

CO₂-Abscheidung und -Lagerung bei Kohlekraftwerken: kein Beitrag zur Lösung des Klimaproblems

Kohlekraftwerken nachgeschaltetes Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS) dominiert die Debatte um CCS – zu Unrecht. Die Förderung dieser Anwendung torpediert den Übergang zu einem klimaneutralen Energiesystem: Sie schafft Anreize, weiter in die Kohleverstromung zu investieren und sie bedingt Wettbewerbsvorteile gegenüber Strom aus erneuerbaren Quellen. Dabei verursacht die Technologie aufgrund des Energieaufwands zur CO₂-Abscheidung hohe Treibhausgasemissionen: Somit kann sie kein Element zur Lösung des Klimaproblems sein. Selbst ob und wie stark sie zur Emissionsminderung beiträgt, ist strittig – und hängt von der Wahl der Systemgrenzen ab.

Hans-Jochen Luhmann

Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS) at Coal-Fired Power Plants Does Not Contribute to Stopping Climate Change |

GAIA 18/4 (2009): 294–299

Keywords: carbon dioxide capture and storage (CCS), climate change, climate politics, climate protection, coal-fired power plants

Hiermit setzen wir den in GAIA 18/3 (2009) begonnenen Schwerpunkt zu CCS (Carbon Dioxide Capture and Storage) fort. In der Rubrik Forschung folgt ein Artikel von *Sven Bode* über Chancen und Risiken dieser Technologie im Rahmen des Clean Development Mechanism (CDM).

Warum ist die Debatte um CCS auf Kohlekraftwerke beschränkt?

Potenzielle Einsatzgebiete von CCS

Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS) heißt übersetzt „CO₂-Abscheidung und -Lagerung“. Die Quellen des CO₂ ebenso wie sein Zielort sind damit noch nicht bestimmt. Somit ist das Erste, was an der in GAIA (Grünwald 2009, Smid 2009, Donnermeyer 2009) geführten Debatte zu CCS auffällt, eine Engführung – hinten und vorne: Als Quelle wird allein CO₂ aus (Kohle-)Kraftwerken betrachtet; als Ziel allein der geologische Untergrund. Letzteres sei hier zunächst akzeptiert – bleibt die Engführung vorne.

CO₂ kann aus (intendierten) Verbrennungsprozessen, aber auch aus anderen Quellen stammen. Unter den in Tabelle 1 genannten fünf Einsatzgebieten hat CCS, das Kohlekraftwerken nachgeschaltet wird – nachfolgend mit *CPP-CCS (coal-fired power plant-CCS)* bezeichnet – den potenziell größten Umfang. Doch diese quantitative Dominanz kann nicht allein der Grund dafür sein, dass die Frage nach Pro und Kontra von CCS auf CPP-CCS beschränkt bleibt. Die zu beantwortende Frage ist also: In wel-

chen der möglichen Einsatzgebiete ist CCS das, was Interessenvertreter als Anspruch erheben: ein Beitrag zur Lösung des Klimaproblems? Dieses Prädikat ist der Schlüsselbegriff der Debatte – mit seiner Auslegung entscheidet sich alles. Die Teilnehmer an der Debatte vertreten den genannten Anspruch in zwei Sprechweisen: **a)** CCS als *Option zur Lösung des Klimaproblems* (Erreichung des 2°C-Ziels)¹; **b)** CCS als *Maßnahme zur Verringerung der CO₂-Emissionen* (aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe).²

Beide Sprechweisen liegen semantisch nah beieinander und bezeichnen doch fundamental Verschiedenes. Die erste sagt etwas zum Zielzustand des Systems. Die zweite dagegen ist komparativ gefasst, und das offen – sie ist also rhetorisch missbrauchsanfällig, mittels der Wahl eines impliziten Vergleichsmaßstabs. Will man beide Charakterisierungen mit Labeln versehen, bietet sich aus der Bildsprache der Ökonomie wie der Klimawissenschaft an zu sagen: **a)** ist eine Aussage zu einem *Steady State*; **b)** eine Aussage zu einem *transienten* Zustand.

Ökonomische Interessen an einer Engführung

Warum die eigentliche Frage – *In welchem Einsatzgebiet ist CCS tatsächlich ein Beitrag zur Lösung des Klimaproblems?* – durch die Dominanz von CPP-CCS in der Debatte zur Seite gedrängt wird,

Kontakt: Dr. Hans-Jochen Luhmann | Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie | Postfach 100480 | 42004 Wuppertal | Deutschland | Tel.: +49 202 2492133 | E-Mail: jochen.luhmann@wupperinst.org

