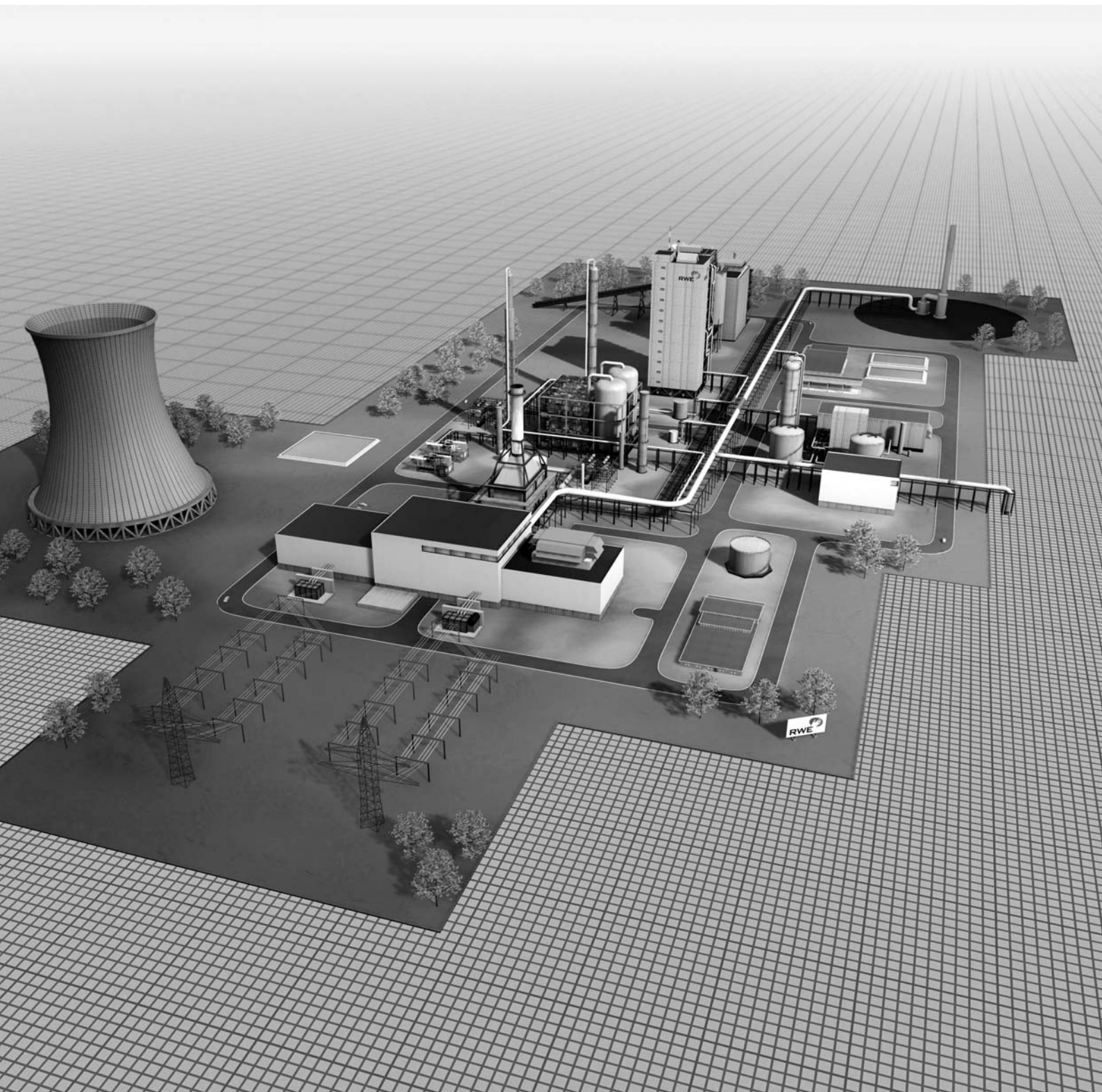


Aktuelle Fragestellungen und Materialien

# *CO<sub>2</sub>-Speicherung*



## Inhalt

<b>1 Das CO<sub>2</sub>-freie Kohlekraftwerk in der Klimaschutzdebatte</b>	<b>3</b>
■ Die Rolle CO <sub>2</sub> -freier Kohleverstromung im nationalen Energiemix	3
■ Stellenwert CO <sub>2</sub> -freier Kohleverstromung aus der europäischen und globalen Perspektive	3
<b>2 Status Forschung und Entwicklung CCS (Carbon Capture and Storage)</b>	<b>6</b>
■ Nationale und internationale Forschungsprogramme und Akteure	6
■ Pilotprojekte und Testanlagen	7
■ RWE-eigene Projekte	8
<b>3 Relevante Fragen</b>	<b>11</b>
■ Rechtsgrundlagen CCS	11
■ Speicherkapazitäten	12
■ Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit	13
■ Sicherheit	13
<b>4 Einführende Links</b>	<b>14</b>

## Vorbemerkung

Mit dieser Broschüre sollen in komprimierter Form der Diskussionsstand und die wichtigsten Aspekte zu den Themen „Stellenwert CO<sub>2</sub>-freies Kraftwerk“ und „CO<sub>2</sub>-Speicherung“ präsentiert werden. Ziel ist es, Grundlagen für eine sachliche Erörterung zu schaffen.

Die dieser Broschüre beigelegte CD-ROM liefert dazu weiterführende Informationen und Materialien. Insbesondere die enthaltene umfangreiche Linksammlung soll den gezielten Zugriff auf relevante Quellen ermöglichen; sie bietet jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Stand Juni 2007

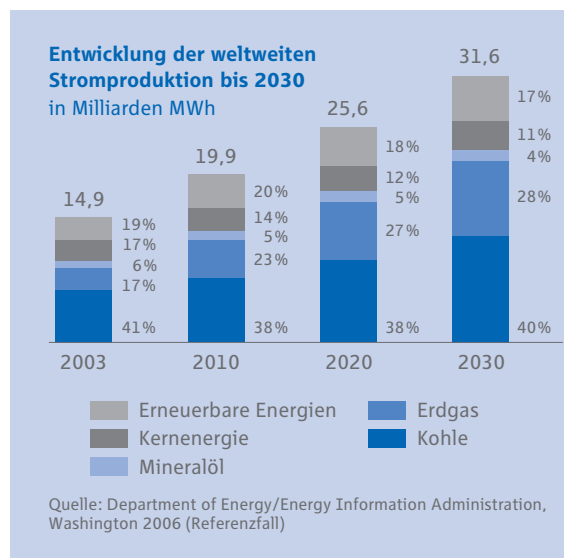
# Das CO<sub>2</sub>-freie Kohlekraftwerk in der Klimaschutzdebatte

## Die Rolle CO<sub>2</sub>-freier Kohleverstromung im nationalen Energiemix

Die Reduzierung der Emission von Treibhausgasen, in erster Linie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), ist zentrales Ziel der Klimaschutzpolitik. Bei der Verbrennung von Braun- und Steinkohle kommt es zu höheren spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen als bei der Nutzung anderer Energieträger. Deshalb ist der Einsatz bzw. der Umfang der Nutzung von Kohle zur Energieerzeugung, trotz des Mangels wirklicher Alternativen, immer wieder von Teilen der Öffentlichkeit kritisiert worden.

