswirkungen des Tanktourismus auf den Treibstoffverbrauch und die Entwicklung der CO₂-Emissionen in Österreich. *Endbericht im Auftrag des Lebensministeriums*.
- Müller-Syring, & Schütz (2014): *THG-Minderungspotenziale in der europäischen Gasinfrastruktur*.
- Müller-Using, S., & Bartsch, N. (2009): Decay dynamic of coarse and fine woody debris of a beech (*Fagus sylvatica* L.) forest in Central Germany. *European journal of forest research*, 128(3), 287-296.
- Müller, R. (2016, 25.08.2016). [Anteil Dolomit an der Düngekalkgesamtmenge, Düngekalkhauptgemeinschaft. Persönliche Mitteilung].
- MWV (2019). Jahresbericht 2019. Retrieved from <https://www.mwv.de/publikationen/jahresberichte/>
- MWV (2020a). Jahresbericht 2019 / Mineralöl-Zahlen. Retrieved from <https://www.mwv.de/publikationen/jahresberichte/>
- MWV (2020b): Jahresbericht 2020 [Press release]
- Nabuurs, G., & Schelhaas, M. (2002): Carbon profiles of typical forest types across Europe assessed with CO₂FIX. *Ecological Indicators*, 1(3), 213-223.
- NaSe-Workshop (2004, November 2004). [NaSe Workshop 2004].
- Neubauer, M., & Demant, B. (2016): Wurzeln als Kohlenstoffspeicher: Untersuchungen zur unterirdischen Biomasse von Birke, Eiche und Kiefer. Germany, Europe: Universitätsdruckerei Freiburg, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Neulicht, R. (1995): *Emission Factor Documentation for AP-42 Section 10.7 "Charcoal"*. <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch10/>
- Neumann, J., & Wycisk, P. (2002). Mittlere jährliche Grundwasserneubildung *Bundesrepublik Deutschland Nationalatlas – Relief, Boden und Wasser*. (pp. 144-145). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Nielsen (2010): *Emissions from decentralised CHP plants 2007 - Energinet.dk Environmental project no. 07/1882*.
- Notter, B., Keller, M., Althaus, H.-J., Cox, B., Knörr, W., Heidt, C., Biemann, K., Räder, D., & Jamet, M. (2019): Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) Version 4.1. from INFRAS - Research and Consulting https://www.hbefa.net/d/documents/HBEFA41_Development_Report.pdf
- Oonk, H., & Lambert, C. (2017): *Greenhouse Gas Emissions from Biological Treatment of Waste - Overview of Existing Measurements*. Literaturrecherche. Unpublished.
- Ornellas, D. L. (1982, 05.04.1982). *Calorimetric Determinations of the Heat and Products of Detonation for Explosives: October 1961 to April 1982*. Technical Report, (AD-A409329; UCRL-52821; NASA/STI Accession number: 20030014092). Livermore.
- Oowski, S., Neumann, J., & Fahlenkamp, H. (2004): Nutzung biogener Festbrennstoffe in Vergasungsanlagen. *Chemie Ingenieur Technik*, 76(7), 1004-1012.
- Penman, J., Kruger, D., & Calbally, I. (Eds.). (2000). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories : IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies.
- Pistorius, T., Zell, J., & Hartebrodt, C. (2007): *Untersuchungen zur Rolle des Waldes und der Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt des Landes Baden-Württemberg*.
- Plinke, E., & Schonert, M. (2000): *Anwendung des IPCC-Referenzverfahrens zur Ermittlung der verbrennungsbedingten CO₂-Emissionen in Deutschland*. Basel.
- Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J., & Gensior, A. (2011): Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology*, 17(7), 2415-2427. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x
- Polley, H. (2001): *Aufnahmeanweisung für die Bundeswaldinventur II: (2001-2002)*. Bonn: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.
- Pöpken, S. (2011): *Obstanbau, Weinbau und Weihnachtsbaumkulturen in Deutschland*. .
- Portner, J., Rossbauer, G., & Bauer, M. (2019). [Nährstoffaufnahme des Hopfens.].
