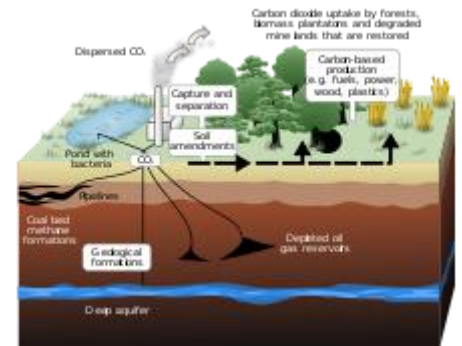


CO₂-Abscheidung und -Speicherung

CO₂-Abscheidung und -Speicherung (Fachbegriffe: **CO₂-Sequestrierung** und **CCS** (englisch *carbon dioxide capture and storage*)) ist ein Verfahren zur Reduzierung von CO₂-Emissionen in die Atmosphäre durch die technische Abspaltung am Kraftwerk (*End of pipe*) und „dauerhafte“ Einlagerung in unterirdische Lagerstätten. Es gibt großtechnische Vorhaben dieser Art, die sämtlich ohne Ansatz zum Nachweis einer Wirtschaftlichkeit verfolgt werden.

CO₂ wirkt in der Atmosphäre als Treibhausgas und ist die Hauptursache der menschengemachten globalen Erwärmung. Das Anwendungsgebiet der CO₂-Abscheidung und -Speicherung sollen große Punktquellen von CO₂ werden, vorrangig in Kraftwerken mit fossilen Brennstoffen, aber auch bei Industrieprozessen und im Bergbau. Die Verfahrensschritte sind die Abscheidung, der Transport (wenn erforderlich) und die geologische Speicherung des CO₂. Als mögliche CO₂-Lagerstätten gelten besondere geologische Formationen wie tiefe salzwasserführende Grundwasserleiter (Aquifere) oder ausgeförderte Erdöl- und Erdgaslagerstätten, eventuell kommen ebenfalls tiefe Kohleflöze in Frage, bei denen aber der sichere Einschluss fraglich ist.^[1]



Mittels CCS lässt sich der CO₂-Ausstoß fossiler Kraftwerke zwar deutlich senken – es fallen jedoch auch weiterhin nennenswerte Treibhausgasemissionen an. Während z. B. konventionelle Steinkohlekraftwerke in einer Lebenszyklusanalyse einen CO₂-Ausstoß von 790–1020 g/kWh aufweisen, liegt der Ausstoß eines CCS-Kraftwerkes mit 255–440 g/kWh niedriger aber immer noch deutlich höher als bei Erneuerbaren Energien oder Kernkraftwerken.^[2] Zudem verschlechtert die CCS-Technik den Wirkungsgrad von Kraftwerken. Bei modernen Kohlekraftwerken wird von einem Brennstoffmehrverbrauch in Höhe von ca. 24 bis 40 % gegenüber Kraftwerken ohne CCS-Technik ausgegangen, hauptsächlich für die Abscheidung und Verdichtung des Kohlenstoffdioxids.^[2]

Die CO₂-Abscheidung und -Speicherung in Kraftwerken ist noch im Entwicklungs- und Pilotstadium. Mit Stand 2016 steht die technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit von CCS-Kraftwerken trotz zwei Jahrzehnten der Forschung und des Baus von Prototypen noch aus.^[3] Die Wirtschaftlichkeit der Technologie ist fraglich, da davon ausgegangen wird, dass einige erneuerbare Energien bereits 2020 gleich hohe oder niedrigere Produktionskosten aufweisen werden.^[1]

Bereits im Jahr 2005 gab der IPCC einen Sonderbericht zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ heraus. Um im Sinne des Pariser Klimaabkommens von 2015 die durchschnittliche Erwärmung bei maximal 1,5 °C zu halten, sind nach Berechnungen des Weltklimarats IPCC „negative Emissionen“ – also das Entziehen von CO₂ aus der Atmosphäre – notwendig. Auch der Großteil der Szenarien, die die Erderwärmung auf 2 °C begrenzen wollen, geht von der Verfügbarkeit von Verfahren aus, negative Emissionen zu erzielen, wobei besonders Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung (BECCS) eine wichtige Rolle zugebilligt wird. Da die BECCS-Technik jedoch einige Nachteile mit sich bringt und vor allem sehr große Flächen für den Biomasseanbau benötigen würde, ist fraglich, ob sie jemals im großen Maßstab zur Verfügung stehen kann.^[3]

