



Zusammen- fassung

CO₂-Abtrennung und -Verwendung:

Bewertung von Chancen und Risiken aus der Sicht des Landes Nordrhein-Westfalen

Forschungsvorhaben im Auftrag des
NRW-Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Energie (MWME)

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH
im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen

Mit Unterstützung des Geologischen Dienstes NRW und der Bundes-
anstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR

Projektleitung:

Dr.-Ing. Manfred Fishedick
Döppersberg 19
42103 Wuppertal

Tel.: 0202 / 2492-252

Fax: 0202 / 2492-198

E-Mail: Manfred.Fishedick@wupperinst.org

Bearbeitung WI:

Dipl.-Umweltwiss. Andrea Esken
Dipl.-Ing. Dietmar Schüwer
Dipl.-Biol. MSc Umwelttechnik Nikolaus Supersberger

Bearbeitung GD:

Dipl.-Geol. Dr. Dierk Juch
Dipl.-Geowiss. Stefan Knopf

Wuppertal,
14. August 2006

Einleitung

Gegenstand des Forschungsauftrages „CO₂-Abtrennung und –Verwendung: Bewertung von Chancen und Risiken aus Sicht des Landes Nordrhein-Westfalen“ war es einerseits aufzuzeigen, welche Möglichkeiten der CO₂- Abtrennung und –Verwendung für das Land NRW bestehen und andererseits daraus resultierende energiewirtschaftliche und industriepolitische Chancen zu identifizieren und zu diskutieren.

Da die Höhe und geografische Verteilung sowie Qualität verfügbarer CO₂-Speichermöglichkeiten einen maßgeblichen Einfluss auf die Realisierung einer CO₂-Infrastruktur und das energiewirtschaftliche Potential haben, wurde ergänzend zum ursprünglichen Auftrag eine spezifische Abschätzung der Speicherpotenziale in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und dem Geologischen Dienst NRW durchgeführt.

Die Ergebnisse der Studie werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt.

Treibende Kräfte für CO₂-Abtrennung und Speicherung

Die Entwicklung von Technologien zur Abtrennung, zum Transport sowie zur Speicherung von CO₂ wird von verschiedenen Seiten gefördert bzw. erhält durch unterschiedlichste Ansätze Unterstützung. Zu diesen gehören:

- der Globale Treiber Klimaschutz: CCS, so die Erwartung, könnte den Handlungsspielraum deutlich vergrößern – eine Brückenfunktion darstellen - und so den Entwicklungsdruck auf den Regenerativ/Energieeffizienz-Pfad reduzieren. Zu den Befürwortern von CCS gehören auch jene Staaten, die bisher im internationalen Klimaschutzprozess eine eher ablehnende Rolle einnehmen (USA).
- die Herstellung von Energiesicherheit unter Klimaschutzaspekten: die Nutzung heimischer Energieträger gewinnt unter Gesichtspunkten der Energiesicherheit zunehmend an Bedeutung. Da zahlreiche Staaten eigene Kohlevorkommen besitzen und diese verstärkt zu nutzen beabsichtigen, können Klimaschutzziele unter diesen Bedingungen nur erreicht werden, wenn es zur Einführung von CCS kommt.
- das technologische Innovationspotenzial: Die Entwicklung neuer Technologien erleichtert zum Teil die Abtrennung von CO₂ aus dem Kraftwerksprozess (z.B. IGCC= integrierte Kohlevergasung). Die anschließende Speicherung wird als eine konsequente Fortführung des Prozesses im Sinne des Klimaschutzes betrachtet. Vergleichbar ist die Kompatibilität mit einer kohlebasierten Wasserstoffenergiewirtschaft (Polygeneration von Strom, Wärme, Synthesegasen und Wasserstoff) zu sehen. Aufgrund der gestiegenen internationalen Öl- und Gaspreise findet diese Entwicklungslinie zunehmend Beachtung.
- der wirtschaftliche Treiber CO₂-Steuer: In mehreren Staaten existiert eine CO₂-Steuer, z.B. in Dänemark und Norwegen (40 US\$/tCO₂). Dies war für die norwegische Ölgesellschaft Statoil der maßgebliche Grund, das weltweit bislang größte CO₂-Speicherungsprojekt zu initiieren und jährlich ca. 1 Million Tonnen CO₂, die bei der Förderung von Erdgas anfallen, in eine geologische Formation einzuspeichern.

