

# **Kumulierter Primärenergie- Aufwand (KEA) biogener Öle**

Kurzstudie im Auftrag des IWO

**Darmstadt, Dezember 2008**

## **erstellt von**

Uwe R. Fritsche

Kirsten Wiegmann

**Öko-Institut, Büro Darmstadt**

## **Öko-Institut e.V.**

### **Geschäftsstelle Freiburg**

Postfach 50 02 40

79028 Freiburg. Deutschland

### **Hausadresse**

Merzhauser Straße 173

79100 Freiburg. Deutschland

**Tel.** +49 (0) 761 - 4 52 95-0

**Fax** +49 (0) 761 - 4 52 95-88

### **Büro Darmstadt**

Rheinstraße 95

64295 Darmstadt. Deutschland

**Tel.** +49 (0) 6151 - 81 91-0

**Fax** +49 (0) 6151 - 81 91-33

### **Büro Berlin**

Novalisstraße 10

10115 Berlin. Deutschland

**Tel.** +49 (0) 30 - 28 04 86-80

**Fax** +49 (0) 30 - 28 04 86-88



## Inhalt

<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>ii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>ii</b>
<b>Einleitung und Fragestellung .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Methodische Grundlage der Bilanzierung .....</b>	<b>2</b>
1.1 Bilanzierung der Primärenergiebilanz .....	2
1.2 Bilanzierung über Lebenswege mit GEMIS .....	3
1.3 Allokationsfragen für Koppel- und Nebenprodukte .....	3
<b>2 Datengrundlagen zur KEA-Bilanzierung .....</b>	<b>5</b>
2.1 Generelle Daten zu Lebensweganalyse .....	5
2.2 Daten zu biogenen Ölen .....	5
<b>3 Ergebnisse zum KEA von biogenen Ölen .....</b>	<b>6</b>
<b>4 Disaggregation der KEA-Werte .....</b>	<b>9</b>
<b>5 Allokation versus Gutschrift bei Koppelprodukten .....</b>	<b>13</b>
<b>6 Zur Aussagegüte der Ergebnisse .....</b>	<b>15</b>
<b>Literatur .....</b>	<b>16</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>18</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Matrix für die untersuchen Kombinationen von biogenen Rohstoffen und daraus erzeugten biogenen Ölen .....	1
Tabelle 2	KEA-Werte bei der Nutzung biogener Öle .....	6
Tabelle 3	Disaggregation der KEA-Werte für Raps-, Palm- und Sojaöl.....	9
Tabelle 4	Disaggregation der KEA-Werte für Raps-, Palm- und Sojaöl-ME sowie BtL aus KUP-Holz.....	11
Tabelle 5	KEA-Werte biogener Öle nach Allokationsmethode und Gutschrift .....	13
Tabelle 5	Relation der KEA-Werte biogener Öle für Gutschrift und Allokation .....	14

## Abbildungsverzeichnis

Bild 1	KEA-Werte bei der Nutzung biogener Öle .....	7
Bild 2	Disaggregation der KEA-Werte für Rapsöl.....	10
Bild 3	Disaggregation der KEA-Werte für Rapsöl-Methylester (RME) .....	12
Bild 4	KEA-Werte biogener Öle nach Allokationsmethode und Gutschrift .....	14

## Einleitung und Fragestellung

Das IWO beauftragte das Öko-Institut mit einer Kurzstudie zu Primärenergiebilanzen biogener Öle, die aus unterschiedlichen Quellen über verschiedene Konversionspfade zu nutzbaren Ölen (Diesel, leichtes Heizöl) umgewandelt werden.

Dabei wird auf den **kumulierten Energie-Aufwand (KEA)** abgestellt, differenziert nach erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Primärenergieanteilen<sup>1</sup>.

Das betrachtete Spektrum von biogenen Rohstoffen und daraus erzeugten Produkten, die in der Kurzstudie einbezogen wurden, zeigt die folgende Tabelle<sup>2</sup>.

*Tabelle 1 Matrix für die untersuchten Kombinationen von biogenen Rohstoffen und daraus erzeugten biogenen Ölen*

Produkt	Rohstoff		
	Raps, Palme, Sonnenblume, Soja	Altfett und Altspeiseöl	Gesamtpflanzen, Stroh, Waldrest- und Schwachholz
Pflanzenöl	X		
FAME*	X	X	
hydrierte Öle	X		
BtL**			X

\*= fatty acid methyl ether; \*\*= biomass-to-liquid

Der vorliegende Bericht gibt eine zusammenfassende Darstellung der Datengrundlage, Methodik und relevanter Ergebnisse.

Eine detailliertere Analyse kann aufgrund der erstellten Datenbasis mit dem EDV-Tool GEMIS erfolgen, worauf zu verweisen ist<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Eine kurze methodische Diskussion zum KEA gibt Abschnitt 1. Dabei ist zu beachten, dass der in der vorliegenden Kurzstudie untersuchte Aspekt des KEA von biogenen Ölen **nur ein** Aspekt für die Beurteilung der Nachhaltigkeit von Biomasse darstellt, der um weitere Umweltindikatoren – insbesondere Fragen der Treibhausgasbilanz und der Biodiversität – und soziale Aspekte zu ergänzen wäre.

<sup>2</sup> Diese Matrix wurde vom IWO als Untersuchungsraum vorgegeben. Die von IWO ebenfalls gewünschte Einbeziehung weiterer Rohstoffe (Sesam, Gülle, Bioabfall) wurde bei Sesam aus Gründen mangelnder Datenverfügbarkeit sowie geringer Relevanz in Bezug auf die produzierten Mengen und bei Gülle und organischem Abfall aus Gründen der fehlenden Konversionsrouten zu biogenen Ölen ausgenommen.

<sup>3</sup> Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), siehe [www.gemis.de](http://www.gemis.de) Für die vorliegende Studie wurde GEMIS Version 4.5 verwendet. Das Model und die Datenbasis werden dem IWO zur Verfügung gestellt.

# 1 Methodische Grundlage der Bilanzierung

Die in der vorliegenden Kurzstudie ermittelten Ergebnisse zu Primärenergiebilanzen biogener Öle stützten sich methodisch auf den Ansatz der **Lebensweganalyse**, die seit mehreren Jahrzehnten systematisch entwickelt wurden.

Die Lebensweganalyse wird oft mit dem Begriff „Ökobilanzierung“ (life-cycle assessment = LCA) gleich gesetzt - dies ist jedoch nicht zutreffend, da in der vorliegenden Arbeit **keine vollständige Ökobilanz** nach ISO 14000ff erstellt wurde.

Vielmehr interessierte allein die **Sachbilanz** (life-cycle inventory = LCI), womit einige weitere Elemente der Ökobilanzierung wie etwa die Frage der Bewertung der Ergebnisse außerhalb der Arbeit liegen<sup>4</sup>.

## 1.1 Bilanzierung der Primärenergiebilanz

In der vorliegenden Studie wird für die Bestimmung der Primärenergiebilanzen der **kumulierte Energie-Aufwand (KEA)** nach VDI-Richtlinie 4600 genutzt.

Der KEA umfasst die Summe aller Primärenergien entlang der Lebenswege von Produkten und Dienstleistungen, die zur Herstellung und Nutzung eines Produkts oder einer Dienstleistung inklusiver aller Vorketten benötigt werden, einschließlich der stofflich genutzten Energieträger wie z.B. Holz für Bauzwecke oder Erdöl für Kunststoffe<sup>5</sup>.

Der **kumulierte Energie-Verbrauch (KEV)** dagegen klammert diejenigen **stofflichen** Aufwendungen aus, die **nicht** energetisch genutzt werden - ihre Masse wird in einer Rohstoffbilanz erfasst. Ebenso werden Aufwendungen zur Entsorgung nicht in den KEV einbezogen. Er unterscheidet sich vom KEA vor allem darin, dass nur die Energiemengen einbezogen sind, die energetisch **genutzt** („verbraucht“) wurden<sup>6</sup>.

Der KEA rechnet dagegen auch die stofflich genutzten Energiemengen mit ein, da diese – ungeachtet ihrer energetischen oder stofflichen Nutzung – gefördert bzw. bereitgestellt („aufgewendet“) werden müssen, und durch ihren Heizwert die gesamten Primärenergieaufwendungen erhöhen. Aufgrund der Fragestellung der vorliegenden Kurzstudie, die sich auf energetische Bioenergienutzung konzentriert und nur in den Vorketten stofflich genutzte Energieträger betrifft, sind die rechnerischen Unterschiede zwischen KEA und KEV weitgehend vernachlässigbar<sup>7</sup>.

