

## **Das Europäische Kohlendioxid-Netzwerk**

...für eine sichere, nachhaltige und klimafreundliche Energieversorgung Europas

# **CO<sub>2</sub>-SPEICHERUNG IM UNTERGRUND: EINE LÖSUNG FÜR DEN KLIMAWANDEL**

**Öl, Gas und Kohle werden aus der Erde gewonnen, um daraus Energie zu erzeugen. Bei der Verbrennung dieser fossilen Energieträger wird unerwünschtes Kohlendioxid freigesetzt, was das globale Klima beeinflusst. Es ist jedoch möglich, das Kohlendioxid abzuscheiden und wieder in der Erdkruste einzulagern. Dadurch wird die Emission von Treibhausgasen verringert und der Klimawandel abgemildert. Diese Technologie ist ein Schlüsselement beim Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung.**

### **Warum CO<sub>2</sub> abscheiden und einlagern?**

Die Belege für den Einfluss menschlicher Aktivitäten auf das globale Klima werden immer deutlicher. Die Emissionen von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) aus der weltweit ständig zunehmenden Verbrennung fossiler Brennstoffe spielen eine Schlüsselrolle. Die meisten Forscher sind sich einig, dass der weltweite CO<sub>2</sub>-Ausstoß um mehr als 50 % reduziert werden muss, um die CO<sub>2</sub>-Konzentration zu stabilisieren und damit den Klimawandel abzuschwächen. Als erster Schritt wurde im Kyoto-Protokoll von 1997 vereinbart, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis 2012 unter das Niveau von 1990 zu senken. Die dazu erforderlichen Reduzierungen können durch dreierlei Maßnahmen erreicht werden:

- Steigerungen der Energieeffizienz und Verringerung des Energiebedarfs
- Verwendung erneuerbarer Energien (zum Beispiel Wind- und Sonnenenergie)
- Abscheidung und Speicherung des derzeit ausgestoßenen CO<sub>2</sub>

Es wird immer deutlicher, dass die Bemühungen zur Steigerung der Energieeffizienz und der Einsatz regenerativer Energiequellen allein die gewünschten Ausstoßreduzierungen noch nicht bewirken können. Die dritte Maßnahme, Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> (abgekürzt CCS für Carbon Capture and Storage), kann dazu beitragen, den globalen Klimawandel in Grenzen zu halten. Die Welt hängt von fossilen Brennstoffen ab und Änderungen an unserem Energiesystem können nicht über Nacht durchgeführt werden, sondern dauern Jahre. CCS unterstützt den Übergang von einer Energieversorgung auf Basis fossiler Brennstoffe zu einem breit gefächerten Versorgungssystem, das den menschlichen Einfluss auf das Weltklima verringert. Unser gegenwärtiges Energieversorgungssystem wird sich in diesem Übergangszeitraum wenig verändern, es müssen aber neue Infrastrukturen realisiert werden: beispielsweise werden Kraftwerke und große Industrieanlagen mit CO<sub>2</sub>-Abscheidevorrichtungen ausgestattet und durch Rohrleitungen mit den Speicherorten verbunden.

### **Was versteht man unter CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung (CCS)?**

Alle fossilen Brennstoffe enthalten Kohlenstoff. Beim Verbrennen des Brennstoffs reagiert der Kohlenstoff mit Luftsauerstoff zu CO<sub>2</sub>. Indem der Kohlenstoff vor oder nach dem Verbrennungsvorgang in Kraftwerken entfernt und als CO<sub>2</sub> in einen unterirdischen Speicher geleitet wird, lässt sich der Ausstoß von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre verringern. Bei dem Speicher kann es sich um ein ausgefördertes Öl- oder Gasfeld, eine tiefe, salzwasserführende Gesteinsschicht oder ein Kohleflöz handeln.