- die industriepolitischen Chancen für die Anlagenbauer: Zahlreiche Zulieferer und Anlagenbauer sehen in der großmaßstäblichen Einführung von CO₂-Abtrennungsverfahren große wirtschaftliche Chancen, nicht nur zusätzliche Komponenten im Kontext mit dem Bau von fossilen Kraftwerken abzusetzen, sondern auch den Markt für Großkraftwerke insgesamt aufrecht zu erhalten. Der hohe Anteil hochwertiger (High-Tech-)Komponenten in Kohlekraftwerksprozessen mit CO₂-Abscheidung bedeutet zudem entsprechend hohe Wertschöpfungsanteile beim Export der Technologien in weniger industrialisierte Länder.
- die industriepolitischen Chancen für die Öl- und Gasproduzenten: Für die Öl- und Gasindustrie ergeben sich aus der CO₂-Rückhaltung zusätzliche Geschäftsmöglichkeiten und ökonomische Vorteile. CO₂ wird heute zum Teil bereits in Ölquellen eingepumpt, um die Ausbeute zu erhöhen. Begünstigt wird dies u.a. durch nationale CO₂-Steuern (s. oben). Zahlreiche leer geförderte Öl- und Gasquellen könnten zu potentiellen CO₂-Speicherstätten werden, wodurch sich weitere Verdienstmöglichkeiten eröffnen würden.

Haltung relevanter Gruppen zum Thema CO₂-Abtrennung und -Speicherung

Die Einschätzung von CCS steht unter dem Vorbehalt, dass es sich bisher um eine vornehmlich in Fachkreisen bekannte Technologie handelt. Insofern beschränken sich die Aussagen zu CCS im Wesentlichen auf die Gruppe der Multiplikatoren.

Die deutschen NRO stehen der Speicherung von CO₂ im internationalen Vergleich generell eher skeptisch gegenüber, haben aber keine geschlossene Position. Für sämtliche deutsche NRO hat der Ausbau von erneuerbaren Energien und die rationelle Energienutzung Vorrang. Damit verbunden ist die Befürchtung, dass die Förderung der CCS-Forschung zu Lasten der Förderung und Umsetzung erneuerbarer Energien und der Energieeffizienz gehen könnte.

Die Nicht-Regierungsorganisationen (NRO) international und in Deutschland zeigen dahingehend eine übereinstimmende Haltung dass, die Speicherung von CO₂ in sensiblen Ökosystemen – namentlich Ozeane – abgelehnt wird.

Der **Nachhaltigkeitsrat** der Bundesregierung bewertet CCS als eine mögliche wichtige Brücke „ins Zeitalter der regenerativen Energieversorgung“, er stellt CCS als Forschungsfeld neben erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Materialeffizienz.

Der **Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung** (WBGU) hat dezidiert Stellung zur Speicherung von Kohlendioxid bezogen. Als Speicheroptionen abgelehnt werden die Einbringung in die Ozeane (ökologische Bedenken), terrestrische Senken (Aufforstung, mangelnde Erweiterbarkeit). Saline Aquifere werden als Speicher akzeptiert unter der Voraussetzung der Gewährleistung von Sicherheit und Langfristigkeit, welche noch nachzuweisen ist. Als Speicherdauer setzt der WBGU einen Zeitraum von mehr als eintausend Jahre an. Ausgeförderte Öl- und Gasfelder sowie Salzkavernen wären vorübergehend nutzbar, allerdings nur, wenn die genannte Rückhaltezeit gewährleistet werden kann.

Der **Sachverständigenrat für Umweltfragen** beurteilt die Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid als möglicherweise zu teuer im Vergleich mit anderen Vermeidungsoptio-

nen. Für den anstehenden Aus- und Neubau des Kraftwerksparks komme diese Technik zu spät.

Bisher haben sich nur wenige Industrieverbände in Positionspapieren zur CO₂-Speicherung geäußert. Zu diesen gehören der Braunkohleverband **DEBRIV**, der die Abtrennung und Speicherung von CO₂ befürwortet, sowie der Gesamtverband des Deutschen Steinkohlenbergbaus **GVSt** und der Verein Deutscher Ingenieure **VDI**. GVSt und VDI plädieren für eine Klärung dieser „Langfristoption“, treten jedoch prioritär für eine maximale Steigerung der Wirkungsgrade des Kraftwerksprozesses als Beitrag zum Klimaschutz ein.

Kurzanalyse über bestehende Aktivitäten und Projekte

Sowohl in Deutschland als auch international wurden und werden zahlreiche Projekte im Bereich der CO₂-Abtrennung und –Speicherung durchgeführt. Hierzu zählen z. B. das vom BMWi initiierte Technologie-Forschungskonzept COORETEC sowie das vom BMBF geförderte Forschungs- und Entwicklungsprogramm GEOTECHNOLOGIEN. Darüber hinaus existieren internationale Netzwerke und Initiativen wie das Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) sowie verschiedenste nationale Politikstrategien, z. B. „Carbon Sequestration Technology Roadmap and Program Plan“ der USA. Im Rahmen des 6. EU-Forschungsrahmenprogrammes stellte CCS (Carbon Capture and Storage) einen der wesentlichen Schwerpunkte dar.

