

CO₂-ABSCHEIDUNG UND -LAGERUNG (CCS) IN DEUTSCHLAND

Gabriela von Goerne



Kurzzusammenfassung

Während die Ergebnisse der Klimawissenschaft immer dringlicher entschiedenes Handeln erfordern, sind die globalen Emissionen in diesem Jahrzehnt bisher schneller gewachsen als je zuvor. Die wissenschaftlichen Ergebnisse zeigen mehr und mehr, dass die Zeit zum Handeln knapp wird. Der Druck ist groß. Der Ausstoß der Treibhausgase muss reduziert, dafür mögliche Minderungsoptionen sollten vorbehaltlos geprüft werden.

Einerseits gilt es, den Weg für eine Stromversorgung zu bereiten, die zu 100% auf Erneuerbaren Energien beruhen kann. In Europa scheint dies bis Mitte des Jahrhunderts lösbar, wenn eine entschiedene Politik für Energieeffizienz mit einer Kombination von dezentraler und großflächiger erneuerbarer Stromversorgung und dem notwendigen Netzausbau (SuperSmartGrid) verknüpft wird.

Bislang ist allerdings global in absoluten Zahlen die Nutzung von Kohle weit stärker als die von Erneuerbaren Energien gestiegen. Zahlreiche neue Kohlekraftwerke sind weltweit in Planung oder Bau – in den Schwellenländern meist als Neubauten, in den Industrieländern als Ersatz für alte Kraftwerke. Es ist nicht zu erwarten, dass auf all diese Kraftwerksneubauten verzichtet wird. Ihr Bau ist aber mit den notwendigen Klimazielen nicht vereinbar.

Kohlekraftwerke emissionsärmer zu machen ist das erklärte Ziel einer neuen Technologie, die das Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) am Kraftwerk abscheiden und im Untergrund dauerhaft sicher lagern soll. Diese so genannte CCS-Technologie (Carbon Dioxide Capture and Storage) ist derzeit in der Entwicklung und könnte ab 2020 als Brückentechnologie zum Zeitalter der Erneuerbaren Energien einen Beitrag zur CO₂-Reduktion von Kohlekraftwerken leisten. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass sich die vielen noch offenen Fragen – wie etwa die der Kosten, Speichersicherheit und -überwachung sowie Haftung im Falle von Leckagen – lösen lassen. Vor dem Hintergrund der Neubauaktivitäten, allen voran in China, wäre dies eine notwendige Entwicklung, um die Chancen zu wahren, den weltweiten Temperaturanstieg auf weniger als 2°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu beschränken.

Impressum

Autorin: Dr. Gabriela von Goerne

Redaktion: Dr. Manfred Treber, Christoph Bals, Dr. Gerold Kier

Herausgeber:

Germanwatch e.V.

Büro Bonn

Dr. Werner-Schuster-Haus

Kaiserstr. 201

D-53113 Bonn

Telefon +49 (0)228/60492-0, Fax -19

Internet: <http://www.germanwatch.org>

E-mail: info@germanwatch.org

Büro Berlin

Voßstr. 1

D-10117 Berlin

Telefon +49 (0)30/288 8356-0, Fax -1

April 2009 (Überarbeitung der ersten Fassung vom Oktober 2008)

Bestellnr.: 09-2-04

ISBN 978-3-939846-46-8

Diese Publikation kann ebenso wie ein Foliensatz im Internet abgerufen werden unter:

www.germanwatch.org/klima/ccsdeu09.htm

Gefördert von:

**Umwelt
Bundes
Amt**
Für Mensch und Umwelt



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhalt

1	Zusammenfassung	4
2	Einleitung	6
3	Übersicht über den Stand der Debatte	7
3.1	Positionen relevanter Akteure	8
3.1.1	Politische Parteien	8
3.1.2	Forschungseinrichtungen.....	10
3.1.3	Bundesregierung.....	11
3.2	Politische Prozesse	11
3.2.1	EU-Richtlinien und Umsetzung in Deutschland.....	11
3.2.2	Transatlantische Initiativen und Einsatz in Schwellenländern	14
3.2.3	UNFCCC-Verhandlungen	15
4	CCS-Technologien und ihre Bewertung in ökonomischer und ökologischer Hinsicht	16
4.1	CO ₂ -Abscheidung.....	16
4.2	CO ₂ -Transport und Möglichkeiten der Infrastrukturfinanzierung durch die öffentliche Hand	20
4.3	CO ₂ -Lagerstätten	21
4.4	Pilotanlagen für CO ₂ -Abscheidung und -Lagerung.....	24
5	Empfehlungen	28
6	Literaturverzeichnis	30

1 Zusammenfassung

Der Klimawandel ist eines der größten Probleme, denen die Menschheit gegenüber steht. Um einen im großen Maßstab gefährlichen Klimawandel zu verhindern und die globale Erwärmung auf deutlich weniger als zwei Grad Celsius gegenüber vorindustrieller Zeit zu begrenzen, müssen die vom Menschen verursachten Treibhausgas-Emissionen global massiv reduziert werden, um minus 50 bis minus 85 Prozent gegenüber dem Jahr 2000.

Dieses Ziel ist eine große Herausforderung, doch nicht unerreichbar, wenn alle Länder an einem Strang ziehen und die notwendigen Weichen stellen. Wohl die wichtigste Weichenstellung betrifft die Energieversorgung, die noch immer zu großen Teilen auf fossilen Energieträgern – insbesondere Kohle – basiert.

Eine Energiewende weg von fossilen Energieträgern und Verschwendung von Energie hin zu Erneuerbaren Energien und Energieeffizienz schont nicht nur knapper werdende Ressourcen, sondern auch Umwelt und Klima. Bleibt die Frage, was zu tun ist mit den Kohlekraftwerken, die weltweit in Betrieb sind, oder die derzeit – trotz des Wissens um den Klimawandel – neu gebaut werden. Lässt sich das in China irgendwie noch nachvollziehen, fällt dies in Ländern wie Deutschland schwer.

Hoffnung auf Lösung des Problems kommt durch die neue Technologie CCS (CO₂-Abscheidung und -Lagerung, engl. Carbon Dioxide Capture and Storage), die das in Kraftwerken anfallende CO₂ zukünftig abscheiden und in tiefen geologischen Formationen dauerhaft und sicher lagern soll. (Alle Überlegungen, CO₂ in den Ozeanen zu lagern erscheinen als zu riskant, um sie auch nur ernsthaft in Erwägung zu ziehen.) Forschung und Entwicklung der CCS-Technologie laufen bereits, auch in Deutschland.

In Deutschland hat CCS spätestens mit dem Start erster Pilotprojekte in Ketzin bei Potsdam (Forschungsprojekt Speicherung von CO₂) und Schwarze Pumpe in der Lausitz (CO₂-Abscheidung mit späterer Einlagerung in der Altmark) die öffentliche Debatte erreicht. Die Bundesregierung setzt sich für die Entwicklung der Technologie ein, sieht CCS als einen Beitrag zum Klimaschutz. Allerdings ruft die Vorstellung, Millionen von Tonnen an Kohlendioxid im geologischen Untergrund zu lagern, nicht bei allen Begeisterungstürmen hervor. Vielen Beobachtern erscheint CCS als eine Strategie der Energieversorger, die Technologie als Ausrede für den Bau neuer Kohlekraftwerke zu missbrauchen. Dieses Misstrauen basiert auf starken Argumenten, befinden sich aktuell doch 29 Kohlekraftwerke in Planung oder Bau – ohne CCS.

An einem geeigneten Rechtsrahmen für CCS wurde auf EU-Ebene intensiv gearbeitet, die CCS-Richtlinie wurde am 17. Dezember 2008 verabschiedet. Es geht dabei um Leitlinien für die Auswahl von Speichern, über den Betrieb bis hin zu ihrer Schließung, um Überwachung, Nachsorge und Haftungsfragen. Eine hundertprozentige Sicherheit wird es dennoch auch dann nicht geben können.

Ein Schlüsselproblem der CCS-Technologie ist, dass sie noch nicht für den großtechnischen Einsatz zur Verfügung steht. Ihr möglicher kommerzieller Einsatz wird von den meisten Beobachtern zwischen 2020 und 2030 erwartet – nur bei massiven Anstrengungen könnte er wenige Jahre früher zu erwarten sein.

Ein Kraftwerk mit CO₂-Abscheidung ist teurer als eines ohne. Für Kohlekraftwerke mit CO₂-Abscheidung lässt sich annähernd eine Verdopplung der Stromerzeugungskosten erwarten. Der Wirkungsgrad des Kraftwerks sinkt, der Brennstoffeinsatz erhöht sich und mit ihm bergbauliche Aktivitäten. Nur wenn im Rahmen des Emissionshandels konventionelle Kraftwerke ohne CCS teurer werden als ein nachgerüstetes CCS-Kraftwerk, ent-

steht ein *wirtschaftliches* Interesse der Kraftwerksbetreiber, gegebenenfalls auch bestehende Kraftwerke nachzurüsten. Solch ein Schritt lohnt sich nach McKinsey jedoch nur für Kraftwerke, die nicht älter als zwölf Jahre alt sind. Sollte sich CCS als eine tragfähige Option erweisen, scheint es aus Klimaschutz-Gründen notwendig, CCS für solche Kohlekraftwerke verbindlich vorzuschreiben (bzw. die Standards so zu setzen, dass Kraftwerke ohne CCS ihre Betriebsgenehmigung verlieren).

Entwicklungsaufwand und Kosten sind beträchtlich. Im Vergleich zum Treibhausgasausstoß anderer Energieträger drängt sich die Frage auf, ob dieser Einsatz berechtigt ist. Vor dem Hintergrund des Neubaubooms von Kohlekraftwerken etwa in Schwellenländern wie China muss diese Frage wohl mit Ja beantwortet werden. Denn welche anderen Möglichkeiten gäbe es für die Erreichung der notwendigen Klimaschutzziele, mit diesen Kraftwerken umzugehen, will man sie nicht alle abschalten? Letzteres erscheint als ein unrealistisches Szenario. Andere Optionen, etwa CO₂ abzuscheiden und statt es tief zu lagern einer Nutzung zuzuführen oder CO₂ direkt zu mineralisieren, sollten zusätzlich weiter verfolgt werden, auch wenn sie noch weit von einer Anwendung entfernt sind.

Für Europa sollte eine CCS-Strategie als Übergangstechnologie auf dem Weg zu einer Strategie getestet werden, die das Ziel hat, bis Mitte des Jahrhunderts innerhalb der EU die Stromerzeugung zu 100% mit Erneuerbaren Energien zu decken. In Europa hat CCS somit die Rolle einer Übergangstechnologie auf dem Weg dieses Gesamtszenarios. Es ist daher von größter Wichtigkeit, dass die Weichen entschieden in Richtung Energieeffizienz, dezentrale und großflächige Erneuerbare Energien und die dafür notwendige Infrastruktur ("SuperSmart Grid") gestellt werden.

Es sollten keine neuen Kohle- bzw. Braunkohlekraftwerke mehr ans Netz gehen, ohne dass diese mit CCS ausgerüstet sind. Bereits gebaute oder im Bau befindliche neuere Kohlekraftwerke sollten, sobald CCS großtechnisch zur Verfügung steht, nachgerüstet werden. Kraftwerke, die absehbar nicht nachgerüstet werden, sollten zeitnah still gelegt werden. Um sicherzustellen, dass CCS nicht zum Legitimationsbeschaffer für konventionelle, nicht mit dieser Technologie ausgerüstete Kohlekraftwerke verkommt, sollte ein Moratorium für den Neubau von Kohlekraftwerken ohne CCS auf die eine oder andere Art durchgesetzt werden.

Der gesetzliche Rahmen für CCS sollte in Deutschland noch in dieser Legislaturperiode geschaffen werden. Um die Unsicherheit bezüglich der Machbarkeit zu lösen, sollten die 12 Demonstrationsprojekte der EU zügig und mit der notwendigen wissenschaftlichen Begleitung umgesetzt werden. Demonstrationsprojekte sind notwendig, um Erfahrungen mit der CCS-Technologie zu sammeln und entscheiden zu können, ob CCS in großem Maßstab sicher durchführbar ist. Für eine unabhängige Sicherheitsforschung und die Infrastruktur sind auch öffentliche Mittel erforderlich und bereit zu stellen. Für die Entwicklung einer Infrastruktur sollte eine „Source-Sink-Karte“ erstellt werden, die detailliert aufführt, wo die betriebenen Kohlekraftwerke und potentielle CO₂-Speicher liegen.

2 Einleitung

Jüngste Daten über den globalen CO₂-Haushalt zeigen, dass der Anstieg sowohl der CO₂-Emissionen als auch des CO₂-Anteils in der Atmosphäre in einer bislang ungekannten Geschwindigkeit verläuft. Zwischen dem Jahr 2000 und 2007 betrug die jährliche Wachstumsrate der Emissionen 3,5 Prozent¹ und lag damit höher als das pessimistischste Emissions-Szenario des Zwischenstaatlichen Gremiums für Klimafragen (IPCC) der Vereinten Nationen. Wird dieser Trend nicht gestoppt, führt dies zu einer weiteren globalen Erwärmung um vier bis sechs Grad Celsius bis zum Ende dieses Jahrhunderts. Die Konsequenzen wären katastrophal – Verlust von Eismassen, deutlicher Meeresspiegelanstieg, Überschwemmung küstennaher Regionen, Wassermangel für mehr als 1,3 bis 3,2 Milliarden Menschen, erhebliches Artensterben weltweit, Verlust von Teilen des Amazonas-Regenwalds sind nur einige der Auswirkungen, die das IPCC in seinem Vierten Sachstandsbericht zum Klima als möglich erachtet.²

Das Ziel, gefährlichen Klimawandel zu verhindern, muss Einzug finden in alle politischen Entscheidungen, in unser tägliches Handeln. Die Europäische Union und mit ihr Deutschland verfolgen als Leitlinie eine Begrenzung der globalen Erwärmung auf maximal zwei Grad Celsius gegenüber vorindustrieller Zeit. Zur Erreichung dieses Zieles muss der Ausstoß von Treibhausgasen, insbesondere Kohlendioxid (CO₂) – freigesetzt primär durch das Verbrennen fossiler Energieträger wie Kohle – in den kommenden zehn Jahren seinen Höhe- und Umkehrpunkt erreichen und bis zur Mitte des Jahrhunderts global mehr als halbiert werden (-50 bis -85%).³ Für Industrieländer, die historisch betrachtet größten Verursacher des Klimawandels, bedeutet dies praktisch den völligen Ausstieg aus den fossilen Energien (zumindest für den Strom- und Wärmesektor) sowie eine zusätzliche Unterstützung der Entwicklungsländer bei deren Entkarbonisierungsstrategie.

Investitionen in den Klimaschutz sind volkswirtschaftlich rentabel, da die Kosten für einen effektiven Klimaschutz erheblich geringer sind als die Kosten des Nicht-Handelns. Dabei gilt jedoch: Je später mit dem Klimaschutz begonnen wird, desto teurer wird er.