Endlagerung zur Klima-Schonung erfordert geeigneten Platz für ähnliche Mengen von Kohlenstoff, wie aus der Erde geholt werden, in beliebiger Modifikation oder chemischer Verbindung. Da geologische Speicherstätten nur begrenzt existieren und nur für einige Jahrzehnte ausreichen, gibt es zudem eine Nutzungskonkurrenz zwischen den unterschiedlichen Kohlenstoffquellen, etwa zwischen Kohlenstoff aus fossilen Brennstoffen und aus Biomasse.^[4]

Inhaltsverzeichnis

Abscheidung

Nachgeschaltete Abscheidung im Abgas

Abscheidung in IGCC-Kombikraftwerken

Abscheidung im Oxyfuel-Verfahren

Abscheidung in Industrieprozessen

Geologische Risiken

„CCS-Ready“

Direkte Luftentnahme

Speicherung (Sequestrierung, Lagerung)

Gefahren

Rechtsrahmen

Internationales Seerecht

EU-Recht

CCS-Gesetz in Deutschland

Andere Länder

Bewertung

Vorteile und Chancen

Nutzbarkeit der Technik

Lagerung des Kohlenstoffdioxids

Alternativen

Biologische Sequestrierung

Kosten

Kritik des Umweltrates

Verhältnis von Kohle- und Windkraft

Nutzung der Lagerstätten

Bevorzugung von CCS

Subventionierung

Kritik von Umweltschützern

Umsetzung

Forschungsprogramme

Pilotanlagen für die Abscheidung

Speicherstätten, Projekte und Bürgerprotest

Schleswig-Holstein

Brandenburg

Niedersachsen

Sachsen-Anhalt

Siehe auch

Literatur

Übersichtsliteratur

Gesetzestexte

Aufsätze

Weblinks

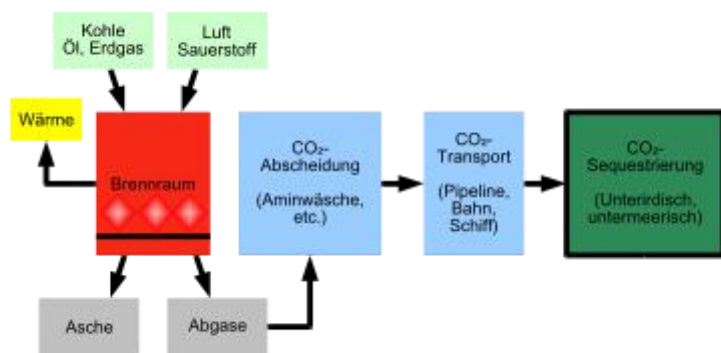
Einzelnachweise

Abscheidung

Die Abtrennung von CO₂ in Kraftwerken kann mit unterschiedlichen Verfahren erfolgen, z. B. nach der Verbrennung in einer CO₂-Wäsche aus dem Abgas (*Post-Combustion*), Abtrennung nach Kohlevergasung (CO₂-reduziertes IGCC-Kraftwerk, *Pre-Combustion*), oder Verbrennung in Sauerstoffatmosphäre (*Oxyfuel*). Alle drei Verfahren werden parallel zueinander entwickelt und sind in Pilotanlagen realisiert. Jede der Techniken hat gegenüber den anderen spezifische Vor- und Nachteile. Es ist noch völlig offen, welche Technik (und ob überhaupt eine) sich im großtechnischen Einsatz durchsetzen wird. Kritische Größen sind unter anderem die Wirkungsgradverluste, die Abscheidungsrate (welcher Anteil des CO₂ wird erfasst), die Reinheit des abgeschiedenen CO₂, weitere Umweltwirkungen auf Luft-, Wasser- oder Abfallpfad, die Kosten sowie die Trägheit des Prozesses im Lastfolgebetrieb.

Nachgeschaltete Abscheidung im Abgas

Als letzter Reinigungsschritt des Abgases nach der Entschwefelung kann eine CO₂-Wäsche installiert werden. Dieses Verfahren wird auch *Post-Combustion-Capture* genannt (engl. *combustion* = ‚Verbrennung‘; *capture* = ‚Einfangen‘). Bei einem Kohlekraftwerk mit einem angenommenen Wirkungsgrad von ohne Abscheidung erreichten 38 % sind zur Produktion von 1 kWh elektrischen Stroms 0,32 kg Steinkohle nötig, aus der ca. 0,88 kg CO₂ entsteht.