## Wie und wo kann man CO<sub>2</sub> abscheiden?

Etwa 60 % des anthropogenen CO<sub>2</sub> wird an großen, stationären Quellen ausgestoßen, z.B. Kraftwerken, Raffinerien, Gasaufbereitungsanlagen und industriellen Anlagen. In der Mehrzahl enthält das Abgas dieser Anlagen verdünntes CO<sub>2</sub> (5 % bis 15 %). Man kann das CO<sub>2</sub> von den anderen Gasen im Abgas trennen und so eine Konzentration von über 90 % CO<sub>2</sub> erreichen. Eine andere Möglichkeit ist die Entfernung des Kohlenstoffs vor der Verbrennung, wie zum Beispiel bei der Herstellung von Wasserstoff (und CO<sub>2</sub>) aus Erdgas (CH<sub>4</sub>). Die Abscheidung von CO<sub>2</sub> ist in verschiedenen Industriebranchen bereits eine etablierte Technik. Zur Zeit wird das abgeschiedene CO<sub>2</sub> entweder an die Umgebungsluft abgegeben oder gründlich gereinigt, um als hochreines CO<sub>2</sub> für Nischenmärkte verwendet zu werden (Beispiel Getränkeindustrie). Obwohl es also geeignete Techniken gibt, wurde die CO<sub>2</sub> Abscheidung bisher nicht im großen Maßstab in Kraftwerken und anderen Großanlagen zur Emissionsminderung angewandt. Derzeit werden in vielen Ländern der Welt neue, vielversprechende Ansätze intensiv untersucht und bestehende Techniken verbessert. Damit sollen die Kosten der Abscheidung gesenkt und die dabei dazu erforderliche Energie verringert werden. Gleichzeitig ist die Erprobung in Kraftwerken geplant, um die neuen Techniken auf kommerzieller Basis zu testen.

*Konzept eines Blockheizkraftwerks (BHKW), das Elektrizität, Wärme und Wasserstoff produziert, während das CO<sub>2</sub> abgeschieden und unterirdisch gelagert wird (Quelle: CO<sub>2</sub>SINK-Projekt, GFZ Potsdam, 2004)*

## Wo sollen wir es lagern?

Nach dem Abscheiden kann das CO<sub>2</sub> entweder im Untergrund gespeichert oder wiederverwendet werden. Die Wiederverwendung, z.B. als Bestandteil von kohlenstoffhaltigen Getränken oder in Gewächshäusern zur Förderung des Pflanzenwachstums, findet bisher nur in sehr eingeschränktem Maße statt. Der Großteil des abgeschiedenen CO<sub>2</sub> muss in geologischen Formationen gespeichert werden. CO<sub>2</sub> kann in geologischen Formationen gespeichert werden. Am besten geeignet dafür sind erschöpfte Öl- und Gaslagerstätten, tiefe salzwasserführende Schichten und nicht abbaubare Kohleflöze. CO<sub>2</sub> kann auch in mineralischer Form gebunden werden. Die geologischen Formationen bieten eine immense Speicherkapazität (siehe Tabelle unten). Trotz unterschiedlicher Einschätzungen der Kapazitäten kann geschlossen werden, dass sie ausreichend sind, um den von Menschen verursachten CO<sub>2</sub>-Ausstoß für viele Jahrzehnte, vielleicht sogar Jahrhunderte, einzulagern.

## Weltweite Kapazität möglicher CO<sub>2</sub> Lagermöglichkeiten (Gt = Milliarden Tonnen)

Option	Speicherkapazität in Gt CO <sub>2</sub>
tiefe salzwasserführende Schichten	400 – 10.000
erschöpfte Öl- und Gaslagerstätten	930
Kohleflöze	30
<b>weltweiter CO<sub>2</sub> Ausstoß</b>	<b>25 Gt CO<sub>2</sub> pro Jahr</b>

Quelle: IEA-GHG, 2004

Öl- und Gaslagerstätten sind im Allgemeinen gut erforscht. Sie werden als sichere Speicher für CO<sub>2</sub> angesehen, da sie über Millionen von Jahren Öl, Gas und oft auch CO<sub>2</sub> an einem Ort gehalten haben. Die Verpressung von CO<sub>2</sub> kann in einigen dieser Lagerstätten außerdem dazu beitragen, dass die verbliebenen Reste an Öl oder Gas besser gefördert werden können. Die Einnahmen aus dieser zusätzlichen Rohstoffförderung können mit den Kosten der CO<sub>2</sub>-Speicherung verrechnet werden. Dieser Vorgang, als *enhanced oil recovery* (EOR)

und *enhanced gas recovery* (EGR) bezeichnet, wird in den USA bereits seit einigen Jahren durchgeführt, wobei das primäre Ziel nicht die CO<sub>2</sub>-Einlagerung, sondern die Erhöhung der Erdöl- bzw. Erdgasförderung ist. In Kanada wird seit vielen Jahren Sauergas (ein Reststoff der Erdgasaufbereitung, der hauptsächlich aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>S besteht) in Öl- und Gasfeldern sowie tiefen salzwasserführenden Schichten gespeichert.