1 So verstehe ich Donnermeyer (2009), auch wenn er leicht anders formuliert („Option zum Klimaschutz“).

2 So verstehe ich Grünwald (2009).

ist leicht verständlich. Es sind massive ökonomische Interessen berührt. Ob und in welchem Umfang CPP-CCS in Zukunft entwickelt wird, beeinflusst die Perspektiven im Kraftwerkmarkt. Unter den fossilen Energieträgern ist vor allem die Kohle durch Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen bedroht. Ihre Wertschöpfung liegt global in der Größenordnung von 300 Milliarden Euro pro Jahr. Tangiert sehen sich auch die Produzenten diverser Kohlenutzungstechnologien. Nur beim Kraftwerksbau ist jüngst Entspannung eingetreten, da mit der solarthermischen Perspektive (DESERTEC-Projekt³) die klassische Dampfkraftwerkstechnologie, anders als bei Wind und Photovoltaik, auch unter neuen Bedingungen ihre Rolle wieder zu finden scheint. Hinzu kommen zwei Interessen der Ölindustrie: Erstens ist CO₂ ein seit Jahrzehnten übliches Mittel zur Erhöhung der Ausbeute von Ölfeldern (*enhanced oil recovery*, EOR). Gelingt es, die dabei netto im Untergrund verbleibende CO₂-Menge in Wert setzen zu lassen (im Rahmen des *Clean Development Mechanism [CDM]* unter dem Kyoto-Protokoll, siehe Bode 2009, in diesem Heft), ergibt sich ein Deckungsbeitrag, da dies den Einsatz von CO₂ verbilligt und die Ölausbeute erhöht. Zweitens steht die in der Nordsee engagierte Ölindustrie vor dem Peak-Oil-Phänomen – kommt nun CCS in großem Umfang zum Einsatz, können Teile ihrer vor der Obsoleszenz stehenden, mit hohen Rückbaukosten belegten Förderinfrastruktur in eine Nachfolgenutzung überführt werden.

In welchen Einsatzgebieten trägt CCS zur Lösung des Klimaproblems bei?

CO₂-Verpressung zur Erhöhung der Ölfeldausbeute

Bei *enhanced oil recovery* (EOR) wird CO₂ zur Förderung von Rohöl in den Untergrund injiziert. Vor allem in den USA bestehen seit Jahrzehnten Pipeline-Netze, die natürliche CO₂-Lagerstätten mit Erdölproduktionsräumen verbinden – CO₂ ist dort also ein Wirtschaftsgut, kein Abfall. Das Einpressen von CO₂ macht das Rohöl im Wirtsgestein fließfähiger und erhöht den Druck im Feld. Beides zusammen steigert die Ausbeute an fossilen Kohlenwasserstoffen. Das eingepresste CO₂ wird zwar zum Teil wieder mitgefördert, es wird aber immer erneut abgeschieden und im Kreislauf geführt. Netto verbleibt ein erheblicher Teil des zu Förderzwecken eingepressten CO₂ in der geologischen Struktur des Ölfelds. Analoges gilt für *enhanced gas recovery* (EGR).

Ökonomisch betrachtet lag es nahe, den Versuch zu starten, sich diesen Nebeneffekt im Rahmen von CDM-Projekten (Bode 2009, in diesem Heft) vergüten zu lassen. Voraussetzung ist, dass die Projekte das Additionalitäts-Kriterium erfüllen: Das heißt, dass mit einem CDM-Projekt „anthropogenic emissions of greenhouse gases by sources are reduced below those that would have occurred in the absence of the registered CDM project activity“.⁴ Die Erfüllung des Kriteriums hängt somit ab von der Reduktion relativ zu dem Verlauf, der ansonsten eingetreten wäre – zudem ist gefordert, den Projektumfang abzugrenzen.

Zweck wie Ergebnis eines EOR-(oder EGR-)Projekts ist, zusätzliche Mengen an Mineralölprodukten zu fördern, die später verbrannt werden sollen. Die CO₂-Freisetzung ist damit die unausweichliche Folge von EOR-CCS. Der in CDM-Projektanträgen auszuweisende CO₂-Reduktionserfolg steht und fällt somit mit der Entscheidung über den einbezogenen Projektumfang. Anders ausgedrückt: Über die quantitative Aussage entscheidet der Systembegriff. Luhmann (2008) hat den Effekt eines weiten Verständnisses des Projektumfangs für das Weyburn-Projekt – ein EOR-CCS-Projekt in der kanadischen Provinz Saskatchewan – durchkalkuliert. Das Ergebnis: CCS mit EOR führt wegen der Verbrennung der zusätzlich geförderten Kohlenwasserstoffe zu CO₂-Emissionen in Höhe etwa des Dreifachen dessen, was qua EOR-CCS an CO₂ gespeichert wird. Mit einem weiten Systemverständnis verliert EOR-CCS den Charakter eines möglichen CDM-Projekts, weil es nicht einmal ein Beitrag zur *Minderung* der Emissionen von Treibhausgasen (THG) ist.

Geeignete Einsatzgebiete für die Entwicklung von CCS

CO₂ liegt heute in erheblichem Umfang aus verschiedenen Prozessen bereits abgeschieden vor – und wird meistens einfach in die Atmosphäre entlassen. Um Technologien für die CO₂-Verpressung zu entwickeln, kann also auf diese Ströme zurückgegriffen werden. Einen Überblick über die Potenziale gibt Tabelle 2 (S. 296). Ströme von konzentriertem CO₂ fallen insbesondere in Raffinerien an sowie bei der Herstellung von Stickstoffdünger – zusammen knapp 200 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr. Eine weitere, in Tabelle 2 nicht quantifizierte Kategorie ist die Öl- >

³ www.desertec.org

⁴ www.unfccc.int/cdm

TABELLE 1: CCS kann verschiedenen Prozessen nachgeschaltet werden, die hier nach Kohlendioxidquellen differenziert sind.

