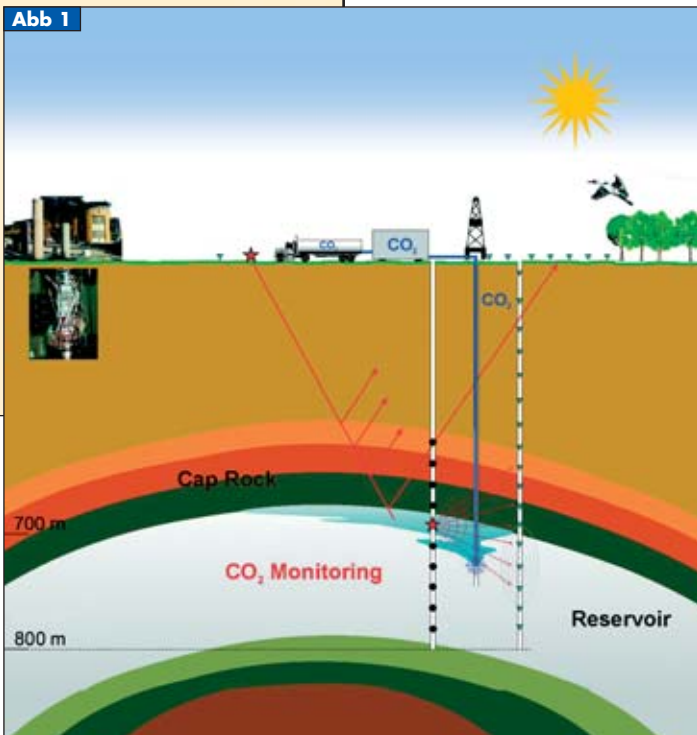




Kohlendioxid abtrennen und lagern



- ▶ **Effizientere Kraftwerke sind Voraussetzung für eine CO₂-Abtrennung und Speicherung (CCS-Technologien)**
- ▶ **CCS kann perspektivisch 85% – 98% der CO₂-Emissionen eines Kraftwerks abtrennen**
- ▶ **Eine hohe Effizienz der gesamten Technologielinie, d. h. Kraftwerksprozess, CO₂-Abtrennung, Transport und Speicherung, ist für einen wirtschaftlichen Betrieb erforderlich**
- ▶ **CCS-Technologien bieten Flexibilität bei der kombinierten Erzeugung von Strom und synthetischen Treibstoffen**

Im Juni 2007 ging im brandenburgischen Ketzin im Rahmen des europäischen Verbundvorhabens CO₂SINK der erste geologische Testspeicher für bis zu 60.000 Tonnen CO₂ in Betrieb. Schematische Darstellung der Speicherlokation sowie der Injektions- und Monitoringbohrungen.

Seit der Industrialisierung werden die in Millionen von Jahren entstandenen fossilen Energieträger in immer größeren Mengen verfeuert und zum großen Teil für Strom, Wärme und Mobilität verwendet. Das dabei frei werdende Kohlendioxid (CO₂) reichert sich zunehmend in der Erdatmosphäre an, verstärkt dort den Treibhauseffekt und führt damit zur Erderwärmung. Die Folge ist eine Verstärkung des natürlich stattfindenden Klimawandels. Nur durch eine schnelle und deutliche Reduzierung der globalen CO₂-Emissionen können die Folgen des Klimawandels noch begrenzt werden. Der Energiesektor ist dabei einer der zentralen Ansatzpunkte. Neben dem Energiesparen durch effizientere Technologien und der Nutzung erneuerbarer Energietechniken geht es auch um die Entwicklung und industrielle Umsetzung CO₂-armer Technologien. Schwerpunkte sind dabei effizientere Kraftwerke und die Abtrennung und geologische Speicherung des CO₂ (engl. Carbon Capture Storage – CCS). CCS-Technologien sollen künftig das bei Verbrennungsprozessen frei werdende CO₂ mit möglichst wenig zusätzlichem Energieaufwand und Kosten abtrennen, zum Speicher transportieren und dann