- Pouyat, R. V., Yesilonis, I. D., & Golubiewski, N. E. (2009): A comparison of soil organic carbon stocks between residential turf grass and native soil. *Urban Ecosystems*, 12(1), 45-62. doi:10.1007/s11252-008-0059-6
- Prietzl, J., Stetter, U., Klemmt, H.-J., & Rehfuess, K. E. (2006): Recent carbon and nitrogen accumulation and acidification in soils of two Scots pine ecosystems in Southern Germany. *Plant and soil*, 289(1-2), 153-170.

- Raciti, S. M., Hutyra, L. R., & Finzi, A. C. (2012): Depleted soil carbon and nitrogen pools beneath impervious surfaces. *Environmental Pollution*, 164, 248-251.
- Rentz, O., Karl, U., & Peter, H. (2002): *Ermittlung und Evaluierung von Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen in Deutschland für die Jahre 1995, 2000 und 2010*. Karlsruhe.
- Rettenberger, G., Stegmann, R., & Butz, W. (Eds.). (1997). *Neue Aspekte bei der Deponiegasnutzung : Innovation in Forschung und Verfahren*. Bonn: Economica Verl.
- Riedel, T., Stümer, W., Freibauer, A., Rüter, S., Dunger, K., Steuk, J., & Brötz, J., Hennig, P., Dunger, K., & Bolte, A. (2019): *Wälder in Deutschland sind eine wichtige Kohlenstoffsenke*.
- Röhling, S., Dunger, K., Kändler, G., Klatt, S., Riedel, T., Stümer, W., & Brötz, J. (2016): Comparison of calculation methods for estimating annual carbon stock change in German forests under forest management in the German greenhouse gas inventory. *Carbon balance and management*, 11(1), 12.
- Röhling, S., & Kludt, R. (2010): *Ableitung der Kalksteinbilanz aus den statistischen Daten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe für Zwecke der Emissionsberichterstattung nach Klimarahmenkonvention und Kyoto Protokoll (Kategorie CRF 2.A.3)*. Dessau-Roßlau.
- Rösemann, C., Haenel, H.-D., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B., & Fuß, R. (2019): *Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2017. Report on methods and data (RMD). Submission 2019*. Thünen Report 67 Retrieved from <https://www.thuenen.de/de/ak/arbeitsbereiche/emissionsinventare/>
- Rösemann, C., Haenel, H.-D., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B., & Fuß, R. (2021): *Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2019. Report on methods and data (RMD). Submission 2021*. Thünen Report 84 Retrieved from <https://www.thuenen.de/de/ak/arbeitsbereiche/emissionsinventare/>
- Rösemann, C., Haenel, H.-D., Dämmgen, U., Freibauer, A., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Döhler, H., Schreiner, C., & Osterburg, B. (2015): *Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990-2013*. In Thünen-Institut (Series Ed.) *Thünen Report*
- Roßkopf, N., Fell, H., & Zeitz, J. (2015): Organic soils in Germany, their distribution and carbon stocks. *Catena*, 133, 157-170. doi:10.1016/j.catena.2015.05.004
- Roth, U., Döhler, H., Hartmann, S., & Wulf, S. (2011): Treibhausgasbilanzen und CO₂eq-Vermeidungskosten landwirtschaftlicher Biogasanlagen. *Biogas in der Landwirtschaft—Stand und Perspektiven*. *KTBL-Schrift*, 488, 196-208.
- Rothe, B. (2017, 01.06.2017). [Keramik: ETS-Emissionsdaten].
- Ruppert, J., Scheuer, W., & Schäfer, S. (2009): *Bereitstellung einer qualitätsgesicherten Datengrundlage für die Emissionsberichterstattung zur Umsetzung von internationalen Luftreinhalte- und Klimaschutzvereinbarungen für ausgewählte Industriebranchen: Teilvorhaben 03 Zementindustrie (FKZ 370742301/03) (FKZ 370742301/03)*. Düsseldorf. Retrieved from
- Rüter, S. (2011): *Projections of Net-Emissions From Harvested Wood Products in European Countries*. http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dn048901.pdf
- RÜTER, S. (2017): *Der Beitrag der stofflichen Nutzung von Holz zum Klimaschutz – Das Modell WoodCarbonMonitor*, Technische Universität München. Retrieved from <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1295127/1295127.pdf>
- Rüter, S., Alfredsen, G., Ximenes, F. d. A., Guendehou, S., Pingoud, K., & Tsunetsugu, Y. (2014). Section 2.8: Harvested Wood Products (HWP). In J. Jenkins & J. Li (Eds.), *2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol* - (pp. 109-134). Switzerland: IPCC.