Angesichts der jüngsten UN-Klimaberichte und weiter steigender Rohstoffpreise für Rohöl und Erdgas rückt die Frage des richtigen Energiemixes für Deutschland und damit nach der zukünftigen Rolle der Kohle wieder stärker in den Fokus.

Die derzeitige Bundesregierung vertritt dazu eine klare Haltung: Sie setzt mittel- und langfristig auf einen ausgewogenen Energiemix aus allen Energieträgern, allerdings ohne Kernenergie – mit einem stetig wachsenden Anteil erneuerbarer Energien sowie auf absehbare Zeit auch mit Kohle. Sie verweist auf wissenschaftliche Erkenntnisse, wonach fossile Energieträger noch für viele Jahrzehnte eine unverzichtbare Rolle für die deutsche und weltweite Energieversorgung spielen werden. So berechnet die Energy Information Administration (EIA) des US-Department of Energy in einer aktuellen Studie gegenüber 2003 mehr als eine Verdopplung des weltweiten Energieverbrauches bis 2030 (Reference Case). Danach wird sich die Stromproduktion aus Braun- und Steinkohle etwa verdoppeln. In Deutschland werden schon bis 2020 erhebliche Kraftwerkskapazitäten erneuert bzw. hinzugebaut (Ersatzbedarf 2010 bis 2020 rund 40 GW). Ein großer Teil der Neubauten wird aus Kraftwerken für Braun- und Steinkohle bestehen. Daher misst die



Bundesregierung der Entwicklung und dem Bau CO<sub>2</sub>-freier Kraftwerke beträchtliche Bedeutung zu. So bewertet das Bundeswirtschaftsministerium die Abtrennung von CO<sub>2</sub> innerhalb des Kraftwerksprozesses und seine anschließende Speicherung als eine „mögliche Schlüsseltechnologie für die umweltverträgliche Nutzung fossiler Energieträger“. Auch der Bundesumweltminister sieht in Investitionen in moderne, hocheffiziente Kraftwerke ein Kernelement nationaler Energiepolitik. Mittelfristig seien fossile Kraftwerke möglichst CO<sub>2</sub>-arm zu betreiben. Ziel sei, „dass ab 2020 weltweit der Bau von CCS-Kraftwerken zum Standard wird“ (BMU, 22. März 2007).

## Stellenwert CO<sub>2</sub>-freier Kohleverstromung aus der europäischen und globalen Perspektive

Die Europäische Union stellt unter dem Eindruck der Prognosen des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, UN-Weltklimarat) die Weichen verstärkt auf Klimaschutz und formuliert in jüngsten

klimapolitischen Vereinbarungen ambitionierte Ziele zur Reduktion von CO<sub>2</sub>.

Dabei stehen die Intensivierung von Erforschung und Entwicklung nachhaltiger Kraftwerkstechnologien im Zentrum gemeinsamer Anstrengungen – umso mehr, weil die Europäische Kommission davon ausgeht, dass die Emissionen in der EU bis 2030 nicht etwa fallen, sondern um rund 5 Prozent steigen werden.

Die Staats- und Regierungschefs verpflichteten sich beim EU-Frühjahrgipfel u. a. zu verstärkten Anstrengungen zur Entwicklung umweltverträglicher Techniken zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung. Sie forderten die Mitgliedsstaaten und die Kommission nachdrücklich dazu auf, den erforderlichen wirtschaftlichen und ordnungspolitischen Rahmen zu schaffen. Erklärtes gemeinsames Ziel ist die Einsatzreife für die CCS-Technologie bis 2020.

In diesem Sinne sollen außer der Erforschung von CCS als „viel versprechender Technologie“ (GD Verkehr und Energie) auch Bau und Betrieb von bis zu 12 Demonstrationsanlagen von der EU substantiell gefördert werden. Neben dem Beitrag im Kampf gegen die globale Erwärmung geht es dabei auch darum, der EU frühzeitig die Spitzenposition im wachsenden internationalen Markt für Energieerzeugungstechnologien zu sichern.

Bereits seit 2005 ist die „European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants“ (ZEP), ein Zusammenschluss von Europäischer Kommission, Unternehmen der Energiebranche, Vertretern aus der Energieforschung sowie NGOs, in der EU relevanter Treiber für die Entwicklung des CO<sub>2</sub>-freien Kraftwerks. Die Technologieplattform ZEP berät die EU-Kommission bei der Einführung der CCS-Technologie. ZEP sieht aktuell vor allem in mangelnden wirtschaftlichen Anreizen und Fördermechanismen sowie in den bislang unzureichend definierten rechtlichen Rahmenbedingungen die entscheidenden Gründe dafür, dass die Weiterentwicklung von CCS-Projekten stockt, obwohl die meisten Elemente der Technologie bereits in anderen Industriebereichen eingesetzt und für den Kraftwerksbereich weiterentwickelt werden.

#### **Hohe Bedeutung der CCS-Technologie international anerkannt**

Im internationalen Kontext sind ebenfalls im Hinblick auf die Einführung von CCS Anstrengungen zur Förderung von CCS-Projekten sichtbar, z. B. in Nordamerika und Australien, bislang aber weniger verbindlich als in der EU – obwohl auch im Rahmen des IPCC-Klimaberichts Einigkeit besteht, dass vor allem Innovationen bei den konventionellen Kraftwerkstechnologien erforderlich sind, um den wachsenden Weltenergiebedarf klimaverträglich decken zu können.

**Beschlüsse der Europäischen Union für den internationalen Klimaschutz**

**EU 2007\* DE**

<b>Reduktion von Treibhausgasemissionen</b>	<b>Erhöhung Anteil erneuerbarer Energien</b>	<b>Steigerung Energieeffizienz</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Minimalziel bis 2020 Reduktion um 20 %, Ziel sind 30 % im Vergleich zu 1990</li><li>▪ Perspektive 2050: Reduktion um mindestens 60 % im Vergleich zu 1990</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Ziel: 20 % am Gesamtenergieverbrauch der EU bis 2020</li><li>▪ Stand 2006 in Deutschland: 8 % am Endenergieverbrauch (Strom, Wärme, Kraftstoffe)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Ziel: Steigerung um 20 % bis 2020 (gemessen an den Prognosen für 2020)</li><li>▪ Vorschlag der Kommission für ein internationales Abkommen über Energieeffizienz voraussichtlich noch 2007</li></ul>