langfristig und sicher speichern. Für jeden dieser drei Prozessschritte laufen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, um u. a. die Energie- und Umweltbilanz aller Schritte zu verbessern, die chemischen Prozesse im gefüllten Speicher zu erkunden sowie die Sicherheit und Langzeitstabilität der Speicher zu optimieren. Technologisch ist der Umgang mit dem Medium CO₂ kein Neuland. Seit Jahren wird das Gas in der Erdöl- und Erdgasförderung zur Stimulation von Lagerstätten verwendet und natürlich vorkommendes CO₂ wird bei der Erdgasförderung abgetrennt und gespeichert.

Die Bundesregierung unterstützt Forschung und Entwicklung CO₂-armer Kraftwerkstechnologien. Das Förderkonzept „COORETEC“ (CO₂-Reduktionstechnologien) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) konzentriert sich neben der Effizienzsteigerung der Kraftwerke auf Abscheidung und Transport des CO₂. Forschungsprojekte zur CO₂-Speicherung werden vom Geotechnologienprogramm des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Daneben ist Deutschland an internationalen Projekten der EU und der Internationalen Energieagentur (IEA) beteiligt.

► Anforderungen

Carbon Capture Storage (CCS) –Technologien werden zunächst an neuen Kraftwerken erprobt. Wenn die technische, wirtschaftliche und umweltverträgliche Machbarkeit der gesamten Technologielinie nachgewiesen ist, dann sollen auch bestehende Kraftwerke mit bereits moderner Technik („capture ready“ – Anlagen) nachgerüstet werden. Damit CCS-Technologien den großtechnischen Durchbruch erzielen können, muss jeder der drei Teilprozesse (Abtrennung, Transport und Speicherung) optimiert werden. Derzeitige Schätzungen gehen davon aus, dass auf die Abtrennung 60%, die Kompression 15%, den Transport 10% und die Speicherung 15% der zusätzlichen Kosten entfallen. Die Abtrennverfahren sollen sich räumlich wie technisch in die Kraftwerke und deren Prozesse integrieren lassen. Aus wirtschaftlich-technischen Gründen muss das Gas CO_2 verflüssigt und unter den geografischen Bedingungen in Deutschland am günstigsten durch Pipelines zu den Speicherstätten transportiert werden. Unter diesen Vorzeichen wird zukünftig bei der Standortentscheidung für ein Kraftwerk auch die

räumliche Nähe zu den CO_2 -Speichern und damit eine Verringerung des Transportaufwands eine Rolle spielen.

Als Speicherstätten kommen in Deutschland ausschließlich tiefe geologische Formationen mit entsprechenden Deckschichten in Betracht. Dort soll das Gas dauerhaft verbleiben, ohne derzeitige oder zukünftige Trinkwasservorkommen zu beeinflussen. Derartige Speicher sollen eine maximale Leckagerate von 0,01% pro Jahr haben, d. h. nach 1.000 Jahren wären noch 90% und nach 10.000 Jahren wären noch 40% des CO_2 im Speicher. Das kommt etwa dem Turnus natürlicher Warm- und Kaltzeiten nahe.

Auch die chemische Reinheit des CO_2 ist von Bedeutung. Unerwünschte Begleitstoffe, wie z. B. Wasserdampf oder Schwefelverbindungen, erhöhen den Energieaufwand bei der Gaskompression. Außerdem können sie sowohl Korrosion bei allen Metallbauteilen als auch unerwünschte chemische Reaktionen an den Verschlussvorrichtungen der Bohrungen und den umgebenden Gesteinsschichten des Speichers verursachen.