Kennzeichnung von CO ₂ -Quellen	Einsatzgebiet von CCS: zur Nachschaltung nach ...		
<i>verbrennungsbedingt</i>	<i>intendiert</i>	<i>fossil</i>	... mit fossilen Energieträgern befeuerten Kraftwerken, insbesondere Kohlekraftwerken
	<i>intendiert</i>	<i>fossil</i>	... (Hochtemperatur-)Grundstoffindustrie-Prozessen
	<i>nicht intendiert</i>	<i>fossil</i>	... Kohleflözbränden
	<i>intendiert</i>	<i>rezent</i>	... Energiegewinnung aus Biomasse
<i>nicht verbrennungsbedingt</i>	<i>intendiert</i>	<i>fossil</i>	... CO ₂ -emittierenden Produktionsprozessen, bei denen CO ₂ bislang freigesetzt wird

TABELLE 2: Geschätzte Mengen bereits konzentriert vorliegenden Kohlendioxids aus verschiedenen industriellen Prozessen in einigen Entwicklungsländern (2008 bis 2012). In diesem Umfang könnte CCS eingesetzt werden, um das bis jetzt in die Atmosphäre entweichende CO₂ in den Untergrund zu verpressen. Quelle: verändert nach De Coninck (2007).

	im Produktionsprozess anfallende CO ₂ -Mengen (Mt CO ₂ /a)						gesamt
	Brasilien	China	Indien	Mexiko	Saudi-Arabien	Südafrika	
Raffinerien	18	40	30	15	17	6	125
Herstellung von Stickstoffdünger	0,2	56	2,2	2,3	0	0,5	61
Wasserstoffherstellung	0	0	0,4	0	0,5	0	1
Öl- und Gasförderung	Daten nicht verfügbar; weltweit vielleicht 100 bis 200 „Sleipner-Felder“, in denen Öl und Gas aus karbonatreichem Gestein gefördert wird						

und Gasförderung aus karbonatreichem Wirtsgestein, bei der CO₂ als Begleitgas anfällt und aus dem Rohgas abgeschieden wird. Der Praxis, dieses CO₂ einfach freizusetzen, hat die norwegische Regierung beim Sleipner-Feld in Norwegens Festlandssockel ein Ende bereitet: Das abgetrennte CO₂ wird in ein salines Aquifer etwa 1000 Meter unter dem Meer eingeleitet. Seit 20 Jahren jedoch fehlt es an der Imitation andernorts: bei den vielleicht 100 bis 200 anderen „Sleipner-Feldern“ in der Verfügung der Ölindustrie auf dem Globus insgesamt (Tabelle 2).

Die Öl- und Gasindustrie weigert sich bisher, das bei der Förderung konzentriert anfallende CO₂ zu verpressen, obwohl die Kosten gering sind. Stattdessen, nicht ergänzend, wirbt sie ausgerechnet für CPP-CCS und fordert dafür Subventionen, obwohl sie an der Kohle eigentlich kein Interesse hat. Sie agiert damit hinter einem mehrfachen Schutzschirm. Der zentrale nutzt eine grundsätzliche Differenz klimarechtlicher Art: Die Öl- und Gasindustrie setzt ihre Emissionen vom Staatsgebiet ölfördernder Entwicklungsländer frei – dort unterliegen Emissionen keiner Berichtspflicht unter der *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* und auch keinem Vermeidungsanreiz. Das in Roherdöl und -erdgas mitgeführte CO₂ ist ein prioritäres potenzielles Einsatzgebiet für CCS: Es bietet sich an, dort die noch ausstehende technologische Entwicklung durchzuspielen.

Leistet CPP-CCS einen Beitrag zur Lösung des Klimaproblems?

CPP-CCS hat einen hohen Sockelbetrag an Emissionen

CPP-CCS hat einen erheblichen zusätzlichen Brennstoffbedarf zur Abscheidung von CO₂ aus den Rauchgasen. Die spezifischen CO₂-Emissionen eines (zukünftigen) modernen Steinkohlekraftwerks in Höhe von 680 Gramm CO₂ pro Kilowattstunde werden durch die Nachschaltung von CCS zwar auf 81 Gramm gesenkt, also auf zwölf Prozent des zukünftigen Standes der Technik.⁵ CPP-CCS aber ist äußerst energieaufwendig – zur Produktion derselben Menge an Elektrizität bedarf es eines um bis zu 30 Prozent erhöhten Kohleeinsatzes. Das steigert also zunächst die CO₂-Emissionen am Kraftwerk selbst um 30 Prozent, von denen wiederum 88 Prozent abgeschieden werden können; pro erzeugter Kilowattstunde ergibt sich damit eine Minderung der CO₂-

Emissionen auf 16 Prozent des Wertes ohne nachgeschaltetes CCS. Gleichzeitig muss aber mehr Kohle gefördert werden, was gegebenenfalls mehr Grubengas-, also Methanemissionen impliziert. Methan ist aber 25-mal⁶ so klimawirksam wie CO₂. Im Endeffekt vermeidet also ein CPP-CCS in der Regel nur rund zwei Drittel der durch seinen Betrieb ausgelösten spezifischen THG-Emissionen, behält ein Drittel aber bei.⁷ Dieser hohe Sockelbetrag ist dafür verantwortlich, dass CPP-CCS kein *Beitrag zur Lösung des Klimaproblems* sein kann. Um das nachzuweisen, soll der Terminus *Beitrag zur Lösung des Klimaproblems* nachfolgend streng definiert und quantitativ bestimmt werden.