Die Europäische Union (EU) hat beschlossen, ihre Emissionen bis 2020 um 20 Prozent gegenüber dem Basisjahr 1990 zu reduzieren. (Allerdings kann sie zwischen 2008 und 2020 mehr als die Hälfte dieses Ziels über Klimaschutzprojekte in anderen Staaten erreichen.⁴) Außerdem hat sie angekündigt, ihre Emissionen um 30 Prozent zu senken, falls man sich auf der Internationalen Klimakonferenz der Vereinten Nationen in Kopenhagen Ende 2009 auf ein ambitioniertes, neues globales Abkommen zum Klimawandel einigt. Die Bundesregierung hat sich bereits auf eine Minderung der Treibhausgase in Deutschland um 40 Prozent bis 2020 festgelegt. Ein mit dem 2°C-Limit vereinbar Pfad erfordert jedoch noch weitere Schritte.

Die beiden eng miteinander verknüpften Fragen der Klima- und Energiesicherheit drängen sich politisch immer stärker als zentrale Herausforderungen in den Vordergrund – allen voran für die EU, USA und China. Dass die immer offensichtlicher notwendig werdende Dekarbonisierung eine große Herausforderung für diese Länder darstellt, deren Wirtschaften und Wohlstand auf der Basis fossiler Rohstoffe aufgebaut wurden oder werden, liegt auf der Hand. Eine Energiewende hin zu Erneuerbaren Energien und Energieeffizienz hilft, sowohl die Herausforderungen der Klima- als auch die der Energiesicherheit

¹ Global Carbon Project (2008)

² IPCC (2007a)

³ IPCC (2007b)

⁴ <http://www.euractiv.com/de/klimawandel/eu-betrugt-welt-sachen-klimawandel/article-181245>

zu verringern. Kohle hingegen scheint auf den ersten Blick eine Lösung für Energiesicherheitsfragen, ist jedoch das größte Problem für die Klimasicherheit. Jede Strategie, die eines der beiden Ziele auf Kosten des anderen erreichen möchte, ist nicht zukunftsfähig. Wenn CCS hält, was sich viele von dieser Technologie versprechen, kann sie für eine Übergangszeit eine Teilantwort für diese Frage sein.

CCS soll das in Kraftwerken anfallende CO₂ zukünftig abscheiden und in tiefen geologischen Formationen dauerhaft und sicher lagern. Der Druck auf die Entwicklung und Anwendung der CCS-Technologie ist hoch, die Erwartungen riesig. Ob sich diese erfüllen lassen, lässt sich jetzt noch nicht mit Gewissheit sagen. In der Öffentlichkeit, in Politik und Umweltorganisationen gehen die Meinungen zu CCS weit auseinander. Für die Einen ist CCS ein notwendiges Übel zur Erreichung der Klimaschutzziele, für die Anderen ein Legitimationsbeschaffer für den Bau neuer Kohlekraftwerke. Unabhängig davon wird der potentielle Einsatz von CCS im Kraftwerksbereich von Meinungsträgern zunehmend als eine Klimaschutzoption wahrgenommen und die Entwicklung von CCS national und international vorangetrieben.

Das vorliegende Hintergrundpapier gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der CCS-Debatte in Deutschland, beleuchtet Positionen politisch relevanter Akteure und politische Prozesse (Kapitel 3). Im Kapitel 4 wird die Technologie genauer erläutert und die Planungen in Deutschland zusammengefasst. Kapitel 5 leitet aus den vorher dargelegten Ergebnissen politische Empfehlungen ab.

3 Übersicht über den Stand der Debatte

CCS hat spätestens mit dem Start erster Pilotprojekte in Ketzin bei Potsdam (Forschungsprojekt Speicherung von CO₂) und Schwarze Pumpe in Spremberg (Abscheidung mit späterer Einlagerung in der Altmark) und der Verabschiedung einer Europäischen Richtlinie zu CCS die öffentliche Debatte erreicht.

Um die Zweifel an der Machbarkeit zu prüfen, will die EU 12 Demonstrationsprojekte auf den Weg bringen.

Damit die Debatte über CCS nicht zur Legitimationsbeschaffung für Kohlekraftwerke ohne CCS verkommt, fordern zahlreiche Umwelt- und Entwicklungsverbände ein Moratorium für den Neubau von konventionellen Kohlekraftwerken ohne CCS. Für die Umsetzung bieten sich Standards an, die die Inbetriebnahme eines Kohlekraftwerks ohne CCS verunmöglichen würden. Der Berichterstatter im Europäischen Parlament zu CCS, Chris Davies, hatte solche 'emission performance standards' bereits in die Diskussion gebracht.

Um deutlich zu machen, dass CCS nur eine Übergangstechnologie ist, wird sie von immer mehr Akteuren in die Debatte einer bis Mitte des Jahrhunderts 100-prozentigen Erneuerbaren Energien-Strom-Versorgung der EU ("SuperSmartGrid") eingebettet.

Technische Kontroversen ergeben sich unter anderem aus der zeitlichen Verfügbarkeit der Technologie, die im Widerspruch zum Kraftwerkserneuerungsprogramm Deutschlands steht. Zwar versuchen Energieversorger beunruhigte Klimaschützer mit dem Hinweis, dass die Kraftwerke mit CCS nachgerüstet würden, sobald die Technologie wirtschaftlich zur Verfügung steht, zu beschwichtigen. Doch ist bislang noch nicht klar, ob dies tatsächlich geschieht und wenn, wann dies sein wird. Eine Lösung für diese Unsicherheit könnten zeitlich befristete Betriebsgenehmigungen bieten, doch hat sich die Politik bislang nicht zu solch einer Regelung durchgerungen.

Ein Teil der Beobachter hat grundsätzliche Zweifel an der Machbarkeit. Fragwürdig erscheinen etwa der Wirkungsgradverlust der Kraftwerke, der hohe Energieverbrauch, hohe Kosten und die Speichersicherheit.⁵ Denn so wie der deutsche Kraftwerkspark derzeit gestaltet ist – die Hälfte des deutschen Stroms wird aus Kohle gewonnen – müssten große Mengen Kohlendioxid in den Untergrund verbracht und langfristig sicher gelagert werden. Für wieder Andere ist CCS gar der Schlüssel für eine dauerhafte Nutzung des Energieträgers Kohle, nicht nur im Bereich der Stromversorgung, sondern auch als Wegbereiter für den Einstieg in die Kohleverflüssigung und Wasserstoffwirtschaft. Hieraus ergeben sich schwer überwindbare Positionen, die eine ergebnisoffene Debatte über CCS erschweren.

Hinzu kommen Glaubwürdigkeitsprobleme der Energieversorger. Akzeptanz kann leicht in Ablehnung kippen, wenn Risiken für Sicherheit und Umwelt nicht ernst genommen oder Informationen verschwiegen werden. Der Aufbau von Vertrauen in eine neue Technologie wie CCS steht auf wackeligen Füßen. Dieses Vertrauen ist aber notwendig, damit die Speicherung von CO₂ überhaupt in größerem Maßstab getestet und, so sich herausstellt, dass CCS machbar ist, angewandt werden kann.

Für die Entwicklung von CCS sind Richtlinien und Regelwerke notwendig. Gesetzesgrundlagen zur sicheren Abscheidung und Speicherung von CO₂ im geologischen Untergrund werden derzeit auf europäischer wie auf deutscher Ebene geschaffen. Erste Forschungs- und Pilotprojekte wurden in Brandenburg (Ketzin und Spremberg) gestartet.

In der Öffentlichkeit wird die Technologie zum Teil kontrovers diskutiert. Im Folgenden werden die Positionen relevanter Akteure, insbesondere aus Politik und Wissenschaft genauer betrachtet.

3.1 Positionen relevanter Akteure

3.1.1 Politische Parteien

Die Haltung der politischen Parteien gegenüber CCS ist nicht einheitlich. Sie reichen, vereinfacht gesagt, von Befürwortung (CDU, SPD), über Zweifel (Die Grünen) bis zur Ablehnung (Die Linke).

Im CDU-Positionspapier zum Klimawandel 2007⁶ wird festgestellt: „Gelingt es diese Technik in die Praxis umzusetzen, eröffnen sich durch diese kohlendioxidarmen Kohle- und Gaskraftwerke neue Optionen Umwelt schonender Energieerzeugung aus fossilen Brennstoffen. Sobald diese Technik zur Verfügung steht, sollten sowohl bestehende Kohlekraftwerke als auch Neubauten mit ihr ausgestattet werden.“

In eine ähnliche Richtung weist die Position der SPD. Im Beschluss des SPD-Präsidiums vom 04.06.2007 ist folgendes festgehalten: „Deutschland muss außerdem seine Spitzenstellung bei modernsten Kohletechnologien ausbauen. Deshalb unterstützen wir „Clean-Coal-Technologien“ mit dem Ziel, dass in Deutschland erste industrielle CO₂-freie Kohlekraftwerke bis 2015 entstehen. Die Kraftwerksbetreiber befinden sich dort in einer Bringschuld.“⁷ Präzisiert wird diese Forderung in einem Leitantrag⁸, der am 20. August 2007 beschlossen wurde. „Da die Stromversorgung auf der Basis von Stein- und Braunkohle weiterhin eine wichtige Säule in der Stromerzeugung sein wird, ist es unter technologischen und Klimaschutzaspekten angezeigt, die CCS-Technologie im industriellen Maßstab zu entwickeln. Die Energiewirtschaft muss deshalb 2015 ein erstes CO₂-freies

⁵ Greenpeace International (2008)

⁶ CDU (2007)

⁷ SPD (2007a)

⁸ SPD (2007b)

Kraftwerk in Betrieb nehmen und ab dem Jahr 2020 diese Technik zum Standard machen. Dabei müssen die Sicherheitsfragen bei Transport und Lagerung geklärt sein. Für eine unabhängige Sicherheitsforschung sind öffentliche Mittel erforderlich und bereit zu stellen.“

Es gibt jedoch auch kritische Stimmen innerhalb der SPD, wie etwa Olaf Schulze, energiepolitischer Sprecher der SPD-Landtagsfraktion Schleswig-Holstein. „CO₂ abzuspalten und im Untergrund zu speichern ist eine Sackgasse und wird den Klimaschutzziele nicht gerecht. Klimapolitisch können wir uns den Neubau von Kohlekraftwerken nicht mehr leisten. Die Technik kommt daher zu einem Zeitpunkt, an dem wir sie nicht mehr brauchen.“⁹

Bereits 2006 hat sich die FDP für die CCS-Technologie ausgesprochen, vorausgesetzt, eine dauerhafte Lagerung des CO₂ kann sichergestellt werden. Im FDP-Beschluss des Bundesparteitages vom 13. Mai 2006¹⁰ heißt es: „Die Energieversorgung der Zukunft muss deshalb – unter Wahrung eines breiten, technologieoffenen Energiemixes – stärker als bisher auf erneuerbare Energien und auf CO₂-reduzierte Energieproduktion aus Kohle (mittels Abscheidung und Lagerung von CO₂) setzen, sofern die dauerhafte Lagerung des CO₂ sichergestellt werden kann.“

Vorsichtiger und kritischer sind die Grünen. Sie weisen vor allem auf die Problematik des Neubaus von Kohlekraftwerken hin, die kein CO₂ abscheiden und speichern. „Technologien und Verfahren zur CO₂-Abscheidung und -Lagerung (CCS) müssen erst noch entwickelt werden und stehen vor 2020 nicht zur Verfügung. Vorher dürfen keine vollendeten Tatsachen durch eine Vielzahl konventionell errichteter neuer Kohlekraftwerke geschaffen werden.“¹¹

Die Linke zweifelt die Anwendung der Technologie an. „Es ist äußerst zweifelhaft, ob das Verfahren jemals zur Anwendung kommt. Die Technologie wird großtechnisch nicht vor 2020 zur Verfügung stehen. Ein Nachrüsten bei den geplanten und bis dahin gebauten Kohleblöcken auf CO₂-Abscheidung ist technisch kaum machbar und unwirtschaftlich. Zweck des Vorhabens ist es, den Bau neuer herkömmlicher Kohlekraftwerke zu rechtfertigen und die CO₂-Problematik unter den Teppich zu kehren.“¹²

Die Positionierung zur CO₂-Speicherung lässt sich auch aus der Kommentierung des am 9. September 2008 von Vattenfall gestarteten Pilotprojekts zur CO₂-Abscheidung in Schwarze Pumpe ablesen:

CDU – Katherina Reiche, MdB: „Mit der hier erprobten Technik wird es möglich, die weltweit zunehmende Nutzung von Stein- und Braunkohle klimaverträglich zu gestalten. Besonders wichtig ist dies für uns in Deutschland, da wir mit der Braunkohle in der Lausitz, in der Region um Leipzig sowie im rheinischen Braunkohlerevier über einen sicheren, kostengünstigen und im großen Umfang vorhandenen fossilen Energieträger verfügen, den wir mit der neuen CCS-Technik weiter nutzen können.“¹³

SPD – Kurt Beck, ehemaliger Partei-Vorsitzender: „Man sieht deutlich, dass es weit mehr als nur ein theoretischer Ansatz ist.“ [...] „Es ist einer der Lösungsansätze in der Klimaproblematik.“¹⁴

⁹ Schulze (2008)

¹⁰ FDP (2006)

¹¹ Bündnis 90 / Die Grünen (2007)

¹² Die Linke (2006)

¹³ http://www.cdu.de/archiv/2370_24240.htm (abgerufen 10.09.2008)

¹⁴ <http://www.lr-online.de/nachrichten/LR-Themen-Schwarze-Pumpe-Beck-Pilotanlage;art1065,2142040> (abgerufen 10.09.2008)

FDP – Michael Kauch, Sprecher: „Mit CO₂-Abscheidung können wir mehrere Jahrzehnte Kohle klimafreundlich nutzen und so Versorgungssicherheit voranbringen. CCS ist global eine zentrale Klimaschutz-Technologie, gerade auch mit Blick auf Chinas Kohlereserven.“¹⁵

Die Grünen – Axel Vogel, Landesvorsitzender: „Die CO₂-Abscheidung ist eine Technologie mit vielen Fragezeichen, ihre großindustrielle Tauglichkeit steht ebenso in den Sternen wie ihre Wirtschaftlichkeit.“¹⁶

Die Linke – Eva Bulling-Schröter, MdB: „Die Abscheidung und unterirdische Verpressung von Kohlendioxid ist ein gefährlicher Irrweg.“¹⁷

3.1.2 Forschungseinrichtungen

Das Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) setzt sich für die Erforschung und Entwicklung der CCS-Technologie ein. In einem im Juli 2008 vorgelegten Positionspapier zu CCS spricht sich das PIK für den von der Europäischen Kommission vorgeschlagenen Bau von bis zu zwölf großen Demonstrationsprojekten bis 2015 aus. Hintergrund dieser Forderung ist die Notwendigkeit, ein Portfolio an Optionen zu entwickeln, die im Notfall den Ausfall einer einzelnen Technologie ausgleichen können.¹⁸

Die Forscher vom Geomar in Kiel sehen in der Entwicklung und Nutzung der Technologie eine Chance zur Rettung der Meere. Der CO₂-Ausstoß führt zu einer verstärkten Aufnahme von CO₂ im Meerwasser und damit zu einer Versauerung der Meere mit fatalen ökologischen Folgen. Die Abscheidung und Speicherung von CO₂ aus Kohlekraftwerken könnte einen wichtigen Beitrag zur Reduktion der Treibhausgase leisten.¹⁹