Ein detaillierter Überblick über eine sehr große Zahl von Projekten findet sich auf der Internetseite der internationalen Energieagentur (IEA) unter: www.co2captureandstorage.info/index.htm. CCS kommt aber nicht nur im Bereich der Forschung zum Tragen, sondern wird bereits heute kommerziell betrieben: z. B. auf dem nordamerikanischen Kontinent (Weyburn-Ölfeld/Kanada – hier dient CO₂ zur Steigerung der Ölausbeute mittels des Enhanced Oil Recovery, EOR¹) sowie in Europa (Sleipner-Gasfeld/Norwegen – das aus dem Gasfeld mitgeförderte CO₂ wird in ein Aquifer eingespeichert, um die in Norwegen erhobene CO₂-Steuer einzusparen). Weitere Speicherprojekte befinden sich in Planung, wie das von BP initiierte Projekt in Peterhead/Schottland (hier soll Erdgas in Wasserstoff und CO₂ reformiert werden, H₂ würde zur Stromerzeugung und das CO₂ zwecks EOR im Miller-Ölfeld genutzt).

Im internationalen Vergleich liegt Nordamerika an erster Stelle derjenigen Wirtschaftsregionen, die sich mit dem Forschungsthema CCS beschäftigen gefolgt von Europa und Asien. Damit sind im Wesentlichen und aus nahe liegenden Gründen die Regionen in der Erforschung von CCS aktiv, die einerseits über die größte Dichte an CO₂-Punktquellen verfügen und andererseits hohe Kohleanteile an der Verstromung aufweisen.

Das Bundesministerium für Wirtschaft unterstützt die Abtrennung und Speicherung von Kohlendioxid mit dem Forschungsprogramm **COORETEC**. Dieses breit angelegte, technisch orientierte Forschungsprogramm soll die Grundlage dafür schaffen, den anstehenden Ersatz- und Neubaubedarf im fossilen Kraftwerkssektor auf hohem technischem Niveau durchführen zu können und zusätzlich langfristige Impulse zu setzen.

¹ Enhanced Oil/Gas Recovery ist ein Verfahren, bei dem zur Steigerung der Öl-/Gasausbeute CO₂ in die Bohrlöcher gepresst wird.

Da trotz bereits zahlreicher Forschungsansätze noch viele Fragen hinsichtlich einer sicheren, langfristig stabilen, sozialverträglichen sowie ökologisch und ökonomisch vertretbaren CCS-Anwendung offen sind, wird derzeit im Auftrag des **Bundesumweltministeriums (BMU)** eine gesamt-systematische Betrachtung (inkl. Ökobilanz), eine Analyse möglicher energiewirtschaftlicher Wechselwirkungen sowie ein Vergleich mit anderen CO₂-Minderungsmaßnahmen vorgenommen (RECCS-Projekt, Laufzeit bis Ende 2006).

Forschungslandschaft NRW im Themenbereich Kraftwerke, innovative Kohlenutzung und CCS

Um den Stand bzw. die Themen der Energieforschung in NRW zu dokumentieren, fanden zwei Akteursbefragungen statt. Die erste Befragung wurde Ende 2004 unter Teilnahme von 132 Forschungseinrichtungen, Instituten und Unternehmen des Landes durchgeführt. Innerhalb dieser Befragung wurden u.a. auch Akteure, die sich mit dem Thema CCS beschäftigen, identifiziert.

In der zweiten Befragung wurden ausschließlich CCS-Akteure angeschrieben und CCS-spezifische Detailfragen zur Art der Forschung und zu Meinungen der Institutionen zu dem Thema gestellt. An dieser Befragung haben 20 Institutionen teilgenommen.

Auf Basis beider Befragungen wurden jeweils Akteurslandkarten entwickelt, die im Folgenden dargestellt sind.