---

<sup>4</sup> Die nach ISO14000ff notwendigen Schritte wie scoping, goal definition und peer review sowie assessment sind für die vorliegende Fragestellung nicht relevant.

<sup>5</sup> Im KEA wird i.d.R. auch der Entsorgungsaufwand einbezogen, wobei hierzu meist **Gutschriften** für z.B. Energierückgewinnung aus stofflich genutzten Energieträgern (Holz, Kunststoffe...) dienen.

<sup>6</sup> vgl. dazu näher [www.oeko.de/service/kea](http://www.oeko.de/service/kea)

<sup>7</sup> Das verwendete Bilanzierungstool GEMIS kann beide Indikatoren berechnen, so dass bei Interesse auch die z.T. abweichenden KEV-Resultate ermittelt werden können. Im Anhang sind die KEV-Werte der bilanzierten biogenen Öle aufgenommen, die mit GEMIS berechnet wurden.

## 1.2 Bilanzierung über Lebenswege mit GEMIS

Die Lebensweganalyse untersucht, basierend auf dem „cradle-to-grave“-Gedanken der Ökobilanz, alle wesentlichen umweltrelevanten Aktivitäten von der Primärenergie- oder Rohstoffgewinnung über verschiedene Formen der Energie- und Stoffumwandlung und entsprechender Transporte hinweg bis zur Bereitstellung oder Nutzung von Energieträgern oder Stoffen im Endverbrauch.

Dabei werden auch die Herstellung aller Prozesse sowie ggf. notwendige Entsorgungsaktivitäten, Hilfsenergie- und Hilfsstoffeinsätze mit einbezogen.

Für die vorliegende Arbeit wurden die Daten zur Bereitstellung von Energieträgern und Kraftstoffen unter dem Begriff **Vorketten** zusammengefasst.

Die Vorketten betreffen die der eigentlichen Energienutzung **vorgelagerten** Aktivitäten von der Förderung, den Transporten sowie der weiteren Verarbeitung von Energieträgern bis zur Endenergiestufe frei Verbraucher.

Je nach Technologie und Brennstoffcharakteristik können Emissionen und andere Umweltwirkungen in jedem Schritt („Prozess“) entlang des Energieflusses auftreten.

Zusätzlich zum direkten Energiefluss sind **Materialien** nötig, um die Energieanlagen zu errichten (z. B. Kraftwerke, Pipelines, Übertragungsleitungen). Für diesen **Stoffeinsatz**, der parallel zum Energieeinsatz erfolgt, müssen ähnliche Vorstufen betrachtet werden.

Das Öko-Institut hat mit GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) seit 1989 für diese Fragen ein Computermodell zur ganzheitlichen Bilanzierung im Energie-, Stoff- und Verkehrssektor entwickelt, das mittlerweile in Version 4.5 vorliegt (vgl. ÖKO 2008c).

Diese öffentlich zugängliche Software enthält Informationen zu Prozessketten in mehr als 50 Ländern sowie für über 12.000 Prozesse aus Energiewirtschaft (Strom, Wärme), Stoffbereitstellung (z.B. Baustoffe, Chemikalien, Metalle, Nahrungsmittel) und Verkehr (Personen- und Gütertransporte).

## 1.3 Allokationsfragen für Koppel- und Nebenprodukte

Bei Lebensweganalysen, die allein auf **ein** bestimmtes Produkt abstellen – z.B. Strom aus Heizkraftwerken oder Biokraftstoffe aus Rapsöl – muss berücksichtigt werden, dass in den Vorketten oft relevante Mengen an Koppel- bzw. Neben-Produkten entstehen.

Dies kann im Falle der Stromerzeugung mit Kraft-Wärme-Kopplung die parallel zum Strom bereitgestellte nutzbare Abwärme sein, oder im Fall des Biokraftstoffes aus Rapsöl der Extraktionsschrot aus der Ölmühle. Auch beim Anbau von Biomasse kann es „Koppelprodukte“ geben, z.B. Stroh bei der Gewinnung von Weizenkörnern.

Der Umgang mit diesen Neben- und Koppelprodukten in Öko- und Lebenswegbilanzen ist unter dem Begriff „Allokation“ ein seit Jahren umstrittenes Thema, das in der ISO 14000ff zwar durch eine Reihe von Regeln formalisiert wurde, jedoch jeder Öko-

bilanz freistellte, die jeweils zutreffende Allokationsregel zu verwenden und die daraus entstehende Ergebniswirksamkeit gegenüber anderen Allokationsregeln durch Sensitivitätsanalysen auszuweisen (NLD 2008).

Dieser **analytisch** durchaus gerechtfertigte Ansatz wurde in den letzten Monaten im Zuge der **rechtlichen** Ausgestaltung von Nachhaltigkeitsanforderungen für Biokraftstoffe sowie durch Arbeiten für das Umweltbundesamt zur Allokationsfrage bei der Kraft-Wärme-Kopplung (ÖKO 2008b) fortentwickelt und durch **eine** Allokationsregel für **alle** Prozesse ersetzt:

Die Nachhaltigkeitsverordnung zum Biokraftstoffquotengesetz und die Vorschläge der EU-Kommission legen als Allokationsmethode für biogene Energieträger die **heizwertbezogene** Aufteilung der Umweltlasten zwischen Haupt- und Nebenprodukten fest (vgl. IFEU 2007). Bei Koppelprodukten, die keinen Heizwert im engeren Sinne aufweisen, ist ein Heizwertäquivalent zur Allokation zu verwenden<sup>8</sup>.

Die in der vorliegenden Kurzstudie berechneten KEA-Werte beruhen auf der heizwertbezogenen Allokation und sind daher **nicht** mit früheren Publikationen vergleichbar, die vor allem Gutschriftenmethoden oder ökonomische Allokation nach verwenden.

Um die Sensitivität der Ergebnisse in Bezug auf die Allokation darzustellen, werden die Resultate für ausgewählte biogene Öle denen mit der Gutschriftenmethode ermittelten gegenübergestellt:

Bei Rapsöl wird beim Nebenprodukt „Extraktionsschrot“ eine Gutschrift auf Basis von substituiertem Sojaschrot angenommen, beim Rapsöl-Methylester wird für das Koppelprodukt Glycerin die Substitution von fossil bereitgestelltem Glycerin angenommen.

Bei Synthesekraftstoffen aus Biomasse (BtL) wird für das Koppelprodukt Strom eine Gutschrift auf Basis des durchschnittlichen Kraftwerksparks angenommen.

Die KEA- und KEV-Bilanzierungen sind integrale Bestandteile des GEMIS-Modells, das für ihre Berechnung auch die Allokationsmethode für Koppel- und Nebenprodukte vorgeben kann und so verschiedene Varianten der Bilanz eingestellt werden können.

---

<sup>8</sup> Dies gilt insbesondere für Strom und nutzbare (Ab)Wärme: Hier wird die energetische Wertigkeit durch eine Äquivalenzbetrachtung ermittelt, die für Strom zu einem Faktor von 2,5 und für Wärme von 1 führt (vgl. ÖKO 2008a).



## 2 Datengrundlagen zur KEA-Bilanzierung

Neben den methodischen Fragen sind auch die Datengrundlagen wesentlich für die Ermittlung der Ergebnisse in der vorliegenden Kurzstudie.

### 2.1 Generelle Daten zu Lebensweganalyse

Um eine Lebensweganalyse praktisch durchführen zu können, muss eine große Datenmenge erhoben und verarbeitet werden, wobei auch die geographischen Variationen von Energieprozessen, Brennstoffqualitäten, Transportentfernungen usw. eine Rolle spielen. Mit GEMIS liegt eine entsprechende Datenbasis vor.

Die Datenbasis von GEMIS 4.5 wurde, bezogen auf die „Hintergrund“-Daten für die fossilen und nuklearen Energieträger bereits ausführlich dokumentiert (vgl. ÖKO 2003 – 2007). Dabei wurden für alle aus dem Ausland bezogenen Energieträger repräsentative Liefermische (Anteil der Förderregionen) für das Jahr 2005 in Deutschland angesetzt, ebenso für die inländische Bereitstellung. Aus beiden wurde typische Bereitstellungsmixe für die inländische Verwendung der Energieträger im Jahr 2005 ermittelt.