Was bedeutet *Beitrag zur Lösung des Klimaproblems*?

Die „Lösung des Klimaproblems“ ist politisch definiert – und diese Vorgabe gilt auch für die Wissenschaft. Artikel 2 *UNFCCC* definiert sie als Stopp des anthropogenen Klimawandels. Dieser wird erreicht, wenn die THG-Emissionen von derzeit etwa 50 Gigatonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr⁸ auf das Gleichgewichtsniveau (Steady State) heruntergefahren sind, also die Bilanz von (anthropogener) THG-Zufuhr in die Atmosphäre und (natürlichem) Austrag ausgeglichen ist. Dann kommt die Ursache des anthropogenen Klimawandels, der Anstieg der THG-Konzentration, zum Erliegen. Dieses Gleichgewichtsniveau liegt deutlich unter zehn Gigatonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr. Das Niveau bionaher Emissionen (aus Landnutzungsänderungen, Landwirtschaft oder Abfallbehandlung) liegt bereits heute deutlich oberhalb des Gleichgewichtsniveaus. Sollen mehr als neun Milliarden Menschen, vor allem aus regionaler Landwirtschaft, ernährt

5 Ein modernes Gas- und Dampf-Kraftwerk (ohne CCS) setzt 365 Gramm CO₂ pro Kilowattstunde frei, also knapp 50 Prozent eines modernen Kohlekraftwerks. Bestehende Heizkraftwerke haben mit weniger als 150 Gramm THG pro Kilowattstunde Elektrizität bereits jetzt Emissionswerte, die CPP-CCS ab 2020 erst erreichen will.

6 Neuer wissenschaftlicher Wert nach IPCC (2007 a, Tab. 2.14); der bis Ende 2012 klimarechtlich gültige Wert von 21 ist davon unberührt.

7 Nach WI et al. (2007) für Steinkohle berechnet. Hohe Methanemissionen können vor allem dann entstehen, wenn die Kohle unter Tage abgebaut wird. Beim Steinkohletagebau (vor allem in den USA) sind weniger Methanemissionen zu erwarten: rund 20 Prozent Sockelemissionen (Koorneef et al. 2008). Beim Braunkohletagebau sind aus dem gleichen Grund unbedeutende (direkte) Methanemissionen zu erwarten – dennoch kommen Pehnt und Henkel (2009) auf einen Wert von 14 bis 20 Prozent Sockelemissionen.

8 Nach IPCC (2007 c): 49 Gigatonnen pro Jahr.

werden, so sind bereits damit Emissionen verbunden, die das Gleichgewichtsniveau weitgehend ausschöpfen – und technologische Optionen sind in diesem Bereich kaum in Sicht. Ein Stopp des Klimawandels bedeutet damit, dass die Verbrennung fossiler Kohlenstoffe zu energetischen Zwecken auf null herunterzufahren ist. Das impliziert eine maximale THG-Konzentration, die wiederum eine THG-Minderungstrajektorie impliziert, ein globales Budget zulässiger Restemissionen. Konkret heißt das: **1.** Es dürfen im Jahr 2050 global maximal vier Gigatonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr freigesetzt werden (Emissionen von CO₂ aus fossilen Quellen sowie von CH₄ und N₂O). Das bedeutet für Emissionen von CO₂ aus fossilen Quellen eine Rückführung auf nahe null (WBGU 2009, Abb. 3.2-1). **2.** Die Industriestaaten müssen ihre Emissionen von CO₂ aus fossilen Quellen bis 2050 um 100 Prozent (gegenüber 1990) reduzieren.⁹

Dazu gibt es zwei finanzielle Komplemente. Das positive lautet: Die Atmosphäre im Rahmen des Emissionshandels in Wert zu setzen bringt ein Abschöpfungsvolumen in Höhe von zwei Billionen Euro pro Jahr.¹⁰ Das negative ist: Fossile Bodenschätze haben perspektivisch unter der Erde zu bleiben – und verlieren damit ihren Wert. Das ist eine Kampfansage an die Produzenten dieser Bodenschätze, die daraus heute ein Einkommen in der Größenordnung von etwa vier Billionen Euro pro Jahr generieren.¹¹ Damit es unter der Erde bleibt, ist dieses fossile Vermögen den Produzenten gegebenenfalls auch abzukaufen.