Abfolge der CO₂-Abscheidung im Post-Combustion-Verfahren (einschließlich CO₂-Transport und -Speicherung)

Hauptbestandteil des Abgases ist der in der Atmosphäre enthaltene Stickstoff, der nicht an der Verbrennung teilnimmt. Der CO₂-Partialdruck beträgt etwa 15 %. Dies macht Waschverfahren relativ aufwändig, da der Stickstoff quasi als „Ballast“ durch den gesamten Prozess geschleppt werden muss.

Verschiedene Waschverfahren befinden sich in der Erprobung. Auch hier ist offen, welches Verfahren sich für den großtechnischen Einsatz durchsetzen könnte. In der Erdgasaufbereitung (nicht aber im Kraftwerksbereich) großtechnisch bekannt ist die Aminwäsche. Bei der Aminwäsche wird das CO₂ bei 27 °C an den Träger, fein verteilte Amin-Tröpfchen, angelagert. In einem zweiten Schritt gelangen die Amine in einen Abscheider (Stripper), wo sie bei 150 °C das CO₂ in konzentrierter Form wieder abgeben und anschließend dem Prozess

wieder zugeführt werden. Amine gelten als die dritthäufigste Ursache für arbeitsplatzbedingte Krebserkrankungen; diese Abscheidetechnik wäre für Arbeiter und Bevölkerung wohl mit erheblichen Risiken verbunden. Solche Emissionen sind bei Einsatz nicht flüchtiger Amine wie z. B. der Aminosäuren Prolin oder Sarcosin nicht zu erwarten^[5]. Ab 2009 wurde im Kraftwerk Staudinger ein solches, auf einer Aminosäuresalzlösung basierendes Verfahren erprobt. Der Wirkungsgrad allein des Kraftwerks sank um sechs Prozentpunkte (6 %), die CO₂-Abscheideleistung betrug über 90 %^[6].

Analog funktioniert eine Carbonat-Wäsche mit Hydrogencarbonat. Bei der Carbonatwäsche erfolgt die Anlagerung bei ca. 40 °C und die Abspaltung bei 105 °C. Auch mit organischen Lösungsmitteln kann das Kohlenstoffdioxid aus dem Rauchgas entfernt werden, z. B. mit Methanol (Rectisolwäsche), N-Methyl-2-pyrrolidon (Purisolwäsche) oder Polyethylenglykoldimethylether (Selexol-Wäsche). Die Abscheiderate liegt mit diesen Verfahren bei bis zu ca. 95 %, der Energieaufwand ist anderen Verfahren vergleichbar und senkt den Wirkungsgrad allein des Kraftwerks um mehr als 5 %.

Weitere Trennverfahren sind Membranfilter, Chilled Ammonia oder das Carbonat-Looping-Verfahren (bzw. Lime-Loop-CO₂-Reduction-Verfahren). Bei diesem Verfahren wird Kalk als Kreislaufmedium für den Prozess eingesetzt. Entsprechend findet man in dem Prozess die zwei Calciumverbindungen CaCO₃ und CaO. Der Prozess läuft in einem Temperaturbereich von 650–900 °C ab. Hieraus ergibt sich ein vergleichsweise geringer Wirkungsgradverlust^{[7][8]}. Der effektiv geringere Wirkungsgrad wurde bisher lediglich qualitativ argumentiert.

Gemeinsam ist allen Waschverfahren der hohe Energiebedarf, der beispielsweise für die Regenerierung der Waschmittel notwendig ist. Bei einem Kohlekraftwerk sinkt dabei der Gesamtwirkungsgrad um geschätzt acht bis zwölf Prozentpunkte (6–12 %); entsprechend steigt der Brennstoffeinsatz^[9]. Ein modernes Steinkohlekraftwerk hat einen Wirkungsgrad von ca. 45 %, durch die CO₂-Abscheidung sinkt der Wirkungsgrad auf dann ca. 33–37 %, was einen um bis zu ca. 35 % höheren Kohleverbrauch für dieselbe Stromproduktion bedeutet. Keines dieser Abscheideverfahren hat bisher eine CO₂-Abscheidequote von über 90 % im großtechnischen Maßstab gezeigt. Bisherige Anlagen scheiden entweder deutlich geringere Anteile an CO₂ ab, oder sind noch in der Erprobungs- und Entwicklungsphase.

Aktuell werden mehrere Versuchsanlagen betrieben, in Deutschland an der TU Darmstadt^[10].