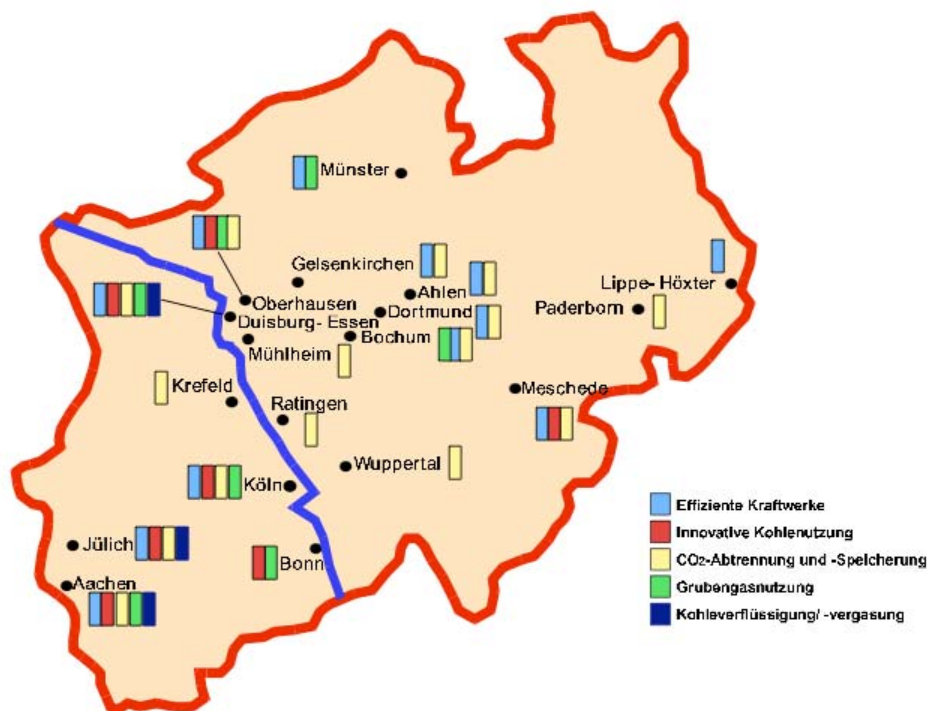


Abb. 1 NRW-Standortkarte mit Akteuren aus den Forschungsbereichen Effiziente Kraftwerke und Innovative Kohlenutzung inkl. CCS (allgemeine Befragung 2004)

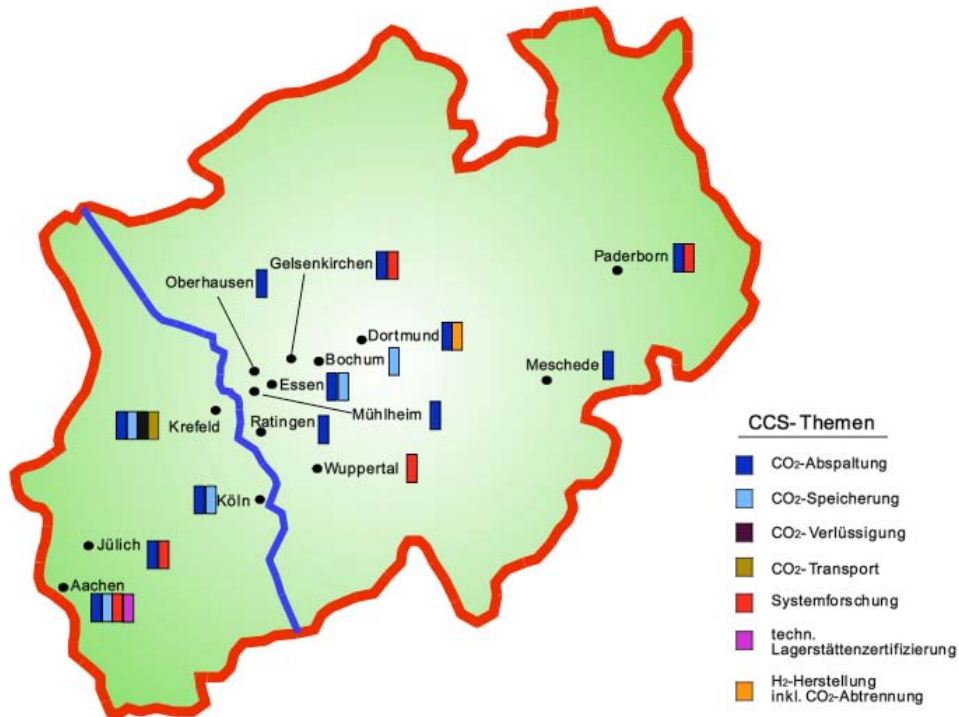


Abb. 2 NRW-Standortkarte mit Akteuren aus dem Forschungsbereich CCS mit Angabe der Themenschwerpunkte (CCS-Befragung 2005)

In einem weiteren Schritt wurde ein zweiseitiger Fragebogen entwickelt, um mit dessen Hilfe bei ausgewählten Akteuren eine detailliertere Befragung zu den genauen Forschungszielen, -ansätzen und -technologien (z.B. Membrantechnologien, Speicherverfahren etc.) vornehmen zu können. Der Fragebogen richtete sich an die Zielgruppen Unternehmen (Hersteller, Lieferanten, Dienstleister, Betreiber, Energieversorger), Wissenschaftliche Institute / Hochschulen und Fachhochschulen. In dem inhaltlich zweigliedrig angelegten Fragebogen wurden sowohl Fragen zur Institution selbst und zur Art der Forschung gestellt als auch Meinungen der Akteure zum Thema CCS eingeholt (s. beispielhaft die Beantwortung der Fragen 4 und 7 in nachfolgender Abbildung).