### 2.2 Daten zu biogenen Ölen

Für die biogenen Öle liegt eine breite Palette von Untersuchungen zugrunde, die seit etwa zehn Jahren publiziert wurden. Einen Überblick zu den wichtigsten Studien geben Larson (2005+2006) sowie jüngst UNEP (2008).

Daten zu europäischen Verhältnissen geben u.a. EUCAR/JRC/CONCAWE (2007) sowie Zah u.a. (2007).

Für Soja aus den USA sind es CSI (2008), NREL (1998; 2005) und Kim/Dale (2005) sowie Pimentel/Patzek (2005), für Soja aus Argentinien sind es Asal/Hilbert (2006) und Lamers (2006). Biodiesel aus Asien betrachtet u.a. JGSEE (2006).

Die Datenbasis der vorliegenden Studie stützt sich auf die in GEMIS enthaltenen Prozessketten für Bioenergieträger, d.h. es wurde in Bezug auf die jeweiligen Stoff- und Energieeinsätze sowie die Transportaufwendungen die Datenbasis des BMU-„Stoffstrom-Biomasse“-Projekts verwendet, die mit Daten aus einer aktuellen Studie für den WBGU fortgeschrieben wurden, in welcher die Erkenntnisse aus den o.g. eingingen (vgl. ÖKO 2008b).

Weiterhin wurde ein Abgleich von Heizwerten und Koppelprodukten mit den „Default“-Daten der deutschen Nachhaltigkeitsverordnung zum Biokraftstoffquotengesetz vorgenommen, die wiederum weitgehend mit entsprechenden Daten der EU-Richtlinie zu Erneuerbaren Energien übereinstimmen (vgl. IFEU 2007).

Bei den aus dem Ausland importierten Bioenergieträgern (Öle aus Jatropha, Palmen, Soja) wurden interkontinentale Transporte mit Schiffen sowie ihre Weiterverarbeitung (Hydrierung, Veresterung) in Deutschland angenommen.

### 3 Ergebnisse zum KEA von biogenen Ölen

Mit dieser Datenbasis wurden die KEA-Werte der untersuchten biogenen Energieträger bilanziert, die Ergebnisse zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 2 KEA-Werte bei der Nutzung biogener Öle

in [TJ <sub>primär</sub> /TJ <sub>end</sub> ]	Herkunftsland	Kumulierter Energie-Aufwand (KEA)		
		nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
Rapsöl	DE	0,25	0,95	1,19
Palmöl	ID	0,43	3,08	3,51
Sojaöl	AR	0,18	0,54	0,72
Jatrophaöl-ertragreich	IN	0,25	1,34	1,58
Jatrophaöl-marginal	IN	0,27	1,34	1,60
Palmöl-hydr.	ID	0,57	3,25	3,82
Sojaöl-hydr.	AR	0,31	0,57	0,88
Jatrophaöl-hydr.-ertragreich	IN	0,38	1,41	1,79
Jatrophaöl-hydr.-marginal	IN	0,40	1,41	1,80
Altfett-ME	DE	0,25	0,98	1,24
Rapsöl-ME	DE	0,48	0,87	1,35
Palmöl-ME	ID	0,65	2,94	3,59
Sojaöl-ME	AR	0,42	0,48	0,90
Jatrophaöl-ME-ertragreich	IN	0,48	1,25	1,73
Jatrophaöl-ME-marginal	IN	0,49	1,25	1,74
BtL-Stroh	DE	0,05	1,77	1,82
BtL-Waldholz	DE	0,07	1,81	1,88
BtL-KUP-Holz	DE	0,12	1,81	1,93

Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (auch in Vorketten); hydr.= hydriert; ME= Methyl-Ester; BtL= biomass-to-liquid; KUP= Kurzumtriebs-Plantage; DE= Deutschland; ID= Indonesien; AR= Argentinien; IN= Indien

Deutlich sichtbar ist hier der Effekt der Allokation bei biogenen Ölen aus Soja: durch die „Umbuchung“ von Teilen ihres KEA auf die relativ große Menge an Koppelprodukten sind die energieträgerbezogenen KEA-Werte **kleiner** als 1.

Beim Palmöl sind die KEA-Werte vergleichsweise hoch, da hier als Systemgrenze die Bereitstellung (Ernte) von Fruchtständen<sup>9</sup> gewählt wurde. Die nicht für die Ölgewinnung verwendbaren Teile dieser biomassereichen Fraktion werden zur Düngung (Mulch) und Deckung des Prozessenergiebedarfs (Fasern) verwendet, entsprechend reduziert sich der nichterneuerbare Energieinput.

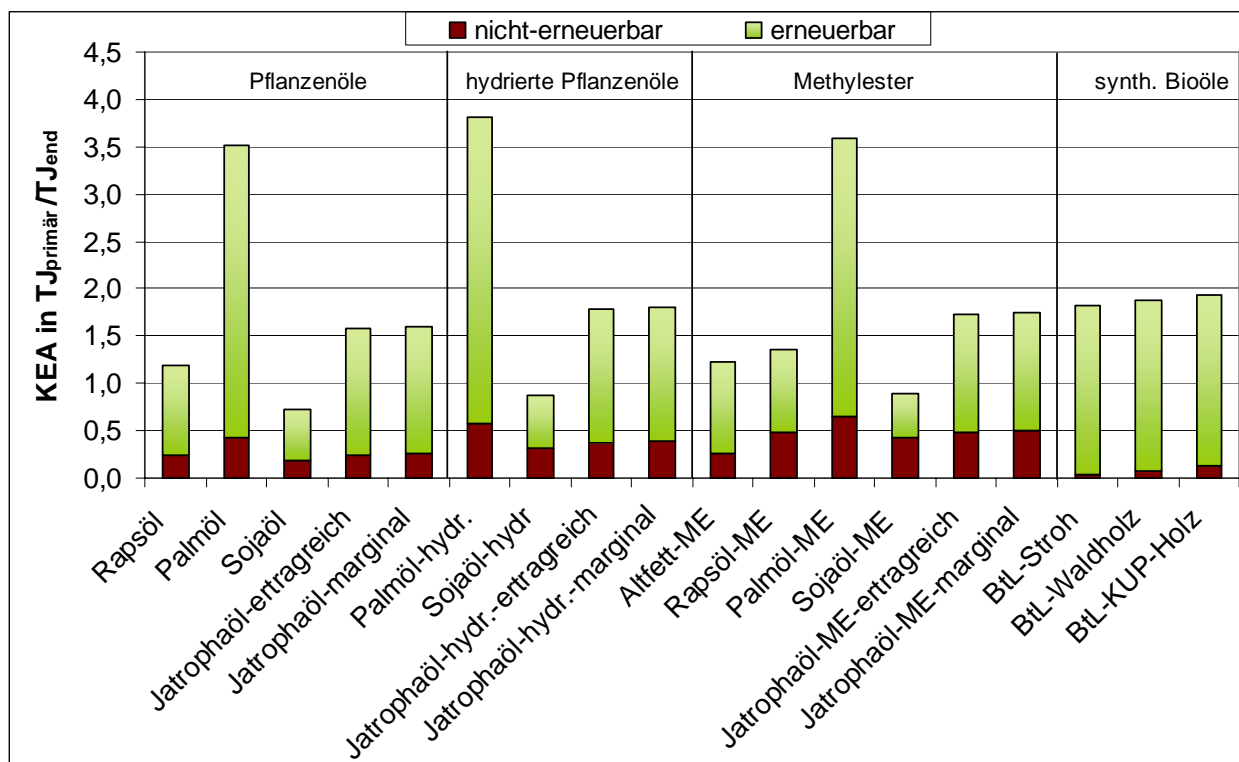
<sup>9</sup> fresh fruit bunches = FFB

Der nicht-erneuerbare KEA biogener Öle liegt in einer Bandbreite von 0,05 TJ Primär-energie je bereitgestelltem TJ Endenergie als geringstem Wert für BtL aus Stroh bis hin zu 0,65  $TJ_{\text{primär}}/TJ_{\text{end}}$  als höchstem Wert für Palmöl-Methylester.