Für chemische Synthesen erscheint es energetisch sinnvoll, das CO₂ mit Kohle zu Kohlenmonoxid (Boudouard-Gleichgewicht) umzuwandeln.^[11] Für die Methanolherstellung würde man zusätzlich Wasserstoff benötigen.

Abscheidung in IGCC-Kombikraftwerken

In Kombikraftwerken mit integrierter Kohlevergasung (*Integrated Gasification Combined Cycle*, IGCC) und CO₂-Abtrennung (*Carbon Dioxide Capture and Storage*, CCS) reagiert die Kohle in einem ersten Schritt (Vergasen, partielle Oxidation) unterstöchiometrisch mit Wasser zu Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid.

Mit Hilfe geeigneter Katalysatoren können Kohlenstoffmonoxid und Wasserdampf zu Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff reagieren (homogene Wassergasreaktion). Dadurch kann ein Gasgemisch gewonnen werden, das hauptsächlich aus Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid besteht. Bedingt durch die Vergasung bei Drücken bis 60 bar, kann eine hohe CO₂-Konzentration und damit ein hoher CO₂-Partialdruck im Gasgemisch eingestellt werden. Unter diesen Bedingungen kann CO₂ mit erprobten Verfahren aus dem Gasgemisch absorbiert werden (physikalische Absorption). Dieses Verfahren wird als *Pre-Combustion-Capture* bezeichnet, da das CO₂ vor der Verbrennung entfernt wird. Die Entschwefelung erfolgt nach dem gleichen Prinzip (Abtrennung von Schwefelwasserstoff). Das so aufbereitete Brenngas besteht danach überwiegend aus Wasserstoff (bis 90 Volumenprozent möglich) und kann in einem GuD-Prozess genutzt werden. Hierfür ist allerdings noch die

völlige Neuentwicklung einer Wasserstoff-Turbine notwendig. Da IGCC-Kraftwerke bereits ohne CO₂-Abscheidung mit technischen Problemen zu kämpfen haben, wird es bis zur technischen und ökonomischen Marktreife dieser Technologie Jahrzehnte dauern. Berechnungen zufolge hat diese Variante der CO₂-Abscheidung einen geringen Wirkungsgradverlust (weniger als 10 %). Eine Pilotanlage besteht seit 2011 im niederländischen Kraftwerk Buggenum.

Abscheidung im Oxyfuel-Verfahren

Im Oxyfuel-Verfahren wird die Kohle in einer Atmosphäre aus reinem Sauerstoff und CO₂ (rezirkulierendem Rauchgas) verbrannt. Das dabei entstehende Rauchgas ist nicht mit Luft-Stickstoff verdünnt und besteht im Wesentlichen aus CO₂ und Wasserdampf. Der Wasserdampf kann mit wenig Aufwand kondensiert werden, so dass ein hochkonzentrierter CO₂-Strom (Konzentration im Idealfall nahe 100 Prozent) übrigbleibt. Das CO₂ kann dann verdichtet und zum Lager transportiert werden. Nach erfolgreichem Test in einer Versuchsanlage wurde im September 2008 eine Pilotanlage zur CO₂-Sequestrierung mit einer thermischen Leistung von 30 MW im Industriepark Schwarze Pumpe in unmittelbarer Nähe zum Kraftwerk Schwarze Pumpe in Betrieb genommen.

Auch beim Oxyfuelverfahren sinkt der elektrische Gesamtwirkungsgrad gegenüber einer Anlage ohne CO₂-Abscheidung um ca. 10 Prozentpunkte, was je nach Wirkungsgrad des zugrundeliegenden Prozesses einem 30–50 % höheren Kohlebedarf entspricht. Das bedeutet ein Absinken des thermodynamischen Wirkungsgrades um ca. 15 %. Zusätzlicher Hauptenergieverbraucher ist in diesem Fall die Luftzerlegungsanlage für die Produktion des reinen Sauerstoffs.

Abscheidung in Industrieprozessen

Am einfachsten lässt sich CO₂ in Anlagen, die CO₂ von Erdgas trennen, abscheiden, weil es dort in sehr reiner Form auftritt. Erste Versuche zur CO₂-Sequestrierung sind daher auf diesen Bereich und nicht auf Kohlekraftwerke angelegt, so z. B. in In Salah (Algerien).