CPP-CCS ist keine Option zum Klimaschutz

Wie zuvor dargestellt, können Kohlekraftwerke mit CCS – im Gleichgewichtszustand, bei dem Nahe-null-Emissionen in der Stromerzeugung Bedingung sind – aufgrund ihrer hohen Sockelemissionen kein Element einer Lösung des Klimaproblems sein. Sie sind kein Element, das, großflächig eingesetzt, Teil einer *low carbon society* sein kann.

Bleibt die Frage, was die hohen Sockelemissionen für den transienten Zustand bedeuten. Anders formuliert: ob CPP-CCS eine Maßnahme zur *Verringerung* der CO₂-Emissionen sein kann. Die übliche Unterstellung ist, CPP-CCS könne ein quantitativ begrenztes und zeitlich befristetes Element auf dem Weg zu einer Lösung des Klimaproblems sein. Damit wird zugestanden, dass CPP-CCS zumindest klimawirksam sei, das heißt, zu niedrigeren THG-Emissionen führe. Allerdings muss man einschränkend qualifizieren: relativ wozu? – will man nicht die Allerweltsaussage zulassen, dass es zu jedem etwas Größeres gebe. Diese Einschränkung besteht in einer Vorstellung von der Zukunft, in der der Steady-State-Zustand mit einem dem 2°C-Ziel entsprechenden Ehrgeiz, also im Jahr 2050, erreicht wird. Will man bei dieser Qualifizierung die gestellte Frage beantworten, muss man Szenarien rechnen, die CPP-CCS in den genannten Kontext rücken. In einer gerade erschienenen Untersuchung wurde das für Deutschland getan (Prognos et al. 2009). Diese Studie vergleicht zwei „Innovations-Szenarien“, die beide in etwa dasselbe Minderungsziel ansteuern (bis 95 Prozent weniger THG relativ zu 1990), gerechnet einmal mit, einmal ohne CPP-CCS. Sie kommt zu dem Ergebnis, dass CPP-CCS nicht zu einer Minderung von

THG-Emissionen führt (Prognos et al. 2009, Tab. 5.3-66). Dieses Ergebnis bietet eine starke Evidenz für die Erwartung, dass CPP-CCS auch rein komparativ betrachtet nicht zu verminderten THG-Emissionen führt – solange man am 2°C-Ziel festhält.

Methodisch betrachtet ist die Pointe der vorstehenden Überlegungen, dass im Steady-State-Fall das entscheidende Kriterium aus einer Eigenschaft von CPP-CCS allein, also isoliert, abgelesen werden konnte. Im komplexeren transienten Fall jedoch reicht es nicht, ein einzelnes Kraftwerk in den Blick zu nehmen; hier müssen größere Ensembles, und diese eingebettet, betrachtet werden – also unter Berücksichtigung der gewählten Systemzuschnitte. Das quantitative Ergebnis ist in seiner Höhe und sogar hinsichtlich des Vorzeichens abhängig von dem gewählten Systemzuschnitt. Und damit ist auch das Urteil zur Klimarelevanz von CCS-Einsatzgebieten – besonders von CPP-CCS – abhängig vom Systemzuschnitt. Dieses Ergebnis verdient verstärkte Aufmerksamkeit.

Ausmaß und Vorzeichen der Klimawirksamkeit bei CPP-CCS

Zuvor wurde gezeigt, dass im Zusammenhang mit der Frage, ob ein Projekt als CDM-Projekt anerkannt werden kann, die „Wirksamkeit“ von CCS auf eine Netto-THG-Bilanz zu beziehen ist und dass diese abhängig sein kann vom Umfang des betrachteten Systems, also von definitorischen Entscheidungen. Auf dieselbe Struktur stößt, wer nach Antworten auf die Frage sucht: Führt die Nachschaltung von CCS hinter einen CO₂-produzierenden (Verbrennungs-)Prozess *global* zu verminderten THG-Emissionen?

Eine methodisch aufschlussreiche Antwort gibt der Ökonom Carl Christian von Weizsäcker (2008). Zentral in seiner Argumentation ist, was er den „extremen Sinn-Effekt“ (von CPP-CCS) nennt. Er bezieht sich dabei auf den Ökonomen Hans-Werner Sinn, der in seinem Buch *Das grüne Paradoxon* (Sinn 2008) den später so bezeichneten „Sinn-Effekt“ beschrieben hat: Die Produzenten fossiler Energieträger sind auf den Absatz ihrer Produkte angewiesen. Geht nun in den Industrieländern die Nachfrage nach Kohle, Erdgas und Öl zurück, weil dort auf politischen Druck etwa vermehrt erneuerbare Energien oder Biosprit eingesetzt werden, dann sinkt der Preis für fossile Rohstoffe. Dadurch werden diese an anderen Orten der Welt erschwinglich und dort umso mehr verbrannt, bis Angebot und Nachfrage wieder ausgeglichen sind. In Sinns Verständnis reduziert also die Förderung erneuerbarer Energien oder der Bau von Kernkraftwerken die CO₂-Emissionen nicht; diese werden nur verlagert.