Professor Hüttl, wissenschaftlicher Vorstand des Deutschen GeoForschungsZentrums (GFZ), das in Ketzin die Speicherung von CO₂ im Untergrund und die Wechselwirkungen mit der Geo- und Biosphäre untersucht, sieht in CCS eine Option zum Zeitgewinn bei der Entwicklung und Einführung CO₂-armer Energietechnologien.²⁰

Das Wuppertal-Institut schließt CCS als mögliche Klimaschutzoption nicht aus. Forschung und Entwicklung der Technologie sollten vorangetrieben werden, um Kenntnisse über zum Beispiel Wirtschaftlichkeit, Reduktionspotential und Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten.²¹

Vertreter des Öko-Institutes sprechen sich für eine Prüfung und Entwicklung von CCS als Übergangs-Technologie aus. Vermutlich werde die Welt nicht um CCS herum kommen, wenn Klimaschutzziele ohne Atom erreicht werden sollen.²²

¹⁵ http://www.berlinerumschau.com/index.php?set_language=de&ccpage=10092008ArtikelBBSankol (abgerufen 10.09.2008)

¹⁶ <http://www.nealine.de/news/Wirtschaft/Energie/gruene-erwartungen-an-pilotanlage-zur-co2-abscheidung-uebertrieben-1937777593.html> (abgerufen 10.09.2008)

¹⁷ <http://www.linksfraktion.de/pressemitteilung.php?artikel=1234532334> (abgerufen 10.09.2008)

¹⁸ Held & Edenhofer (2008)

¹⁹ Interview K. Wallmann (Geomar): <http://www.radio/df/sendungen/umwelt/802568> vom 17.06.2008 (abgerufen 21.09.2008)

²⁰ GFZ Pressemitteilung vom 30.06.2008. [http://www.gfz-potsdam.de/portal/?jsessionid=8E69EEF6A4540B04608B29A03F48E5AB?\\$part=CmsPart&\\$event=display&docId=2431056&cP=GFZextern.content.detail.News](http://www.gfz-potsdam.de/portal/?jsessionid=8E69EEF6A4540B04608B29A03F48E5AB?$part=CmsPart&$event=display&docId=2431056&cP=GFZextern.content.detail.News) (abgerufen 21.09.2008)

²¹ Siehe: Zentrale Schlussfolgerungen RECCS-Projekt:

http://www.wupperinst.org/upload/zx_wibeitrag/schlussfolgerungen-RECCS.pdf

²² Interview F.Matthes (Öko-Institut): <http://www.germanwatch.org/zeitung/2008-2-int.htm> vom 03.06.2008

3.1.3 Bundesregierung

Die Bundesregierung nennt CCS in ihrem integrierten Energie- und Klimaschutzprogramm als wichtige Handlungsoption zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele. Außerdem setzt sie sich für die Aufnahme von CCS in das Europäische Emissionshandelssystem und für die Einbeziehung in das Post-2012-Regime ein. Nach der Verabschiedung der CCS-Richtlinie der EU im Dezember 2008 ging sie zügig die Umsetzung in die nationale Gesetzgebung mit dem Ziel an, dies noch in dieser Wahlperiode abzuschließen. Ein entsprechender Gesetzentwurf wurde am 1.4.09 vom Bundeskabinett verabschiedet.²³

3.2 Politische Prozesse

3.2.1 EU-Richtlinien und Umsetzung in Deutschland

Eine wesentliche Voraussetzung für die weitere Entwicklung und Anwendung der CCS-Technologie ist ein geeigneter Rechtsrahmen. Auf europäischer Ebene wurde dieser Rechtsrahmen in zwei Bereichen geschaffen. Zum einen wird CCS in den Europäischen Emissionshandel eingebunden, zum anderen gibt es eine Richtlinie zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung.

Der Richtlinienentwurf zur Speicherung von CO₂ in geologischen Formationen²⁴ wie auch die am 17. 12.2008 verabschiedete Richtlinie²⁵ basieren auf einer Risikoanalyse für CO₂-Leckagen, und beinhalten Kriterien für die Auswahl von geeigneten Speicherstandorten, Kriterienkataloge für Monitoring und Berichterstattung mit dem Ziel, das Risiko von Leckagen zu verringern und Gegenmaßnahmen im Falle eines Schadens einleiten zu können. Auswahl und Genehmigung bleiben den einzelnen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union vorbehalten, sollen aber von der Europäischen Kommission bewertet werden, um eine konsistente Anwendung der Richtlinie zu garantieren und mögliche Wettbewerbsverzerrungen zu reduzieren. Zu erwähnen sind folgende für die Sicherheit eines Speichers relevanten Punkte:

- Zusammensetzung des zu speichernden Gasstroms (Reinheit von CO₂)

Gemäß Art.12 der EU-Richtlinie soll der zu speichernde Gasstrom überwiegend („overwhelmingly“) aus CO₂ bestehen. Wie hoch der überwiegende Anteil genau zu sein hat, vor allem aber, woraus die restlichen Anteile bestehen beziehungsweise nicht bestehen dürfen, wurde nicht festgelegt.

- Monitoring

Monitoring ist ein wesentlicher Bestandteil der CO₂-Speicherung und dient der Überwachung und Überprüfung der Speicher und deren Umgebung. Überwacht werden muss entsprechend Art. 13 zum Beispiel, ob sich das CO₂ im Untergrund wie erwartet verhält, wohin das CO₂ wandert, ob Leckagen auftreten und diese Gefahr laufen, die Umwelt oder Gesundheit zu schädigen. Während der Einspeicherphase ist der Betreiber der Speicherung für die Überwachung zuständig und muss einmal pro Jahr Bericht erstatten.

Nach Beendigung der Einspeicherung bleibt nach Artikel 18 der Richtlinie der Betreiber mindestens 20 Jahre in der Verantwortung, bis eine Übergabe an eine öffentliche Stelle erfolgt. Voraussetzung ist, dass alles darauf hindeutet, dass das eingelagerte CO₂ dauer-

²³ Bundesregierung (2009)

²⁴ Richtlinie in der Fassung vom 25. 06. 2008

²⁵ Directive of the European Parliament and of the Council on the geological storage of carbon dioxide. http://ec.europa.eu/environment/climat/ccs/eccp1_en.htm

haft vollständig zurückgehalten wird. Im deutschen CCS-Gesetzesentwurf, den das Bundeskabinett am 1.4.09 verabschiedet hat, wurde diese Zeit auf 30 Jahre festgelegt.

- Haftung

Die CCS-Richtlinie verweist auf bereits bestehende Richtlinien, die Haftung im Falle von Umweltschäden zum Inhalt haben. Die Haftung für Klimaschäden als Folge von CO₂-Leckagen wird über die Einbindung von CCS in den Europäischen Emissionshandel abgedeckt und in den so genannten Monitoring und Reporting Guidelines präzisiert. Die Erweiterung dieser Überwachungs- und Berichtspflichten für CCS-Projekte ist in Bearbeitung.²⁶

Darüber hinaus soll der Betreiber im Falle von größeren Störungen oder Leckagen verpflichtet sein, diese zu beheben. Kommt er dieser Pflicht nicht nach, übernimmt die Öffentlichkeit diese Aufgabe und lässt sich die Kosten der Maßnahme vom Betreiber erstatten.

- Umgang mit fossilen Großkraftwerken

Die CCS-Richtlinie hat als Ziel, dass alle Verbrennungskraftwerke, die nach Inkrafttreten dieser Richtlinie gebaut werden, genügend Platz für eine spätere Nachrüstung des Kraftwerkes mit Abscheidetechnologie aufweisen, und dass geeignete CO₂-Speicher und Transportwege für CO₂ geprüft wurden.

Die Internationale Energieagentur (IEA) nennt diese Vorbereitung „capture-ready“, und beschreibt damit ein Kraftwerk, das nachträglich mit CO₂-Abscheidung ausgerüstet werden kann, wenn die notwendigen gesetzlichen oder wirtschaftlichen Voraussetzungen geschaffen sind.²⁷ Wann dies der Fall sein wird, ist allerdings offen. Ein wesentlicher Faktor werden zukünftige Klimaschutzziele und der CO₂-Preis sein. McKinsey (2008) geht davon aus, dass die Wirtschaftlichkeit, also der Moment, ab dem die Zusatzkosten der CO₂-Vermeidung (CO₂-Abscheidung und Speicherung) den Zertifikatspreis einer Tonne emittierten Kohlendioxids unterschreiten, um 2030 erreicht sein könnte (vgl. Abbildung 6). Dies gilt allerdings nur für relativ neue Anlagen und nicht für ältere Kraftwerke, bei denen sich eine Nachrüstung aufgrund extrem hoher Kosten nicht rentiert (McKinsey spricht hier von Kraftwerken, die älter als zehn bis zwölf Jahre sind).

Viele Beobachter fürchten, dass die Debatte um „saubere Kohle“, „capture-ready“ oder gar des falschen Begriffs „CO₂-freie Kraftwerke“ zur Legitimierung des Baus neuer Kohlekraftwerke missbraucht wird. Allein in Deutschland befinden sich 29 Kohlekraftwerke in Planung und Bau, die voraussichtlich für mehrere Jahrzehnte zum Klimawandel beitragen werden, wird dem kein Riegel vorgeschoben. Die Kraftwerke werden gebaut, obwohl CCS noch nicht zur Verfügung steht, obwohl unklar ist, ob oder wann diese Kraftwerke jemals nachgerüstet werden, und obwohl sich der Europäische Emissionshandel ab 2013 in Richtung Versteigerung von Emissionszertifikaten verändern wird²⁸. Der bisherige klimapolitische Rahmen (vor allem Emissionshandel) war offensichtlich noch nicht Anreiz genug, auf konventionelle Kohle- und Braunkohlekraftwerke zu verzichten.

Der Bundesrat hat den Richtlinienvorschlag über die geologische Speicherung von Kohlendioxid und die Änderung der Richtlinie des Emissionshandels als einen notwendigen Beitrag zur langfristigen Absenkung der CO₂-Emissionen von Industrieanlagen gewertet. Damit würde eine notwendige Voraussetzung geschaffen, um erste Demonstrationsanla-

²⁶ Leckagen dieser Art wären der „worst case“, da die Überwachung darauf abzielt, mögliche Unregelmäßigkeiten bereits im Untergrund zu erkennen und zu beheben und so eine Leckage – also den Freisetzung von CO₂ in offenes Wasser und Atmosphäre – zu verhindern beziehungsweise zu minimieren.

²⁷ IEA Greenhouse Gas R&D Programme (2007)

²⁸ European Parliament (2008a)

gen von Kraftwerken mit CCS-Technologie errichten zu können.²⁹ Einig ist man sich, dass noch weitere Entwicklungsarbeiten notwendig sind, da die Technologie noch nicht ausgereift ist. CCS solle gefördert, diese Förderung jedoch im Wesentlichen auf eine Anschubfinanzierung im Rahmen von Demonstrationsanlagen beschränkt bleiben.

Am 7. Oktober 2008 hatte sich der Umweltausschuss im Europäischen Parlament für die vollständige Versteigerung der Emissionsrechte im Stromsektor nach 2013 ausgesprochen. Darüber hinaus sollen zusätzliche Emissionsrechte im Umfang von 500 Millionen Tonnen, die normalerweise für neue Teilnehmer am Europäischen Emissionshandel reserviert sind, als Anreiz bzw. Finanzierungsmaßnahme für große kommerzielle Demonstrationsprojekte für CO₂-Abscheidung und -Speicherung zur Verfügung gestellt werden. Bei einem angenommenen Preis von 20 Euro pro Tonne CO₂ entspräche dies einer Subvention im Wert von zehn Milliarden Euro.³⁰ In seiner letzten Abstimmung hat der Umweltausschuss den Bericht über einen Rechtsrahmen für CCS abgesegnet.

Die Europaabgeordneten unterstützten auch einen Änderungsvorschlag, der auf einer ähnlichen von Kaliforniens Gouverneur Arnold Schwarzenegger eingeführten Maßnahme beruht. Er verböte ab 2015 in den EU-Mitgliedsstaaten den Neubau von Kraftwerken, die mehr als 500g CO₂/kWh ausstoßen.³¹ Dies soll Energieunternehmen motivieren, verstärkt CCS-Technologien in Kohlekraftwerken einzuführen. Das Umwelt-Komitee des EU-Parlaments lehnte diesen Vorschlag allerdings im Januar 2009 ab.

Im Dezember 2008 konnten sich Ministerrat, Parlament und Kommission über das gesamte Paket der EU zu Klimawandel und Energie, CCS und Emissionshandel eingeschlossen, einigen. Am 17. Dezember 2008 verabschiedete die EU die CCS-Richtlinie. Laut Chris Davies, Europaparlamentarier und Berichterstatter des EU-Richtlinienvorschlags im Parlament, sind ihre wichtigsten Ziele die sichere Lagerung von CO₂ und das Generieren von Geld für bis zu 12 CCS-Demonstrationsanlagen bis 2015. Emissionserlaubnisse im Umfang von 300 Millionen Tonnen wurden für CCS-Demonstrationsprojekte und große Erneuerbare-Energien-Projekte beiseite gelegt. Die EU will noch weitere 1,5 Mrd Euro bisher nicht ausgegebenes Geld für CCS-Projekte zusätzlich mobilisieren. Als nächstes hätten die Demonstrationsanlagen, welche fair über die Mitgliedsstaaten verteilt werden müssten, Priorität. Eine Verwendung nationaler Mittel aus Auktionen von Emissionszertifikaten wird geprüft. Davies geht diesbezüglich noch einen Schritt weiter und schlägt vor, für jede abgeschiedene und gespeicherte Tonne Kohlendioxid die doppelte oder mehrfache Menge an Emissionszertifikaten zu vergeben, die der Betreiber auf dem Europäischen CO₂-Markt verkaufen könnte. Auf eine Begrenzung des CO₂-Ausstoßes aus Kraftwerken ab dem Jahr 2015 auf 500g pro Kilowattstunde konnte sich die EU, wie oben erwähnt, bislang nicht verständigen.

Auf nationaler Ebene wurde aufgrund der klimapolitischen Situation und wegen der dynamischen, technologischen Entwicklung bereits während des Gesetzgebungsverfahrens auf europäischer Ebene mit der Erarbeitung eines CCS-Gesetzes für Deutschland begonnen. Das Gesetz soll vor den Bundestagswahlen 2009 verabschiedet werden.

Dieses Vorgehen ist im Einklang mit den Ergebnissen von Meseberg. Zum Auftakt einer zweitägigen Klausurtagung hatte das Bundeskabinett dort im August 2007 ein Klima-

²⁹ Bundesrat (2008)

³⁰ Die McKinsey-Studie stützt diese Zahlen. Denn die zwölf CCS-Demonstrationsanlagen, die nach einem Beschluss der EU-Regierungen bis 2015 gebaut sein sollen, werden der Untersuchung zufolge Mehrkosten in Höhe von 500 Mio. Euro bis 1,1 Mrd. Euro je Anlage verursachen. Bis zum Jahr 2030 halten die Berater einen rentablen Betrieb von CCS-Anlagen für realistisch. Denn Kohlekraftwerke müssten der Studie zufolge dann genauso viel für eine Tonne CO₂ beim Emissionshandel bezahlen, wie sie das Vermeiden einer Tonne CO₂ mithilfe der CCS-Technologie kostet.