- Schmitz, F., Polley, H., & Schwitzgebel, F. (2005). Die zweite Bundeswaldinventur–BW12: Der Inventurbericht. Retrieved from literatur.thuenen.de/digbib_extern/dk041201.pdf
- Schmutz, B. I. (2009, 28.09.2009). [Interessengemeinschaft für Esel und Maultiere, persönliche Mitteilung].
- Schön, M., Walz, R., Angerer, G., Bätcher, K., Böhm, E., Hillenbrand, T., Hiessl, H., Reichert, J., Paoli, M., & Sartorius, R. (1993): *Emissionen der Treibhausgase Distickstoffoxid und Methan in Deutschland : Emissionsbilanz, Identifikation von Forschungs- und Handlungsbedarf sowie Erarbeitung von Handlungsempfehlungen ; Phase 1*. Berlin: E. Schmidt.
- Schöning, I., Totsche, K. U., & Kögel-Knabner, I. (2006): Small scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested Luvisol. *Geoderma*, 136(3), 631-642.
- Schulz, S. (2012): *Einflüsse auf die Bauzeit im Hochbau: Ursachen und Folgen der Einflussfaktoren vor und während der Bauausführung von Neubauten*. S. 230. (Masterarbeit), Brandenburgische Technische Universität Cottbus.
- Schulze, E., Hogberg, P., Van Oene, H., Persson, T., Harrison, A., Read, D., Kjoller, A., & Matteucci, G. (2000): 21 Interactions Between the Carbon and Nitrogen Cycles and the Role of Biodiversity: A Synopsis of a Study Along a North-South Transect Through Europe. *Ecological studies*, 142, 468-492.
- Schwarz, W. (2007): *Daten von H-FKW, FKW und SF6 für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für die Berichtsjahre 2004 und 2005 - F-Gas-Emissionen 2004/2005 und Unsicherheitsbestimmung im ZSE*. Dessau. Retrieved from <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/daten-von-h-fkw-fkw-sf6-fuer-nationale?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3439>
- Schwarz, W. (2009): *SF6 und NF3 in der deutschen Photovoltaik-Industrie - Inventarverbesserung 2008 – Verbesserung und Ergänzung der Daten für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention in der Quellgruppe Photovoltaik (2.F.8.h) (FuE-Vorhaben FKZ 360 16 027)*. Frankfurt am Main. Retrieved from

- Schwitzgebel, F., Dunger, K., & Polley, H. (2009): Die Inventurstudie 2008. Ergebnisse einer Kohlenstoffinventur auf Bundeswaldinventur-Basis. Hintergrund, Methodik und Durchführung der Studie. *AFZ Waldwirtschaft Umweltvorsorge*, 64, 1070-1071.
- Schwitzgebel, F., & Riedel, T. (2019): Die Kohlenstoffinventur 2017 – Methode, Durchführung, Kosten. *AFZ-DerWald* 14/2019.
- Senser, F., & Scherz, H. (1991): *Der Kleine "Souci-Fachmann-Kraut", Lebensmitteltabelle für die Praxis*.
- Siegl, W., J Wallington, T., T Guenther, M., Henney, T., Pawlak, D., & Duffy, M. (2002): R-134a Emissions from Vehicles. *Environ. Sci. & Technol.*, 36, 561-566. doi:10.1021/es011108x
- Six, J., Conant, R., Paul, E. A., & Paustian, K. (2002): Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and soil*, 241(2), 155-176.
- SKM Enviros (2010): *Eco-Efficiency Study of Supermarket Refrigeration - For the European Partnership for Energy and Environment (EPEE)*. London, UK. Retrieved from
- Sobotik, M., Graf, T., Himmelbauer, M., Bodner, G., Bohner, A., & Loiskandl, W. (2018): In-situ Beschreibung des Wurzelsystems von Hopfen und Mais über Freilegung am Bodenprofil. *Die Bodenkultur -Journal of Land Management, Food and Environment*, 69(2), 121-130.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., & Miller, H. L. (Eds.). (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Spiekers, H. (2019, 05.09.2019). [Experteninformation zu Nährstoffgehalten im Rinderfutter, persönliche Mitteilung].