Kohlendioxid (CO_2)

CO_2 ist ein nichttoxisches und nicht reaktives Gas. Sein natürlicher Anteil an der Atemluft beträgt 0,04%; bei der ausgeatmeten Luft eines Menschen sind es etwa 5%. Technisch entsteht CO_2 bei Verbrennungs- und anderen Umwandlungsprozessen kohlenstoffhaltiger Materialien. Natürliche CO_2 -Emissionen gibt es seit Tausenden von Jahren besonders in vulkanisch geprägten Regionen. Allein in der Eifel strömen schätzungsweise täglich 200 t vulkanisches CO_2 aus dem Boden (Abb. 2) und werden ohne direkt merkbare Konsequenzen für die Biosphäre verweht. Bei der geplanten CO_2 -Speicherung soll das Gas aber auf Dauer gebunden oder eingeschlossen werden.

Abb 2: Natürlich aufsteigendes CO_2 (Mofetten) im Laacher See (Eifel)



► Verfahren zur CO_2 -Abtrennung im Kraftwerk

In Kraftwerken werden Schwefeldioxid und andere Gase erfolgreich aus dem Rauchgas entfernt. Auch CO_2 lässt sich abtrennen, wobei allerdings sehr viel größere Mengen als bei anderen Gasen entsorgt werden müssen. Derzeit gelten drei Verfahren für die Abtrennung von CO_2 aus dem Kraftwerksprozess (Abb. 3) als aussichtsreich. Hierbei kann das CO_2 entweder vor oder nach dem Verbrennungsprozess abgetrennt oder durch die Verbrennung in einer sehr sauerstoffreichen Atmosphäre (Oxyfuel) auf Konzentrationen von über 90% angereichert werden. Die Prozesse unterscheiden sich durch den Energieaufwand, die chemische Reinheit und die erreichbaren Abscheiderraten des CO_2 , den Platzbedarf sowie die Anwendung von Waschflüssigkeiten und

die Möglichkeit der Nachrüstung bestehender Kraftwerke.

Post-Combustion (CO_2 -Abtrennung nach der Verbrennung)

Bei diesem Verfahren wird CO_2 nach der Verbrennung mittels einer chemischen Rauchgaswäsche abgeschieden. Das unter niedrigen Partialdrücken stehende Abgas wird in einer Absorptionseinheit in Kontakt mit einer Waschflüssigkeit (z. B. alkalische Lösung) gebracht und löst sich in dieser. Durch anschließende thermische Desorptionsprozesse wird CO_2 abgetrennt und abgeleitet. Anschließend kann die Waschflüssigkeit erneut eingesetzt werden. Dieses Verfahren ist bislang am weitesten entwickelt und eröffnet die Perspektive der

Nachrüstung bestehender neuerer Kraftwerke. Es ist allerdings vergleichsweise energie- und kostenintensiv.