Die erneuerbaren KEA-Werte liegen in einer Bandbreite von 0,48  $TJ_{\text{primär}}/TJ_{\text{end}}$  als niedrigstem Wert für Sojaöl-Methylester bis 3,25  $TJ_{\text{primär}}/TJ_{\text{end}}$  als höchstem Wert für hydriertes Palmöl, bei dem aufgrund nur prozessintern intern genutzter Nebenprodukte keine nennenswerte Allokation in der Prozesskette erfolgt.

Die folgende Abbildung zeigt die hier ermittelten KEA-Werte biogener Öle nochmals in der Übersicht.

Bild 1 KEA-Werte bei der Nutzung biogener Öle



Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (auch in Vorketten); hydr.= hydriert; ME= Methyl-Ester; BtL= biomass-to-liquid; KUP= Kurzumtriebs-Plantage; DE= Deutschland; ID= Indonesien; AR= Argentinien; IN= Indien

Die o.g. Ergebnisse für die einzelnen biogenen Öle werden in der folgenden Tabelle zu einem aggregierten Wert für das „durchschnittliche“ biogene Öl in Deutschland umgerechnet, wobei dies auf Grundlage des Monitoringberichts zum EEG, statistischer Daten zu biogenen Energieträgern der AGEE-Stat und eigenen Schätzungen erfolgt.

Tabelle 3 KEA-Werte für das „durchschnittliche“ biogene Öl in Deutschland

KEA in [ $TJ_{\text{primär}}/TJ_{\text{end}}$ ]	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe	Anteil an DE-mix
Rapsöl	0,25	0,95	1,19	10%
Palmöl	0,43	3,08	3,51	10%
Sojaöl	0,18	0,54	0,72	20%
Altfett-ME	0,25	0,98	1,24	1%
Rapsöl-ME	0,48	0,87	1,35	59%
Palmöl-ME	0,65	2,94	3,59	0%
Sojaöl-ME	0,42	0,48	0,90	0%
<b>Mittelwert Bio-Öl DE-mix</b>	<b>0,39</b>	<b>1,06</b>	<b>1,42</b>	

Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (auch in Vorketten); ME= Methyl-Ester; DE= Deutschland

Der durchschnittliche **nichterneuerbare** KEA für das „DE-mix“ hängt stark von den Anteilen von Raps- und Sojaöl bzw. Altfett-ME (niedriger KEA) und Palmöl bzw. Palmöl-ME (hoher KEA) ab, während der **erneuerbare** KEA vor allem von den Anteilen von Sojaöl bzw. Sojaöl-ME (niedriger KEA) und wiederum Palmöl bzw. Palmöl-ME (hoher KEA) abhängt.

Da aufgrund der Gestehungskosten anzunehmen wäre, dass vor allem Sojaöle und Palmöle künftig stärker importiert würden, wäre das „DE-mix“ durch die gegenläufigen Tendenzen bei diesen biogenen Energieträgern wenig betroffen.

Wird jedoch bedacht, dass aufgrund der künftigen Nachhaltigkeitsanforderungen an – auch importierte – biogene Energieträger deren Netto-Treibhausgasemissionen eine Reduktion von 35% gegenüber fossilen Ölen erreichen müssen und hierin auch CO<sub>2</sub>-Emissionen aus direkten sowie ggf. sogar indirekten Landnutzungsänderungen einzu-beziehen sind, so wird die Importmenge von Soja- bzw. Palmöl aus Sicht der Autoren vor 2015 nicht nennenswert steigen<sup>10</sup>.

Aus dieser Überlegung lässt sich ableiten, dass mittelfristig der o.g. KEA des „DE-mix“ **vergleichsweise konstant** bleiben wird.

<sup>10</sup> Die stationär genutzten Bioenergieträger aus Soja und Palmöl sind von der EEG-2009-Novelle insoweit betroffen, dass dort ein Nachhaltigkeitszertifikat gefordert wird. Da das entsprechende Nachweissystem noch nicht implementiert ist, wird die Menge dieser Bioenergieträger kurzfristig sogar sinken.

## 4 Disaggregation der KEA-Werte

Die im vorigen Abschnitt dargestellten Bilanzergebnisse geben nur eine grobe Differenzierung zwischen den nicht-erneuerbaren, den erneuerbaren und den Gesamt-KEA-Werten. Die folgenden Tabellen und Grafiken zeigen die Aufteilung der KEA-Werte auf die Prozessstufen im Rahmen der jeweiligen Lebenszyklen für Raps-, Palm- und Sojaöl und die entsprechenden Methylester.

Dabei wurde z.B. für den Anbau jeweils der KEA für alle Aktivitäten dieser „Stufe“ bilanziert, d.h. Dieseleinsatz für Traktoren und Düngemittelbedarf.

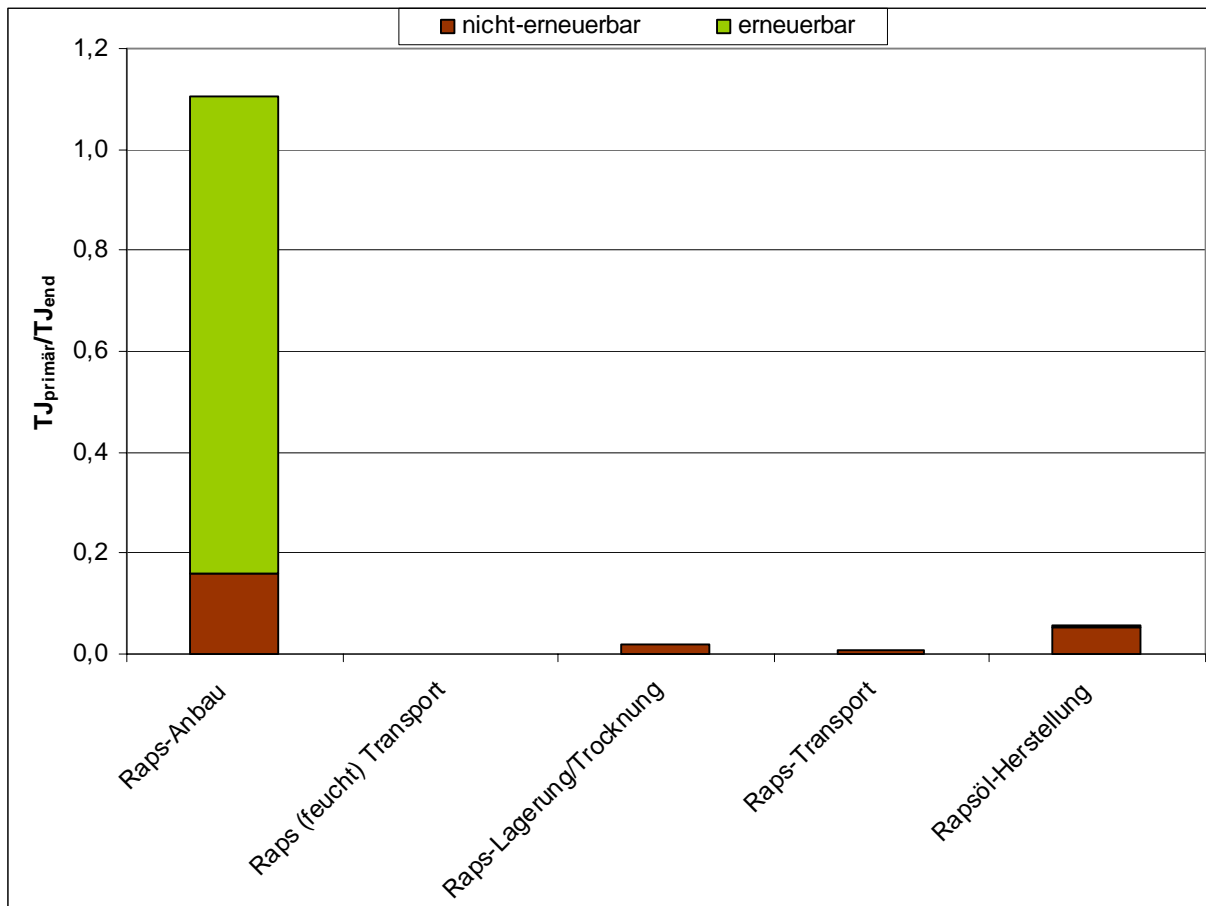
Tabelle 4 Disaggregation der KEA-Werte für Raps-, Palm- und Sojaöl