Sinn hat mit seinem Buch eine Innovation beigesteuert: Er hat für die Bestimmung des Klimaeffekts von Mitigationsmaßnahmen einen Systemzuschnitt gewählt, der über die übliche

>

9 Die Position der EU im Mandat für die Poznan-Verhandlungen (UNFCCC, CoP 14) lautet eigentlich: für Industriestaaten minus 95 Prozent im Jahr 2050 (gegenüber 1990) für sämtliche THG. Da aber die landwirtschaftsbezogenen Emissionen größer null sein müssen, ist das Formulierte die Implikation.

10 Bei 50 Gigatonnen pro Jahr und einem Wert von 40 Euro pro Tonne.

11 Berechnet mit aktuellen Weltmarktpreisen für Öl, Gas und Kohle.

enge technisch-mikroökonomische Perspektive hinausgeht. Er hat die Reaktionen der Anbieter fossiler Brennstoffe auf Maßnahmen der THG-Minderung in den Verbraucherstaaten in die Betrachtung eingeschlossen. Der Effekt einer Pönalisierung des Brennstoffeinsatzes in Abhängigkeit vom Inhalt an fossilem Kohlenstoff mit Hilfe ökonomischer Instrumente ist bei diesem Systemzuschnitt nicht mehr allein ein Effekt gemäß der Preiselastizität der Verbraucher solcher Brennstoffe. Hinzuzunehmen ist die rekursive Wirkung auf die Brennstoffproduzenten, die in ihrem Anspruch auf Renteneinkommen nachlassen werden, um mit ihrem Produkt im Markt zu bleiben und weiterhin Einkommen zu generieren. Damit ist eine Rückkopplungsschleife mit Wirkung auf den Weltmarktpreis einbezogen, auf den dann erst die Preiselastizität der Verbraucher reagiert. Der Sinn-Effekt führt somit zu einer Teilneutralisierung des Effekts, der von Mitigationsmaßnahmen erwartet wird, die mit Kostenbeeinflussung auf Teilmärkten arbeiten, sei es in Form von CO₂-Abgaben, sei es in Form des Emissionshandels. Mangels empirischer Untersuchungen gibt von Weizsäcker die Größenordnung der Veränderung der Klimawirksamkeit von Mitigationsmaßnahmen infolge des Sinn-Effekts mittels eines Gedankenexperiments an: „(...) jede technische Einsparung fossiler Energieträger durch den Einsatz erneuerbarer Energieträger, durch zusätzliche Kernenergie, durch zusätzliche Energieeinsparmaßnahmen, durch Verzicht auf wirtschaftliches Wachstum, hat zur Folge, dass der Nettoeinspareffekt aufgrund des ‚Sinn-Effekts‘ nur halb so groß ist, wie er ohne diesen Effekt wäre“ (von Weizsäcker 2008, S. 67).

Was von Weizsäcker „Nettoeinspareffekt“ nennt, wurde hier als „Klimaeffekt“ oder „Klimawirksamkeit“ bezeichnet. Er kommt also zu dem Schluss, dass die Erweiterung des Systemzuschnitts die bisher in der üblichen engen Marginalansicht bestimmte Klimawirksamkeit von technischen Mitigationsmaßnahmen aller Art – bis auf CPP-CCS – halbiert. Deren Klimawirksamkeit ist zwar weiterhin positiv; es ändert sich lediglich ihr Ausmaß, das aber doch erheblich. Relativ zu dieser Feststellung gewinnt der „extreme Sinn-Effekt“ seine Prägnanz, der bei CPP-CCS (bei von Weizsäcker als „Clean Coal“ bezeichnet) zum Tragen kommt: „Demgegenüber ist die Netto-Wirkung der CO₂-Einsparung bei ‚Clean Coal‘ aufgrund des ‚Sinn-Effekts‘ sogar größer als die anfängliche technische Einsparung. Denn die Sequestrierung von CO₂ bei Kohlekraftwerken kostet ja zusätzliche Energie. Also benötigt man bei ‚Clean Coal‘ mehr Kohle pro Kilowattstunde Strom als ohne die Sequestrierung. Obwohl also mit ‚Clean Coal‘ die CO₂-Emissionen sinken, vermehrt sich durch sie die Nachfrage nach Kohle. Insofern hat diese Art der Einsparung von CO₂-Emissionen im Gegensatz zu den anderen Arten einen preissteigernden Effekt für fossile Energieträger mit der Folge, dass die Nachfrage in den Anwendungsbereichen, in denen keine Sequestrierung stattfindet, zurückgeht. Für eine Tonne sequestrierten CO₂ ergibt sich damit eine Gesamteinsparung von CO₂, die sogar größer ist als eine Tonne. Der Klimaeffekt einer Tonne technisch eingesparten CO₂ durch Sequestrierung ist damit wesentlich größer als der einer technisch eingesparten Tonne CO₂ durch erneuerbare Energien oder durch Kernenergie“ (von Weizsäcker