- Spielmanns, R. (2020, 20.05.2020). [Tierzahlen Rinder, persönliche Mitteilung].
- Spörl, R. (2009): *Revision des BVT-Merkblattes für die Papier- und Zellstoffherstellung: Vergleichbarkeit von Berichtsdaten : Teilbericht 2 / bearb.: Rainer Spörl: Heidenau [u.a.] 2009*.
- Statistikportal (Statistische Ämter des Bundes und der Länder) (2010): Landwirtschaftszählung. Retrieved 14.09.2020, from Statistikportal (Statistische Ämter des Bundes und der Länder) <https://www.statistikportal.de/de/veroeffentlichungen/landwirtschaftszaehlung-2010>
- Statistisches Bundesamt (1992): *Statistisches Jahrbuch 1992 für die Bundesrepublik Deutschland* (3824602385). Stuttgart Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat04356a&AN=fuu.02025892&lang=de&site=eds-live>
- Statistisches Bundesamt (2008): Umsteigeschlüssel zwischen der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2003 (WZ 2003), und der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008) und umgekehrt. www.destatis.de.
- Statistisches Bundesamt (2017): Persönliche Mitteilung von Herrn Kaiser; E 207; Deutschland - Erhebung über Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas, vom 28.08.2017.
- Statistisches Bundesamt (2018): Abfallentsorgung (ehemals Fachserie 19, Reihe 1: Umwelt, Abfallentsorgung). from Statistisches Bundesamt
- Statistisches Bundesamt (2020a): Ausgewählte Zahlen für die Bauwirtschaft. GENESIS-Online Datenbank Retrieved 12.05.2020, from Statistisches Bundesamt, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Tabellen/baufertigstellungen.html>
- Statistisches Bundesamt (2020b): *Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe des Verarb. Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden (060)*.
- Statistisches Bundesamt (2020c): *Jahreserhebung über die Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden (067)*.
- Statistisches Bundesamt (ab 2010): Abwasserbehandlung, Klärschlamm, Ergebnisbericht; jährlich.
- Statistisches Bundesamt (ab 2012). [Persönliche Mitteilung von DESTATIS-Mitarbeitern aus FG E 207; Deutschland - Erhebung über Gewinnung, Verwendung und Abgabe von Klärgas; jährlich].
- Statistisches Bundesamt (ab 2013): Online Zusammenstellung von DESTATIS - Wasserwirtschaft: Klärschlammbehandlung aus der öffentlichen Abwasserbehandlung; jährlich. www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/Tabellen/TabellenKlaerschlammverwertungsart.html
- Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3a): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung Retrieved 14.09.2020 <https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/publikationen-fachserienliste-3.html>
- Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3b): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung (div. Jgg.). <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Bodennutzung/BodennutzungErzeugung.html>
- Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.2): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei,– Bodennutzung der Betriebe (Landwirtschaftlich genutzte Flächen) (div. Jgg.). <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Bodennutzung/LandwirtschaftlicheNutzflaeche.html>
- Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.4): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei,– Landwirtschaftliche Bodennutzung - Baumobstflächen <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ObstGemueseGartenbau/Baumobstflaechen.html>

- Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.1.7): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Landwirtschaftliche Bodennutzung - Baumschulerhebung (div. Jgg.).
<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ObstGemueseGartenbau/Baumschulerhebung.html>
- Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.2.1): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Wachstum und Ernte – Feldfrüchte (div. Jgg.).
<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Bodennutzung/LandwirtschaftlicheNutzflaeche.html>
- Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.2.2): *Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in landwirtschaftlichen Betrieben - Erhebung zur Wirtschaftsdüngerausbringung (div. Jgg.)*.
- Statistisches Bundesamt (FS 3, R 3.3.1): Land- und Forstwirtschaft, Forstwirtschaftliche Bodennutzung - Holzeinschlagsstatistik. <https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/publikationen-fachserienliste-3.html>
- Statistisches Bundesamt (FS 3, R 4): Land- & Forstwirtschaft, Fischerei Viehbestand und tierische Erzeugung (div. Jgg.).
<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ViehbestandTierischeErzeugung/ViehbestandTierischeErzeugung.html>
- Statistisches Bundesamt (FS 3, R 4.1): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Viehbestand. Retrieved 14.09.2020, from Statistisches Bundesamt <https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/publikationen-fachserienliste-3.html>
- Statistisches Bundesamt (FS 3, R 5.1): *Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung*.