Geologische Risiken

Im Sleipner-Gasfeld im norwegischen Teil der Nordsee werden seit 1996 ca. 1 Million Tonnen CO₂ pro Jahr abgetrennt und injiziert^[12], im Gasfeld Snøhvit in der norwegischen Barentssee seit 2008 jährlich gut 700.000 Tonnen.^[13] In Sleipner steigt der Druck nicht an, und 24 % des verpressten CO₂ sind nicht mehr auffindbar. Dafür ist in nur 24 km Entfernung eine mit bisherigen Untersuchungsmethoden nicht auffindbare Fraktur von 3 km Länge, bis 200 m Tiefe und 10 m Breite aufgetaucht. In Snøhvit musste die Verpressung von CO₂ in die Tubåen-Formation eingestellt werden, weil der Druck so stark anstieg, dass das Deckgebirge zu reißen drohte. Seit 2013 wird in Snøhvit die Stø-Formation verpresst.^[14]

Durch die steigende Nachfrage nach Erdöl wird die Kohleverflüssigung zur Herstellung von Kohlenwasserstoffen für Treibstoffzwecke rentabler. Dabei fallen große Mengen an CO₂ an, weil die pro Kohlenstoffatom gebundene Energiemenge im Produkt (Kohlenwasserstoff) wesentlich größer ist als im Rohstoff (Kohle). Im Prozess muss also Primärenergie übertragen werden. Ein Teil des Kohlenstoffs wird energetisch aufgewertet (reduziert), ein anderer zur Energiefreisetzung oxidiert.

„CCS-Ready“

Im Zusammenhang mit dem Neubau von Kohlekraftwerken werden zunehmend die Begriffe „CCS-Ready“ bzw. „Capture-Ready“ verwendet, die bezeichnen sollen, dass der Kraftwerksneubau für nachträgliche Installationen zur Abscheidung vorbereitet ist. Diese Begriffe sind derzeit nicht genau definiert oder gesetzlich geschützt. Der TÜV Nord hat einen eigenen Standard definiert und vergibt darauf basierend ein Zertifikat^[15]. Gesetzliche Auflagen bestehen nicht.

Da für den Aufbau der Abscheidung Flächen benötigt werden, die mehr als der Hälfte der ursprünglichen Kraftwerksfläche entsprechen, sollten bei einem Kraftwerksneubau oder einer Renovierung diese Flächen vorhanden und für die Nutzung freigegeben sein. Ein Kraftwerksneubau ohne diese Voraussetzungen kann normalerweise nicht geltend machen, „CCS-Ready“ zu sein.

Für einen soliden Ansatz zur Ökologie muss eine Gesamtbilanz aufgestellt werden. Dies schließt ein, den Zugang zu einem Lager entweder direkt am Kraftwerksstandort oder über Ferntransport nachzuweisen und den Nachweis tatsächlich vorhandener Lagerkapazitäten zu erbringen.

Direkte Luftentnahme

Weitere Programme erforschen Möglichkeiten, das Kohlenstoffdioxid mittels chemischer Absorber direkt aus der Luft zu filtern. Diese Technologie wird zumeist als DAC (Direct air capture) bezeichnet. Es existieren erste Prototypen, die das Verfahren experimentell erproben, nachteilig sind jedoch die hohen Kosten. Mit Stand Anfang 2018 betrug diese ca. 600 USD pro Tonne Kohlenstoffdioxid. Entwickler dieser Technik hoffen, die Kosten für die Kohlendioxidabscheidung aus der Luft langfristig auf ca. 100 \$/Tonne senken zu können, Speicherung nicht eingerechnet.^[16]

Speicherung (Sequestrierung, Lagerung)

Die meisten Forscher auf dem Gebiet der CO₂-Sequestrierung favorisieren (Stand 2000er Jahre) eine Lagerung in tiefen Sedimentschichten, deren Poren mit Salzwasser gefüllt sind. Ab ca. 800 m Tiefe treten Drücke auf, bei denen das eingebrachte CO₂ so verdichtet ist, dass es im überkritischen Zustand bleibt. Damit ein erneutes Zutagetreten des Kohlenstoffdioxids praktisch ausgeschlossen ist, müssen diese Schichten durch eine undurchlässige Deckschicht abgedeckt sein. Trotz des dort herrschenden Drucks besitzt das CO₂ mit unter 700 kg pro m³ eine geringere Dichte als das Salzwasser, wodurch es auf diesem schwimmen wird. Im oberen Bereich der Lagerstätte wird deshalb das Salzwasser aus den Poren verdrängt, wodurch Platz für das verpresste CO₂ geschaffen wird. Wo das verdrängte Salzwasser bleibt, ist eine der kritischen Fragen der CCS-Technologie. Es wird vorwiegend zur Seite (lateral) verdrängt werden und kann dann an geologischen Störungszonen, auch in weiter Entfernung vom Injektionsort, aufsteigen und ins Grundwasser (Trinkwasser) oder an den Meeresboden gelangen. Die laterale Ausdehnung der Druckanomalie kann vielfach größer sein als die Verbreitung des CO₂ in einem Aquifer. Werden zur Verpressung von CO₂ und zur Verdrängung von Salzwasser Drücke verwandt, die deutlich über dem Formationsdruck und der Zugspannung des Gesteins liegen, so können induzierte Erdbeben auftreten, die im Einzelfall auch zu Erschütterungen führen können, die über der Fühlbarkeitsgrenze liegen.