Quelle: Schlussfolgerungen Europäischer Rat, Brüssel 8./9. März 2007

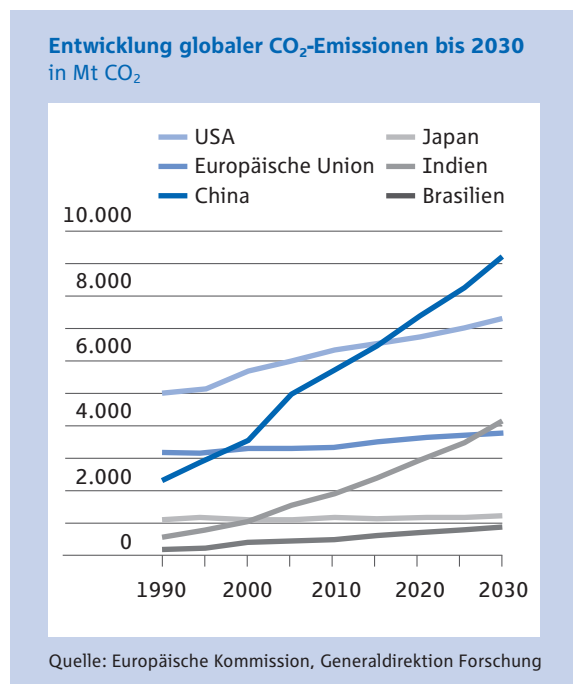
Das Hauptaugenmerk internationaler Bemühungen liegt auf globalen Zielen zur Reduktion von CO<sub>2</sub>. Dieses gilt besonders mit Blick auf die im Dezember anstehende Weltklimakonferenz in Bali, die eine Nachfolgeregelung für das 2012 auslaufende Kyoto-Protokoll vereinbaren soll. Hier hat der G8-Gipfel 2007 in Heiligendamm wichtige Vorarbeit geleistet – vor allem durch die erstmalige Bereitschaft der USA, sich an der Entwicklung einer globalen Klimaschutzstrategie unter dem Dach der Vereinten Nationen zu beteiligen.

Unabhängig davon sind die USA im Bereich der Entwicklung von CCS bereits seit längerem aktiv. Die Bush-Administration stellte schon 2003 rund 750 Mio. US-Dollar für die FutureGen-Initiative zur Verfügung, die darauf zielt, mit internationalen Partnern aus der Energiebranche ein erstes CO<sub>2</sub>-freies Kraftwerk zu bauen. Auf internationale Kooperation setzt die USA auch mit der Gründung des Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF), das die Entwicklung der CCS-Technologie stärker koordinieren will und dem heute 20 weitere Länder – auch Deutschland – angehören.

Wissenschaftler des Massachusetts Institute of Technology (MIT) fordern nun von der US-Regierung noch einmal deutlich mehr eigenes Engagement. Als größter Treibhausgas-Emittent müsse es originäre Aufgabe der USA sein, in der Entwicklung von CCS eine starke Führungsrolle zu übernehmen und die unterirdische Lagerung von Kohlendioxid marktfähig zu machen. Nach jüngsten Forschungsergebnissen seien neben IGCC-Kraftwerken (Integrated Gasification Combined Cycle) als einer wirtschaftlichen Lösung für neue Kraftwerke mit CCS auch andere Technologien wie die Rauchgaswäsche und das Oxyfuel-Verfahren zu berücksichtigen. AEP und andere amerikanische Stromerzeuger sind bereit, sich aktiv in die Entwicklung der CCS-Technik einzubringen.

#### **CCS: Attraktives Angebot für energiehungrige Volkswirtschaften Asiens**

Eine der entscheidenden Herausforderungen für den globalen Klimaschutz liegt in der stärkeren Einbeziehung der boomenden Schwellenländer. China



und Indien lehnten aber noch in Heiligendamm Auflagen für Entwicklungsländer zur Verringerung ihrer Emissionen ab. Sie sehen beim Klimaschutz zuerst die reicheren Länder in der Verantwortung. Bi- und multilaterale Kooperationen wie die im September 2005 geschlossene Energiepartnerschaft zwischen der EU und China zur Förderung von Technologien zur sauberen Energieerzeugung aus Kohle gewinnen vor diesem Hintergrund zunehmend an Bedeutung. Dies umso mehr, als China 2007 zum größten Kohlendioxid-Emittenten der Welt aufgestiegen ist. Durchschnittlich jede Woche geht zurzeit in China ein Kohlekraftwerk ans Netz. Die Internationale Energieagentur (IEA) schätzt, dass im Jahr 2030 ein Fünftel des gesamten Weltenergiebedarfs auf China entfällt. Chinesische Experten gehen davon aus, dass sich das Angebot an Primärenergie bis 2020 verdreifachen muss, um die 1,3 Milliarden Menschen mit Energie zu versorgen. Immerhin, als erstes der Schwellenländer hat China seit neuestem eine eigene nationale Klimastrategie. Erreicht werden soll, dass der Energieverbrauch langsamer wächst als die boomende Wirtschaft. Die Emissionen von Hauptschadstoffen sollen bis 2010 um 2 Prozent jährlich sinken.

# Status Forschung und Entwicklung CCS (Carbon Capture and Storage)

## Nationale und internationale Forschungsprogramme und Akteure

Weltweit wird CCS als viel versprechende Technologie für die Verminderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes erforscht. Laut Internationaler Energieagentur (IEA) könnte die CCS-Technologie ab 2020 einsatzfähig sein, sofern die Forschungsprojekte zufrieden stellende Resultate liefern.

In Deutschland legt die Bundesregierung die Schwerpunkte der Energieforschungspolitik in einem mehrjährigen Energieforschungsprogramm fest. Das aktuell geltende 5. Energieforschungsprogramm „Innovationen und neue Energietechnologien“ wur-

de unter der Federführung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) erarbeitet und am 1. Juni 2005 vom Bundeskabinett verabschiedet. Es bildet die Grundlage für die Förderpolitik des Bundes. Die Entwicklung moderner Kraftwerkstechnologien auf Basis von Kohle und Gas, einschließlich CO<sub>2</sub>-Abscheidung und CO<sub>2</sub>-Speicherung, erfolgt im Rahmen der COORETEC-Initiative (CO<sub>2</sub>-Reduktionstechnologien).

Auf EU-Ebene ist die Europäische Kommission Initiatorin eines EU-Forschungsrahmenprogramms, das Projekte aus Wissenschaft und Industrie fördert. Laufende Forschungsprojekte zur CCS-Thematik werden momentan durch das 6. EU-Forschungsrahmenprogramm (2002–2006) finanziell unterstützt.