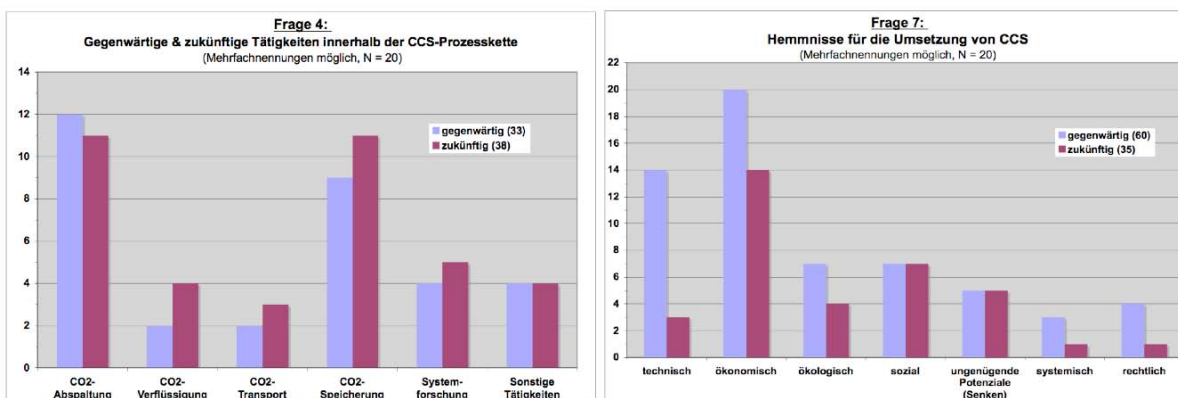


Abb. 3 Beispielgrafiken aus der Auswertung der Fragebogenaktion (links: Themenfelder der gegenwärtigen und der zukünftigen CCS-Forschung; rechts: Wahrnehmung der Hemmnisse zur CCS-Einführung aus Sicht der Akteure)

Zusammenfassend kann aus der Befragung abgeleitet werden, dass

- CCS noch ein relativ junges Forschungsfeld ist (verstärkte Forschungsintensitäten seit etwa 2002),
- es dennoch bereits eine kritische Masse an Forschungseinrichtungen in NRW gibt, die sich mit dem Thema CCS auseinandersetzen,
- durch zahlreiche Projekte eine hinreichende Breite abgedeckt wird,
- Institutionen zukünftig mehr Personal im Bereich CCS einplanen,
- Schwerpunkte in den Teilbereichen CO₂-Abspaltung und CO₂-Speicherung liegen,
- von den Institutionen noch eine Vielzahl von Hemmnissen (technischer, ökonomischer, ökologischer und sozialer Art) für die Umsetzung von CCS gesehen werden,
- die Erforschung von technischen Details ebenso wie die Frage nach der Akzeptanz in der Bevölkerung von vielen Institutionen als besonders wichtig eingestuft werden,
- der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Koordination des „Kompetenz-Netzwerk Kraftwerkstechnik NRW“ bei der Weiterentwicklung von CCS eine hohe Bedeutung beigemessen wird.

Punktquellen in NRW

Der Hauptemittent von CO₂ ist in NRW die Energiewirtschaft. Hierzu zählen die Branchen Öffentliche Strom- und Wärmeerzeugung, Energieerzeugung in Raffineriebetrieben sowie Produktionsstätten fester Brennstoffe.

Daneben gibt es weitere Branchen, die entweder zur Erzeugung der eigenen Energie oder **prozessbedingt hohe CO₂-Emissionen** verursachen. Dazu gehören in NRW folgende Betriebe: Zementherstellung, Kalk-/Dolomit-Herstellung und –Verarbeitung, Glasherstellung, Ammoniakproduktion („Chemische Produktion“), Aluminiumproduktion.

Betrachtet man lediglich diejenigen Punktquellen mit einem **jährlichen CO₂-Ausstoß oberhalb von 1 Mio. Tonnen** (1 Mt), so ergeben sich für NRW folgende Mengen (Stand 2001):

- Verbrennungsanlagen > 50 MW (145 Mt/a)
- Mineralöl- und Gasraffinerien (6 Mt/a)
- Metallindustrie, Röst- und Sinteranlagen, Metallgewinnung (17,6 Mt/a)
- Herstellung von Zementklinker, Glas u.a. (3,3 Mt/a)
- Anorganische chem. Grundstoffe oder Düngemittel (5 Mt/a)

In der Summe werden somit allein aus den großen Anlagen (> 1 Mt/a) in NRW insgesamt **177,4 Mt/a CO₂** emittiert. Die in NRW ansässigen energieintensiven Branchen sowie Industriezweige stellen mit ihren hohen prozessbedingten CO₂-Emissionen damit nicht zu unterschätzende Punktquellen dar, die in die weitere Entwicklung von CO₂-Rückhaltung und –Speicherung eingebunden werden können. Z. T. liegen günstige Bedingungen vor (hohe CO₂-Anteile im Rauchgas), die sich aufgrund der damit verbundenen geringeren Kosten bei der CO₂-Abscheidung besonders für den Einstieg in CCS eignen und auch als Kristallisationskeime für den Aufbau einer CO₂-Infrastruktur geeignet sein könnten.