³¹ European Parliament (2008b)

schutz-Paket auf den Weg gebracht.³² Mit diesem Paket soll der Ausstoß von Kohlendioxid (CO₂) bis 2020 um annähernd 40 Prozent gegenüber 1990 verringert werden. Dabei soll auch die Entwicklung CO₂-armer Kraftwerkstechnologien mit dem Ziel vorangetrieben werden, die technische, umweltverträgliche und wirtschaftliche Machbarkeit der CCS-Technologien mittels Demonstrationsanlagen nachzuweisen. Zusätzlich sollen Speicherprojekte mit einer jährlichen Ablagerung von wenigen Hunderttausend Tonnen CO₂ schnellstmöglich realisiert werden. Damit die geplanten Anlagen eine stabile rechtliche Basis erhalten, muss der Rechtsrahmen für CCS nun zügig ausgestaltet werden.

3.2.2 Transatlantische Initiativen und Einsatz in Schwellenländern

Im Integrierten Klima- und Energiepaket der Bundesregierung ist eine engere transatlantische Zusammenarbeit und Abstimmung im Klima- und Technologiebereich, insbesondere in den Bereichen „Clean Coal“, Entwicklung Erneuerbarer Energien und Energieeffizienz vorgesehen. Für ein zukünftiges internationales Klimaschutzabkommen ist die Einbindung der USA als einem der größten Emittenten von Treibhausgasen von essentieller Bedeutung. Die Bundesregierung plant hier, im Verbund mit der EU, eine stärkere Zusammenarbeit mit den USA. Gemeinsam sollen Schwellenländer wie Indien und China an CCS-Technologien herangeführt werden, sollen Forschung und Entwicklung (F&E) gefördert werden.

Diese Strategie ist sinnvoll, da der größte Emissionsanstieg nicht mehr aus den Industrieländern, sondern aus Schwellenländern wie China und Indien zu verzeichnen ist. China hat die USA bereits überholt und steht nun an erster Stelle des Ausstoßes an Treibhausgasen. Indien wird demnächst Russland überholen und damit drittgrößter Emittent weltweit werden.³³ Zwar bleibt aus historischer Sicht gesehen die Tatsache bestehen, dass Entwicklungsländer mit 80 Prozent der Weltbevölkerung für nur 20 Prozent der kumulativen Emissionen seit 1751 verantwortlich sind. Dennoch ist wirksamer Klimaschutz nicht mehr ohne die großen Schwellenländer machbar. Um den globalen Temperaturanstieg unter dem Zwei-Grad-Limit zu halten, müssen die Emissionen der Industrieländer bis 2020 um 25 bis 40% sinken, die der Schwellenländer um 15-30% unter dem „business as usual“ Szenario liegen und zusätzlich das Entwaldungstempo weltweit halbiert werden. Diese notwendigen Reduktionen müssen durch eine Kombination aus eigenen Reduktionen („no regret and low cost“ Bereich), Finanzierungsmechanismen, neuartige Marktmechanismen sowie mess-, bericht- und verifizierbare technologische und finanzielle Unterstützung der Industrieländer erreicht werden.

Im Hinblick auf CCS ist eine Entwicklung nur dann sinnvoll, wenn diese mit einer Strategie gekoppelt wird, diese Technologie möglichst bald auch in kohlereichen Schwellenländern einzuführen – hier ist selbst bei massiver Weichenstellung für Energieeffizienz und Erneuerbare Energien das größte Wachstum des Kohleinsatzes zu erwarten. Die Bereitschaft Südafrikas zu einer solchen Strategie ist ein erstes deutliches Signal des Umdenkens. Auch China und Indien setzen sich mit CCS auseinander, doch stehen hier andere Interessen, insbesondere die Bereitstellung von genügend Stromkapazitäten für die wachsende Wirtschaft und der Aufbau einer Stromversorgung in den ländlichen Regionen, im Vordergrund. Als nachteilig werden die hohen Kosten von CCS und der Wirkungsgradverlust der Kraftwerke gesehen. CCS könnte dennoch auch Vorteile für China generieren und zwar dann, wenn CO₂ in sich leerenden Ölfeldern gespeichert und damit die Ölförderung erhöht wird. Indien steht vor ähnlichen Herausforderungen wie China. Allerdings kommt hier ein niedrigeres CO₂-Speicherpotenzial für den großmaßstäblichen

³² Bundesregierung (2007)

³³ Global Carbon Project (2008)

Einsatz von CCS erschwerend hinzu. Die meisten Öl- und Gasfelder sind klein und große CO₂-Punktquellen wie z.B. Kohlekraftwerke befinden sich nicht unbedingt dort, wo potentiell geeignete Speicherorte zur Verfügung stünden.³⁴ Solche Aspekte sollten bei der Planung neuer Kohlekraftwerke mitberücksichtigt werden, und das gilt nicht nur für Indien. Deutschland gehört zu den wenigen Ländern, die bei Technologieentwicklung und -transfer sowie Kapazitätsaufbau in Schwellenländern eine Vorreiterrolle übernehmen können.

3.2.3 UNFCCC-Verhandlungen

Die Abscheidung und Speicherung von CO₂ als Reduktionsoption wird auf den internationalen Klimakonferenzen seit dem Jahr 2005 im Rahmen einer möglichen Anrechnung als CDM-Projekt verhandelt. Die UN-Klimakonferenz in Posen im Dezember 2008 hat keine Entscheidung zu dieser Frage gebracht. Die Positionen der Länder in dieser Frage scheinen unüberbrückbar konträr zu sein. Länder wie Brasilien, aber auch China und Indien sehen keinen Nutzen in der Anrechnung von CCS als CDM-Projekt. Die Technologie sei nicht nachhaltig, wurde noch nicht in Demonstrationsanlagen getestet, bringe hohe Kosten, bürge Risiken und Verpflichtungen für die langfristige Überwachung von CO₂-Speichern durch das Entwicklungsland.³⁵ Dies heißt jedoch nicht, dass diese Länder nicht an dieser Technologie interessiert sind. Im Gegenteil: In Brasilien und China sind bereits CCS-Projekte in Planung bzw. Umsetzung.

OPEC-Länder auf der anderen Seite befürworten die Einbindung, da sich damit sogenannte EOR-Projekte (EOR = enhanced oil recovery³⁶) durchführen ließen. Diese Projekte werden im Allgemeinen als kostengünstige Speicheroptionen betrachtet, da sich die Kosten der Speicherung durch den Gewinn aus dem Verkauf von zusätzlichem Öl reduzieren lassen. Die Europäische Union hat bei den Zwischenverhandlungen in Bonn 2008 eine Pilotphase für CCS-Projekte angeregt, in der eine begrenzte Anzahl an Pilotprojekten im Rahmen des CDM durchgeführt werden könnte. Allerdings fand der Vorschlag wenig Unterstützung, er wurde von einigen Entwicklungsländern dahingehend interpretiert, dass sie als Testregionen bzw. "Versuchskaninchen" für eine umstrittene Technologie erhalten sollen.

Der CDM ist offensichtlich nicht der richtige Platz zur Förderung einer neuen, auf fossilen Energieträgern beruhenden Großtechnologie. Sinnvoller wäre es deshalb, der Förderung von CCS einen eigenständigen Platz im Rahmen der geplanten Technologie- und Finanzkooperation zu geben. Ein CCS-Technologieplan könnte speziell auf von Kohle abhängige Entwicklungs-/ Schwellenländer zugeschnitten werden. Projekte dieser Art würden auch im globalen Maßstab zu tatsächlichen CO₂-Reduktionen führen, da diese Projekte – im Gegensatz zu CDM-Projekten – nicht als Kompensation auf die Reduktionsziele der Industrieländer anrechenbar wären.

Dass CCS über die im UN-Prozess verhandelte Technologiekooperation laufen könnte, zeigen Initiativen, die sich momentan außerhalb der Vereinten Nationen entwickelt haben. In China entsteht derzeit ein erstes Kohlekraftwerk, bei dem das im Kraftwerksprozess entstehende CO₂ abgeschieden und gespeichert werden kann. Das mit einer Milliarde US-Dollar bezifferte Projekt „GreenGen“ unter Führung der China Huaneng Group soll insbesondere Elektrizität für chinesische Privathaushalte und Unternehmen erzeugen.

³⁴ IEA Greenhouse Gas R&D Programme (2008)

³⁵ Eine Zusammenfassung der unterschiedlichen Positionen und offenen Punkte finden sich im UNFCCC Document FCCC/SBSTA/2008/INF.1

³⁶ Beim EOR wird CO₂ in sich leerende Ölfelder gepumpt. Damit erhöht sich die Ölausbeute. Anwender hätten einen doppelten Nutzen im CDM – Geld für vermiedenes CO₂ und Geld aus dem Verkauf von Öl (das allerdings auch wieder zu CO₂-Emissionen führt)

Geplant ist ein kombiniertes Gas- und Dampfkraftwerk mit integrierter Kohlevergasung (englisch IGCC = Integrated Gasification Combined Cycle) am Standort Tianjin, südöstlich von Peking. Baubeginn war Anfang 2008, die Inbetriebnahme wird für 2009 erwartet. In mehreren Phasen soll zunächst eine 250 MW-Anlage errichtet werden, die später auf 650 MW erweitert wird. In weiteren Phasenabschnitten sind zusätzliche Erzeugungskapazitäten und eine CO₂-Abscheidung vorgesehen. Das abgeschiedene CO₂ soll insbesondere für das so genannte „Enhanced oil recovery“ (EOR)-Verfahren verwendet werden, durch das eine verbesserte Ausbeute bei der Ölförderung erzielt werden kann.³⁷

4 CCS-Technologien und ihre Bewertung in ökonomischer und ökologischer Hinsicht

4.1 CO₂-Abscheidung

Für die Abscheidung des CO₂ aus dem Abgas der Kohleverbrennung gibt es drei verschiedene technische Verfahren, die alle noch nicht in großen Kraftwerken eingesetzt werden. Beim sogenannten „**Post-Combustion**“-Verfahren handelt es sich um eine Rauchgaswäsche. Dafür wird das Rauchgas in einem Waschturm mit einer Waschflüssigkeit aus Wasser und Chemikalien (MEA) vermischt, wobei das CO₂ im Rauchgas chemisch an die Waschflüssigkeit gebunden wird. In einem zweiten Turm wird Wärme zugeführt, um das CO₂ wieder von der Waschlösung zu trennen. Das nahezu reine CO₂ wird verdichtet und über Pipelines zu unterirdischen Speicherstätten transportiert. Dieses Verfahren ließe sich prinzipiell in bestehende Kraftwerke integrieren. Prinzipiell deshalb, da eine Nachrüstung bestehender Kraftwerke extrem teuer ist und zu hohen Wirkungsgradverlusten führen wird. McKinsey geht davon aus, dass sich eine Nachrüstung nur für Kraftwerke lohnt, die nicht älter als zehn bis zwölf Jahre sind. Zum Teil fehlt aber gerade bei älteren Kraftwerken auch ganz einfach ausreichend Platz, da noch einmal ein vergleichbar großes Gelände wie das Kraftwerk selbst benötigt wird.

Methode Nummer zwei ist das so genannte **Oxyfuel-Verfahren**. Dabei findet die Verbrennung der Kohle mit technisch reinem Sauerstoff statt. Es entsteht ein Rauchgas mit hoher CO₂-Konzentration, das gereinigt, verdichtet und gespeichert werden kann. Diese Methode ist etwas komplizierter, wird aber seit Kurzem in einer Versuchsanlage bei Vattenfall am Kraftwerksstandort Schwarze Pumpe in der Nähe von Cottbus getestet.

Die dritte Methode basiert auf dem integrierten Kohlevergasungsprozess (so genanntes **IGCC**, „**Integrated Gasification Combined Cycle**“), bei dem vor der Verbrennung des erzeugten Synthesegases eine CO₂-Wäsche integriert ist. Aufgrund der hohen Komplexität – eine IGCC-Anlage ist mehr eine chemische Anlage denn ein Kraftwerk – ist der IGCC-Basisprozess ohne CO₂-Abtrennung bislang hauptsächlich im Raffineriesektor und nicht in der Stromerzeugung zu finden. Die Anlagen erreichen Größen von bis zu 500 MW.³⁸

Für alle Methoden gilt: Ein Kraftwerk mit CO₂-Abscheidung ist teurer als eines ohne (vgl. oberer Teil von Abbildung 1). Für Kohlekraftwerke mit CO₂-Abscheidung lässt sich annähernd eine Verdopplung der Stromgestehungskosten erwarten. Der Wirkungsgrad des Kraftwerks sinkt, der Brennstoffeinsatz erhöht sich, wie aus Tabelle 1 ersichtlich. Das hat zweierlei Konsequenzen. Bei gleicher Kraftwerksgröße sinkt die nutzbare Strommen-

³⁷ siehe auch: <http://www.greengen.com.cn/developmentplan.htm>

ge. Dies könnte insbesondere ein Problem bei der Nachrüstung bestehender Kraftwerke sein, da dann zusätzliche Kraftwerkskapazitäten zur Aufrechterhaltung der gesamten Stromproduktion notwendig sind.

Tabelle 1: Entwicklung von elektrischem Nettowirkungsgrad (EWG) und Investitionskosten (IK) ohne und mit CO₂-Abscheidung (in Klammern gesetzt die Veränderung gegenüber dem Kraftwerk ohne CCS) und Vergleich der sich daraus ergebenden Stromgestehungskosten (SGK). Die Kosten für Transport und Lagerung des CO₂ sind hier berücksichtigt. Datenquelle: Linssen et al., zusätzlich integriert IGCC EWG-Daten aus MIT (2007): The future of coal. Abkürzungen EWG = elektrischer Wirkungsgrad, IK = Investitionskosten, SGK = Stromgestehungskosten.

	EWG (%)	EWG (%)	IK (€/kW)	IK (€/kW)	SGK (€/kWh)
	Heute	2020	Heute	2020	
Braunkohlekraftwerk	43	47	1150	1050	3
- mit Abscheidung (Post-Combustion, MEA)		35,4 (-11,6)		1980 (+930)	5,6-6,2
- mit Abscheidung (Oxyfuel)		39 (-8,0)		1500 (+450)	5,4-5,8
Braunkohle IGCC		49		1250	3,6
- mit Abscheidung (Pre-Combustion, Seloxol)		40,3 (-8,7)		2150 (+900)	5,3-6,2
Steinkohlekraftwerk	46	49	850	1000	3,2
- mit Abscheidung (Post-Combustion, MEA)		37,4 (-11,6)		1750 (+750)	5,7-6,2
Steinkohle IGCC	38,4*	53		1200	3,9
- mit Abscheidung (Pre-Combustion, Seloxol)	31,2*	44,3 (-8,7)		1900 (+700)	5,4-6,2
Erdgas GuD	57	59	410	410	3,3
- mit Abscheidung (Post-Combustion, MEA)		50,3 (-8,7)		800 (+390)	4,8-5

Durch den erhöhten Brennstoffbedarf erhöhen sich auch die Emissionen, nicht nur am Kraftwerk (vgl. unterer Teil von Abbildung 1), sondern über die gesamte Prozesskette. Bei Steinkohlekraftwerken etwa spielen besonders die Methanemissionen bei der Kohleförderung eine Rolle. In der RECCS-Studie (2007)³⁹ wurden diese Vorketten bilanziert. Daraus ergibt sich im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken ohne CO₂-Abscheidung eine tatsächliche Reduktion der in der Studie betrachteten Treibhausgase (CO₂, CH₄, N₂O) von 67 bis 78 Prozent (vgl. Abbildung 2).