Tiefe, salzwasserführende Schichten sind unterirdische Gesteinsformationen, üblicherweise Sandsteine, deren Porenräume mit Salzwasser gefüllt sind. Diese Formationen bieten ein großes Einlagerungspotential, da sie in vielen Ländern weit verbreitet vorkommen, oft dicht an industriellen CO<sub>2</sub>-Quellen liegen und eine große Ausdehnung haben. Die Verpressung von CO<sub>2</sub> in diese Formationen funktioniert ähnlich wie bei Gas- und Ölfeldern. Im norwegischen Sleipner-Projekt, dem ersten kommerziellen CO<sub>2</sub>-Speicherprojekt der Welt, werden pro Jahr etwa 1 Million Tonnen CO<sub>2</sub> in eine wasserführende Gesteinsschicht unter der Nordsee injiziert. Das Projekt zeigt, dass CO<sub>2</sub> in großen Mengen in geologischen Formationen gespeichert werden kann.

*Das Sleipner-Projekt - 1 Million Tonnen CO<sub>2</sub> werden jährlich in einer salzwasserführenden Gesteinsschicht unter der Nordsee eingelagert*  
(Quelle: Statoil)

Unterirdische Kohleschichten können oft nicht wirtschaftlich abgebaut werden, da sie zu tief liegen oder zu dünn sind. Üblicherweise enthalten sie eine gewisse Menge Methan. Bei der Einleitung von CO<sub>2</sub> in Kohleflöze hat sich herausgestellt, dass CO<sub>2</sub> besser an Kohle "haftet" als Methan, so dass das Methan freigesetzt wird. Das Kohleflöz wird dadurch ein Produzent von Erdgas, das verkauft werden kann, um die Kosten der CO<sub>2</sub>-Speicherung mitzufinanzieren. Weil Kohleflöze das Methan über Millionen von Jahren festgehalten haben, ist es sehr wahrscheinlich, dass sie auch das CO<sub>2</sub> für mindestens einige tausend Jahre speichern können. Diese Einlagerungstechnik wird im EU-Projekt RECOPOL im Rahmen eines Feldexperiments in Polen getestet.

### **Wie hoch sind die Kosten für Abscheidung, Transport und Speicherung von CO<sub>2</sub>?**

Die Abscheidung von CO<sub>2</sub> in Elektrizitätswerken verbraucht zusätzliche Energie, so dass die Strompreise steigen werden. Dieser Anstieg hängt von der Art des Kraftwerks (Kohle oder Gas) und den Brennstoffkosten ab. Verschiedene Untersuchungen, unter anderem im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprogramms Greenhouse Gas (Treibhausgas) der Internationalen Energieagentur, haben gezeigt, dass die Abscheidung von CO<sub>2</sub> die Stromerzeugungskosten um 1,3 bis 3 Euro-Cent pro kWh anheben werden. Anders ausgedrückt, kostet jede vermiedene Tonne CO<sub>2</sub>-Emission zur Zeit zwischen 25 und 60 €. Die laufenden Forschungen sollen diese Kosten noch um die Hälfte reduzieren.

Die Transportkosten sind relativ moderat: für eine Strecke von 100 km Pipeline betragen sie 1 bis 4 € pro vermiedener Tonne CO<sub>2</sub>.

Die Speicherkosten hängen stark davon ab, welche Art von geologischem Speicher zur Verfügung steht. In salzwasserführenden Schichten und erschöpften Öl- und Gasfeldern schwanken die Kosten zwischen 10 und 20 €/Tonne CO<sub>2</sub>. Wenn die CO<sub>2</sub>-Verpressung zu einer zusätzlichen Öl- und Gasförderung führt, kann der Gewinn die Kosten sogar übersteigen.

### **Welche Risiken bestehen bei der Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid?**

Wie bei allen Technologien gibt es auch bei der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung Risiken. Folgende Fragen sollten wir uns stellen: (a) Sind die Risiken einer CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung hinnehmbar und (b) sind die Risiken vergleichbar mit denen anderer

Möglichkeiten zur Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes? Die Hauptrisiken liegen in Transport und Speicherung des CO<sub>2</sub>. Speicherstätten werden auf jeden Fall weit entfernt von Erdbebengebieten gewählt, um einen stabilen Untergrund zu gewährleisten.

### *CO<sub>2</sub>-Transport USA-Kanada*

#### Transport

In den USA gibt es eine ausgedehnte Infrastruktur an CO<sub>2</sub>-Rohrleitungen (3100 km). Für den Zeitraum von 1990 bis 2001 zeigt die Unfallstatistik für diese Rohrleitungen nur 10 Zwischenfälle, die allesamt ohne Verletzungen oder Todesfolgen blieben. Auch wenn Zwischenfälle bei CO<sub>2</sub>-Transporten grundsätzlich denkbar sind, können die Konsequenzen durch eine Reihe von Sicherheitsmaßnahmen minimiert werden. Das Risiko ist nicht größer als das von Erdgasleitungen, die es in vielen europäischen Ländern gibt. Schließlich ist CO<sub>2</sub> im Gegensatz zu Erdgas weder brennbar noch explosiv, so dass die Konsequenzen einer Leckage geringer sein sollten als bei Erdgasleitungen.