in [TJ <sub>primär</sub> /TJ <sub>end</sub> ]	Kumulierter Energie-Aufwand (KEA)		
	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
<b>Rapsöl</b>			
Raps-Anbau	0,16	0,94	1,10
Raps (feucht) Transport	0,00	0,00	0,00
Raps-Lagerung/Trocknung	0,02	0,00	0,02
Raps-Transport	0,01	0,00	0,01
Rapsöl-Herstellung	0,05	0,00	0,06
<b>Summe</b>	<b>0,25</b>	<b>0,95</b>	<b>1,19</b>
<b>Palmöl</b>			
Palmen-Anbau	0,33	3,08	3,42
Palmwedel-Transport	0,00	0,00	0,00
Palmöl-Herstellung	0,02	0,00	0,02
Palmöl-Transport	0,06	0,00	0,06
<b>Summe</b>	<b>0,43</b>	<b>3,08</b>	<b>3,51</b>
<b>Sojaöl</b>			
Sojabohnen-Anbau	0,02	0,53	0,56
Sojabohnen-Transport	0,01	0,00	0,01
Sojaöl-Herstellung	0,11	0,00	0,11
Sojaöl-Transport	0,03	0,00	0,03
<b>Summe</b>	<b>0,18</b>	<b>0,54</b>	<b>0,71</b>

Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (auch in Vorketten)

Die folgende Abbildung visualisiert die Ergebnisse für das Beispiel Rapsöl.

Bild 2 Disaggregation der KEA-Werte für Rapsöl



Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (auch in Vorketten)

Deutlich sichtbar ist in der Abbildung die Dominanz des Anbaus für die KEA-Werte, während die (innerdeutschen) Transporte keine nennenswerte Rolle spielen. Wird nur der nichterneuerbare KEA betrachtet, so ist wiederum der Anbau dominant, gefolgt von der Rapsöl-Herstellung (Ölmühle) und der Rapstrochnung.

Für die Methyl ester, die aus den Pflanzenölen hergestellt werden, sowie für BtL aus Holz zeigt die folgende Tabelle die disaggregierten KEA-Werte.

**Tabelle 5** Disaggregation der KEA-Werte für Raps-, Palm- und Sojaöl-ME sowie BtL aus KUP-Holz

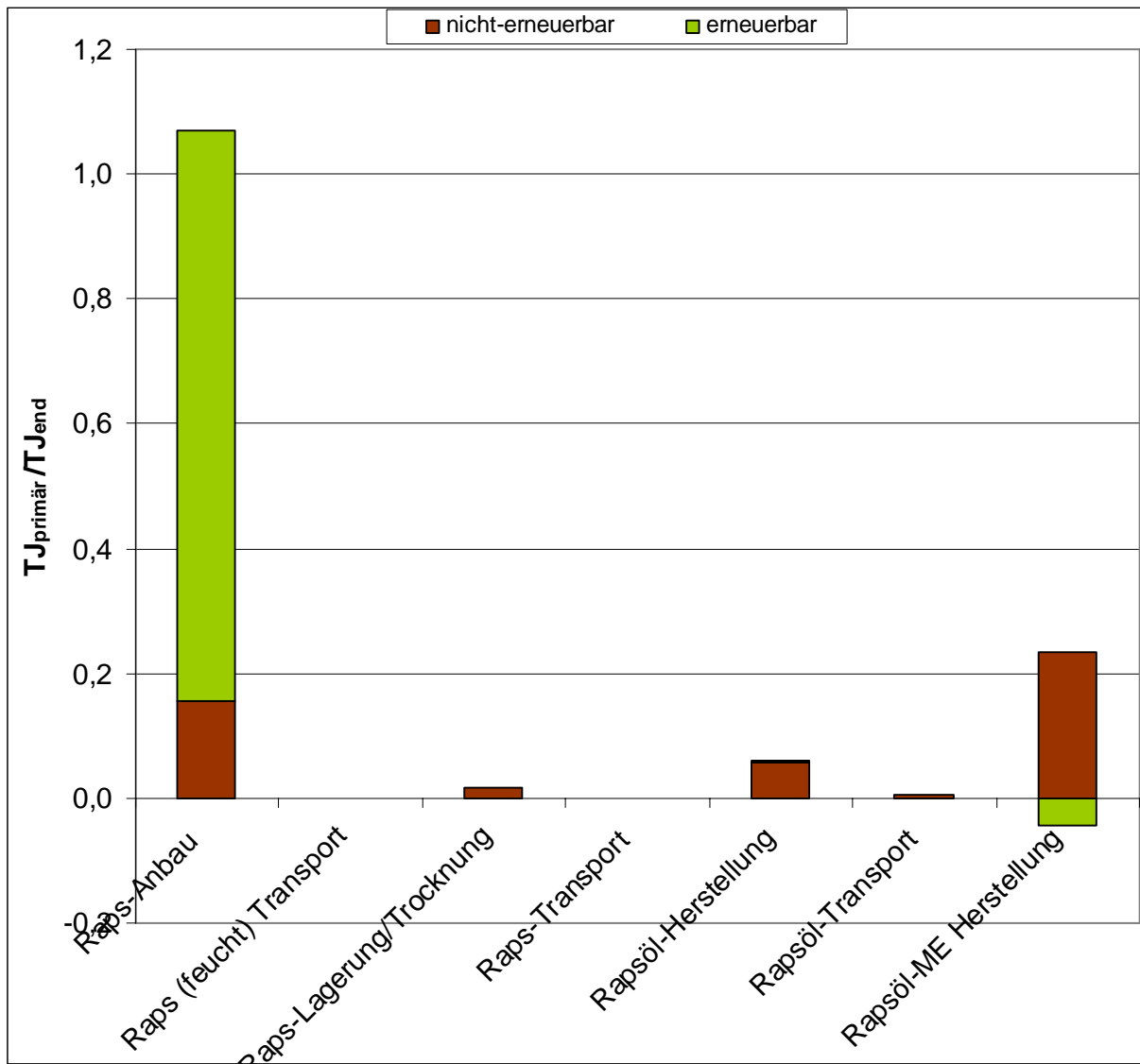
in [TJ <sub>primär</sub> /TJ <sub>end</sub> ]	Kumulierter Energie-Aufwand (KEA)		
	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
<b>Rapsöl-ME</b>			
Raps-Anbau	0,16	0,91	1,07
Raps (feucht) Transport	0,00	0,00	0,00
Raps-Lagerung/Trocknung	0,02	0,00	0,02
Raps-Transport	0,00	0,00	0,00
Rapsöl-Herstellung	0,06	0,00	0,06
Rapsöl-Transport	0,00	0,00	0,00
Rapsöl-ME Herstellung	0,23	-0,04	0,19
<b>Summe</b>	<b>0,48</b>	<b>0,87</b>	<b>1,35</b>
<b>Palmöl-ME</b>			
Palmen-Anbau	0,32	2,98	3,30
Palmwedel-Transport	0,00	0,00	0,00
Palmöl-Herstellung	0,02	0,00	0,02
Palmöl-Transport	0,06	0,00	0,07
Palmöl-ME-Herstellung	0,23	-0,04	0,19
<b>Summe</b>	<b>0,65</b>	<b>2,94</b>	<b>3,59</b>
<b>Sojaöl-ME</b>			
Sojabohnen-Anbau	0,02	0,52	0,54
Sojabohnen-Transport	0,01	0,00	0,01
Sojaöl-Herstellung	0,10	0,00	0,11
Sojaöl-Transport	0,03	0,00	0,03
Sojaöl-ME Herstellung	0,23	-0,04	0,19
<b>Summe</b>	<b>0,42</b>	<b>0,48</b>	<b>0,90</b>
<b>BtL aus KUP-Holz</b>			
Anbau KUP-Holz	0,07	1,81	1,87
Transport KUP-Holz	0,00	0,00	0,00
Hackschnitzel-Herstellung	0,03	0,00	0,03
Transport Hackschnitzel	0,01	0,00	0,01
BtL-Herstellung	0,02	0,00	0,02
<b>Summe</b>	<b>0,13</b>	<b>1,81</b>	<b>1,94</b>

Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (auch in Vorketten); ME= Methyl-Ester; BtL= biomass-to-liquid; KUP= Kurzumtriebs-Plantage

Diese Disaggregation zeigt, dass auch die internationalen See-Transporte von Palm- und Sojaöl als Input für die entsprechende ME-Herstellung in Deutschland keine besonders große Rolle spielt.