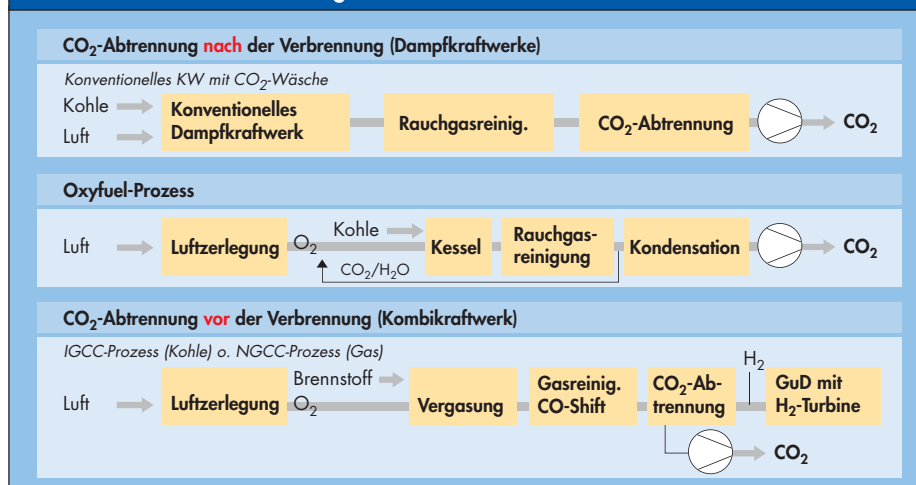
Oxyfuel

Bei diesem Verfahren trennt man den Stickstoff aus der Luft bereits vor der Verbrennung ab und setzt nur die fast vollständig aus Sauerstoff bestehende „Restluft“ ein. Damit wird die Abgasmenge um ca. 75% reduziert und dieses Gas besteht zu ca. 70% aus CO_2 . Der Rest ist Wasserdampf, der auskondensiert wird. Am Ende liegt das CO_2 hochkonzentriert vor. Bei der Verbrennung mit sehr hohem Sauerstoffanteil muss man die Entstehung materialbelastender Höchsttemperaturen vermeiden. Bislang erfolgt die Luftzerlegung durch Kältetechnik („Ausfrieren“ des Stickstoffs), die einen erheblichen energetischen und anlagentechnischen Aufwand erfordert. Die Forschung arbeitet an energiesparenden Trennverfahren mittels Membranen. Für das Oxyfuelverfahren sind noch weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig. Einzelne Testanlagen an Kraftwerken sind bereits in Betrieb.

Pre-Combustion (Abtrennung vor der Verbrennung - Kombikraftwerk)

Auch dieser Prozess setzt nur den aus der Luft vorab abgetrennten Sauerstoff ein. Kohle wird vor der Verbrennung in ein Synthesegas umgewandelt, welches überwiegend aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid (CO) besteht. Durch Zugabe von Wasser-

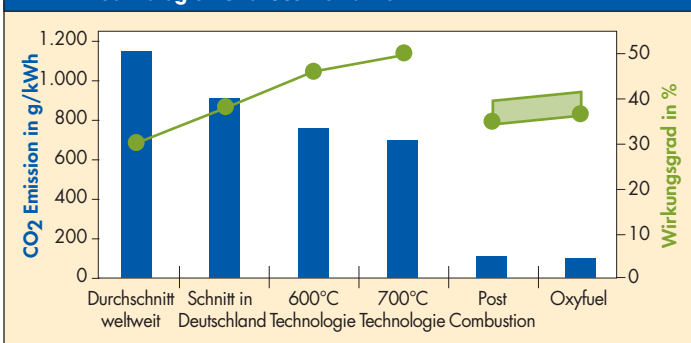
Abb 3: Schematische Darstellung der drei Abtrennverfahren



dampf wird das CO zu CO₂ umgesetzt und weiterer Wasserstoff generiert. Das dann sehr wasserstoffhaltige Synthesegas wird verbrannt und in einem kombinierten Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerksprozess genutzt. Die Abtrennung des CO₂ übernimmt eine Gaswäsche. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass derartige Kraftwerke auch mit nahezu vollständiger CO₂-Abtrennung einen Wirkungsgrad von über 40% erbringen und auch in der Lage sind, synthetische Treibstoffe und chemische Grundstoffe zu erzeugen. Mittelfristige Forschungsziele sind die ökonomische Optimierung des Prozesses, die Anpassung der Gasturbine an

das wasserstoffreiche Brenngas sowie die Optimierung des Vergasungsprozesses und der CO₂-Abtrennung. In Deutschland soll nach diesem Verfahren 2014 das erste IGCC-Kraftwerk (Gas- und Dampfturbinenprozesse mit integrierter Kohlenvergasung) mit nahezu vollständiger CO₂-Abtrennung in Betrieb gehen.

Abb 4: Entwicklung von Wirkungsgrad und CO₂-Emissionen von Steinkohlenkraftwerken mit unterschiedlichen Kraftwerkstechnologien und CCS-Verfahren