### Beispiele für laufende nationale und europäische Forschungsprojekte

#### Nationale Forschungsprogramme

##### COORIVA

- CO<sub>2</sub>-Reduktion durch integrierte Vergasung und Abtrennung
- Budget: 4,6 Mio. € 2005–2007
- Partner: RWE, Vattenfall, E.on, Siemens PG
- Koordinator: TU Freiburg



##### ADECOS

- Oxyfuel-Dampferzeuger mit Kohlestaubfeuerung
- Budget: 3,1 Mio. € 2004–2008
- Partner: RWE, Vattenfall, E.on, ALSTOM, BHI, Siemens PG
- Koordinator: TU Dresden

##### OXYCOAL-AC

- Entwicklung eines CO<sub>2</sub>-freien Kohlekraftwerks mit Sauerstoff-Trennmembran
- Budget: 5,9 Mio. € 2004–2007
- Partner: RWE, E.on, Siemens PG, Linde
- Koordinator: RWTH Aachen

#### Europäische Forschungsprogramme

##### ENCAP

- CO<sub>2</sub>-freie Kraftwerkskonzepte mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung vor bzw. integriert in Verbrennung
- Budget: 22 Mio. € 2004–2009
- 33 Partner
- Koordinator: Vattenfall



##### CASTOR

- CO<sub>2</sub>-freie Kraftwerkskonzepte mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung nach Verbrennung (Aminwäsche) sowie -Speicherung
- Budget: 16 Mio. € 2004–2008
- 30 Partner
- Koordinator: IFP

##### CO<sub>2</sub>SINK

- Testanlage in Ketzin zur CO<sub>2</sub>-Lagerung in salinen Aquiferen
- Budget: 16 Mio. € 2004–2009
- 14 Partner
- Koordinator: GeoForschungsZentrum Potsdam

## Internationale Pilot- und Testanlagen zur CO<sub>2</sub>-Speicherung

### Sleipner-Statoil (Norwegen)

- Gasförderplattform in der Nordsee
- Seit 1996 wird CO<sub>2</sub> vom Erdgas abgetrennt, verflüssigt und ca. 1.000 m unter dem Meeresboden in die Utsira-Sandsteinformation injiziert
- Erste kommerzielle CO<sub>2</sub>-Lagerung, jährlich werden ca. 1 Mio. t CO<sub>2</sub> eingespeichert

### Weyburn (Kanada)

- Internationales Forschungsprojekt von IEA GHG, British Geological Survey und PanCanadian Resources
- Untersucht seit 2000 die CO<sub>2</sub>-Lagerung in ausgeschöpften Öl-/Gasfeldern
- Projekt läuft bis 2009
- Investitionsvolumen 80 Mio. \$

### In Salah (Algerien)

- Gemeinschaftsprojekt von BP, Statoil und Sonatrach (staatliches Energieunternehmen in Algerien)
- CO<sub>2</sub>-Injektions- und -Speicherprojekt im Erdgasfeld In Salah in der algerischen Sahara
- Investitionsvolumen 100 Mio. \$

### Ketzin (Deutschland)

- Erster CO<sub>2</sub>-Speicherstandort onshore in Kontinentaleuropa
- CO<sub>2</sub>-Einlagerung von insgesamt 60.000 t CO<sub>2</sub> ab Oktober 2007
- Forschungsprojekt mit 18 Partnern aus 9 Ländern
- Projekt läuft bis 2009
- Fördervolumen 30 Mio. €

Herausragender Meilenstein für die Erforschung der CO<sub>2</sub>-Speichertechnologie innerhalb des 6. EU-Forschungsprogramms ist das Projekt CO<sub>2</sub>SINK. Es untersucht in Ketzin nahe Berlin die geologische Speicherung von CO<sub>2</sub> in salinen Aquiferen. Das Projekt wird von der Europäischen Kommission, dem BMWi und der Energiebranche gefördert. Projektkoordinator ist das Geo-Forschungszentrum (GFZ) in Potsdam. Start des Projekts war 2004; die Laufzeit ist zunächst auf 5 Jahre festgelegt. Zu Beginn wurden geologische Voruntersuchungen des Standortes und Risikoabschätzungen durchgeführt. Nach erfolgreicher Erstellung der Injektionsbohrung wurden im Juni 2007 die ersten Komponenten für die CO<sub>2</sub>-Injektionsanlage in Betrieb genommen.

Der Aspekt CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung bleibt auch im aktuellen 7. Forschungsrahmenprogramm (Zeitraum 2007 bis 2013) Förderschwerpunkt der EU. Projekte und Initiativen werden in der Europäischen Technologieplattform ZEP („Zero Emission Fossil Fuel Power Plants“) erarbeitet.

## Pilotprojekte und Testanlagen

Sleipner ist das erste und bislang überaus erfolgreiche kommerzielle Projekt zur CO<sub>2</sub>-Speicherung in einem salinen Aquifer unter dem Meeresboden in der Nordsee. Seit 1996 werden dort von der Firma Statoil, dem Betreiber der Sleipner-Plattform, jährlich ca. 1 Mio. t CO<sub>2</sub> in die in etwa 1.000 m Tiefe unterhalb des Meeresbodens liegende Utsira-Formation injiziert. Das Projekt wird wissenschaftlich begleitet. Messergebnisse belegen, dass sich das CO<sub>2</sub> planmäßig im Zielhorizont ausbreitet und dort dauerhaft verbleibt.

Weyburn ist ein gemeinsames Forschungsprojekt der Internationalen Energieagentur, British Geological Survey (BGS) und PanCanadian Resources. Das internationale Forschungsprojekt untersucht in Kanada die permanente Lagerung von CO<sub>2</sub> in geologischen Gesteinsformationen. Seit 2000 wird CO<sub>2</sub> in ausgeschöpfte Öl-/Gasfelder injiziert. Das Projekt läuft bis 2009 und wird mit 80 Mio. \$ gefördert.

In Salah ist ein gemeinschaftliches Demonstrationsprojekt der Firma BP, des algerischen Energieunternehmens Sonatrach und der norwegischen Firma Statoil in Algerien. Auf der Gasförderanlage „In Salah“ in der algerischen Sahara entstehen bei der Gaserzeugung ca. 1 Mio. t CO<sub>2</sub>, die von den Betreibern in ausgeschöpften Öl-/Gasfeldern gespeichert werden. Das Investitionsvolumen beläuft sich auf rund 100 Mio. €.

Ketzin ist der erste CO<sub>2</sub>-Speicherstandort onshore in Kontinentaleuropa. In etwa 800 m Tiefe werden ab Oktober 2007 über 2 Jahre insgesamt 60.000 t CO<sub>2</sub> in Gesteine aus der Trias (Keuper) eingespeichert; ihre Ausbreitung wird durch verschiedene über-tägige und untertägige Methoden überwacht. Das Forschungsprojekt vereint 18 Partner aus 9 Ländern, umfasst ein Fördervolumen von 30 Mio. € und läuft bis 2009.

## RWE-eigene Projekte

### Das IGCC-Kraftwerk

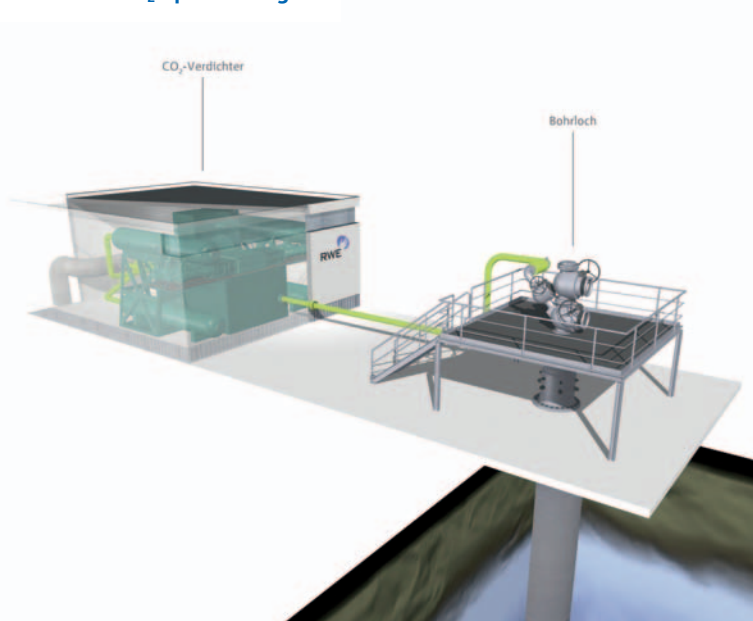
RWE Power treibt die klimaverträgliche Optimierung fossil befeuerter Kohlekraftwerke voran, da auch der Energieträger Kohle auf absehbare Zeit unverzichtbar bleiben wird. Als einziges Unternehmen verfügen wir über das erforderliche Know-how, um für das CO<sub>2</sub>-freie Kraftwerk die gesamte Prozesskette in großtechnischem Maßstab anzupacken: von der Kohlenvergasung zur Stromerzeugung und CO<sub>2</sub>-Abtrennung über den Pipelinetransport bis hin zur Speicherung.