Bei der Nutzung tiefer Aquifere steht die Sequestrierung im Wettbewerb mit anderen Nutzungen, beispielsweise der Nutzung dieser Aquifere zur nachhaltigen Stromerzeugung aus Geothermie. Fragen der Umweltschädlichkeit der Endlagerung großer Mengen von CO₂ in Aquiferen sind noch nicht untersucht. Auch ist die Speicherkapazität von Aquiferen begrenzt. Die vermuteten etwa 20 Mrd. Tonnen Speicherkapazität auf deutschem Territorium entsprechen etwa den CO₂-Emissionen des deutschen Kraftwerksparks während 30 bis 60 Jahren.^[17] Die Erfahrungen mit diesen Gesteinsschichten in Sleipner und Snøhvit zeigen, dass die tatsächlich verfügbare Speicherkapazität deutlich niedriger anzusetzen wäre. Da die

EU ein diskriminierungsfreies Zugangsrecht aller EU-Staaten an diesen Endlagerstätten vorschreibt, müsste auch CO₂ aus anderen Mitgliedsländern in Deutschland endgelagert werden dürfen. Da in Deutschland die Deponierung von Abfällen grundsätzlich nicht gestattet ist, sind auch rechtliche Fragen noch zu klären.

Während noch vor wenigen Jahren davon ausgegangen wurde, dass sich das CO₂ in salinaren Aquiferen entweder im Salzwasser lösen oder mineralisieren würde, zeigen aktuelle Untersuchungen, dass wahrscheinlich ein wesentlicher Anteil dauerhaft als überkritische Flüssigkeit bestehen bleiben wird.^[18]

Kohlenstoffdioxid kann in Form von Karbonaten gelagert werden, die auch offen und ohne Sicherheitsbedenken deponiert werden könnten. Als Ausgangsstoffe kommen hierfür in erster Linie Silikate der Erdalkalimetalle in Frage. Diese lassen sich mit gelöster Kohlensäure exotherm zu Karbonaten und Kieselsäuren umsetzen. Besonders erfolgversprechend sind nicht-polymerisierte oder niedrig-polymerisierte Silikate wie Olivine, Pyroxene und Pyroxenoide, so z. B. Forsterit, Monticellit, Wollastonit, Diopsid oder Enstatit, weniger dagegen Schicht-Silikate wie die Serpentine. Problematisch ist dennoch die langsame Reaktionsgeschwindigkeit. Zu deponierende Produkte wären Magnesium- oder Calcium-Carbonat und aus der Kieselsäure ausgefälltes Silicium-Dioxid. Forscher der New Yorker Columbia University unter Professor Klaus Lackner konnten 2008 zeigen, dass an Peridotit, einem Gestein aus Olivin und Pyroxen, auch in situ eine erheblich schnellere Karbonatisierung ablaufen kann als bisher angenommen. Damit erscheint auch eine technische Nutzung in situ möglich, was Abbau und Deponierung einsparen würde. Die Forscher halten mit der Niederbringung einer größeren Zahl von Bohrungen, hydraulischer Frakturierung des Gesteins und einer Anfangserwärmung die reaktive CO₂-Sequestrierung in größerer Tiefe, wo ohnehin höhere Drücke und Temperaturen herrschen, im großtechnischen Maßstab für möglich.^{[19][20]} Ein internationales Wissenschaftlerteam berichtete 2016 in Science, dass die Mineralisierung in Basaltgestein sehr effizient ist.^[21] In dem Pilotprojekt CarbFix injizierten sie auf Island 220 Tonnen mit schwerem Kohlenstoff markiertes Kohlenstoffdioxid zusammen mit Wasser in Tiefen von 200 bis 400 Metern. Die Messungen ergaben, dass schon nach 1,5 Jahren etwa 95 % des injizierten Kohlenstoffs Bestandteil von Calcit und anderer Mineralien war.^[22]