2008, S. 67). CPP-CCS ist in dieser Sicht nicht nur „klimawirksam“, sie ist sogar „klimawirksam in Potenz“. Das ist das Ergebnis einer Sichtweise im Kalkül des langfristigen ökonomischen Gleichgewichtsdenkens. Doch auch dieses Ergebnis hängt von definitorischen Entscheidungen ab: Von Weizsäcker setzt die Effekte von CO₂ unvorsichtigerweise, wenn auch nur implizit, mit dem Klimaeffekt gleich. CH₄, und damit dessen Klimawirkung, blendet er aus. Die zweite definitorische Entscheidung betrifft das Verständnis des Schlüsselbegriffs „klimawirksam“ oder „Klimaeffekt“. Von Weizsäcker setzt im Marginalkalkül an, er setzt den THG-Effekt von mehr oder weniger Kohlekraftwerken (mit CCS) ins Verhältnis zu mehr oder weniger Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien; denkt das als eine stabile Situation in einer Art dynamischem Steady State. Er bedenkt nicht, dass sich mit dem Ziel, bis 2050 den Ausstieg aus den fossilen Energieträgern erreicht zu haben, die Systemkonfiguration, das Umfeld des Marginalkalküls, ändert. Zuvor aber wurde gezeigt, dass das Ergebnis im Steady State abhängig ist vom Systemumfang, sei er physisch, sei er fachlich spezifiziert. Insofern ist von Weizsäckers Ergebnis eine Vermutung lediglich für den transienten Fall, für eine Übergangszeit.

CCS ist für die Lösung des Klimaproblems unverzichtbar

Das 2°C-Ziel ist ohne CCS-Technologie nicht mehr zu erreichen. Wir befinden uns auf einem Pfad, der mit Overshooting-Szenarios beschrieben wird, auf dem also nur dann noch das 2°C-Ziel erreicht werden kann, wenn eine Zeit lang THG unterhalb des Gleichgewichtsniveaus emittiert werden (IPCC 2007b, Box 13.7). Dafür benötigt wird CCS, das der Energieerzeugung aus Biomasse nachgeschaltet wird: Damit kann der CO₂-Gehalt der Atmosphäre aktiv reduziert werden (*net carbon sequestration*), weil das abgeschiedene CO₂ zuvor von der Biomasse der Atmosphäre entzogen wurde (SRU 2009, Kap. 3.3). Zudem gibt es die Grundstoffindustrie, die sich durch hohe Prozessemissionen auszeichnet und für die Alternativen aus erneuerbaren Quellen nicht in Sicht sind. Zur Standortsicherung für diese Industrien in Deutschland, vor allem in Nordrhein-Westfalen, ist nachgeschaltetes CCS nötig, aber erst gegen Ende des Zeitraums bis 2050. Diese Notwendigkeit droht durch die Konzeption zur CCS-Nutzung im Entwurf des Kohlendioxid-Speicherungsgesetzes (Bundesregierung 2009) durchkreuzt zu werden. Die (knappen) CO₂-Einlagerungspotenziale sollen nämlich im Windhundverfahren an die CPP-CCS-Interessenten vergeben werden, und das auch noch gegen alle Regeln kostenlos – dass es sich hier ebenfalls um eine knappe Naturressource handelt, die nicht an derzeitige Interessenten verschenkt werden darf, scheinen die Autor(inn)en dieses Konzepts nicht gesehen zu haben (SRU 2009, Kap. 3.4). Die erst später kommenden Interessen der nordrhein-westfälischen Grundstoffindustrie können damit nicht zur Geltung gebracht werden – ein intertemporaler Konflikt, der nur in einer 2°C-Ziel-Perspektive durchsichtig wird.

Fazit

Differenziert man CCS nach potenziellen Einsatzgebieten, wird es möglich, von der Kohlekraftwerksfixiertheit der Debatte um CCS Abstand zu gewinnen. Es zeigt sich, dass CCS zur Lösung des Klimaproblems erforderlich ist – jedoch nicht als Kohlekraftwerken nachgeschaltete Technologie. Zur Entwicklung der CCS-Technologie bedarf es keines CPP-CCS – und darüber hinaus erbringt man zusätzliche Mitigationsleistungen, wenn man dafür bislang ungenutzte CO₂-Ströme verwendet. Die Schlüsselbegriffe der (kraftwerksfixierten) Debatte um CCS sind quantitativ so präzise bestimmbar, dass sich ergibt: **1.** CPP-CCS induziert – vor allem wegen des hohen Energieaufwands zur Abscheidung – hohe Klimalasten. Es ist daher kein möglicher Beitrag zur Lösung des Klimaproblems. **2.** Die Klimawirksamkeit von CPP-CCS ist im transienten Zustand eher als neutral einzuschätzen, wenigstens sofern man einen dem 2°C-Ziel entsprechenden ambitionierten CO₂-Minderungspfad verfolgt.