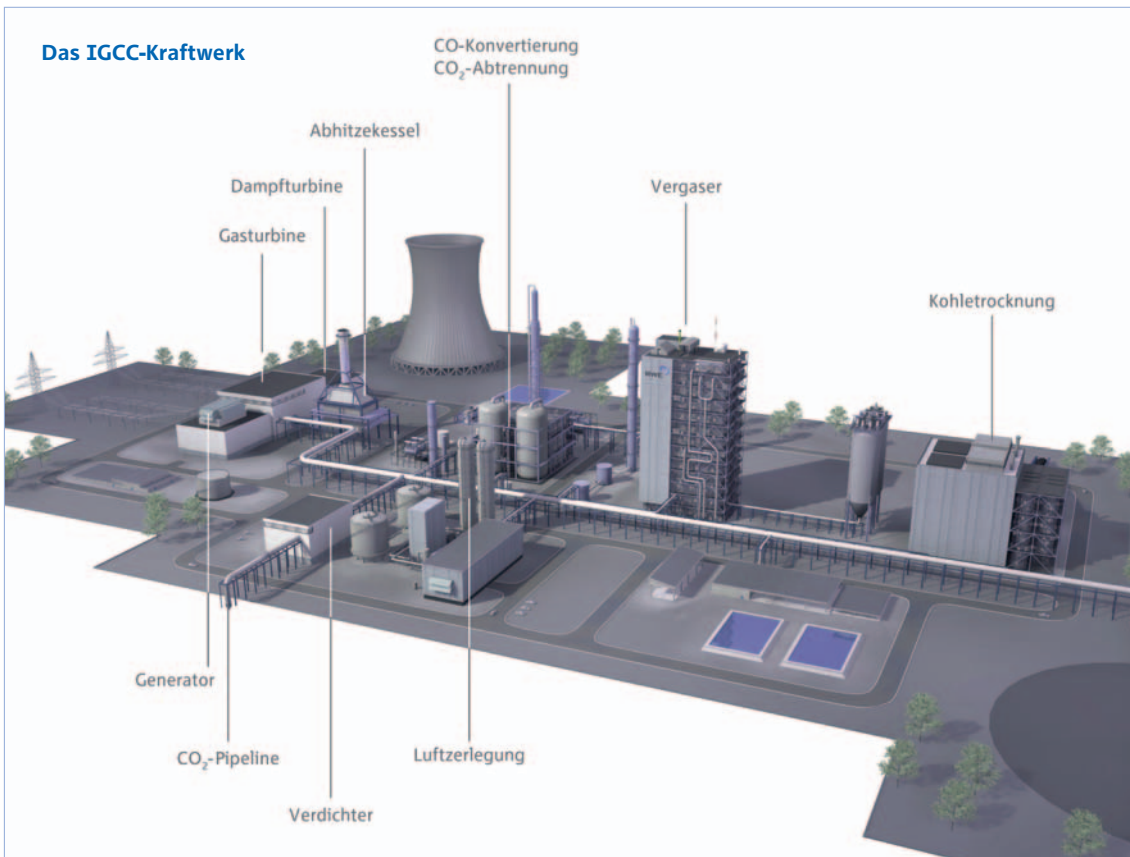
Mit großem Nachdruck verfolgen wir unser Leuchtturmprojekt im Rahmen unserer Clean-Coal-Strategie – die Realisierung des weltweit ersten CO<sub>2</sub>-freien Kohlekraftwerks mit einer Bruttoleistung von 450 Megawatt und integrierter CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -Speicherung.

Bei der Realisierung des CO<sub>2</sub>-freien Kohlekraftwerks setzen wir gezielt auf die IGCC-Technologie (Integrated Gasification Combined Cycle – Kombikraftwerk mit integrierter Kohlenvergasung). Denn unter allen Optionen CO<sub>2</sub>-freier Kraftwerkstechnik ist die IGCC-Technologie die einzige schon heute in großem Maßstab realisierbare Lösung. Im Gegensatz zu anderen Verfahren lässt sich das CO<sub>2</sub> beim IGCC-Prozess vergleichsweise leicht abtrennen, außerdem sind die Einbußen beim Wirkungsgrad geringer. Mit unserem geplanten IGCC-Kraftwerk mit CO<sub>2</sub>-Abtrennung wollen wir einen Nettowirkungsgrad von 40 Prozent erreichen.

Um die bestehenden IGCC-Konzepte zum CO<sub>2</sub>-freien Kraftwerk weiterzuentwickeln, werden wir die Kohlenvergasung und Gasaufbereitung um Prozessschritte ergänzen, die eine besonders effiziente CO<sub>2</sub>-Abtrennung ermöglichen. Mit der Vergasungstechnologie eröffnen wir gleichzeitig die Option, neben Strom auch andere vermarktbarere Produkte, wie beispielsweise Kraftstoffe, zu produzieren.