Man kann Kohlenstoffdioxid auch in tiefe, nicht abbaubare Kohleflöze injizieren. Der Vorteil dieser Methode ist, dass das CO₂ an der Kohle sorbiert (durch schwache physikalische Wechselwirkungen fixiert) wird. Das in der Kohle normalerweise enthaltene sogenannte Flözgas Methan wird dadurch verdrängt und kann als relativ saubere Energiequelle gefördert und genutzt werden.^[23]

Seit 2008 wird der Austausch von Methan-Hydraten in Sedimentschichten am Meeresboden gegen CO₂ erforscht.^[24] Der kommerzielle Abbau von Gashydrat-Lagerstätten zwecks Gewinnung des fossilen Energieträgers wurde bisher nur in einem westsibirischen Permafrostvorkommen realisiert. In Japan, den USA, Kanada, Südkorea, China, Indien und anderen Staaten werden jedoch umfangreiche Förderprogramme aufgelegt, die darauf abzielen, in ca. zehn Jahren mit dem großflächigen Abbau von submarinen Hydratlagerstätten zu beginnen. Das Forschungsprojekt SUGAR hat zum Ziel, das dem Meeresboden entnommene Methan gegen CO₂ auszutauschen.

Modellrechnungen anhand Demonstrationsanlagen ergaben, das mit dem sog. CarbFix-Verfahren abhängig von den jeweiligen Standortbedingungen vor Ort Speicherkosten von ca. 25 bis 50 Dollar/Tonne CO₂ möglich sein können. Diese Werte sind niedriger als bei herkömmlichen CCS-Verfahren.^[25]

Gefahren

Das CO₂ kann ausgasen und mit dem vorhandenen Grundwasser Kaltwassergeysire erzeugen. Dieses geschieht in Deutschland kontinuierlich, so in der Eifel in Andernach und in Wallenborn. Diese können lokal im Untergrund teils erhebliche Mengen giftiger Schwermetalle aus den Gesteinen lösen und diese so in das

regionale Grundwasser eintragen.^[26] Neben der Verdrängung von Salzwasser aus den Verpressungshorizonten in Grundwasserleiter wäre daher zusätzlich mit einer Schwermetallbelastung im Trinkwasser zu rechnen.

Laut einer an der Stanford University durchgeführten Studie besteht bei der Verpressung von Kohlenstoffdioxid in den Boden eine große Wahrscheinlichkeit von schwachen Erdbeben im Speichergebiet. Diese wären zwar zu schwach, um größere Schäden an der Oberfläche auszulösen, jedoch könnten die unterirdischen Speicher durch die dabei entstehenden Risse undicht werden und somit das gespeicherte Kohlenstoffdioxid wieder in die Atmosphäre entweichen. Aufgrund dieses Umstandes wird die im großen Maßstab umgesetzte Kohlenstoffdioxidspeicherung in der Studie als eine risikoreiche und wahrscheinlich erfolglose Strategie der Treibhausgasreduktion angesehen.^{[27][28]} Da für Abscheidung, Transport und Verpressung von CO₂ erhebliche Mengen an zusätzlichen CO₂-Emissionen entstünden, könnte bei Leckraten von nur 1 % pro Jahr innerhalb von 100 Jahren der CO₂-Gehalt der Luft durch CCS sogar signifikant steigen.

Rechtsrahmen

Die Technikkette der CO₂-Sequestrierung berührt eine Vielzahl von Rechtsgebieten vom Immissionsschutz- über das Katastrophenschutz- bis zum Berg- und Wasserrecht. Keines dieser Gesetze beschreibt jedoch die neue Tätigkeit der CO₂-Sequestrierung hinreichend. Rechtssysteme, die keine Bergfreiheit von Bodenschätzen kennen, müssen darüber auch das Rechtsverhältnis zwischen CO₂-Speicher und dem darüber liegenden Grundbesitz klären.