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Publikationen/Downloads-Flaechennutzung/bodenflaechennutzung-2030510177004.html>
- Statistisches Bundesamt (FS 4, R 3.1): Produktion des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden (div. Jgg.).
<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Konjunkturdaten/ProduktionJ.html>
- Statistisches Bundesamt (FS 4, R 8.1): Produzierendes Gewerbe - Eisen und Stahl (div. Jgg. bis 2009).
<https://www.destatis.de/DE/Startseite.html>
- Statistisches Bundesamt (FS 4, R 8.2): Verarbeitendes Gewerbe (Düngemittel / Rohholz) - Düngemittelversorgung. Retrieved 14.09.2020, from Statistisches Bundesamt <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Fachstatistiken/duengemittelversorgung-jahr-2040820197004.html>
- Statistisches Bundesamt (FS 19, R1): Fachserie 19, Reihe 1: Umwelt, Abfallentsorgung. from Statistisches Bundesamt
- Statistisches Bundesamt (FS 19, R 1): *Fachserie 19, Reihe 1: Umwelt, Abfallentsorgung*.
- Statistisches Bundesamt (FS 19, R 2.1.2): Fachserie 19, Reihe 2.1.2, Öffentliche Abwasserbehandlung und -entsorgung; ab 2010: 3-jährig.
- Statistisches Bundesamt (FS 19, R 2.1.3): Fachserie 19, Reihe 2.1.3, Strukturdaten zur Wasserwirtschaft; ab 2010; 3-jährig. Retrieved ab 2010
- Statistisches Bundesamt (o.J.): *Außenhandelsstatistik: Zeitreihen aus 51000BJ180* Retrieved from <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Verzeichnis/WarenverzeichnisAussenhandel2017.html>
- Statistisches Bundesamt, W. (2020a): *Produktionswert, -menge, -gewicht und Unternehmen der Vierteljährlichen Produktionserhebung: Deutschland, Jahre, Güterverzeichnis (9-Steller), bereit gestellt im Rahmen einer vereinbarten jährlichen Aktualisierung und Fortschreibung*.
- Statistisches Bundesamt, W. (2020b): *Statistik der Sterbefälle: Gestorbene (Anzahl)*. Retrieved from: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Geburten/Tabellen/lebendgeborene-gestorbene.html>
- Stegmann, R., & Partner (2012): *Fachgutachten: „Methanemissionen aus der Ablagerung von mechanischbiologisch behandelten Abfällen“*. Hamburg. Retrieved from
- Stehfest, E., & Bouwman, L. (2006): N2O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 74(3), 207-228.
- Steuk, J. (2010): *Vorgaben zur Bewirtschaftung von Wald in Deutschland im Kontext internationaler Vorgaben nach IPCC*. vTI-WOI Eberswalde
- StMELF (diverse Jahrgänge): Herkunftssicherungs- und Informationssystem für Tiere. <http://www.hi-tier.de>
- Stolzenburg, K. (2006): *Versuchsergebnisse, Weiden, Pappeln und Miscanthus der LAP Forchheim*. Forchheim. Retrieved from
- Strauß, K. (1998): *Kraftwerkstechnik : zur Nutzung fossiler, nuklearer und regenerativer Energiequellen* (4. Aufl. ed.). Berlin: Springer.
- Struschka, M., Kilgus, D., Springmann, M., & Behnke, A. (2008): *Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung*. Dessau-Roßlau.
- TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 27. Februar 1986 - Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Gemeinsames Ministerialblatt S. 95, ber. S. 202, published by GMBI (1986).
- TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 24. Juli 2002 - Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, published by GMBI (2002).

- Tebert, C., Volz, S., & Töfge, K. (2016): *Ermittlung und Aktualisierung von Emissionsfaktoren für das nationale Emissionsinventar bezüglich kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher*. nicht veröffentlicht. Retrieved from
- Theloke, J., Kampffmeyer, T., Kugler, U., Friedrich, R., Schilling, S., Wolf, L., & Springwald, T. (2013): *Ermittlung von Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten im Bereich IPCC (1996) 1.B.2.a. i-vi - Diffuse Emissionen aus Mineralöl und Mineralölprodukten* (Förderkennzeichen 360 16 033). Stuttgart. Retrieved from
- Theloke, J., Wagner, S., & Jepsen, D. (2008): *Emissionen aus der Nahrungsmittelindustrie / von Jochen Theloke*: Stuttgart [u.a.].