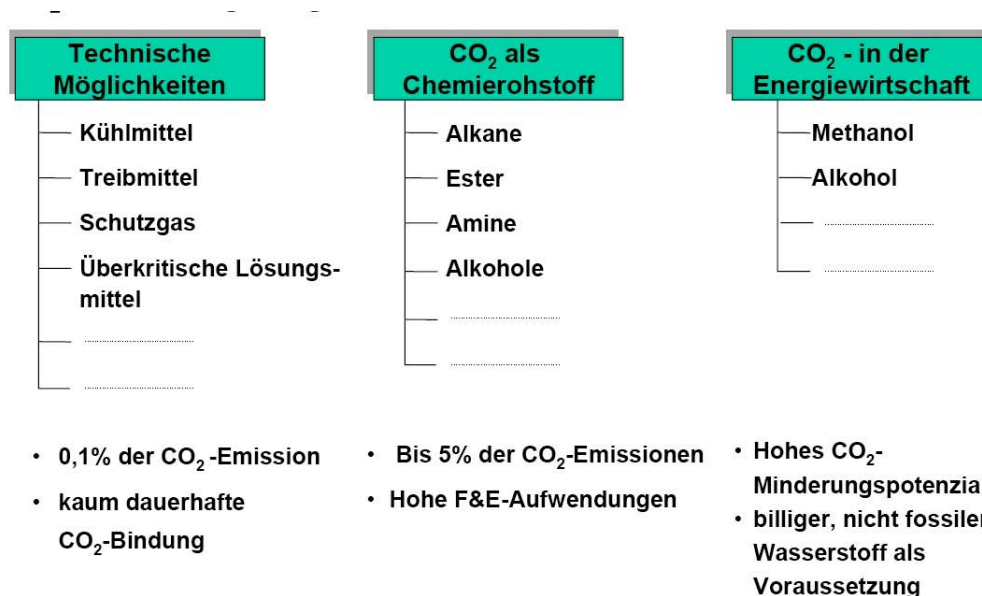
Um kostengünstige Einstiegsstrategien in die CCS-Technologie in NRW zu entwickeln, wäre eine genaue Lokalisierung und Auswahl von hochkonzentrierten CO₂-Quellen mit einem

jährlichen Mindestoutput (z.B. oberhalb von 0,1 Mt/a) im Land notwendig. Diese Quellen müssten mit geeigneten CO₂-Senken in Verbindung gebracht werden.

Mögliche industrielle Anwendungen für CO₂

Parallel zu dem Ansatz, durch Speicherung in geologischen Formationen CO₂ für lange Zeit der Atmosphäre zu entziehen, wird die Möglichkeit der industriellen CO₂-Verwendung diskutiert. Kohlendioxid wird bereits seit geraumer Zeit in vielfältigen industriellen und gewerblichen Anwendungen genutzt. Das daraus abzuleitende CO₂-Minderungspotenzial ist jedoch, bezogen auf die z.B. bei der Verstromung freigesetzten Mengen, fast vernachlässigbar klein und wird auch für die Zukunft als sehr gering angesehen. Durch eine konsequente und durch Anstrengungen in Forschung und Entwicklung unterstützte Umstellung in der **chemischen Industrie** wird eine Ausweitung der Verwertungsquote auf maximal 5 % für möglich gehalten. Lt. Schätzungen des IPCC beträgt gegenwärtig die gesamte großindustrielle Nutzung von CO₂ weltweit ca. 104 Mt/a, dies entspricht weniger als 0,5 % der derzeitigen globalen anthropogenen CO₂-Emissionen von rund 24.000 Mt. Darüber hinaus besteht die Problematik, dass das CO₂ auf diese Weise nicht dauerhaft gebunden, sondern in der Regel nach relativ kurzer Zeit wieder in die Atmosphäre entlassen wird². Signifikante Anwendungsmöglichkeiten (insbesondere im Verkehr) bestehen grundsätzlich in der Methanolsynthese. Für die Bilanzierung des damit verbundenen CO₂-Netto-Minderungspotenzials ist die gesamte Systemkette bei der Verwendung von CO₂ zu betrachten. Bei der Methanolsynthese fällt diese nur dann positiv aus, wenn für die Herstellung nicht-fossiler Wasserstoff zur Verfügung steht, wodurch das kurz- bis mittelfristig realisierbare Potenzial deutlich einschränkt wird.

In der folgenden Grafik sind die CO₂-Verwertungsmöglichkeiten und ihre geschätzten Potenziale zusammenfassend dargestellt:



² Die Abschätzung der Lebensspanne reicht von einigen Tagen (bei technischer Verwendung) über einige Monate (z.B. bei der Harnstoffsynthese) bis hin zu einigen Jahren (ebenfalls technische Verwendung) und Jahrzehnten (Karbonat- und Polyurethan-Herstellung).