Ein Vergleich mit anderen Energieerzeugungsformen zeigt, dass die CO₂-Emissionen aus CCS-Kohlekraftwerken in einem ähnlichen Bereich liegen wie fortschrittliche fossile Kraft-Wärme-Kopplungs-(KWK-)Technologien. Die Abscheidung und Speicherung von CO₂ aus Kohlekraftwerken macht diese somit nicht zu „sauberen“ oder gar „CO₂-freien“ Kohlekraftwerken. Weiterhin werden, wenn auch in weitaus geringerer Menge, Treibhausgase emittiert (vgl. Abbildung 2 und Abbildung 3), werden große Mengen Kühlwasser benötigt, werden Landschaft und Umwelt durch den steigenden Rohstoffbedarf belastet oder gar zerstört. Für die Menschen in den Bergbauregionen können diese Konsequenzen sehr stark sein.

³⁸ Higman (2008)

³⁹ WI et al. (2007)

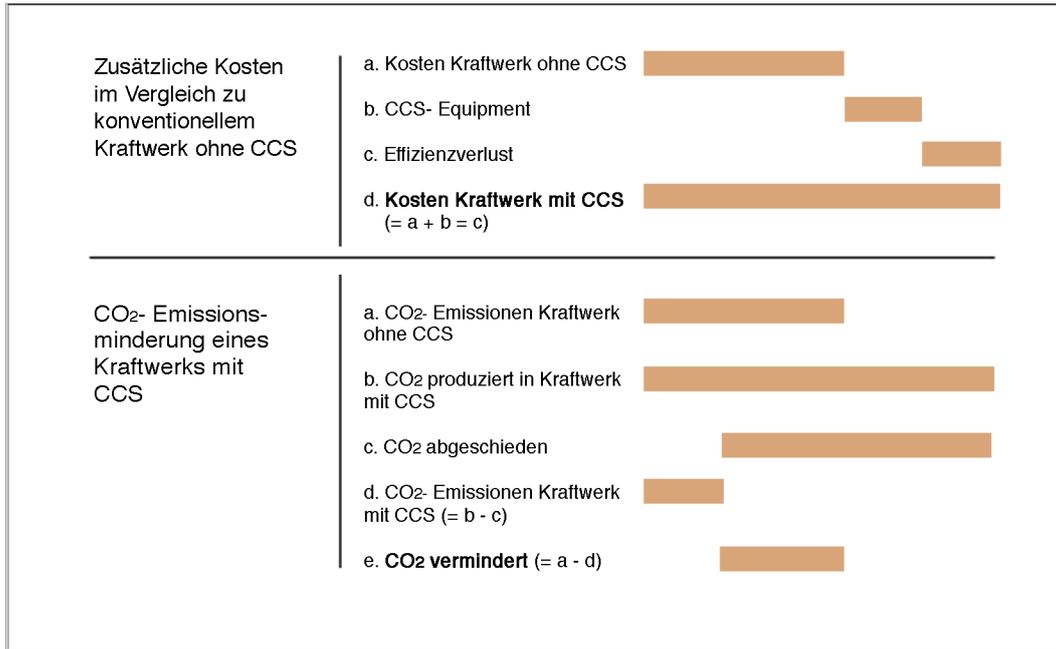


Abbildung 1: Aufteilung der zusätzlichen Kosten (oben) und der CO₂-Emissionsmenge einer CCS-Anlage (unten). Grafik überarbeitet nach McKinsey 2008

Neubauproblematik Kohlekraftwerke

Deutschland steht vor dem Dilemma, dass in den kommenden Jahren neue Kohlekraftwerke gebaut werden, die CCS-Technologie jedoch noch nicht einsatzbereit ist. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) – das wissenschaftliche Beratungsgremium der Bundesregierung – weist in seinem Umweltgutachten 2008 darauf hin, dass angesichts des frühen Entwicklungsstadiums der CCS-Technologie noch offene Fragen bestehen. Dies betrifft vor allem die zu erwartenden Kosten der Technologie, den Zeitpunkt der Marktreife sowie die mögliche Nachrüstung bestehender Kraftwerke. Zwar wird viel über den Bau von nachrüstbaren („capture ready“) Kraftwerken gesprochen, und der TÜV Nord scheint diese auch bereits zu bescheinigen⁴⁰, doch bleibt im Dunkeln, wann und ob diese Anlagen überhaupt nachgerüstet werden. Aus der Kohlekraftwerksliste der Deutschen Umwelthilfe geht hervor, dass für nur eines der 29 sich in Bau oder Planung befindlichen Kohlekraftwerke die Nachrüstung mit CCS überhaupt angeordnet worden ist.⁴¹

Für eine Nachrüstung bedarf es letztendlich ökonomischer Treiber, die den Einsatz von CCS wirtschaftlich machen. Aufgrund der hohen Kosten für die Nachrüstung bestehender Kraftwerke hält das MIT das Konzept von „capture ready“ generell für nicht tragfähig.⁴² Als Erfolg versprechender wird es daher gesehen, einen Effizienzstandard einzurichten. Dies wäre eine klare Vorgabe, die Energieversorgern als Leitlinie dienen kann. Sie verhindert jedoch nicht, dass bis dahin neue Kohlekraftwerke gebaut werden, die weiter mit

⁴⁰ Erfasst werden unter anderem Anforderungen insbesondere an die technologische und standortspezifische Realisierbarkeit der Nachrüstung einer CC-Anlage am Anlagenstandort, die Verfügbarkeit der benötigten Fläche, die Realisierbarkeit des CO₂-Abtransportes und der CO₂-Speicherung sowie die möglichen Auswirkungen auf Anlagensicherheit und Umwelt. Nach erfolgreicher Überprüfung wird ein Zertifikat für die Gültigkeitsdauer von 2,5 Jahren vergeben, das nach Ablauf der Gültigkeitsdauer durch eine Folgeprüfung um den gleichen Zeitraum verlängert werden kann. (siehe auch: <http://carbon-capture-ready.de/50152.asp>)

⁴¹ Die 29 Kraftwerke summieren sich auf 39.683 MW Leistung mit einem CO₂-Ausstoß von 235 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr. Bei dem Kraftwerk das nachgerüstet werden muss handelt es sich um das Vattenfall-Kraftwerk Moorburg in Hamburg. Für mehr Informationen siehe: DUH - Kohlekraftwerksprojekte in Deutschland (Stand 01.10.2008).

⁴² MIT (2007): The future of coal. Seite XIV: capture ready „unlikely to be economically attractive“, Seite 99: „... unlikely to be fruitful“.

zur Klimazerstörung beitragen. Verhindern ließe sich dies nur, wenn befristete Genehmigungen erteilt würden, wenn der Effizienzstandard ab sofort gälte, oder wenn ein Kohlemoratorium den Bau neuer Kohlekraftwerke verbietet, bis diese CO₂ abscheiden und auch sicher speichern können.

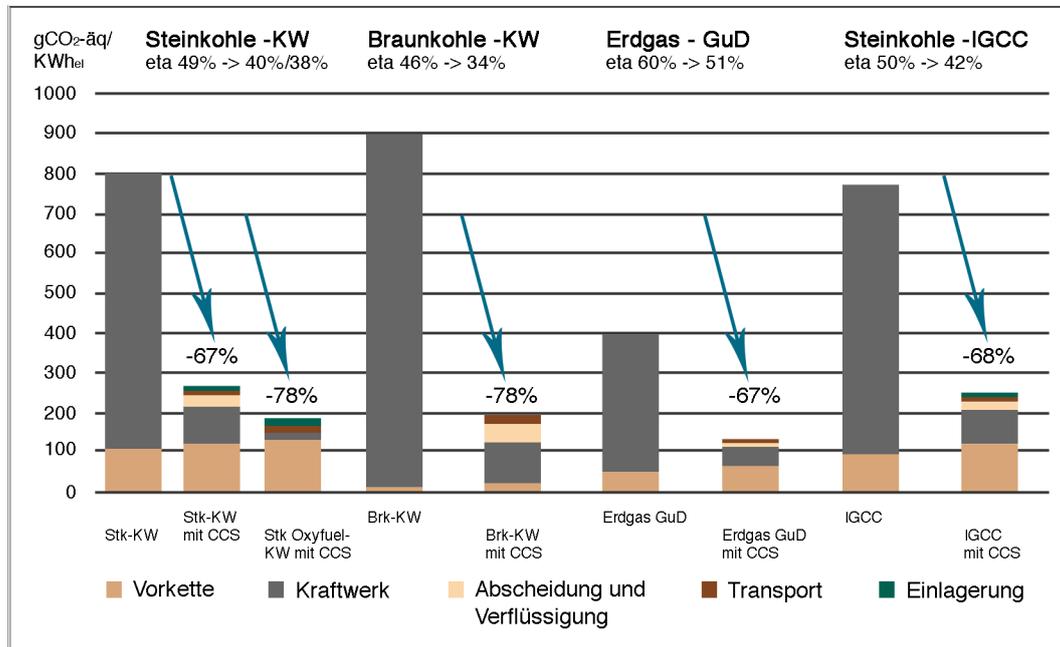


Abbildung 2: Vergleich der Treibhausgasemissionen fossiler Kraftwerke ohne und mit CCS. Überarbeitet nach RECCS, Seite 121. Abkürzungen: GuD = Gas- und Dampfkraftwerk, IGCC = Integrated Gasification Combined Cycle, Stk-KW = Steinkohle-Kraftwerk, Brk-KW= Braunkohle-Kraftwerk.

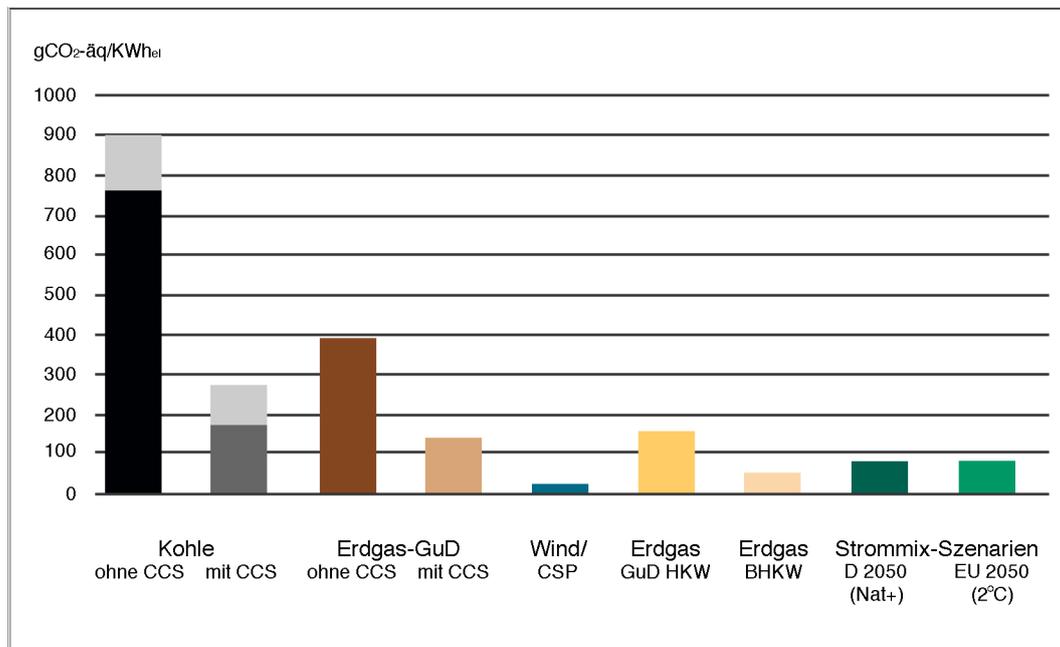


Abbildung 3: Vergleich der CO₂-Emissionen aus CCS-Kraftwerken mit ausgewählten Anlagen aus dem Bereich Erneuerbare Energien und fortschrittliche KWK-Anlagen. Überarbeitet nach RECCS, Seite 120. Abkürzungen: GuD = Gas- und Dampfkraftwerk, CSP = Concentrated Solar Power, HKW = Heizkraftwerk, BHKW = Blockheizkraftwerk.

4.2 CO₂-Transport und Möglichkeiten der Infrastrukturfinanzierung durch die öffentliche Hand

Nicht immer werden Kraftwerke direkt an Speicherorten liegen. Zumindest in Deutschland wird dies mehr die Regel denn die Ausnahme sein, schaut man sich die Lage bestehender großer Kraftwerke und möglicher Speicherformationen an. Der Großteil möglicher Lagerungskapazitäten befindet sich in Nord-Deutschland, während sich die großen Punktquellen um die Braunkohletagebaue in der Lausitz und in NRW scharen. Ein Transport von CO₂ per Tanklaster, wie er für das 30MW-Pilotprojekt von Vattenfall vorgesehen ist, ist kein belastbares Modell für den Transport riesiger Mengen CO₂, wie sie etwa in den großen Braunkohlekraftwerken von Vattenfall und RWE anfallen.

Der Aufbau eines neuen Leitungsnetzes, eines Pipeline-Systems für CO₂, scheint somit bei der Anwendung von CCS unausweichlich, jedoch mit hohen Kosten und Akzeptanzproblemen verbunden. Gerade in einem dicht besiedelten Land wie Deutschland rufen Planung und Genehmigung einer Pipeline häufig Proteste hervor.

Das nach Strom, Gas, Wasser und Abwasser fünfte deutsche Leitungsnetz müsste für alle größeren CO₂-Emittenten offen sein, nicht nur für Kohlekraftwerke. Es sollte finanziert werden durch die späteren Betreiber (Bau) und Nutzer (Nutzungsentgelt), sowie durch Mitfinanzierung durch die öffentliche Hand. Generieren ließen sich diese Gelder aus einer Umschichtung von Subventionen. Kohlesubventionen beispielsweise fließen in neun der 25 EU-Länder (siehe Tabelle 2). Das sind nicht nur Beihilfen für die laufende Produktion, sondern auch Renaturierungsmaßnahmen in Bergbauregionen. Allein in 2004 beliefen sich die Beihilfen an den Kohlesektor auf 5,6 Milliarden Euro.