- Theloke, J. K., T.; Kugler, U.; Friedrich, R.; Schilling, S.; Wolf, L.; Springwald, T. (2013): *Ermittlung von Emissionsfaktoren und Aktivitätsraten im Bereich IPCC (1996) 1.B.2.a. i-vi - Diffuse Emissionen aus Mineralöl und Mineralölprodukten* (Förderkennzeichen 360 16 033). Stuttgart. Retrieved from
- Thünen-Institut (2016): *Ausführungsbestimmung zur Erstellung von Emissions- und Kohlenstoffinventaren und deren Qualitätsmanagement für den Bereich der Quellgruppen Landwirtschaft und LULUCF. Anlage zum Konzept Emissions- und Kohlenstoffinventare im nachgeordneten Bereich des BMEL vom 14.09.2016. Version 2.01, Stand vom 14.09.2016*. Thünen-Institut.
- TI, J. H. v. T.-I. (2016): *Ausführungsbestimmung zur Erstellung von Emissions- und Kohlenstoffinventaren und deren Qualitätsmanagement für den Bereich der Quellgruppen Landwirtschaft und LULUCF. Anlage zum Konzept Emissions- und Kohlenstoffinventare im nachgeordneten Bereich des BMEL vom 14.09.2016. Version 2.01, Stand vom 14.09.2016*. THÜNEN-INSTITUT (Johann Heinrich von Thünen-Institut).
- Tiemeyer, B., Borraz, E. A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Drösler, M., Ebli M, Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Freibauer, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., Roßkopf, N., Sommer, M., & Zeitz, J. (2016): High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Global Change Biology*, 22, 4134-4149
- Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E. A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Gensior, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Laggner, A., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., & Drösler, M. (2020): A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators*, 109, 105838. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>
- Tomter, S. M., Hysten, G., & Nilsen, J.-E. (2010): *Development of Norway's National Forest Inventory*. Heidelberg: Springer Verlag.
- UBA (2016): *Aktualisierung der Eingangsdaten und Emissionsbilanzen biogener Energienutzungspfade*. Dessau-Roßlau. Retrieved from
- UMEG (2004): *Emissionsfaktoren-Handbuch Emissionserklärung 2004 Baden-Württemberg. Zentrum für Umweltmessung, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg (UMEG), 4-02/2004*.
- Umweltbundesamt (2017): *Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol 2017 : National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990-2015 / publisher: Umweltbundesamt*.
- UNFCCC (1998a): *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- UNFCCC (2006): Decision 20/CMP.1: Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its first session, held at Montreal from 28 November to 10 December 2005.
- UNFCCC (2007): *Germany. Report of the review of the initial report of Germany*. http://unfccc.int/national_reports/initial_reports_under_the_kyoto_protocol/first_commitment_period_2008-2012/items/3765.php
- UNFCCC (2010): *National Reports - GHG Inventories (Annex I) - Inventory Review Reports* http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/inventory_review_reports/items/4715.php
- UNFCCC (2011): *Report of the technical assessment of the forest management reference level submission of Germany submitted in 2011*.
- UNFCCC (2013a): *Methodological issues under the Convention: Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention*. <http://www.unfccc.int/resource/docs/2013/sbsta/eng/l29a01.pdf>
- UNFCCC (2013b). Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention, Decision 24/CP.19, Annex I, Guidelines for the preparation of national communications by Parties included in Annex I to the Convention. Retrieved from <http://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a03.pdf#page=2>
- UNFCCC (2014): *Report of the COP on its nineteenth session, held in Warsaw from 11 to 23 November 2013. Addendum: Decision 24/CP.19 on the Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention*.
- UNFCCC (2020a). National Inventory Submissions 2020. Retrieved from <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020>
- UNFCCC (2020b): *National Inventory Submissions 2020*. . <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2020>
- UNFCCC (Ed.) (1998b). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*: United Nations Framework Convention on Climate Change.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (FCCC/CP/2013/10/Add.3), FCCC/CP/2013/10/Add.3. (2014).