#### Speicherung

Das Hauptrisiko bei der Speicherung von CO<sub>2</sub> liegt bei einem Bohrlochversagen, das zu einem Entweichen und Aufsteigen von CO<sub>2</sub> aus dem Speicher führen kann. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist extrem gering und vergleichbar mit dem sehr seltenen Austritt von Erdgas aus Bohrlöchern.

An vielen Instituten weltweit laufen derzeit Forschungen zur Risikoabschätzung mit folgenden Schwerpunkten:

- Untersuchungen der genauen physikalischen und chemischen Prozesses in Lagerstätten
- Verfahren zur Speicherauswahl einschließlich der Untersuchung seismischer Aktivitäten (Erdbeben)
- Werkzeuge zur Vorhersage des Langzeitverhaltens von CO<sub>2</sub>
- Überwachungs- und Nachweistechiken
- Risikoeinschätzungsmethoden und Risikomanagementverfahren
- Normen und Standardverfahren
- Bohrlochintegrität

#### **Anreize**

Um eine signifikante Marktdurchdrängung der CCS-Technologie zu erreichen, sind Anreize nötig. Denn sie erfordert hohe Investitionen von Stromerzeugern und anderen Industrien. Deshalb müssen Kohlenstoffpreise festgelegt werden, die die Form einer Kohlenstoffsteuer oder auch eines Handelssystems haben können.

In einem Handelssystem wird ein CO<sub>2</sub>-Markt aufgebaut, in dem ein maximaler Ausstoßwert für jedes Land festgelegt wird und den Erzeugern von CO<sub>2</sub> Emissionszertifikate (sogenannte CO<sub>2</sub>-Gutscheine) ausgestellt werden. Das Emissions-Handelssystem der Europäischen Union beinhaltet ausdrücklich auch das Abscheiden und Speichern von CO<sub>2</sub> (EC – Entscheidung vom 29. Januar 2004), damit diese Technologie die Umstellung auf Energiequellen mit geringen Ausstößen ergänzen werden kann. Damit soll sichergestellt werden, dass Europa auf absehbare Zeit über eine sichere und nachhaltige Energieversorgung verfügt.

Sobald die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten bei 20 € pro Tonne CO<sub>2</sub> angelangt sind und sich die geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> als sicher erwiesen hat, könnte die CCS-Technologie innerhalb eines Jahrzehnts kommerziell nutzbar gemacht werden – vorausgesetzt, die steuerlichen und behördlichen Rahmenbedingungen lassen dies zu.

**Weitere Informationen:**

[www.co2net.com](http://www.co2net.com): CO2NET ist ein europäisches Netzwerk, das sich die Information und Weiterbildung von Entscheidungsträgern und Interessenvertretern zum Ziel gesetzt hat.

[www.co2captureandstorage.info](http://www.co2captureandstorage.info): Diese Seite gibt detaillierte Informationen über Technik und Projekte der CCS-Technologie.

[www.ieagreen.org.uk](http://www.ieagreen.org.uk): Das Treibhausgasprogramm der IEA ist eine internationale Zusammenarbeit, die auf die Bewertung von Technologien, die Verbreitung von Ergebnissen und die Definition von Forschungszielen über CCS abzielt.

[www.co2captureproject.org](http://www.co2captureproject.org): CCP ist ein internationales Projekt, das von den acht weltweit führenden Energieunternehmen finanziert wird.

[www.clsforum.org](http://www.clsforum.org): Bei dem Carbon Sequestration Leadership Forum (Führungsforum zur Kohlenstoffdioxidsequestrierung) handelt es sich um eine internationale Initiative zum Klimawandel auf Regierungsebene.

[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch): Das Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatliche Sachverständigengruppe über Klimaänderungen, IPCC) plant die Herausgabe eines Sonderberichts über CCS.

[www.climnet.org/CTAP](http://www.climnet.org/CTAP): CAN, das Climate Action Network der Nicht-Regierungsorganisationen auf dem Gebiet des Umweltschutzes, hat einen besonderen Workshop über CCS abgehalten.

*Zukunftsvision: fossile Brennstoffe erzeugen Energie und Wasserstoff, CO<sub>2</sub> wird abgeschieden und eingelagert (Quelle: Statoil)*