Die nachfolgende Grafik visualisiert die KEA-Disaggregation am Beispiel von Rapsöl-Methylester.

Bild 3 Disaggregation der KEA-Werte für Rapsöl-Methylester (RME)



Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (auch in Vorketten)

Wie beim Rapsöl sind Anbau und Ölmühle wichtig für den KEA, aber die quantitativ relevanteste Stufe ist beim RME die Veresterung, da hier vergleichsweise viel fossiler Input (Prozesswärme, Methanol) erfolgt.



## 5 Allokation versus Gutschrift bei Koppelprodukten

Wie im Kapitel 1.3 kurz dargestellt, beeinflusst die Methode zur Berücksichtigung von Koppelprodukten in großem Umfang die Ergebnisse von Lebensweganalysen – dies umso stärker, je mehr die betrachteten Produkte und Prozessketten Koppelprodukte bereitstellen. Bei den biogenen Ölen sind die Pflanzenöle koppelproduktreich, während bei BtL und Altfett-ME vergleichsweise wenig an Koppelprodukten entstehen.

Um die Bedeutung der Methodikwahl beispielhaft darzustellen, wurde zusätzlich eine Bilanzierung ausgewählter Bioöl-Prozessketten mit der Gutschriftenmethode durchgeführt. Als Gutschriftensysteme wurden dabei folgende Äquivalenzprozesse angesetzt:

- für Pressrückstände aus Ölmühlen jeweils Sojaschrot (Futtermittel, Herstellung in den USA, inkl. Schiffstransport),
- bei der Veresterung die Substitution fossil hergestellten Glycerins und
- der durchschnittliche Kraftwerkspark für Überschussstrom aus BtL-Anlagen.

Das Ergebnis zeigt die folgende Tabelle, die eine Gegenüberstellung der KEA-Ergebnisse nach der im Kapitel 3 verwendeten energiebezogenen Allokation mit denen nach dem Gutschriftenverfahren enthält<sup>11</sup>.

Tabelle 6 KEA-Werte biogener Öle nach Allokationsmethode und Gutschrift

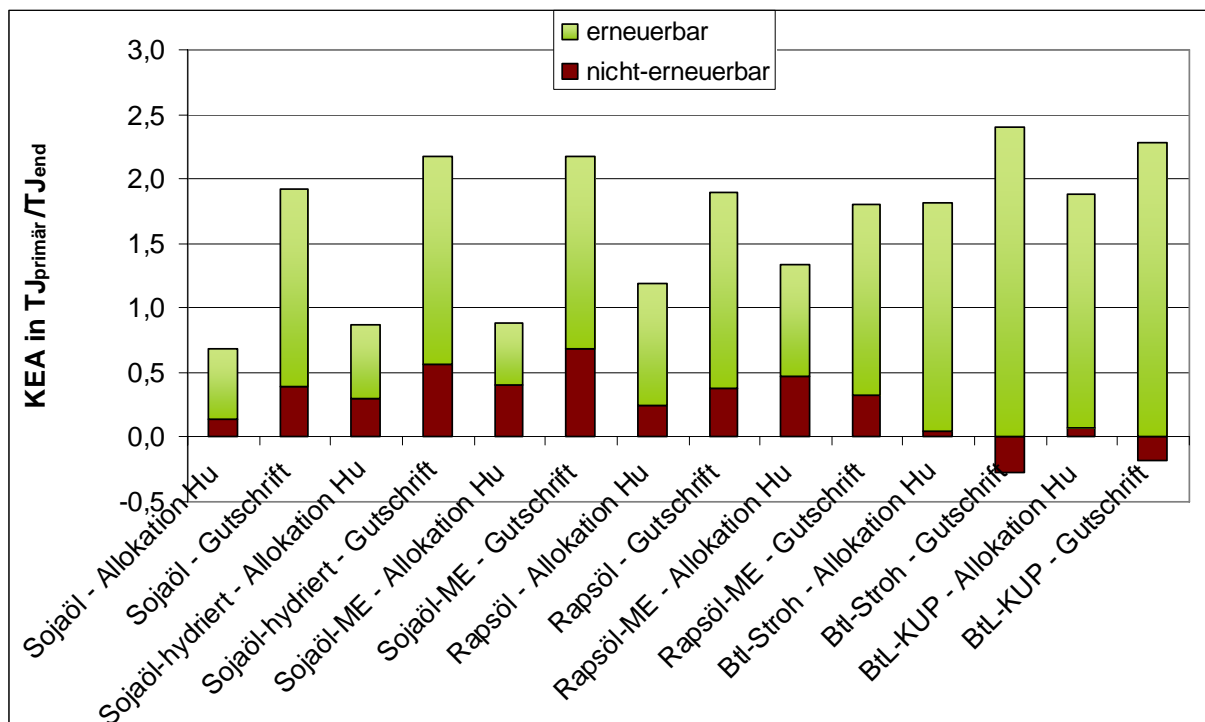
in [TJ <sub>primär</sub> /TJ <sub>end</sub> ]	Kumulierter Energie-Aufwand (KEA)		
	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
Rapsöl - Allokation Hu	0,25	0,95	1,19
Rapsöl - Gutschrift	0,39	1,51	1,90
Sojaöl - Allokation Hu	0,18	0,54	0,72
Sojaöl - Gutschrift	0,44	1,52	1,96
Sojaöl-hydriert - Allokation Hu	0,31	0,57	0,88
Sojaöl-hydriert - Gutschrift	0,58	1,60	2,18
Rapsöl-ME - Allokation Hu	0,48	0,87	1,35
Rapsöl-ME - Gutschrift	0,32	1,49	1,81
Sojaöl-ME - Allokation Hu	0,42	0,48	0,90
Sojaöl-ME - Gutschrift	0,70	1,49	2,19
Btl-Stroh - Allokation Hu	0,05	1,77	1,82
Btl-Stroh - Gutschrift	-0,27	2,40	2,13
BtL-Waldholz - Allokation Hu	0,07	1,81	1,88
BtL-Waldholz - Gutschrift	-0,18	2,28	2,10
BtL-KUP-Holz - Allokation Hu	0,13	1,81	1,94
BtL-KUP-Holz - Gutschrift	-0,11	2,29	2,18

Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (Hu) bzw. über Gutschrift

<sup>11</sup> Palmöl wurde aus dieser Darstellung ausgenommen, da die überwiegend prozessintern verwendeten Nebenprodukte die Bilanz dominierten und nicht durch Allokation bzw. Gutschriften betroffen sind.

Dies zeigt die folgende Abbildung nochmals als grafische Übersicht.

**Bild 4** KEA-Werte biogener Öle nach Allokationsmethode und Gutschrift



Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (Hu) bzw. über Gutschrift

Diese Gegenüberstellung zeigt, dass die  $H_u$ -Allokation gegenüber der Anrechnung von Gutschriften in der Regel zu geringeren KEA-Werten führt, jedoch nicht beim nichterneuerbaren KEA für RME und BtL – hier bringt die Gutschriftenmethode geringere Werte. Die entsprechenden Relationen zeigt die folgende Tabelle.

**Tabelle 7** Relation der KEA-Werte biogener Öle für Gutschrift und Allokation

Biogenes Öl	KEA-Relation Gutschrift bezogen auf Allokation $H_u$		
	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
Rapsöl	1,6	1,6	1,6
Rapsöl-ME	0,7	1,7	1,3
Sojaöl	2,8	2,8	2,8
Sojaöl-hydriert	1,9	2,8	2,5
Sojaöl-ME	1,7	3,1	2,5
BtL-Stroh	-6,7	1,4	1,2
BtL-Waldholz	-2,8	1,4	1,1
BtL-KUP-Holz	-0,9	1,3	1,1

Quelle: eigene Berechnungen

Deutlich sichtbar ist in den Relationen für KEA-Summe und erneuerbaren KEA die mit **abnehmender Koppelproduktbedeutung** parallel abnehmenden Unterschiede zwischen der Gutschriftenmethode und der Heizwert-Allokation.

Beim umweltpolitisch besonders interessanten nicht-erneuerbaren KEA sind die Relationen entsprechend, werden aber durch die negativen Teilbilanzen bei der Gutschriftenmethode nur verzerrt sichtbar.