- United Nations Economic Commission for Europe: Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP), published by UNECE (1979).
- UStatG: Umweltstatistikgesetz vom 16. August 2005 (BGBl. I S. 2446), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 5 des Gesetzes vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2234) geändert worden ist, § § 10 Erhebung bestimmter klimawirksamer Stoffe (2005).
- Vasenev, V., Stoorvogel, J., & Vasenev, I. (2013): Urban soil organic carbon and its spatial heterogeneity in comparison with natural and agricultural areas in the Moscow region. *Catena*, 107, 96-102.
- VDA (2013): AdBlue®. In V. d. Automobilindustrie (Ed.). Berlin: Verband der Automobilindustrie (VDA).
- VDD (2009): *Berechnung auf Basis des Standes der Technik deutscher Hersteller*.
- VDD (2020): *Jährliche Datenübermittlung des Verbandes* [xlsx]. Retrieved from: Inventarbeschreibung in „Bitumen_AREF_Zeitreihen_und_Unsicherheiten_Archiv.zip“
- VDI (1998): *Emissionsminderung ; Aluminiumschmelzflußelektrolyse : VDI Richtlinie 2286, Bl. 1, Stand: Dezember 1998*: Berlin Beuth-Verlag GmbH 1998.
- VDI-Richtlinie 2440: Emissionsminderung - Mineralölraffinerien, published by V. D. I. (VDI) (2000).
- VDI (2006): *Emissionsminderung - Keramische Industrie: VDI 2585* (Stand: Februar 2006 ed.). Berlin: Beuth-Verlag GmbH.
- VDI (2017): *Emissionsminderung ; Glashütten : VDI Richtlinie 2578, Stand: Mai 2017*. Berlin: Beuth.
- VDMA (2011): *Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland*. Frankfurt am Main. Retrieved from
- VDP, V. D. P. (2020): Papier Kompass 2019/2018: Faltblatt mit den wichtigsten Kennzahlen zur deutschen Zellstoff- und Papierindustrie sowie internationalen Vergleichszahlen, verschiedene Jahrgänge sowie zusätzliche Mitteilungen an das UBA.
- VDZ (2016): Zement – Produktionsdaten der deutschen Zementindustrie: Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ).
- Vogel, H. U. v., & Synowietz, C. (1974): *Chemikerkalender* (2. Auflage, S.314; 1974; ed.).
- Volk, F. (1986), Detonation gases and residues of composite explosives. *Journal of energetic Materials*, 4(1), p. 93-113.
- Wagner, J., & Steinmetzer, S. (2018): *Erhebung der Größen und Zusammensetzung von Brauchtums- und Lagerfeuern durch kommunale Befragungen Texte / Umweltbundesamt* (pp. 1). Retrieved from <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erhebung-der-groessen-zusammensetzung-von>
- Wallfarth, B. (2014). [E-Mail].
- Wallmann, R. (1999): *Ökologische Bewertung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung und der Müllverbrennung auf Basis von Energie- und Schadgasbilanzen*: ANS.
- Walter, K., Don, A., & Flessa, H. (2015): No general soil carbon sequestration under Central European short rotation coppices. *Gcb Bioenergy*, 7(4), 727-740.
- Warncke, K., Schwarz, W., & Gschrey, B. (2018): *Emissionen fluorierter Treibhausgase in Deutschland 2016 - Daten von HF(C)KW, FKW, SF6, NF3, SF5CF3, H(C)FE und PFPME für die nationale Emissionsberichterstattung gemäß Klimarahmenkonvention für das Berichtsjahr 2016*.
- WEG (2008). Erdgas-Erdöl, Entstehung-Suche-Förderung. Retrieved from http://www.erdoel-erdgas.de/Erdgas_Erd%F6I_Entstehung_Suche_F%F6rderung-134-1-68b.html
- Wei, Z., Wu, S., Yan, X., & Zhou, S. (2014): Density and stability of soil organic carbon beneath impervious surfaces in urban areas. *PloS one*, 9(10), e109380.
- Weilbacher (1987): *Ausgasung von Zellgasen*.
- Weisberg, S. (2005): *Applied linear regression* (Vol. 528): John Wiley & Sons.