Tabelle 2: Staatliche Beihilfen für den Kohlebergbau in der Europäischen Union im Zeitraum 2000-2004⁴³

	Jahresdurchschnitt der Beihilfen für die laufende Produktion (in Mio. EUR)		Jahresdurchschnitt der Beihilfen, die nicht für die laufende Produktion bestimmt waren (in Mio. EUR)	
	2000-2002	2002-2004	2000-2002	2002-2004
EU-25	4441	3980	3110	3210
Tschechien	-	-	1	6
Deutschland	3003	2498	1244	832
Spanien	755	597	827	552
Frankreich	367	202	686	748
Ungarn	-	-	16	24
Polen	213	676	319	1013
Slowenien	-	-	11	16
Slowakei	-	-	5	2
UK	103	8	0	17

In Norwegen ist man bereits einen Schritt weiter. Dort hat das norwegische Öl- und Energieministerium das staatliche Unternehmen GASSCO mit der Planung einer CO₂-Pipeline beauftragt. Geprüft wird die Errichtung einer Pipeline, die sowohl das ab 2014 in Betrieb gehende Gas-Heizkraftwerk in Mongstad als auch ein Gaskraftwerk in Kårstø mit dem avisierten Lagerfeld am norwegischen Kontinentalrand verbindet. Darüber hinaus untersucht GASSCO die Einbindung weiterer CO₂-„Bezugsquellen“ in den Pipelinetransport und evaluiert die anfallenden Kosten und technischen Anforderungen sowie den Einsatz zentraler Durchleitungsknoten und alternativer Transportrouten zu den Speicherstätten.⁴⁴

⁴³ Europäische Kommission 2004

⁴⁴ CCS Monitor

Ein zukünftiges CO₂-Netz in Deutschland sollte sich in öffentlicher Hand befinden, um einen gleichberechtigten Zugang, faire und transparente Kosten, sowie eine zuverlässige Überwachung der Pipelines zu gewährleisten. Solch eine Übertragung ist durchaus möglich. Wenn Klimaschutzprojekte dem öffentlichen Zweck dienen (eine entsprechende Klausel gibt es bis jetzt noch nicht), dann hat dies Auswirkungen auf das gesamte Verfahren zur Genehmigung einer CO₂-Pipeline bis hin zur Möglichkeit einer Enteignung.⁴⁵

4.3 CO₂-Lagerstätten

Die CCS-Technologie kann nur dann einen Beitrag zur Reduktion anthropogener Treibhausgasemissionen leisten, wenn sichergestellt werden kann, dass die abgetrennten CO₂-Mengen dauerhaft sicher gespeichert werden können.

Zum Schutze vor möglichen Leckagen ist die Wahl eines geeigneten Speichers die wichtigste Voraussetzung für jedwede Lagerung von CO₂. Denn das im Untergrund gelagerte CO₂ darf weder zurück in die Atmosphäre gelangen, noch dürfen Trinkwasserhorizonte beeinträchtigt oder Menschen gefährdet werden.

Leckagen müssen in jedem Falle vermieden werden, gänzlich ausschließen lassen sie sich jedoch nicht. Große Mengen CO₂ von Kraftwerken werden große Flächen im Untergrund beeinflussen. Da die Lagerung von CO₂ eine Langfristaufgabe ist und keinerlei Erfahrungen über die Einlagerung solch großer Mengen an gasförmigen Stoffen (CO₂) besteht, müssen sich Betreiber, Politiker und Öffentlichkeit über das mögliche, wenn auch vermutlich geringe Risiko im Klaren sein.⁴⁶ Austritt von CO₂ hätte lokale wie globale Auswirkungen. Wissenschaftler geben eine Leckagerate kleiner als 0,01 Prozent pro Jahr an, soll CCS einen wirkungsvollen Beitrag zum Klimaschutz leisten⁴⁷. Demgegenüber wird CCS nutzlos, überschreitet die Leckagerate ein Prozent. Forderungen über genaue Angaben von Leckageraten könnten jedoch an der Realität scheitern, da sich solch genaue Mess- und Überwachungsmethoden vermutlich nicht realisieren lassen werden.

Diskutiert werden im Folgenden nur geologische Speicher, nicht jedoch marine Einbringung. Die Einbringung von CO₂ in Meerwasser ist keine akzeptable Speichermethode. Sie schädigt marine Ökosysteme, ist nicht dauerhaft oder kontrollierbar und beschleunigt die Versauerung der Meere.

Als Speicherorte (vgl. Abbildung 4) bieten sich tiefe geologische Formationen an, die von einer oder mehreren dichten Deckschichten überlagert werden. Die Mindesttiefe beträgt 800 bis 1.000 Meter. Prinzipiell ist die Injektion von CO₂ in geologische Formationen eine etablierte Technologie. Ziel war in der Vergangenheit jedoch nicht die dauerhafte Speicherung im Untergrund, sondern die Erhöhung der Ölförderung aus Erdöllagerstätten.

Denkbar wären auch tiefe, nicht abbaubare Kohleflöze. Dabei wird das typischerweise an Kohle adsorbierte Methan, welches als Energieträger genutzt werden könnte, durch injiziertes CO₂ ersetzt. Diese Methode (sogenannte Enhanced Coal bed Methane, ECBM) hat aufgrund der Möglichkeit der Methan-Nutzung ihren Reiz, doch sind Gesteinformationen über Kohlefeldern in Deutschland häufig gestört, sodass nicht auszuschließen ist, dass Methan oder Kohlendioxid unkontrolliert aufsteigen könnte.

⁴⁵ Janßen (2008)

⁴⁶ Für eine ausführlichere Darstellung der möglichen Risiken der CO₂-Speicherung vgl. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage (2005), Seiten 243-251.

⁴⁷ Siehe auch: <http://www.umweltnundesamt.de/wasser/themen/gewuehr/fue-in4.htm>

Ausgediente Öl- und Erdgasfelder sowie sogenannte saline Aquifere (das heißt salzwasserführende Gesteinsformationen) sind besonders geeignet für die Speicherung von CO₂. In Deutschland finden sich solche Strukturen überwiegend in Norddeutschland.

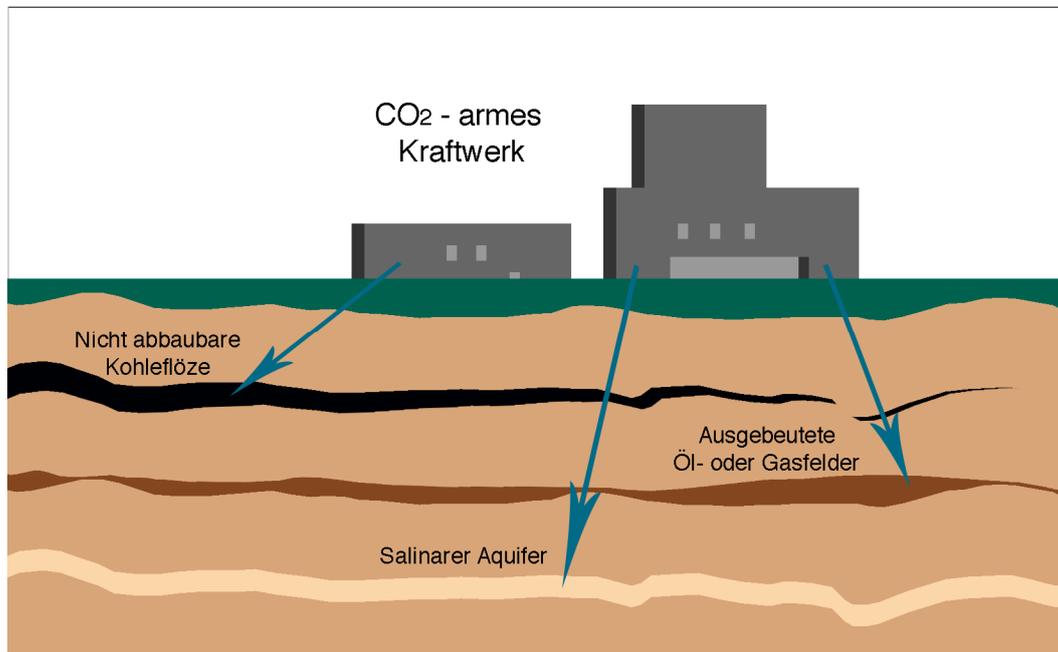


Abbildung 4: Vereinfachte schematische Darstellung möglicher CO₂-Speicheroptionen. Verändert nach IEA-GHG.

Die dort bekannten Erdgaslagerstätten werden von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe mit einem geschätzten Speichervolumen von mindestens 2,75 Milliarden Tonnen (Gigatonnen) CO₂ (GtCO₂) angenommen (Tabelle 3). Das Speichervolumen in tiefen salinaren Aquiferen ist weitaus größer und beträgt im Mittelwert 20 Gigatonnen (+/- acht Gigatonnen). Diese Kapazitäten ergeben zusammen ein erhebliches Speicherpotenzial, das die Einlagerung von CO₂ aus allen deutschen Kraftwerken für 30 bis 60 Jahre, also für etwa eine Kraftwerksgeneration, bedienen könnte. Allerdings handelt es sich um ein theoretisches Potential, das letztendlich effektiv nutzbare Potential wird wohl wesentlich kleiner sein und sollte in der Debatte um den möglichen Beitrag von CCS mit einbezogen werden. Welche Lagerstätten im Einzelnen für eine künftige CO₂-Speicherung in Frage kommen, muss im Zusammenhang mit konkreten CCS-Projekten durch detaillierte Untergrund-Untersuchungen festgestellt werden.

Neben den Lagerungsmöglichkeiten an Land (onshore) bietet sich auch eine Lagerung in geologischen Formationen unterhalb des Meeresbodens (offshore) etwa in der Nordsee an. Die North Sea Basin Task Force schätzt, dass das Nordseebecken einen hohen Anteil der gesamten europäischen Emissionen über einen langen Zeitraum aufnehmen kann.⁴⁸ Genaue Zahlen über Speicherkapazitäten unter der Nordsee gibt es bislang jedoch nicht. Die Firma Statoil speichert seit 1996 eine Million Tonnen CO₂ jährlich in einem salinaren Aquifer im Offshore-Bereich vor Norwegen. Bislang gibt es keinerlei Hinweise auf Leckagen. Allerdings ist die Speichermenge im Vergleich zu den CO₂-Emissionen aus einem 1000 MW-Kohlekraftwerk, das zwischen 5,5 bis 8,0 Millionen Tonnen Kohlend-

⁴⁸ NSBTF (Juni 2007): Storing CO₂ under the North Sea Basin.

oxid pro Jahr ausstoßen kann⁴⁹, vergleichbar gering. Generell gilt, dass die Onshore-Speicherung kostengünstiger als die Offshore-Variante ist (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 3: Optionen geologischer CO₂-Speicherung in Deutschland, Daten der Speicherkapazitäten von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Speicheroptionen	Generelle Charakteristika	Theoretische Speicherkapazität in Deutschland (GtCO ₂)
Erdöl- und Erdgaslagerstätten (erschöpft)	CO ₂ füllt freien/frei werdenden Porenraum und Hohlräume, die ursprünglich mit Erdöl/Erdgas gefüllt waren. Ungewinnbare Öl/Gasrestmengen könnten noch gefördert werden.	Erdölfelder: 0,13 Erdgasfelder: 2,75
Tiefliegende saline Aquifere	CO ₂ wird in Salzwasser (sole)-führende durchlässige Gesteinsschichten im tiefen Untergrund gepumpt	20 ±8
Nicht abbaubare Kohleflöze	CO ₂ lagert sich auf der Oberfläche der Kohle an und verdrängt dabei Methan, das gewonnen werden könnte.	0,37 – 1,67

Zu bedenken ist, dass der Druckaufbau im Bereich einer CO₂-Injektion, der zu einer Hebung der Gesteinsschichten im Millimeter- bis Zentimeterbereich⁵⁰ führen kann, im Offshore-Bereich zusätzlich Wasser, Methan und Kohlendioxid aus unverdichteten Sedimenten des Meeresbodens austreiben könnte. Mögliche CO₂-Austritte am Meeresboden sind schwieriger zu beheben als an Land, das wesentlich leichter und schneller zugänglich ist. Eine ausreichend große Meerestiefe von mehr als 3.000 Metern könnte zwar als Barriere dienen⁵¹, die Nordsee ist jedoch viel zu flach – ganz abgesehen von den vielen Bohrungen der Öl- und Gasindustrie, die als potentielle Aufstiegwege für CO₂ dienen könnten.

Tabelle 4: Speicherkosten in Abhängigkeit von Speicherort und -tiefe nach Linssen et al. 2005

Speichertiefe	1000 Meter	2000 Meter	3000 Meter
Aquifer (Onshore)	1,8 €/tCO ₂	2,7 €/tCO ₂	5,9 €/tCO ₂
Aquifer (Offshore)	4,5 €/tCO ₂	7,3 €/tCO ₂	11,4 €/tCO ₂
Erdgasfeld (Onshore)	1,1 €/tCO ₂	1,6 €/tCO ₂	3,6 €/tCO ₂
Erdgasfeld (Offshore)	3,6 €/tCO ₂	5,7 €/tCO ₂	7,7 €/tCO ₂
Leeres Ölfeld (Onshore)	1,1 €/tCO ₂	1,6 €/tCO ₂	3,6 €/tCO ₂
Leeres Ölfeld (Offshore)	3,6 €/tCO ₂	5,7 €/tCO ₂	7,7 €/tCO ₂

⁴⁹ Die Menge hängt ab vom Wirkungsgrad des Kraftwerks, des eingesetzten Brennstoffs (Braun- oder Steinkohle) und den Betriebsstunden

⁵⁰ Die Aufwölbungshöhe ist unter anderem abhängig von der Geologie, der Injektionstiefe, und der Menge an eingepresstem CO₂.

⁵¹ Der in 3000 Meter Wassertiefe herrschende hohe Druck und die tiefen Temperaturen würden dazu führen, dass austretendes CO₂ nicht aufsteigt und ein festes Gashydrat bildet, das als Schutzschild das CO₂ erst einmal ortsfest hält.

Fazit: Selbst wenn die Abscheidetechnologie sich im Großmaßstab wirtschaftlich anwenden lässt, könnte der limitierende Faktor am Ende die Geologie, also der Speicher, selbst sein. Die Kapazität sicherer Speicher wird bestimmen, wie viel CO₂ sich dauerhaft in den Untergrund bringen lässt. Auch ist zu beachten, dass es vielerorts zu einer Konkurrenz zwischen der CO₂-Speicherung und der Nutzung für andere Bereiche wie Geothermie und Erdgasspeichern, kommen kann.⁵²

Dies ist allerdings weniger ein Problem, wenn CCS in Europa, wie in diesem Papier vorgeschlagen, als Übergangslösung auf dem Weg zu einer hundertprozentigen Erneuerbaren Stromversorgung Mitte dieses Jahrhunderts eingesetzt wird.

In jedem Fall sollte trotz der Dringlichkeit des Klimaproblems der Entwicklung von CCS genügend Sorgfalt und damit auch Zeit eingeräumt werden. Niemandem ist geholfen, wenn CO₂ übereilt in suboptimale Speicher versenkt wird und irgendwann nach dreißig oder hundert Jahren womöglich größere Leckagen auftreten.

4.4 Pilotanlagen für CO₂-Abscheidung und -Lagerung

Viele Ankündigungen über CCS-Projekte wurden in den vergangenen Monaten verbreitet, doch nur zwei Projekte befinden sich derzeit real in Betrieb (vgl. Tabelle 5 und Abbildung 5). Genau genommen müssen diese Projekte als Teilprojekte bezeichnet werden. Bislang gibt es noch kein komplettes Abscheide-, Transport- und Speicherprojekt für CO₂.