► Transport des CO₂ zum Speicher

Mit welchen CO₂-Mengen in Zukunft zu rechnen ist, hängt von vielen Faktoren ab, da sich die Stromerzeugung in Deutschland durch effizientere Kraftwerksverfahren, Änderungen im Energiemix und die Energiepreise wandeln wird. Prognosen gehen für das Jahr 2030 von etwa 60 Mio. Tonnen zu speicherndem CO₂ aus dem Kraftwerksbereich aus. Für den Transport in Pipelines

wird das Gas durch Kompressoren verdichtet und verflüssigt, was zusätzliche Energie kostet. Die Transportkosten werden vergleichbar zu Öl- oder Gaspipelines sein. Weltweit existieren derzeit ca. 3.100 km CO₂-Pipelines im Zusammenhang mit der Erdöl- und Erdgasförderung. Für die Anwendung von CCS ist ein CO₂-Pipelinennetz unverzichtbar. In Deutschland muss es noch

aufgebaut werden. Routenplanung und die Sicherung der Speicherstandorte sollen durch planungsrechtliche Vorgaben des Staates erfolgen. Das Pipelinennetz soll entsprechend dieser rechtlichen Rahmenbedingungen von den Kraftwerksbetreibern aufgebaut und betrieben werden.

► Geologische Speicherung des CO₂

Die geologische Speicherung soll CO₂-Emissionen für lange Zeit von der Biosphäre fernhalten. Über Millionen Jahre gespeicherte Erdgasvorkommen zeigen, dass Gase geologisch eingeschlossen werden können. Als Speicher für CO₂ in Deutschland kommen ausschließlich ausgebeutete Erdgaslagerstätten und Salzwasser führende Gesteinsschichten mit entsprechendem Deckgestein (Caprock) in einer Tiefe von über 800 m in Betracht. In Deutschland liegen 3/4 der geeigneten geologischen Formationen in Norddeutschland, wie man aus früheren Erkundungsbohrungen nach Erdöl und Erdgas weiß. In geologischen Formationen unterhalb der Nordsee, aus denen derzeit Erdgas gefördert wird, liegen weitere große Speicherpotenziale, die in den in Abb. 5 genannten Schätzwerten noch nicht enthalten sind. Am Speicherstandort wird das CO₂ mittels einer Injektionsbohrung (Abb. 6) in flüssiger Form in eine Tiefe von etwa 1.000 m gepresst.

Hier hat es wegen des hydrostatischen Drucks eine 500-fach höhere Dichte als gasförmig an der Erdoberfläche und nutzt so das Speichervolumen optimal aus. Die Speicherung erfolgt entweder physikalisch (CO₂ wird durch Druck und Deckgestein am Entweichen gehindert) oder chemisch (Mineralneubildung). Bei der Injektion müssen Druck und Temperatur auf die jeweiligen geo- und hydrologischen Verhältnisse des Speichers abgestimmt werden.

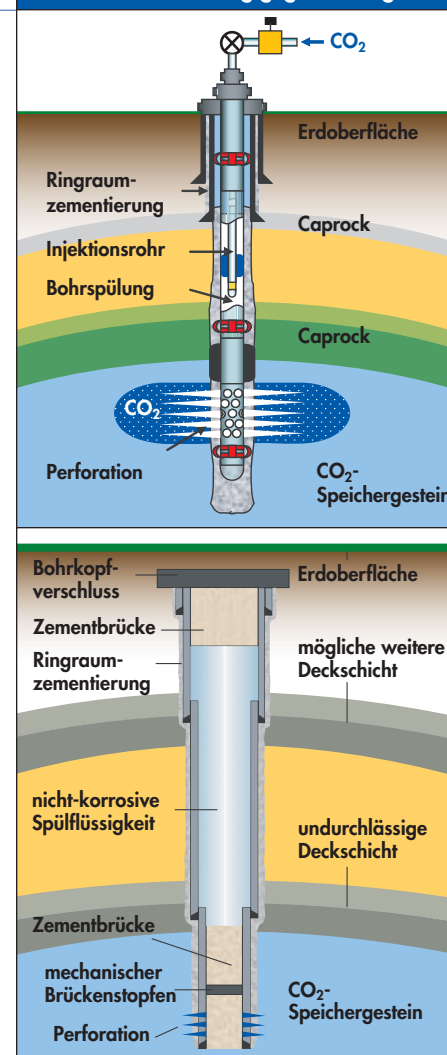
Die Ausbreitung des CO₂ im Untergrund und die dauerhafte Abdichtung werden durch ein kontinuierliches Monitoring gesichert. Forschungsthemen sind: Untersuchungen zur CO₂-Reinheit, das Langzeitverhalten, die geochemischen und geophysikalischen Prozesse in der Tiefe, der Trinkwasserschutz (z. B. durch Verdrängen von Salzwasser) sowie Speichermanagement, Sicherheitskonzepte und Materialentwicklung (Bohrlochzement, Korrosionsschutz).