### Die CO<sub>2</sub>-Speicherung



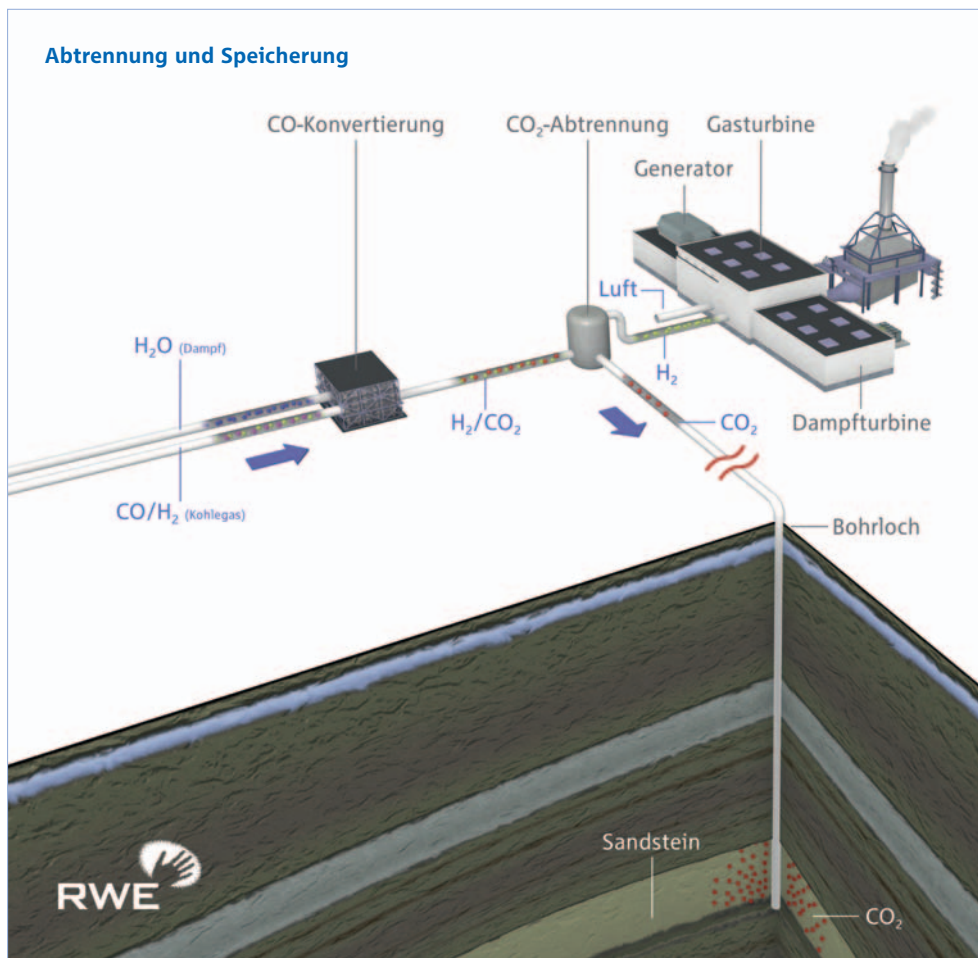


Bei unserem IGCC-Verfahren wird die Vergasung von Kohle mit einer CO<sub>2</sub>-Abtrennung kombiniert und der Strom in nachgeschalteten Gas- und Dampfturbinen erzeugt. Zu diesem Zweck wird die Kohle nicht wie in der herkömmlichen Dampferzeugung verfeuert, sondern zunächst in einem Vergaser bei hohen Temperaturen und unter einem Druck von ca. 40 bar in ein brennbares Rohgas umgewandelt. Dieses aus den Hauptbestandteilen Kohlenmonoxid und Wasserstoff bestehende Gas wird anschließend gereinigt. In einem nächsten Schritt wird dann das zu CO<sub>2</sub> umgewandelte Kohlenmonoxid bei gleichzeitiger weiterer Wasserstoffbildung abgetrennt und dauerhaft gespeichert.

Der verbleibende elementare Wasserstoff wird in einer Gasturbine verbrannt, die einen Generator zur Stromerzeugung antreibt. Die entstehenden heißen Abgase bestehen im Wesentlichen aus Luftstickstoff und reinem Wasserdampf; sie werden zur Dampferzeugung genutzt. Der Dampf treibt dabei wiederum eine Dampfturbine und einen 2. Generator zur

Stromerzeugung an. Weil die Elektrizität in einer besonders effektiven Kombination von Gas- und Dampfturbine gewonnen wird, spricht man bei diesem Kraftwerksprinzip von einem „Kombikraftwerk“.

Eine der technologischen Schlüsselaufgaben, die es bei der Verwirklichung des IGCC-CCS-Kraftwerkes zu lösen gilt, besteht in der Abscheidung und dauerhaft sicheren Speicherung des CO<sub>2</sub>. Das im Kraftwerk abgetrennte CO<sub>2</sub> wird anschließend verdichtet, verflüssigt und per Pipeline zur Speicherung abtransportiert.



### Die CO<sub>2</sub>-Speicherung

Für die dauerhafte Lagerung des abgeschiedenen CO<sub>2</sub> im Untergrund kommen verschiedene Optionen in Frage. Die Speicherung in geologischen Strukturen wird international in wissenschaftlichen Forschungen intensiv untersucht. In weltweit ersten Großprojekten wurden bereits praktische Erfahrungen mit der unterirdischen Speicherung von CO<sub>2</sub> gesammelt. Das weltweit mit Abstand größte Speicherpotenzial bieten saline Aquifere. In Betracht kommen außerdem ehemalige Öl- und Gaslagerstätten.

Mit RWE Dea verfügen wir unter dem Dach des RWE-Konzerns über viel Expertise in der Exploration von Öl- und Gaslagerstätten sowie in der Erdgas-speicherung. Dieses Know-how nutzen wir, um die CO<sub>2</sub>-Speicherung als zentralen Bestandteil des CO<sub>2</sub>-freien, kohlegefeuerten Großkraftwerkes zu verwirk-

lichen. Etwa 2,3 Mio. t CO<sub>2</sub> wollen wir nach der Inbetriebnahme des IGCC-Kraftwerkes jährlich der sicheren Speicherung zuführen – eine Größenordnung, mit der wir weltweit Neuland betreten. Wir wollen diese für die Erreichung anspruchsvoller Klimaschutzziele so wichtige Brückentechnologie zur vollen kommerziellen Reife führen.

Der Schutz von Mensch und Umwelt hat dabei oberste Priorität. Für die Entwicklung potenzieller Speicher haben wir ein umfassendes technisch-geologisches Untersuchungsprogramm aufgesetzt. Dabei arbeiten wir eng mit kompetenten Partnern aus Wissenschaft und Forschung zusammen, so z. B. mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

# Relevante Fragen

## Rechtsgrundlagen CCS

Für CCS existieren bislang weder national noch international hinreichende Rechtsgrundlagen. Um zu verhindern, dass unzureichende Rechts- und Planungssicherheit notwendige Milliardeninvestitionen in Entwicklung und Umsetzung dieser Zukunftstechnologie behindern, hat die EU-Kommission/GD Umwelt im Mai 2007 einen Vorschlag für einen europäischen Rechtsrahmen vorgelegt.

Ziel ist es, auf dieser Basis bis Juli 2007 einen Richtlinienentwurf vorzulegen und bis November innerhalb der Kommission zu verabschieden. Dafür müssen eine Vielzahl ordnungsrechtlicher Fragen allgemeinverbindlich für alle EU-Mitglieder geregelt werden. Es geht dabei vor allem um die rechtliche Absicherung der Standorterkundung, um die Entwicklung geeigneter Standards für Genehmigung, Betrieb und Monitoring der Speicheranlagen sowie um Haftungsrecht.