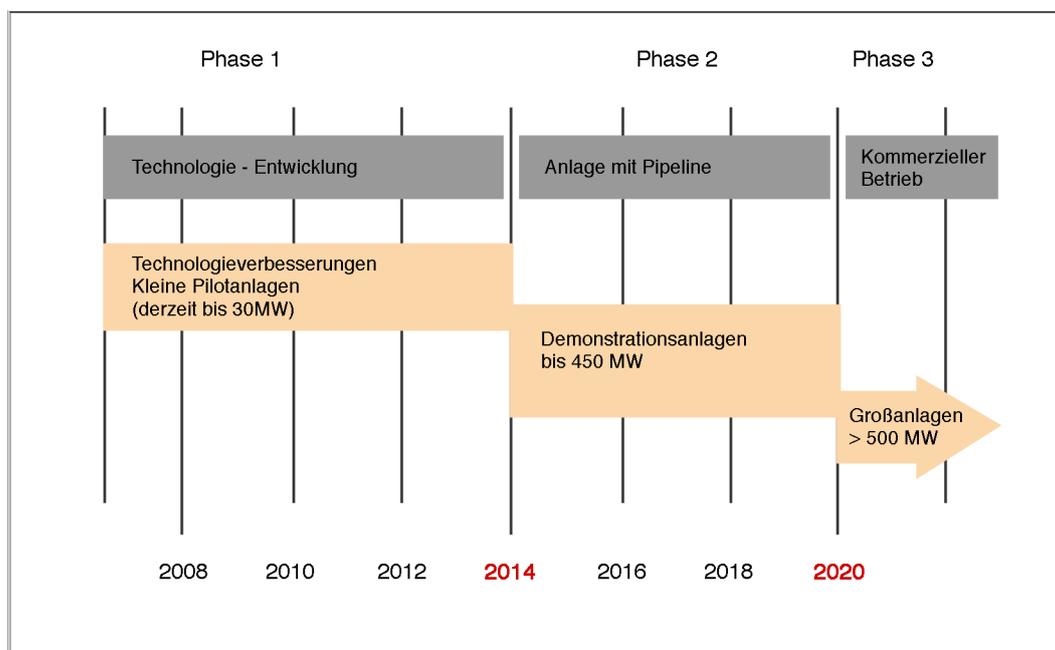


Abbildung 5: Zeitleiste der Entwicklung der CO₂-Abscheidung in Anlehnung an derzeitige geplante Projekte. Verändert nach: CCS Monitor Juli 2008, iz Klima.

Am Standort Ketzin bei Potsdam wird seit Juli 2008 reines CO₂ in eine etwa 800 Meter tiefe geologische salzwasserführende Gesteinsformation injiziert. Insgesamt wollen die Forscher über einen Zeitraum von zwei Jahren 60.000 Tonnen Kohlendioxid in den Untergrund pumpen. Das Projekt soll das Verhalten von CO₂ und dessen Ausbreitung im Untergrund untersuchen und Überwachungstechniken testen, die auch in anderen Projek-

⁵² TAB (2007): CO₂-Abscheidung und -Lagerung bei Kraftwerken. Arbeitsbericht Nr. 120, S. 11; 84; 97

ten zur Anwendung kommen werden. Unabhängig davon bleibt die Tatsache, dass jedes CO₂-Speicherprojekt einzigartig sein wird: zu vielseitig und unterschiedlich ist die Geologie.

Tabelle 5: Überblick über den Planungs- und Entwicklungsstand der CCS-Technologie in Deutschland (Stand 09/2008. Daten aus Betreiberberichten, Gesprächen und Medien)

Standort	Betreiber	Abscheidung	Speicherung	Betrieb / Planung
Ketzin	Forschung – GFZ	CO ₂ wird angeliefert	Ketzin 60.000 t CO ₂ über 2 Jahre	07/2008
Spremborg / Lausitz	Vattenfall	Oxy-Fuel (Braunkohle) 30 MW	Altmark ab Ende 2008 100.000 t CO ₂ über 3 Jahre	08 / 2008
Wilhelmshaven und Heyden	E.ON	Post-Combustion 5,5 MW und 7 MW	-	2009/10
Niederaußem	RWE	Post-Combustion 3-5 MW	-	2009/10
?	EnBW	Post-Combustion (Test 200 kW Kalkbindung läuft) Untersuchungen zur Machbarkeit von Großanlagen	?	Ende 2011
Kiel	Kieler Stadtwerke			2011?
Jänschwalde	Vattenfall	Post-Combustion (Braunkohle) 120 MW	?	2013
Hürth bei Köln	RWE	IGCC (Braunkohle) 450 MW	Schleswig-Holstein (Nordfriesland, Ostholstein oder Nordsee)	2014
?	EoN	Post-Combustion 30-60 MW	?	2014
Jänschwalde	Vattenfall	Umrüstung eines 500 MW Blocks Post-Combustion, ein neuer Block Oxy-Fuel	Altmark ?	2015
?	E.ON	Post-Combustion 500 MW	?	2017
?	Vattenfall	1000 MW	?	2020

Das momentan einzige sich in Deutschland in der Pilotphase befindliche Abscheide-Projekt arbeitet mit dem Oxyfuel-Verfahren. Am 09. September 2008 nahm Vattenfall eine Forschungsanlage im brandenburgischen Schwarze Pumpe mit einer Leistung von 30 Megawatt (MW) in Betrieb. Geplant ist, das abgeschiedene CO₂ per Tankwagen in die Altmark zu bringen. Insgesamt sollen so über einen Zeitraum von drei Jahren 100.000 Tonnen CO₂ in ein Erdgasfeld zur Erhöhung der Gasausbeute gepumpt werden. Pläne über mögliche Demonstrationsanlagen werden kontinuierlich angekündigt. Bis 2013 soll eine 120-MW-Post-Combustion-Anlage in Betrieb gehen. Vattenfall plant darüber hinaus eine Demonstrationsanlage von 300 bis 600 MW zu bauen. Am Standort Jänschwalde soll zwischen 2012 und 2015 ein Braunkohlekraftwerk entstehen, bei dem zwei verschiedene Technologien zur CO₂-Abscheidung (Oxy-Fuel und Post-Combustion) zum Einsatz kommen sollen. Bis 2020 will der Konzern in der Lage sein, ein 1000-MW-Kraftwerk zu bauen, das kaum noch CO₂ ausstößt. Was am Ende wirklich Realität wird, muss sich erst noch zeigen.

RWE arbeitet an der Verbesserung der Abscheidetechnologie. Am Standort Niederaußem sollen sowohl durch energieoptimierte Waschmittel als auch durch Verbesserungen der Prozess- und Anlagentechnik Wirkungsgradverluste und Kosten der CO₂-Wäsche reduziert werden. In der Testanlage können bis zu 300 kg CO₂ pro Stunde (entspricht einer Abscheiderate von 90 Prozent) aus dem Rauchgasteilstrom abgeschieden werden. Ziel ist, die CO₂-Abtrenntechnik ab 2015 für die Nachrüstung bestehender moderner Anlagen

oder an neuen Kraftwerken einsetzbar zu machen. Dies würde bedeuten, dass dann etwa das Tausendfache von heute abgeschieden werden soll: Die Abscheideanlage eines 500-MW-Kohlekraftwerkblocks, der 3 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr ausstößt, müsste 342 Tonnen (= 342.000 kg) CO₂ pro Stunde abscheiden.

Während Vattenfall auf die Entwicklung der Oxy-Fuel-Technologie setzt, will RWE darüber hinaus die IGCC-Variante entwickeln. Das RWE-Kraftwerk am Standort Goldenbergwerk in Hürth bei Köln soll als erste großtechnische Anlage eine Bruttoleistung von 450 MW haben, jährlich 2,8 Millionen Tonnen CO₂ abscheiden und im Untergrund speichern und 2014 ans Netz gehen.⁵³ Außerdem plant der Energieversorger in Hürth bei Köln ein Braunkohlekraftwerk mit CO₂-Abscheidung für zwei Milliarden Euro. Das abgeschiedene CO₂ soll per Pipeline in einen Speicher in Nord-Deutschland transportiert werden. Dafür sucht RWE derzeit in Schleswig-Holstein eine Speicherstätte für das CO₂ aus dem Kraftwerk. Den Auftrag hierfür erhielt die Konzerntochter RWE Dea. Das Kraftwerk, die Pipeline und der Speicher werden insgesamt rund zwei Milliarden Euro kosten.⁵⁴

E.ON betreibt in Rotterdam in den Niederlanden eine von mehreren Pilotanlagen zur CO₂-Abtrennung. Bis 2014 will der Konzern eine geeignete Technologie auswählen, danach eine Pilotanlage mit einer Leistung von 30 bis 60 MW und ab 2017 ein Demonstrationskraftwerk mit einer Größe von rund 500 MW bauen. E.ON konzentriert sich bei seinen jetzigen Projekten auf die Post-Combustion-Methode, mit der auch bereits existierende Kohlekraftwerke nachgerüstet werden können.

Noch existieren viele der Projekte nur auf dem Papier. Bis die ersten Demonstrationsanlagen startbereit sein werden, bedarf es noch vieler Vorarbeiten. Rechtliche Rahmenbedingungen werden derzeit erarbeitet oder sind bereits im Abstimmungsprozess. Anschubfinanzierungen für die von der EU gewünschten zehn bis zwölf Anlagen bis 2015 sind mit der vorgesehenen Freigabe von Emissionszertifikaten ebenfalls in Sicht. Wichtig ist nun, dass auch Entwicklungen auf der Transport- und Speicherseite in die Wege geleitet werden. Doch auch wenn alle Entwicklungen optimal verlaufen, wird CCS nur schwer vor 2020 kommerziell einsetzbar sein. Und auch diese Zeitmarke wird von vielen Beobachtern schon als sehr ambitioniert und optimistisch angesehen. McKinsey (2008) rechnet mit einer frühen kommerziellen Phase nach 2020 und einer entwickelten kommerziellen Phase ab 2030 (vgl. Abbildung 6).

Einer Studie der Boston Consulting Group (BCG) zufolge rechnet sich der Einbau der aufwändigen CCS-Technik für die Energiekonzerne erst dann, wenn der Preis für eine Emissionsberechtigung an der Börse auf mehr als 45 Euro pro Tonne CO₂ steigt. Allerdings gibt es noch große Unsicherheit über diesen Wert. Aber um einen Wert in dieser Größenordnung zu erreichen, bedarf es eines stabilen Kohlenstoffmarktes, was sich einerseits aus den Ergebnissen der UN-Klimaverhandlungen 2009 in Kopenhagen, andererseits aus den Emissionshandelssystemen in der EU und den USA ergeben wird. Um die Technik trotz dieser preislichen Differenz in den Markt zu bringen, müssten nach Berechnungen der Boston Consulting Group Regierungen und Unternehmen bis zum Jahr 2030 weltweit 500 Milliarden Euro investieren, wovon 100 Milliarden Euro allein auf staatliche Subventionen entfielen.⁵⁵

⁵³ RWE (2008)

⁵⁴ <http://www.faz.net/d/invest/meldung.aspx?id=83413621>

⁵⁵ BCG (2008)

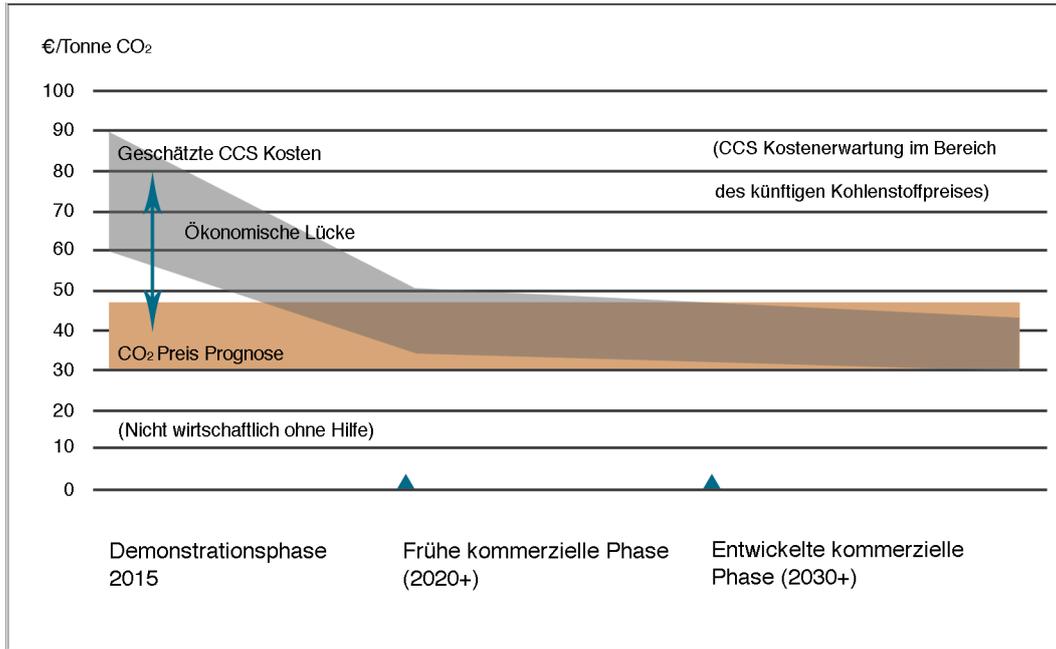


Abbildung 6: Kostenentwicklung des Einsatzes von CCS in Kraftwerken pro Tonne CO₂ im Vergleich zur prognostizierten Entwicklung der CO₂-Zertifikatepreise in Europa. Überarbeitet nach McKinsey 2008.

5 Empfehlungen

Von zentraler Bedeutung ist, dass politisch die Weichen in Europa so gestellt werden, dass bis 2050 eine 100-prozentige Stromversorgung auf der Basis von Erneuerbaren Energiequellen möglich ist. Denn die fortgesetzte Nutzung fossiler Energieträger im großen Maßstab würde auch mit CCS noch erhebliche CO₂-Mengen ausstoßen und die abgeschiedene CO₂-Menge auf Dauer die Kapazitäten sicherer Lagerstätten übersteigen. Wenn CCS in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts in Europa noch genutzt werden sollte, dann - im Sinne der klimapolitisch notwendigen Ziele - eher in Kombination mit der Biomasse-Nutzung statt mit Kohle. In Europa hat CCS somit die Rolle einer Übergangstechnologie in diesem Gesamtszenario. Es ist daher von größter Wichtigkeit, dass die Weichen entschieden in Richtung Energieeffizienz, dezentrale und großflächige Erneuerbare Energien (etwa in Nord-Afrika, Ost-Europa, Nordeuropa) und die dafür notwendige Infrastruktur ("SuperSmartGrid") gestellt werden.

Es sollten keine neuen Kohle- bzw. Braunkohlekraftwerke mehr ans Netz gehen, ohne dass diese mit CCS ausgerüstet sind. Bereits gebaute oder im Bau befindliche neuere Kohlekraftwerke sollten, sobald CCS großtechnisch zur Verfügung steht, nachgerüstet werden. Dies einerseits aus Klimaschutzgründen. Andererseits aus Glaubwürdigkeitsgründen. Man kann nicht einerseits argumentieren: "CCS – ein Muss für den Klimaschutz"⁵⁶ – und andererseits Kohlekraftwerke ohne CCS bauen. Kraftwerke, die absehbar nicht nachgerüstet werden, sollten zeitnah still gelegt werden.