Abb. 4 Auflistung der technischen, chemischen und energiewirtschaftlichen CO₂-Verwertungsmöglichkeiten [Plass 2002]

Aus klimapolitischen Gründen erscheint es sinnvoll

- gegenwärtig genutzte natürliche CO₂-Quellen durch aus Produktions- oder Stromerzeugungsprozessen abgeschiedenes CO₂ zu ersetzen,
- trotz der begrenzten Potenziale den Ausbau der technischen und chemischen Nutzung von CO₂ voranzutreiben, sofern eine Netto-CO₂-Minderung über die gesamte Prozesskette nachgewiesen werden kann,
- sich perspektivisch mit der CO₂-basierten Brennstoffsynthese³ weiter auseinanderzusetzen.

Potentielle CO₂-Speicheroptionen in NRW und Grenzgebieten

Im Bereich der geologischen Speicherkapazität ergab die durchgeführte Untersuchung (Fokussierung auf Aquiferstrukturen) zusammenfassend eine Gesamtspeicherkapazität zwischen 400 und 1650 Mio t CO₂. Zwei Drittel dieser Kapazitäten liegen zudem im Weserbergland nahe der Landesgrenze zu Niedersachsen und damit nicht in direkter Nähe der Kraftwerksschwerpunkte. Insgesamt beträgt der Anteil von NRW somit am Speicherpotenzial in Deutschland weniger als 5 %, was im Verhältnis zu dem Anteil von mehr als 40 % an den Punktquellen zu sehen ist.

Dies bedeutet für die Akteure in NRW, dass bei einer großtechnischen Umsetzung von CCS Kooperationen über die Grenzen des Landes hinweg notwendig werden, wenn die Abtrennung und Speicherung von CO₂ aus den Kraftwerken in NRW durchgeführt werden soll.

Eine detaillierte Bewertung der potenziellen Speicher hinsichtlich ihrer Eignung als CO₂-Speicher konnte auf Grund des lückenhaften Kenntnisstandes jedoch bisher nicht erfolgen.

Technologietransfer und Erschließung von CCS-Märkten

Aufgrund des verfügbaren technologischen Know-hows des Landes sind die industriepolitischen Möglichkeiten interessant zu analysieren.

Voraussetzungen und Anforderungen von Technologietransfer

Für den Transfer von Technologien zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ in andere Länder gelten ähnliche Hindernisse, Risiken und Chancen wie für andere Technologien. Zu diesen gehören auch der Umgang mit geistigem Eigentum und Patentschutz sowie vor allem ökonomische Aspekte. Da Technologien zum Schutz des Erdklimas zunehmend von globalem Interesse sind, spielen auch Fragen der „Verantwortung gegenüber der internationalen Staatengemeinschaft“ eine wichtige, bisher aber noch nicht ausreichend thematisierte Rolle⁴. Außerdem stellt sich die Frage nach der Beherrschbarkeit exportierter (bzw. aus Anwender-

³ Forschungen zu diesem Themenfeld (thermochemische H₂-Synthese und solarchemische Methanreformierung) werden in NRW u.a. von der DLR in Köln betrieben.

⁴ Der Technologietransfer im Bereich umweltverträglicher Technologien wird im Vertragsrahmenwerk der internationalen Staatengemeinschaft ausdrücklich begrüßt und befördert. Dies gilt auch für CCS, wie in der Erklärung von COP-7 festgehalten (UNFCCC 2001) wurde.

sicht importierter) Technologien unter veränderten Voraussetzungen (z.B. das Fehlen von Infrastruktur für die Versorgung mit Ersatzteilen in weniger entwickelten Ländern).

NRW als Exporteur von CCS-Technologien

Für das Land NRW kann CCS mit Blick auf den internationalen Austausch in zweifacher Weise Relevanz erlangen: aufgrund der hohen Punktemissionen und dem daraus resultierenden Druck, diese Emissionen zu reduzieren, könnten Akteure aus NRW nach Speichern außerhalb des eigenen Bundeslandes suchen. Aufgrund begrenzter eigener CO₂-Speichermöglichkeiten kann entweder mit norddeutschen Bundesländern kooperiert oder gleich der Schritt über die Landesgrenze gemacht werden, um Speicher z.B. in den Niederlanden oder in anderen angrenzenden Ländern zu nutzen. Die zweite Option, die sich für NRW anbietet, ist die Nutzung des CCS-Technologiestranges als Ansatz, seinen Anlagen-Export zu erweitern, sprich sich als Anbieter entsprechender Kraftwerkskomponenten zu etablieren.

Das für CCS zentrale Kriterium ist der Klimaschutz. Für NRW interessante Staaten sind daher vor allem solche, die freiwillige Verpflichtungen zur Reduktion von CO₂-Emissionen eingegangen sind.

Von zusätzlicher Bedeutung ist der anstehende Kraftwerksneubaubedarf in den folgenden Jahren in diesen Ländern, vor allem aber nach 2020, wenn nach einhelliger Expertenmeinung die technischen Voraussetzungen für eine CCS-Infrastruktur frühestens gegeben sein sollten.