Der vorliegende Entwurf greift in Teilen auf Empfehlungen der mit Vertretern verschiedener Regie-

rungen, Unternehmen und Verbände besetzten „Arbeitsgruppe CCS“ zurück. Er enthält aus Sicht der Industrie bereits viele begrüßenswerte Ansatzpunkte, u. a.:

- Verzicht auf Überregulierung durch Übertragung bestehender Richtlinien auf CCS, wo sinnvoll
- Regelung Genehmigungsverfahren für CO<sub>2</sub>-Abscheidetechnik sowie für Betrieb und Monitoring der CO<sub>2</sub>-Speicher im Rahmen geltender Prinzipien für Genehmigung und Betrieb von Industrieanlagen (IVU-Richtlinie)
- Übertragung der Regelungen für den Transport von Erdgas auf den Transport von CO<sub>2</sub>
- Übertragung der Regelungen der Richtlinie über Exploration und Gewinnung von Kohlenwasserstoffen auf die Erkundung (Prospektion) und Erschließung (Exploration) von CO<sub>2</sub>-Lagerstätten/Speichern sowie auf die Errichtung und den Betrieb von CO<sub>2</sub>-Einlagerungsstätten
- Differenzierung zwischen der Haftung für lokale Eigentums- oder Gesundheitsschäden infolge eines CO<sub>2</sub>-Austritts (Regelung durch Mitgliedsstaaten) und überregionalen Schäden (Regelung im Rahmen des Emissionshandelssystems)

### Themen und Fragestellungen des aktuellen Kommissionsvorschlags

#### Regulatorisches Umfeld für CCS:

Welche Systeme und Regelungen müssen angepasst werden?

#### CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Transport:

Welche Verfahren und Standards sind einzuhalten?

#### Exploration:

Nach welchen Regeln werden Speicherstandorte erkundet und genehmigt?

#### Beschaffenheit des abgetrennten CO<sub>2</sub>:

Wie rein muss es sein für die Speicherung?

#### Haftung:

Wer haftet, wenn CO<sub>2</sub> doch aus dem Speicher austritt?

#### CO<sub>2</sub>-Speicherung:

Wer überwacht Betrieb und Dichtigkeit? Wer ist verantwortlich?

Im Detail sind allerdings noch Adjustierungen nötig: So ist etwa die angedachte zentralisierte Sicherheitsüberprüfung für die ersten Speicher durch eine Behörde auf europäischer Ebene nicht nachvollziehbar. Es sollte den Mitgliedsstaaten obliegen, diejenigen Behörden mit der Überprüfung zu beauftragen, die aus ihrer Sicht die größte Kompetenz dafür haben.

Ebenfalls nicht sachgerecht ist die Orientierung des CO<sub>2</sub>-Reinheitsgrads an Standards für Emissionen in die Außenluft oder ins Meer. Bei CCS wird CO<sub>2</sub> ja gerade nicht in die Luft oder in die Meerwassersäule abgegeben, sondern dauerhaft in geologische Formationen. Kriterien können daher nur in Bezug auf die konkreten geologischen Verhältnisse festgelegt werden.

Darüber hinaus ist der Verzicht auf eine voreilige Festlegung von Verfahren und Techniken ein entscheidendes Anliegen für die Braunkohleindustrie. Die CCS-Technologie befindet sich noch im Forschungsstadium und braucht neben angemessenen Anreizen insbesondere Flexibilität für die weitere Entwicklung. Das Vorhaben der Generaldirektion Umwelt, schon bei aktuellen Kraftwerksprojekten eine spätere Nachrüstbarkeit auf CCS zu verlangen oder Zulassungen fossiler Kraftwerke nach 2020 von CCS abhängig zu machen, ist insofern verfrüht.

## Speicherkapazitäten

Entscheidend für die Realisierung des CO<sub>2</sub>-freien Kohlekraftwerks mit CCS-Technologie ist die Verfügbarkeit ausreichender Lagerstätten für die Speicherung des abgeschiedenen CO<sub>2</sub>. Die Ermittlung der weltweiten Speicherpotenziale ist daher zentraler Gegenstand einer Vielzahl wissenschaftlicher Projekte und Untersuchungen.

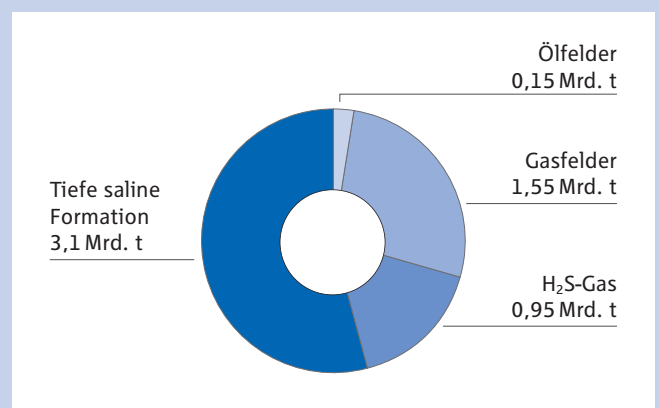
Grundsätzlich kann Kohlendioxid auf verschiedene Arten gelagert werden:

- in salzwasserführenden Gesteinsschichten (sog. saline Aquifere)
- in erschöpften oder noch in Produktion befindlichen Erdgas- und Erdöllagerstätten
- in tiefen Kohleflözen oder Salzstöcken
- im Ozean

In tiefen Meerwasserschichten kann eine dauerhafte CO<sub>2</sub>-Speicherung nicht gewährleistet werden. Damit scheidet diese theoretische Möglichkeit aus. Sie wird europaweit nicht verfolgt. Das mit Abstand größte Potenzial liegt im Bereich der salinen Aquifere, eingebettet in festem Sedimentgestein. Diese Gesteinsformationen finden sich auf dem Festland wie auch unterhalb des Meeresbodens. Über die genaue Höhe gehen allerdings die Expertenmeinungen weit auseinander – so variieren die Annahmen über die globale Speicherkapazität zwischen 1.000 und 10.000 Gigatonnen CO<sub>2</sub>. Bei Erdöl- und Erdgaslagerstätten wird ein weltweites Volumen von 675 bis 900 Gigatonnen CO<sub>2</sub> angenommen; bei Kohleflözen zwischen 3 und 200 Gigatonnen.

Das Fraunhofer-Institut (ISI) geht davon aus, dass es weltweit für alle CO<sub>2</sub>-Emissionen in Öl-/Gasfeldern und besonders in salinen Aquifere ausreichend Speicherpotenzial für 80 Jahre Einspeicherung gibt. In Deutschland wird die Speicherkapazität bei Aquifere auf 20 (±8) Gigatonnen CO<sub>2</sub>, bei Erdgaslagerstätten auf 2.750 Megatonnen, bei Kohleflözen auf 370 bis 1.670 Megatonnen geschätzt (Deutscher Bundestag 2006 und 2007).

CO<sub>2</sub>-Speicherpotenziale  
Beispiel Nordwestdeutschland



Nordwestdeutschland bietet über Jahrzehnte hinaus ausreichend Speichermöglichkeit: Geschätzte Gesamtkapazität ca. 4,8 Mrd. t CO<sub>2</sub>; zum Vergleich: Ausstoß CO<sub>2</sub>-freies Kraftwerk 104 Mio. t in 40 Jahren.

Quelle: RWE Dea AG, 2007

Insgesamt errechnet die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe für Deutschland bei einem angenommenen Mittelwert von etwa 24 Gigatonnen ein Speichervolumen, das für 50 bis 100 Jahre reicht. Allerdings muss das CO<sub>2</sub> nicht ausschließlich in Deutschland eingespeichert werden, sondern hier können auch Speicherkapazitäten außerhalb Deutschlands in Anspruch genommen werden.