Abb 5: Vergleich regionaler Schätzungen der CO₂-Speicherkapazitäten

Lagerstätte	Global		Deutschland	
	Kapazität [Mrd. t CO ₂]*	Statische Reichweite bezogen auf gesamte Kraftwerksemissionen 2002 [a]	Kapazität [Mrd. t CO ₂]**	Statische Reichweite bezogen auf gesamte Kraftwerksemissionen 2002 [a]
Erschöpfte Gasfelder	690	65	3	8
Erschöpfte Ölfelder	120	11	0,1	< 1
Tiefe saline Aquifere	400 – 10.000	38 – 940	12 – 28	34 – 78
Nicht erschließbare Kohleflöze	40	4	0,4 – 1,7	< 2

Quellen: * = IPCC (2002); ** = BGR (2004)

Abb 6: Prinzip einer CO₂ Injektionsbohrung. Oben während der Injektionsphase und unten nach Ende mit Abdichtung gegen Leckagen.



Förderkonzept „Leuchtturm COORETEC“

COORETEC bündelt die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der Energiepolitik, der Forschung und der Energiewirtschaft für emissionsarme Kraftwerke mit fossilen Energieträgern und CCS-Technologien. Bis zum Jahr 2020 sollen diese allgemein marktfähig sein.

Erste innovative Kraftwerkskonzepte und Komponenten, wie z. B. eine Oxyfuelverbrennung, ein IGCC-Kraftwerk und ein kombiniertes Gas- und Dampfturbinenkraftwerk mit mehr als 60%-Wirkungsgrad, befinden sich in der Erprobung oder in Planung.

Bei den CCS-Technologien verfolgt COORETEC folgende technischen Ziele:

- die Senkung der Kosten für die CO₂-Abtrennung und -Speicherung von derzeit 50 bis 70 € auf künftig weniger als 20 € pro Tonne CO₂,
- die Reduzierung der Effizienzverluste durch die CO₂ Abtrennung und -Speicherung von heute 9 bis 13 auf 6 – 11 Prozentpunkte,
- ein hoher Grad an Zuverlässigkeit und Flexibilität, um auf volatile Strom- und Energiemärkte schnell und effizient reagieren zu können sowie
- den Ausbau von Vergasungstechnologien (Bereitstellung synthetischer Kraftstoffe und von Grundstoffen für die Chemische Industrie).

Fazit und Perspektiven

Im Jahr 2007 wurden weitreichende Beschlüsse zur Energiepolitik und zum Klimaschutz getroffen. Alle EU-Staaten streben bis 2020 eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um mindestens 20% an (30%, wenn andere Industriestaaten sich anschließen). Wegen des langfristig steigenden Energiebedarfs in den Schwellenländern müssen die CO₂-Emissionen der Industriestaaten bis 2050 sogar um 60 – 80% verringert werden. Um diese Zielwerte zu erreichen, sollen erneuerbare Energien bis 2020 mit 20% zum europäischen Gesamtenergieverbrauch (derzeit: 6,5%) beitragen. Die Energieproduktivität soll europaweit um 20% steigen, was für Deutschland etwa 3% Effizienzsteigerung pro Jahr bedeutet. Diese Zielwerte sind ambitioniert und erfordern weiterhin große Anstrengungen. Im Hinblick auf die o. g. CO₂-Minderungsziele werden sie alleine nicht ausreichen, sondern es werden auf absehbare Zeit hocheffiziente fossile Kraftwerke und CCS-Technologien benötigt. Nur durch die Nutzung aller Optionen sind die Klimaschutzziele erreichbar. Hierbei muss auch der weiter rapide wachsende Weltenergiebedarf berücksichtigt werden. Beim Weltstromverbrauch rechnet man bis zum Jahr 2030 mit einer Verdopplung.