Um sicherzustellen, dass CCS nicht zum Legitimationsbeschaffer für konventionelle Kohlekraftwerke ohne CCS verkommt, sollte ein Moratorium für den Neubau von Kohlekraftwerken ohne CCS auf die eine oder andere Art durchgesetzt werden. Der erste Anlauf im Europaparlament dazu ist gerade gescheitert – aber es wird nicht der Letzte sein. Für die im Bau befindlichen Kraftwerke sollte die Genehmigung zunächst bis 2020 befristet werden, damit – wenn sich die Technik bewährt – eine Nachrüstung vorgeschrieben werden kann.

Der gesetzliche Rahmen für CCS sollte in Deutschland noch in dieser Legislaturperiode geschaffen werden.

Um die Unsicherheit bezüglich Machbarkeit zu lösen, sollten die 12 Demonstrationsprojekte der EU zügig und mit der notwendigen wissenschaftlichen Begleitung umgesetzt werden. Demonstrationsprojekte sind notwendig, um Erfahrungen mit der CCS-Technologie zu sammeln und entscheiden zu können, ob CCS in großem Maßstab sicher durchführbar ist.

Zu den großen offenen Fragen zählt, wie viel CO₂ sich dauerhaft sicher im Untergrund lagern lässt. Die Abschätzungen der BGR für die der kommerziellen Anwendung relevanten salinaren Aquifere weisen mit 20 ±8 Gt eine große Unsicherheit auf. Vermutlich wird die Speicherkapazität letztlich eher am oder unter dem unteren Ende von 12 Gt liegen, denn es muss zum Beispiel beachtet werden, dass sich verschiedene Speicher gegenseitig negativ beeinflussen können. Nicht die CO₂-Quellen bestimmen die Speichermenge, sondern die Verfügbarkeit von sicheren Speichern. Und diese werden in Zukunft nicht nur von Kohlekraftwerken genutzt werden, sondern auch von der Industrie, wie etwa Zement oder Stahl.

⁵⁶ "CCS - Ein Muss für den Klimaschutz, Perspektiven einer technologischen Innovation", Eine Veranstaltung des IZ Klima e.V., 23. Januar 2009, axica Kongress- und Tagungszentrum; Das IZ Klima ist die Lobbyorganisation der Energiewirtschaft für CCS.

Für eine unabhängige Sicherheitsforschung und die Infrastruktur sind auch öffentliche Mittel erforderlich und bereit zu stellen.

Für die Entwicklung einer Infrastruktur sollte eine „Source-Sink-Karte“ erstellt werden, die detailliert aufführt, wo die betriebenen Kohlekraftwerke und potentielle CO₂-Speicher liegen. Darüber hinaus bedarf es der Planung einer optimalen Nutzung des vorhandenen Untergrundes – auch im Hinblick auf andere Nutzungsformen – und einer optimalen Anbindung der Kraftwerke.

Zu beachten sind folgende für die Sicherheit eines Speichers besonders relevanten Punkte: Sie werden zum Teil auch in der EU-Richtlinie angeführt, dies muss jedoch durch entsprechend bindende Formulierungen noch in der nationalen Gesetzgebung festgeschrieben werden.

- Zusammensetzung des zu speichernden Gasstroms (Reinheit von CO₂)

Die CO₂-Lagerung darf nicht zur "Müllentsorgungsmaßnahme" mit schwer abschätzbaren Risiken werden. Verunreinigungen (wie zum Beispiel Schwefelwasserstoff), die Schäden beim Transport und der Lagerung verursachen können, müssen vermieden werden. Grenzwerte für einzelne Substanzen sollten festgelegt werden.

- Monitoring

Zwar geht die Bundesregierung mit ihrem Gesetzesentwurf mit 30 Jahren Überwachung durch einen Betreiber nach Schließung des Betriebes weiter als die EU-Richtlinie, doch weiß niemand, wie lange ein Speicher überhaupt überwacht werden muss. Eine Antwort auf diese Frage wird nur die Praxis liefern können. Insofern ist es richtig, dass die Verantwortung ab einem gewissen Zeitpunkt auf den Staat übertragen wird, da nur dieser eine gegebenenfalls auch langfristige Überwachung und damit größtmögliche Sicherheit garantieren kann und muss.

- Haftung

Um möglichst hohe Anreize für die Auswahl sicherer Speicher und damit geringer Leckagerisiken zu setzen und sicherzustellen, dass die öffentliche Hand nicht auf möglichen Kosten sitzen bleibt, könnte ein Vorschlag des PIK aufgegriffen werden. Jeder, der CO₂ zu lagern beabsichtigt, muss eine entsprechende Menge 'Sequestration Bonds' erwerben. Diese Bonds werden verzinst und auf dem Markt gehandelt, und sie werden abgewertet, wenn die dazugehörige CO₂-Lagerstätte nicht dicht ist.⁵⁷

⁵⁷ Edenhofer et al. 2005

6 Literaturverzeichnis

- BCG (2008): "Carbon Capture and Storage – a solution to the problem of carbon emissions."
<http://www.bcg.com/publications>
- Bündnis 90 / Die Grünen (2007): Positionspapier "Energie 2.0 – Die Grünen Maßnahmen bis 2020"
- Bundesrat (2008): Beschluss 104/08 (14.03.2008)
- Bundesregierung (2007): Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm (IKEP)
www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/klimapaket_aug2007.pdf
- Bundesregierung (2009): Entwurf: Gesetz zur Regelung von Abscheidung, Transport und dauerhafter Speicherung von Kohlendioxid in der vom Bundeskabinett am 1. April 2009 beschlossenen Fassung.
www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/gesetzentwurf_ccs.pdf
- CCS Monitor (Februar 2008) Informationszentrum Klima. <http://www.iz-klima.de/publikationen/newsletter.html>
- CDU (2007): Positionspapier „Klimawandel entgegenzutreten, konkrete Maßnahmen einleiten“
- Die Linke (2006): "Kohle in Beschäftigung und neue Energien umwandeln"
- Edenhofer, O., Held, H. & Bauer, N. (2005): A regulatory framework for carbon capturing and sequestration within the post-Kyoto process, in the peer-reviewed volume (I) by E. S. Rubin, D. W. Keith, C. F. Gilboy (Eds.) of Proceedings of the 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (5-9 September 2004, Vancouver, Canada), 989-997, Elsevier, Amsterdam
- Europäische Kommission (2004): KOM(2005)624 endgültig (Anzeiger über staatliche Beihilfen)
- European Parliament (2008a): Directive amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community
- European Parliament (2008b): Compromise & consolidated amendments 1-27. 2008/0015(COD)
- FDP (2006): Beschluss "Innovation und Lebensqualität durch marktwirtschaftlichen Umweltschutz – Grundsätze und Schwerpunkte liberaler Umweltpolitik"
- Global Carbon Project (2008) Carbon budget and trends 2007, [www.globalcarbonproject.org, 26 September 2008]
- Greenpeace International (2008): False Hope CCS. Why carbon capture and storage won't save the climate. <http://www.greenpeace.org>
- Held H., Edenhofer O. (2008): Position statement of a bidding scheme for CCS demonstration plants. PIK
- Higman, Chris (2008): European Coal Gasification Projects. Präsentation auf FutureGen Workshop in Tokyo, 25.02.2008
- IEA Greenhouse gas R&D Programme (2008): A regional assessment of the potential for CO₂ storage in the Indian subcontinent. Technical Study Report No. 2008/2.
www.co2storage.org/Reports/2008-02.pdf
- IEA Greenhouse Gas R&D Programme (2007): CO₂ capture ready plants. 2007/4.
www.iea.org/textbase/papers/2007/CO2_capture_ready_plants.pdf
- IPCC (2007a): Fourth Assessment Report. Climate Change 2007 – Impacts, adaptation and vulnerability. Summary for Policymakers and Technical Summary. Seite 66-67
- IPCC (2007b): Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Synthesis Report. Seite 67
- Janßen, Sarah (Februar 2008): "Planung und Genehmigung einer CO₂-Pipeline in Deutschland – Handlungsempfehlungen für (Pipeline-) Planer. Diplomarbeit an der Fakultät Raumplanung der TU Dortmund.
- Linssen J., Markewitz P., Martinsen D., Walbeck M.(2005): Bewertung von CO₂ Abscheidung in Kraftwerken und Speicherung. Aus: STE Arbeitsbericht "CO₂-Abscheidung und – Speicherung – Eine Zukunftsoption für die deutsche Klimaschutzstrategie? Hrsg. Kuckshinrichs W., Markewitz P., Hake J.-Fr. S.141
- MIT (2007): The future of coal. <http://web.mit.edu/coal/>
- McKinsey (2008): Carbon capture and storage – assessing the economics.

- Richtlinie in der Fassung vom 25. 06. 2008: Council of the European Union File 2008/0015 (COD): Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the geological storage of carbon dioxide and amending Council Directives 85/337/EEC, 96/61/EC, Directives 2000/60/EC, 2001/80/EC, 2004/35/EC, 2006/12/EC and Regulation (EC) No 1013/2006
- RWE (2008): Power: Perspektiven 2008 CCS – Carbon Capture and Storage
- Schulze, O. (2008): CO₂-Speicherung steht sinnvollen Klimaschutzziele im Weg. Presseartikel vom 12.03.2008. <http://www.olaf-schulze.info/index.php?plink=presse&pmid=67> (abgerufen 22.09.2008)
- SPD (2007a): Beschluss „Neue Energie – Sozialdemokratische Energie- und Klimapolitik für das 21. Jahrhundert“
- SPD (2007b): Leitanspruch "Unser Weg in die ökologische Ökonomie – Für einen 'New Deal' von Wirtschaft, Umwelt und Beschäftigung"
- Spiegel (26.06.2008): Atommülllager Asse II – strahlende Fracht, düstere Zukunft. <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,562263,00.html> (abgerufen 22.09.2008)
- WI, DLR, ZSW, PIK (2007): "RECCS: Strukturell-ökonomisch-ökologischer Vergleich regenerativer Energietechnologien (RE) mit Carbon Capture and Storage (CCS). Herausgeber BMU

Weitere Internetquellen:

- <http://www.faz.net/d/invest/meldung.aspx?id=83413621> „RWE baut Kohlekraftwerk mit CO₂-Abtrennung in Hürth“ vom 29.08.2008
- <http://www.linksfraktion.de/pressemitteilung.php?artikel=1234532334> (abgerufen 10.09.2009)
- <http://www.nealine.de/news/Wirtschaft/Energie/gruene-erwartungen-an-pilotanlage-zur-co2-abscheidung-uebertrieben-193777593.html> (abgerufen 10.09.2009)
- http://www.berlinerumschau.com/index.php?set_language=de&ccpage=10092008ArtikelBBSank01 (abgerufen 10.09.2009)
- <http://www.lr-online.de/nachrichten/LR-Themen-Schwarze-Pumpe-Beck-Pilotanlage;art1065,2142040> (abgerufen 10.09.2009)
- http://www.cdu.de/archiv/2370_24240.htm (abgerufen 10.09.2009)
- <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Rede/2008/08/2008-08-29-rede-bkin-kraftwerk-westfalen.html> (abgerufen 02.09.2008)

... Sie fanden diese Publikation interessant und hilfreich?

Wir stellen unsere Veröffentlichungen zum Selbstkostenpreis zur Verfügung, zum Teil auch unentgeltlich. Für unsere weitere Arbeit sind wir jedoch auf Spenden und Mitgliedsbeiträge angewiesen.

Spendenkonto: 32 123 00, Bank für Sozialwirtschaft AG, BLZ 10020500

Informationen zur Mitgliedschaft finden Sie auf der Rückseite dieses Hefts. Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

Germanwatch

Wir sind eine gemeinnützige, unabhängige und überparteiliche Nord-Süd-Initiative. Seit 1991 engagieren wir uns in der deutschen, europäischen und internationalen Nord-Süd-, Handels- und Umweltpolitik.

Ohne strukturelle Veränderungen in den Industrieländern des Nordens ist eine sozial gerechte und ökologisch verträgliche Entwicklung weltweit nicht möglich. Wir setzen uns dafür ein, die politischen Rahmenbedingungen am Leitbild der sozialen und ökologischen Zukunftsfähigkeit für Süd und Nord auszurichten.

Unser Engagement gilt vor allem jenen Menschen im Süden, die von den negativen Auswirkungen der Globalisierung und den Konsequenzen unseres Lebens- und Wirtschaftsstils besonders betroffen sind. Wir treten dafür ein, die Globalisierung ökologisch und sozial zu gestalten!

Germanwatch arbeitet an innovativen und umsetzbaren Lösungen für diese komplexen Probleme. Dabei stimmen wir uns eng mit Organisationen in Nord und Süd ab.

Wir stellen regelmäßig ausgewählte Informationen für Entscheidungsträger und Engagierte zusammen, mit Kampagnen sensibilisieren wir die Bevölkerung. Darüber hinaus arbeiten wir in gezielten strategischen Allianzen mit konstruktiven Partnern in Unternehmen und Gewerkschaften zusammen, um intelligente Lösungen zu entwickeln und durchzusetzen.

Zu den Schwerpunkten unserer Arbeit gehören:

- Verantwortungsübernahme für Klimaschutz und Klimaopfer durch wirkungsvolle, gerechte Instrumente und ökonomische Anreize
- Handels- und agrarpolitische Rahmenseetzungen für weltweite Ernährungssicherheit und nachhaltige Landwirtschaft
- Einhaltung sozialer und ökologischer Standards durch multinationale Unternehmen
- Ökologisches und soziales Investment

Möchten Sie uns dabei unterstützen? Für unsere Arbeit sind wir auf Spenden und Beiträge von Mitgliedern und Förderern angewiesen. Spenden und Mitgliedsbeiträge sind steuerlich absetzbar.

Weitere Informationen erhalten Sie unter www.germanwatch.org oder bei einem unserer beiden Büros:

Germanwatch Büro Bonn
Dr. Werner-Schuster-Haus
Kaiserstr. 201, D-53113 Bonn
Telefon +49 (0)228 / 60492-0, Fax, -19

Germanwatch Büro Berlin
Voßstr. 1, D-10117 Berlin
Telefon +49 (0)30 / 288 8356-0, Fax -1

E-mail: info@germanwatch.org

Internet: www.germanwatch.org

Bankverbindung / Spendenkonto:

Konto Nr. 32 123 00, BLZ 100 205 00, Bank für Sozialwirtschaft AG



Per Fax an:

+49-(0)30 / 2888 356-1

Oder per Post:

Germanwatch e.V.
Büro Berlin
Voßstr. 1
D-10117 Berlin

Ja, ich unterstütze die Arbeit von Germanwatch

Ich werde Fördermitglied zum Monatsbeitrag von €..... (ab 5 €)

Zahlungsweise: jährlich vierteljährlich monatlich

Ich unterstütze die Arbeit von Germanwatch durch eine Spende von €..... jährlich €..... vierteljährlich €..... monatlich €..... einmalig

Name

Straße

PLZ/Ort

Telefon

E-Mail

Bitte buchen Sie die obige Summe von meinem Konto ab:

Geldinstitut

BLZ

Kontonummer

Unterschrift