## **Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit**

Eine umfassende, realistische Abschätzung der Wirtschaftlichkeit muss die gesamte Prozesskette von der Abscheidung und der Verdichtung über den Transport bis zur Speicherung von CO<sub>2</sub> erfassen. Dabei wird in Expertengruppen übereinstimmend davon ausgegangen, dass der weitaus größte Kostenblock auf die Abscheidung entfällt (z. B. WBGU).

Die Annahmen darüber, inwieweit sich der Stromerzeugungspreis infolge der CO<sub>2</sub>-Abscheidung erhöht, variieren allerdings erheblich; sie werden mit 35 bis 90 Prozent angegeben (z. B. IEA, ECOFYS). Weitere Kosten entstehen auch durch einen Rückgang des Wirkungsgrades der Kraftwerke, der einen zusätzlichen Rohstoffeinsatz erforderlich macht. Durch diesen erhöhten Rohstoffeinsatz entsteht wiederum zusätzliches Kohlendioxid. Der Verlust des Wirkungsgrades wird in unterschiedlichen Quellen (WD, ECOFYS, IEA, WBGU) mit Werten zwischen 5 und 14 Prozentpunkten angegeben. Insgesamt wird die Auswirkung von CCS auf die Stromerzeugungskosten auf 1,5 bis 3 Eurocent bzw. 1 bis 5 US-Cent pro Kilowattstunde geschätzt (IPCC, CO<sub>2</sub>NET, Wuppertal-Institut).

Das Fraunhofer-Institut ISI kommt in einer Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes zu Potenzialen der CO<sub>2</sub>-freien Kraftwerke abschließend zu der Einschätzung: Auch wenn die CCS-Technologie mehr Energieeffizienz und den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien nicht ersetzen kann, so liefert sie doch zu insgesamt vertretbaren Kosten einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz.

## **Sicherheit**

Die sichere Lagerung von CO<sub>2</sub> ist eine entscheidende Aufgabe bei der Verwirklichung des CO<sub>2</sub>-freien Kraftwerks. Hinreichende Langzeitstabilität sowie ökologische Unbedenklichkeit sind die zentralen Kriterien bei der Auswahl und Entwicklung geeigneter Speicher. Es muss sichergestellt werden, dass eingelagertes CO<sub>2</sub> nicht wieder entweicht und eventuell zur Klimabelastung für künftige Generationen werden kann.

Grundsätzlich festzuhalten ist:

- CO<sub>2</sub> ist in normaler Dosierung ein ungiftiges Gas
- CO<sub>2</sub> ist nicht brennbar
- CO<sub>2</sub> ist nur in sehr hohen Konzentrationen schädlich

Eine Vielzahl von Experten sieht für Deutschland vor allem in der unterirdischen geologischen Speicherung eine geeignete Option (vgl. IPCC 2005). Insbesondere stillgelegte Gasfelder im norddeutschen Raum und saline Aquifere kommen als Speicher in Frage.

Weil allerdings noch keine Langzeitstudien zur geologischen Speicherung vorliegen, gibt es bis dato keine gesicherten Erkenntnisse, ob CO<sub>2</sub> über sehr lange Zeiträume gänzlich ohne Leckagen isoliert werden kann. Dafür spricht derzeit das Sleipner-Projekt in Norwegen, bei dem CO<sub>2</sub> seit 1996 ca. 1 km tief in ein Aquifer gepumpt und bislang leckagefrei gelagert wird. Sowohl das Umweltbundesamt als auch das Fraunhofer-Institut sind der Meinung, dass es eine hundertprozentige Dichtigkeit/Sicherheit nicht geben kann, eine Leckagerate von unter 0,1 Prozent grundsätzlich aber unbedenklich ist.

# Einführende Links

- Einen guten Überblick über die Themenfelder Klimaschutz- und Energiepolitik sowie über den Stellenwert CO<sub>2</sub>-freier Kohleverstromung für die Energieversorgung in Deutschland bieten die Internetseiten von **Bundeswirtschafts- sowie Bundesumweltministerium** ([www.bmwi.de](http://www.bmwi.de); [www.bmu.de](http://www.bmu.de)). Neben Themenspecials, Positionspapieren und Publikationen finden sich hier Studien und Prognosen zum Energiemix oder zur Entwicklung des Primärenergieverbrauchs.
- Ausführliche Informationen zu Rolle und Bedeutung von CCS in der Umwelt- und Klimapolitik der Europäischen Union finden sich insbesondere auf den Internetpräsenzen der zuständigen **Generaldirektionen für Umwelt und Energie/ Verkehr**; anzusteuern über [http://ec.europa.eu/dgs\\_de.htm](http://ec.europa.eu/dgs_de.htm).
- Basisstatistiken und umfassende Analysen aus globaler Perspektive liefert die **Internationale Energieagentur (IEA)** (<http://www.iea.org/>). Vor allem der von ihr publizierte **„World Energy Outlook“** (<http://www.worldenergyoutlook.org/index.asp>) ist zentrale Quelle für Analysen und Prognosen für die mittel- und langfristige Entwicklung der globalen Energiemärkte.
- Im Bereich Forschung und Entwicklung der CCS-Technologie existiert eine Vielzahl von Online-Informationsquellen. Hilfreich für die Navigation ist die Website der **Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)** (<http://www.bgr.bund.de>), die neben Informationen zu technischen Fragen der CO<sub>2</sub>-Speicherung auch Links zu einzelnen Forschungsprojekten und -programmen bietet. Darüber hinaus empfehlenswert sind die **„Zero Emission Platform“** (<http://www.zero-emissionplatform.eu/website/>), die Microsite der **GD Umwelt** ([http://ec.europa.eu/environment/climat/ccs/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/climat/ccs/index_en.htm)) oder die internationale Klimaschutz-Initiative **„Carbon Sequestration Leadership Forum“** (<http://www.cslforum.org/about.htm>).
- Gut aufbereitete Hintergrundinformationen und neueste Erkenntnisse zu den relevanten Fragen bei der Entwicklung von CCS finden sich auch bei renommierten Forschungseinrichtungen. Zu nennen sind hier vor allem das **Wuppertaler Institut** (<http://wupperinst.org>) sowie das **Fraunhofer-Institut (ISI)** (<http://www.isi.fraunhofer.de/>). Eine prägnante Zusammenfassung zu den Aspekten Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der Technologie wie auch zur Frage verfügbarer Speicherkapazitäten gibt darüber hinaus der **Wissenschaftliche Dienst des Bundestags** (<http://www.bundestag.de>).

***Rechtlicher Hinweis zu weiterführenden Links:***

RWE ist für die Datenschutzstrategien oder den Inhalt der Websites, auf die mittels eines Links verwiesen wird, nicht verantwortlich. Eine Haftung oder Garantie für die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit der zur Verfügung gestellten Informationen und Daten ist ausgeschlossen.



RWE Power  
Aktiengesellschaft  
Essen ▪ Köln  
[www.rwe.com](http://www.rwe.com)