Insgesamt zeigt diese kurze Analyse, dass die Allokation über Heizwertäquivalente tendenziell zu günstigeren (d.h. geringeren) KEA-Werten führt als die Substitutionsmethode mit Gutschriften, wobei allerdings letztere beim nichterneuerbaren KEA und Systemen, die als Koppelprodukt Strom liefern, für deutsche Verhältnisse günstigere Ergebnisse liefert<sup>12</sup>.

## 6 Zur Aussagegüte der Ergebnisse

Die hier vorgestellten Ergebnisse der KEA-Bilanzierung sind mit relativ **geringen** Unsicherheiten in behaftet, da Primärenergiebedarfe **nicht** durch z.B. Fragen der Landnutzungsänderungen oder der N<sub>2</sub>O-Freisetzung berührt werden, die bei den THG-Emissionen biogener Energieträger eine große Rolle spielen<sup>13</sup>.

Es wurden definitionsgemäß keine Variationen der betrachteten Anbausituationen für Biomasse in Bezug auf verbesserte Anbaumethoden (z.B. zero tillage, Düngung über Abwasser o.ä.) betrachtet, womit eine konservative Sichtweise verfolgt wurde.

Die Verwendung der heizwertbezogenen Allokation führt gegenüber der Gutschriftenmethode bei den betrachteten Fällen zu geringeren KEA-Werten. Die Wahl anderer Gutschriftensysteme kann jedoch auch zu differierenden Ergebnissen führen, ebenso bei Allokation nach Wert, Masse oder Volumen<sup>14</sup>.

Mit Blick auf die aktuelle Diskussion zur Nachhaltigkeit der Bioenergie sei abschließend nochmals betont, dass der KEA **nur eine** – nicht notwendig richtungssichere – Kenngröße darstellt, die durch weitere Indikatoren wie die Treibhausgas-Bilanzen unter Einrechnung von Landnutzungsänderungen, Effekte auf die Biodiversität, Kosten der Bereitstellung usw. ergänzt werden muss, bevor Aussagen zur Nachhaltigkeit abgeleitet werden können.

---

<sup>12</sup> Dieses Ergebnis wird durch den (stark fossil geprägten) Kraftwerkspark bedingt. In Ländern mit z.B. großen Anteilen an Wasser- oder Windkraft in der Stromerzeugung würde dieser Effekt nicht auftreten.

<sup>13</sup> vgl. dazu näher ÖKO (2008b) und UNEP (2008).

<sup>14</sup> Eine erschöpfende Darstellung der sehr großen Variationsmöglichkeiten für die Koppelprodukthanrechnung war nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

## Literatur

- Asal, Shafik/Marcus, Rémi/Hilbert, Jorge A. 2006: Opportunities for and obstacles to sustainable biodiesel production in Argentina; in: Energy for Sustainable Development vol. X no. 2, pp. 48-58
- CSI (Cheminfo Services Inc.) et al. 2008: Sensitivity Analysis of Biodiesel LCA Models to Determine Assumptions With the Greatest Influence on Outputs; Final Report; Ontario
- EUCAR/JRC/CONCAWE 2007: Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context - Well-to-Wheels Report Version 2c; Ispra <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2005: Fertilizer Use by Crop; Rom <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuse.xls>
- Fehrenbach, H., Fritsche, U., Giegrich, J. 2008. Greenhouse Gas Balances for Biomass: Issues for further discussion Issue paper for the informal workshop, January 25, 2008 in Brussels  
[http://www.oeko.de/service/bio/dateien/en/ghg\\_balance\\_bioenergy.pdf](http://www.oeko.de/service/bio/dateien/en/ghg_balance_bioenergy.pdf)
- JGSEE (Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology) 2006: Sustainability Assessment of Biodiesel Production; Shabbir H. Gheewala/Wanida Wanichpongpan/Masayuki Sagisaka; presented at the 23rd Biomass Asia Workshop held at Tsukuba, Japan, 15- 16 November 2006
- Kim, Seungdo/Dale, Bruce E. 2005: Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel; in: Biomass and Bioenergy 29 (2005), p. 426–439 doi:10.1016/j.biombioe.2005.06.004
- Lamers, Patrick 2006: Emerging Liquid Biofuel Markets - A donde va la Argentina?; IIIE Thesis, Lund University
- Larson, Eric D. 2005: A review of LCA Studies on Liquid Biofuel Systems for the Transport Sector; Background Paper for the GEF-STAP Liquid Biofuels Workshop; Princeton Environmental Institute  
<http://stapgef.unep.org/activities/technicalworkshops/biofuels>
- Larson, Eric D. 2006: A review of life-cycle analysis studies on liquid biofuel systems for the transport sector; in: Energy for Sustainable Development vol. X no. 2, pp. 109-126
- NREL (National Renewable Energy Laboratory) 1998: An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles; Sheehan, John et al., Report NREL/TP-580-24772; Golden CO
- NREL (National Renewable Energy Laboratory) 2005: Quantifying Cradle-to-Farm Gate Life-Cycle Impacts Associated with Fertilizer Used for Corn, Soybean, and Stover Production; Powers, Susan E.; Technical Report NREL/TP-510-37500; Golden, CO
- ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2003: Energiebilanzen und Treibhausgas-Emissionen für fossile Brennstoffketten und Stromerzeugungsprozesse in Deutschland für die Jahre 2000 und 2020; Bericht für den Rat für

- Nachhaltige Entwicklung; Darmstadt  
[www.nachhaltigkeitsrat.de/service/download/pdf/Energiebilanzen\\_fossil\\_und\\_Strom\\_08-03.pdf](http://www.nachhaltigkeitsrat.de/service/download/pdf/Energiebilanzen_fossil_und_Strom_08-03.pdf)
- ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2006: Stand und Entwicklung von Treibhausgasemissionen in den Vorketten für Erdöl und Erdgas; U. Fritsche/L. Rausch/K. Schmidt; Endbericht i.A. des IWO e.V., Darmstadt  
[www.oeko.de/service/gemis/files/present/2006vorketten\\_iwo.pdf](http://www.oeko.de/service/gemis/files/present/2006vorketten_iwo.pdf)
- ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2007: Endenergiebezogene Gesamtemissionen für Treibhausgase aus fossilen Energieträgern unter Einbeziehung der Bereitstellungsvorketten; Kurzbericht i.A. des BGW; Darmstadt  
[http://www.oeko.de/service/gemis/files/doku/gemis44thg\\_emissionen\\_fossil.pdf](http://www.oeko.de/service/gemis/files/doku/gemis44thg_emissionen_fossil.pdf)
- ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2008a: Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme; Fritsche, Uwe/Rausch. Lothar; Endbericht zum F&E-Vorhaben FKZ 360 16 008 i.A. des Umweltbundesamts; Darmstadt <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3476.pdf>
- ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2008b: Treibhausgasbilanzen und kumulierter Primärenergieverbrauch von Bioenergie-Konversionspfaden unter Berücksichtigung möglicher Landnutzungsänderungen; Fritsche, Uwe/Wiegmann, Kirsten; Expertise im Auftrag des WBGU; Darmstadt
- ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2008c: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.5 Internet-release auf [www.gemis.de](http://www.gemis.de)
- Pimentel, David/Patzek, Tad W. 2005: Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower; in: Natural Resources Research vol. 14 (2006) no. 1, p. 65-76 DOI: 10.1007/s11053-005-4679-8
- UNEP (United Nations Environment Programme) 2008: Existing knowledge and limits of scientific assessment of the sustainability impacts due to biofuels by LCA methodology; Menichetti, Emanuela/Otto, Martina; Paris
- Zah, Rainer u.a. 2007: Ökologische Bewertung von Biokraftstoffen (Studie für BFE, BAFU, BLW); EMPA (Eidgenössische Materialprüfungsanstalt); St. Gallen