- Weiß, M., Neelis, M., & Patel, M. (2006): *Estimating CO2 Emissions from the Non-Energy Use of Fossil Fuels in Germany - Final Report*. Report. Department of Science, Technology, and Society (STS). Utrecht University (UU) - Copernicus Institute. Utrecht.
- Weiss, P., Schieler, K., Schadauer, K., & Englisch, M. (2000): *Die Kohlenstoffbilanz des österreichischen Waldes und Betrachtungen zum Kyoto-Protokoll* (Vol. 106): Umweltbundesamt Wien.
- Wellbrock, N., Aydin, C. T., Block, J., Bussian, B., Deckert, M., Diekmann, O., Evers, J., Fetzer, K. D., Gauer, J., & Gehrmann, J. (2006): *Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II)*. Berlin. Retrieved from
- Wellbrock, N., Bolte, A., & Flessa, H. (2016): *Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008*. Braunschweig. Retrieved from
- Wiechmann, B., Dienemann, C., Kabbe, C., Brandt, S., Vogel, I., & Roskosch, A. (2013): *Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland*: Umweltbundesamt.
- Winfried Schwarz, Kimmel, T., Gschrey, B., Leisewitz, A., & Sauer, J. (2012): *Modelle für die Inventarerhebung von F-Gasen*
- Winfried Schwarz, A. L. (1996): *Aktuelle und künftige Emissionen treibhauswirksamer fluorierter Verbindungen in Deutschland*. Frankfurt am Main. Retrieved from
- Winfried Schwarz, J. H. (2003): *Establishing the Leakage Rates of Mobile Air Conditioners*. Brussels, Belgium. Retrieved from https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/eccp/docs/leakage_rates_final_report_en.pdf
- Winkler (2004): Abschätzung von Emissionsfaktoren bei Transport und Lagerung von Mineralölprodukten *Erdöl, Erdgas, Kohle* 120. Jg. 2004, Heft 10 S. 312 ff; Urban Verlag Hamburg/Wien GmbH 2004.
- Wirth, C., Schulze, E. D., Schwalbe, G., Tomczyk, S., Weber, G., Weller, E., Böttcher, H., Schumacher, J., & Vetter, J. (2004): *Abschlussbericht zur Dynamik der Kohlenstoffvorräte in den Wäldern Thüringens*. Jena. Retrieved from
- Wolff, B., & Riek, W. (1997): *Deutscher Waldbodenbericht 1996-Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) 1987-1993*. Bonn. Retrieved from
- World Meteorological Organization (2018): WMO Statement on the Status of the Global Climate in 2017. Genf: Switzerland: World Meteorological Association.

- World Meteorological Organization (2020a): *WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 16. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2019*. Geneva. Retrieved from <https://gaw.kishou.go.jp/static/publications/bulletin/Bulletin2019/ghg-bulletin-16.pdf>
- World Meteorological Organization (2020b): *WMO Statement on the Status of the Global Climate in 2019*. Geneva: Switzerland: World Meteorological Association.
- Wutzler, T., Wirth, C., & Schumacher, J. (2008): Generic biomass functions for Common beech (*Fagus sylvatica*) in Central Europe: predictions and components of uncertainty. *Canadian Journal of Forest research*, 38(6), 1661-1675.
- WWF (2015): *Das große Wegschmeißen Vom Acker bis zum Verbraucher: Ausmaß und Umwelteffekte der Lebensmittelverschwendung in Deutschland*: World Wildlife Foundation (WWF).
- Zander, F., & Merten, D. (2006): *Überarbeitung und Dokumentation der Brennstoffeinsätze für stationäre Feuerungsanlagen in den neuen Bundesländern für das Jahr 1990*.
- Ziche, D., Grüneberg, E., Hilbrig, L., Höhle, J., Kompa, T., Liski, J., Repo, A., & Wellbrock, N. (2018): Comparing soil inventory with modelling: Carbon balance in Central European forest soils varies among forest types. *Science of the total environment*, 647, 1573-1585.
- Zimmermann, T., & Jepsen, D. (2018): *Entwicklung von Methoden zur Berechnung von Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen aus der Verwendung von Schmierstoffen und Wachsen*. Hamburg, Dessau-Roßlau.
- Zöllner, S. (2014): *Überführung der Bestands- und Ereignisdaten des DVGW in die Emissionsdatenbank des Umweltbundesamts*