CCS-Technologien haben derzeit noch erheblichen Forschungs- und Entwicklungsbedarf, damit sie ab 2020 im großtechnischen Rahmen dem Markt zur Verfügung stehen. Auch bei Raffinerien sowie Zement- und Stahlwerken können sie eingesetzt werden. Grundlegende Untersuchungen zu Technik und Potenzial der geologischen Speicherung sowie deren Langzeitstabilität und Umweltauswirkungen haben begonnen. Die Auswertung, der im europäischen Speicherforschungsprojekt CO₂SINK in Ketzin (Abb. 1) laufenden Untersuchungen, und ein derzeit in Planung befindliches, größeres Projekt an einer ehemaligen Erdgaslagerstätte werden hierzu Ergebnisse liefern.

Auch andere Länder, wie Australien, Japan und die USA, arbeiten an der Entwicklung und Markteinführung von CCS-Technologien. Im Rahmen der Internationalen Energie Agentur und der Europäischen Union laufen internationale Kooperationsprojekte. Innerhalb der EU sollen in den nächsten Jahren bis zu 12 Demonstrationskraftwerke mit CO₂-Abscheidung entstehen.

ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

- Weitere Informationen über das Förderkonzept COORETEC finden Sie unter www.cooretec.de

Abbildungsnachweis

- Abb. 1: Geoforschungszentrum Potsdam, Projekt CO₂SINK
- Abb. 2: Deutsches Vulkan Museum, Mendig
- Abb. 4: Technische Universität Hamburg Harburg. Aus: Projekt-Info 6/2007 „Kraftwerke mit Kohlenverbrennung“
- Abb. 5: Forschungszentrum Jülich, STE Arbeitsbericht 1/2006
- Abb. 6: Leuchtturm COORETEC

Literatur

- Eine Linkliste zum Thema finden Sie unter www.bine.info „Service/InfoPlus“
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Leuchtturm COORETEC – Der Weg zum zukunftsfähigen Kraftwerk mit fossilen Brennstoffen“. Juni 2007. Forschungsbericht Nr. 566. Bezug: www.bmwi.de
- “Entwicklungsstand und Perspektiven von CCS-Technologien in Deutschland“. Gemeinsamer Bericht des BMWi, BMU und BMBF für die Bundesregierung vom 19. Sept. 2007. Bezug: www.bmwi.de
- Linßen/Markewitz/Martinsen/Walbeck: “Zukünftige Energieversorgung unter den Randbedingungen einer großtechnischen CO₂-Abscheidung und Speicherung“. Abschlussbericht des Forschungsvorhabens 0326889. Jülich 2006. STE Arbeitsbericht 1/2006. Bezug: www.cooretec.de

PROJEKTORGANISATION

- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Hubert Höwener
Andrea Ballouk
52425 Jülich

- Förderkennzeichen
0326889, 0327720 A-H,
0327710 diverse, 0329967,
0327735 A, B

IMPRESSUM

- ISSN
0937 – 8367
- Version in Englisch
Dieses Projekt-Info bieten wir Ihnen als PDF auch in englischer Sprache unter www.bine.info an.
- Herausgeber
FIZ Karlsruhe
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
- Nachdruck
Nachdruck des Textes nur zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegemplares; Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.
- Autor
Uwe Milles

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst von FIZ Karlsruhe.

Kontakt

Fragen zu diesem **projektinfo**?
Wir helfen Ihnen weiter:

Tel.: 0228 92379-44

 **BINE**
Informationsdienst

FIZ Karlsruhe, Büro Bonn
Kaiserstraße 185 – 197
53113 Bonn

Tel.: 0228 92379-0
Fax: 0228 92379-29

bine@fiz-karlsruhe.de
www.bine.info