In energiepolitischer Würdigung ergibt sich als Komplement: Strategisch entscheidend dürfte die Drohung sein, dass mit CPP-CCS die Kohle einen Absatzmarkt in der Stromerzeugung behält. Damit entfaltet sie eine systemische Konkurrenz zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen, die das Erreichen des stationären Zustands des Klimasystems gefährlich hinauszuzögern vermag. Möglich bis wahrscheinlich ist das, weil mit der geplanten CCS-Gesetzgebung CPP-CCS wegen der Zeitverzögerungsstruktur des Speichervorgangs einen unfairen Wettbewerbsvorteil gegenüber der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erhält: Der Kraftwerksinvestor kann das Risiko, dass ein Teil des eingepressten CO₂ im Untergrund migriert und nach Jahrzehnten an der Erdoberfläche austritt, aus seinem Kalkül ausblenden – wegen der Diskontierung.¹² Dieser unfairen und gefährlichen Konkurrenzierung ist durch die Einsicht, dass ein Verzicht auf CPP-CCS ein Beitrag zum Klimaschutz ist, das Motiv genommen.

Literatur

- Bode, S. 2009. CO₂-Abscheidung und -Lagerung im Rahmen des Clean Development Mechanism: Chancen und Risiken. *GAIA* 18/4: 300–306.
- Bundesregierung. 2009. *Gesetzentwurf der Bundesregierung „Gesetz zur Regelung von Abscheidung, Transport und dauerhafter Speicherung von Kohlendioxid“*. Bundestagsdrucksache 16/12782 vom 27.04.2009. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/127/1612782.pdf> (abgerufen 11.11.2009).
- De Coninck, H. 2007. The (approximate) potential of CCS in the CDM. Präsentation beim SBSTA Side Event am Wuppertal Institut. Wuppertal, 15. Mai.
- Donnermeyer, M. 2009. Gegen vorschnelle Gewissheiten – Ein Plädoyer für Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS) als Option zum Klimaschutz. *GAIA* 18/3: 208–210.

- Grünwald, R. 2009. CO₂-Abscheidung und -Lagerung im Überblick. Technik, Potenziale, Risiken, Kosten und Regulierung. *GAIA* 18/3: 211–220.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007a. *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Herausgegeben von S. Solomon et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- IPCC. 2007b. *Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Herausgegeben von B. Metz et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- IPCC. 2007c. *Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Herausgegeben von R. K. Pachauri, A. Reisinger. Genf: IPCC.
- Koornneef, J., T. van Keulen, A. Faaij, W. Turkenburg. 2008. Life cycle assessment of a pulverized coal power plant with post-combustion capture, transport and storage of CO₂. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 2: 448–467.
- Luhmann, H.-J. 2008. CCS: Ein Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels – oder zu dessen Steigerung? *Zeitschrift für Umweltpolitik & Umweltrecht* 31: 141–154.
- Peht, M., J. Henkel. 2009. Life cycle assessment of carbon dioxide capture and storage from lignite power plants. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 3: 49–66.
- Prognos AG, Öko-Institut, H.-J. Ziesing. 2009. *Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken*. Frankfurt am Main: WWF Deutschland.
- Sinn, H.-W. 2008. *Das grüne Paradoxon – Plädoyer für eine illusionsfreie Klimapolitik*. Berlin: econ.
- Smid, K. 2009. Carbon Dioxide Capture and Storage – eine Fata Morgana. *GAIA* 18/3: 205–207.
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen). 2009. *Abscheidung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid. Der Gesetzentwurf der Bundesregierung im Kontext der Energie-debatte*. Stellungnahme 13. Berlin: SRU.
- UBA (Umweltbundesamt). 2009. *CCS – Rahmenbedingungen des Umweltschutzes für eine sich entwickelnde Technik*. Berlin: UBA.
- von Weizsäcker, C. C. 2008. Internationale Energiepolitik. In: *Die Zukunft der Energie. Die Antwort der Wissenschaft. Ein Report der Max-Planck-Gesellschaft*. Herausgegeben von P. Gruss, F. Schüth. München: C. H. Beck. 49–70.
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen). 2009. *Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz*. Sondergutachten. Berlin: WBGU.
- WI, DLR, ZSW, PIK (Wuppertal Institut, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung). 2007. *RECCS – Strukturell-ökonomisch-ökologischer Vergleich regenerativer Energietechnologien (RE) mit Carbon Capture and Storage (CCS)*. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU. www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/38826.php (abgerufen 12.11.2009).

Eingegangen am 17. März 2009; überarbeitete Fassung angenommen am 5. November 2009.

Hans-Jochen Luhmann

Geboren 1946 in Hamburg. 1968 bis 1973 Studium der Mathematik, Volkswirtschaftslehre und Philosophie. Nach Tätigkeit in der Industrie seit 1994 am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, derzeit als Projektleiter in der Forschungsgruppe „Zukünftige Energie- und Mobilitätsstrukturen“. Mitherausgeber von *GAIA* und Chefredakteur des *Wuppertal Bulletins zu Instrumenten des Klima- und Umweltschutzes*. Beiratsmitglied der Vereinigung Deutscher Wissenschaftler. Tätig in den Feldern Klima- und Energiepolitik, Risikopolitik und Wissenschaftspolitik.



¹² Wie das zu vermeiden wäre, ist in UBA (2009, S. 11) formuliert: „Im Falle ‚verdrängter Treibhausgase‘ müsste der Verursacher diese äquivalenten Treibhausgasemissionsfrachten als Abgabepflicht von Zertifikaten (so genannte Emissionsberechtigungen) gegen sich gelten lassen.“