## Anhang: Ergebnisse für den Kumulierten Energie-Verbrauch (KEV)

Tabelle A- 1 KEV-Werte bei der Nutzung biogener Öle

in [ $TJ_{\text{primär}}/TJ_{\text{end}}$ ]	Kumulierter Energie-Verbrauch (KEV)		
	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
Rapsöl	0,25	0,95	1,19
Palmöl	0,43	3,08	3,51
Sojaöl	0,18	0,54	0,72
Jatrophaöl-ertragreich	0,25	1,34	1,58
Jatrophaöl-marginal	0,27	1,34	1,60
Palmöl-hydr.	0,57	3,25	3,82
Sojaöl-hydr	0,31	0,57	0,88
Jatrophaöl-hydr.-ertragreich	0,38	1,41	1,79
Jatrophaöl-hydr.-marginal	0,40	1,41	1,80
Altfett-ME	0,16	0,98	1,14
Rapsöl-ME	0,38	0,87	1,25
Palmöl-ME	0,56	2,94	3,49
Sojaöl-ME	0,33	0,48	0,80
Jatrophaöl-ME-ertragreich	0,39	1,25	1,63
Jatrophaöl-ME-marginal	0,40	1,25	1,65
BtL-Stroh	0,05	1,77	1,82
BtL-Waldholz	0,07	1,81	1,88
BtL-KUP-Holz	0,12	1,81	1,94

Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (auch in Vorketten); hydr.= hydriert; ME= Methyl-Ester; BtL= biomass-to-liquid; KUP= Kurzumtriebs-Plantage

Tabelle A- 2 KEV-Werte für das „durchschnittliche“ biogene Öl in Deutschland

KEV in [ $TJ_{\text{primär}}/TJ_{\text{end}}$ ]	Summe	nichtererneuerbar	erneuerbar	Anteil an DE-mix
Rapsöl	1,19	0,25	0,95	10%
Palmöl	3,51	0,43	3,08	10%
Sojaöl	0,72	0,18	0,54	20%
Altfett-ME	1,14	0,16	0,98	1%
Rapsöl-ME	1,25	0,38	0,87	59%
Palmöl-ME	3,49	0,56	2,94	0%
Sojaöl-ME	0,80	0,33	0,48	0%
<b>Mittelwert Bio-Öl DE-mix</b>	<b>1,36</b>	<b>0,33</b>	<b>1,03</b>	

Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (auch in Vorketten); ME= Methyl-Ester; DE= Deutschland

Tabelle A- 3 Disaggregation der KEV-Werte für Raps-, Palm- und Sojaöl

in [TJ <sub>primär</sub> /TJ <sub>end</sub> ]	Kumulierter Energie-Aufwand (KEV)		
	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
Raps-Anbau	0,16	0,94	1,10
Raps (feucht) Transport	0,00	0,00	0,00
Raps-Lagerung/Trocknung	0,02	0,00	0,02
Raps-Transport	0,01	0,00	0,01
Rapsöl-Herstellung, en. Allok.	0,05	0,00	0,06
<b>Summe</b>	<b>0,24</b>	<b>0,95</b>	<b>1,19</b>

in [TJ <sub>primär</sub> /TJ <sub>end</sub> ]	Kumulierter Energie-Aufwand (KEV)		
	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
Palmen-Anbau	0,33	3,08	3,41
Palmwedel-Transport	0,00	0,00	0,00
Palmöl-Herstellung, en. Allok.	0,02	0,00	0,02
Palmöl-Transport ID->DE	0,06	0,00	0,06
<b>Summe</b>	<b>0,42</b>	<b>3,08</b>	<b>3,51</b>

in [TJ <sub>primär</sub> /TJ <sub>end</sub> ]	Kumulierter Energie-Aufwand (KEV)		
	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
Sojabohnen-Anbau	0,02	0,53	0,56
Sojabohnen-Transport	0,01	0,00	0,01
Sojaöl-Herstellung, en. Allok.	0,11	0,00	0,11
Sojaöl-Transport AR->DE	0,03	0,00	0,03
<b>Summe</b>	<b>0,17</b>	<b>0,54</b>	<b>0,71</b>

Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (auch in Vorketten)

Tabelle A- 4 Disaggregation der KEV-Werte für Raps-, Palm- und Sojaöl-ME sowie BtL aus KUP-Holz

in [TJ <sub>primär</sub> /TJ <sub>end</sub> ]	Kumulierter Energie-Aufwand (KEV)		
	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
Raps-Anbau	0,16	0,91	1,07
Raps (feucht) Transport	0,00	0,00	0,00
Raps-Lagerung/Trocknung	0,02	0,00	0,02
Raps-Transport	0,00	0,00	0,00
Rapsöl-Herstellung, en. Allok.	0,06	0,00	0,06
Rapsöl-Transport	0,00	0,00	0,00
Rapsöl-ME Herstellung, en. Allok.	0,14	-0,04	0,09
<b>Summe</b>	<b>0,38</b>	<b>0,87</b>	<b>1,24</b>

in [TJ <sub>primär</sub> /TJ <sub>end</sub> ]	Kumulierter Energie-Aufwand (KEV)		
	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
Palmen-Anbau	0,32	2,98	3,30
Palmwedel-Transport	0,00	0,00	0,00
Palmöl-Herstellung, en. Allok.	0,02	0,00	0,02
Palmöl-Transport ID->DE	0,06	0,00	0,07
Palmöl-ME-Herstellung, en. Allok.	0,14	-0,04	0,10
<b>Summe</b>	<b>0,55</b>	<b>2,94</b>	<b>3,49</b>

in [TJ <sub>primär</sub> /TJ <sub>end</sub> ]	Kumulierter Energie-Aufwand (KEV)		
	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
Sojabohnen-Anbau	0,02	0,52	0,54
Sojabohnen-Transport	0,01	0,00	0,01
Sojaöl-Herstellung, en. Allok.	0,10	0,00	0,11
Sojaöl-Transport AR->DE	0,03	0,00	0,03
Sojaöl-ME Herstellung	0,14	-0,04	0,09
<b>Summe</b>	<b>0,31</b>	<b>0,48</b>	<b>0,78</b>

in [TJ <sub>primär</sub> /TJ <sub>end</sub> ]	Kumulierter Energie-Aufwand (KEV)		
	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
Anbau	0,07	1,81	1,87
Transport	0,00	0,00	0,00
Hacker	0,02	0,00	0,03
Transport	0,01	0,00	0,01
BtL-Herstellung	0,02	0,00	0,02
<b>Summe</b>	<b>0,12</b>	<b>1,81</b>	<b>1,93</b>

Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (auch in Vorketten); ME= Methyl-Ester; BtL= biomass-to-liquid; KUP= Kurzumtriebs-Plantage



Tabelle A- 5 KEV-Werte biogener Öle nach Allokationsmethode und Gutschrift

in [ $TJ_{\text{primär}}/TJ_{\text{end}}$ ]	Kumulierter Energie-Verbrauch (KEV)		
	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Summe
Rapsöl - Allokation Hu	0,25	0,95	1,19
Rapsöl - Gutschrift	0,39	1,51	1,90
Rapsöl-ME - Allokation Hu	0,38	0,87	1,25
Rapsöl-ME - Gutschrift	0,22	1,49	1,71
Sojaöl - Allokation Hu	0,18	0,54	0,72
Sojaöl - Gutschrift	0,44	1,52	1,96
Sojaöl-hydriert - Allokation Hu	0,31	0,57	0,88
Sojaöl-hydriert - Gutschrift	0,58	1,60	2,18
Sojaöl-ME - Allokation Hu	0,33	0,48	0,80
Sojaöl-ME - Gutschrift	0,60	1,49	2,09
Btl-Stroh - Allokation Hu	0,05	1,77	1,82
Btl-Stroh - Gutschrift	-0,28	2,40	2,13
BtL-Waldholz - Allokation Hu	0,07	1,81	1,88
BtL-Waldholz - Gutschrift	-0,19	2,28	2,10
BtL-KUP-Holz - Allokation Hu	0,12	1,81	1,94
BtL-KUP-Holz - Gutschrift	-0,11	2,29	2,17

Quelle: eigene Berechnungen mit GEMIS 4.5; Allokation von Koppelprodukten über deren Heizwert (Hu) bzw. über Gutschrift

Tabelle A- 6 Relation der KEV-Werte biogener Öle für Gutschrift und Allokation

Rapsöl	1,6	1,6	1,6
Rapsöl-ME	1,4	0,6	1,7
Sojaöl	2,7	2,4	2,8
Sojaöl-hydriert	2,5	1,9	2,8
Sojaöl-ME	2,6	1,8	3,1
Btl-Stroh	1,2	-6,1	1,4
BtL-Waldholz	1,1	-2,8	1,3
BtL-KUP-Holz	1,1	-0,9	1,3

Quelle: eigene Berechnungen