Relevant für einen potenziellen Exporterfolg des Landes NRW ist auch die im Zielland heimische Industrie, die eventuell selbst benötigte Technologien bereitstellen kann und somit als Mitbewerber auftreten würde.

Ein weiterführender Forschungsaspekt ist vor diesem Hintergrund die Untersuchung der Akteurslandschaft NRWs nach folgenden Kriterien:

- Akteure, die im konventionellen Kraftwerksbau tätig sind und Anbieter von CCS-Technologien werden könnten sowie deren Zulieferer,
- Akteure, die in Industriezweigen tätig sind, die eine „Verwandtschaft“ zu CCS aufweisen, z.B. Hersteller von chemischen Messgeräten (im Bereich CCS gefragt bei der Leckageüberwachung), Gasindustrie, Leitungsbauer etc..
- Regionale Vermarktungsstrukturen der Akteure und deren Schnittmenge mit potentiellen CCS-Märkten,
- Erschließbarkeit von CCS-Märkten durch Ausschöpfen internationalen Klimaschutzmechanismen (CDM, JI) und Voraussetzungen dafür.

Fazit und weiterführende Forschungsfragen

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde eine erste Grundlage für die Bewertung der Chancen und Grenzen der CO₂-Abtrennung und –Speicherung speziell aus der Sicht des Landes NRW geschaffen. Demnach zeigt sich, dass das Thema CCS für das Energie- und Kohleland NRW von energiewirtschaftlicher und klimapolitischer Bedeutung ist. Dies ergibt sich aufgrund der breiten Palette an verfügbarem Know-how, zudem aus forschungs- und industriepolitischer Sichtweise und eröffnet potenzielle Exportchancen für die Zukunft. Potenzial-

seitig sind die Möglichkeiten der Speicherung von CO₂ in NRW selber begrenzt, so dass für die Akteure Kooperationen über die Grenzen des Landes hinweg notwendig würden. Vor diesem Hintergrund lohnt es sich, in weitergehenden Untersuchungen folgenden Fragestellungen nach zu gehen:

- Wie stellt sich die Speichereignung im Detail dar?
- Vertiefte Darstellung der Speicheroptionen in NRW und Analyse der Quellen-Senkenbeziehungen mittels eines Geo-Information-Systems und Erstellung eines Grobkonzepts für eine CO₂-Infrastruktur.
- Wer ist an der Weiterentwicklung von CCS-Technologien im Land interessiert?
- Initiierung/Durchführung von Workshops mit EVUs, industriellen CO₂-Verwendern und Logistikunternehmen zum Thema Auswahl von CO₂-Quellen und potenzielle Transportoptionen für CO₂ zu verfügbaren Senken.
- Wie sieht eine zukünftige Standortplanung für Kraftwerke in NRW aus (wo steht genügend Fläche zur Verfügung, um eine CO₂-Abtrennung zu realisieren)?
- Wie sehen notwendige politische Anreize für eine CO₂-Speicherung in NRW aus?
- Wo gibt es industrielle Punktquellen, wie hoch sind die standortscharfen Kosten der CO₂-Abscheidung aus industriellen Punktquellen und in wie weit kann hierdurch ein Einstieg in die CO₂-Speicherung realisiert werden?
- Welche Speichermöglichkeiten bestehen in anderen, an NRW angrenzenden Gebieten/Länder und wie können übergreifende Kooperationen umgesetzt werden?
- Wie groß ist die „kritische Speicherkapazität“, die mindestens erreicht werden muss, damit sich entsprechende Infrastrukturmaßnahmen lohnen?
- Welche weiteren innovativen Speicherarten könnten auf der Zeitachse Bedeutung erlangen, z. B. tiefliegende Kohleflöze, wie sind die Erfolgchancen einzuschätzen und in wie weit sollte sich NRW aus Mangel an Alternativen hier engagieren?
- Welche Akteure haben das Know-how, die als relevant erachteten Speicherpotenziale zu erschließen und wie können sich NRW-Firmen hier auch international positionieren?
- Welche der ausgewählten Standorte eignet sich am besten für ein erstes größeres Speicherprojekt in NRW?
- In wie weit kommt neben der Integration einer CO₂-Abtrennung in Neubauplanungen auch eine Nachrüstung in Frage, wie ist diese technisch, ökonomisch und ökologisch sowie energiewirtschaftlich zu bewerten?
- Wie passt die CO₂-Abtrennung mit den sonstigen Energiesystemperspektiven zusammen (Kompatibilität mit anderen Strategieelementen)?
- Welche rechtlichen Voraussetzungen müssen für die Umsetzung von CCS noch geschaffen werden?
- Mit welcher gesellschaftlichen Akzeptanz ist für die Technologie zu rechnen?