Bergrecht, in Deutschland das Berggesetz, ist allgemein nur anwendbar, wenn die CO₂-Sequestrierung im Rahmen traditioneller Bergbauaktivitäten beispielsweise zur Förderung von Öl oder Gas eingesetzt wird.^[29]

Internationales Seerecht

Das Verbot der Verbringung von Abfällen auf See (Verklappung) sowie das Exportverbot von Abfällen zur Verbringung ins Meer, die in der Londoner Konvention (1972) und dem OSPAR-Abkommen niedergelegt sind, betrifft auch die CO₂-Speicherung im Meer oder unterhalb des Meeresbodens. Da das weltweit erste CO₂-Speichervorhaben offshore bei der norwegischen Bohrinselformation Sleipner realisiert wurde, bestand hier Regelungsbedarf. Die Vertragsstaaten haben Anpassungen des OSPAR-Abkommens 2007 beschlossen, bei der Londoner Konvention 2008. Demnach ist die Verbringung von CO₂ in geologische Formationen unterhalb des Meeresbodens gestattet. Die bis dahin (und in manchen Ländern bis heute) diskutierte Verbringung von CO₂ in die offene Wassersäule ist den jeweiligen Vertragsstaaten hingegen seither untersagt.

EU-Recht

Auf EU-Ebene regelt die Richtlinie 2009/31/EG zur geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid^[30] die Auswahl, Genehmigungsverfahren und Betrieb von CO₂-Speichern.^[31] Diese Richtlinie ist seit dem 25. Juni 2009 in Kraft und regelt unter anderem die Vorgehensweise des Genehmigungsprozesses bei der Erkundung, Betrieb und Abschluss von CO₂-Speichern und gibt materielle Standards an die Beschaffenheit der geologischen Formationen.

Weitergehende Anforderungen wie der verpflichtende Einsatz von CCS in neuen Kraftwerken und das Nachrüsten Bestehender waren in der Diskussion^[32], sind jedoch nicht in die Richtlinie aufgenommen.

Die EU-Richtlinie gilt nicht unmittelbar in den Mitgliedsstaaten. Diese haben die Richtlinie in nationales Recht zu überführen. Hierzu hatten die Mitgliedsstaaten eine Frist von zwei Jahren, d. h. bis zum 25. Juni 2011. Nach Mitteilung der EU-Kommission haben 25 der 27 Mitgliedsstaaten diese Frist versäumt. Lediglich Spanien und Rumänien haben termingerecht Vollzug gemeldet. Die EU-Kommission prüfte gemäß der Europäischen Verträge Sanktionen gegen die säumigen Staaten.^[33]

Die Förderung von CCS durch die Europäische Union hat im Rahmen des NER300-Programms keinen Erfolg erzielt. Trotz knapp 4 Mrd. Euro Subventionen war keines der Projekte erfolgreich, wie der Europäische Rechnungshof kritisiert.^[34]

CCS-Gesetz in Deutschland

In Deutschland ist der Einsatz von CCS seit dem 24. August 2012 durch das *Gesetz zur Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid (Kohlendioxid-Speicherungsgesetz – KSpG)* gesetzlich geregelt^[35]. Deutschland hat damit auch die EU-Richtlinie 2009/31/EG in nationales Recht umgesetzt. Das Gesetz enthält eine Höchstspeichermenge für Deutschland von vier Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr insgesamt und 1,3 Millionen Tonnen pro Jahr pro Speicher sowie eine Länderklausel, die einzelnen Bundesländern die Option zum generellen Verbot der CO₂-Speicherung auf ihrem Territorium ermöglichen soll.

Dem vorangegangen waren zwei Anläufe der Bundesregierung, ein Kohlendioxid-Speicherungsgesetz zu verabschieden. Ein erster Anlauf der großen Koalition zur Verabschiedung eines CO₂-Speicherungsgesetzes scheiterte im Juni 2009 vor Ende der 16. Legislaturperiode^[36]. Dazu haben auch erhebliche Proteste in der Bevölkerung beigetragen. In Schleswig-Holstein fiel die Diskussion um den Gesetzentwurf in eine Zeit massiver Proteste gegen ein CO₂-Speichervorhaben und den Wahlkampf für die Landtagswahl im September 2009.

Da sowohl die Bundestagswahl 2009 als auch die schleswig-holsteinische Landtagswahl schwarz-gelbe Mehrheiten ergaben, diese aber in Berlin und Kiel gegensätzliche Positionen zur CO₂-Speicherung vertraten, dauerte die erneute Vorlage eines CO₂-Speicherungsgesetzes bis zum April 2011^[37]. Der neue Gesetzentwurf hatte Kritik an dem alten Entwurf aufgegriffen und durch zeitliche und Mengenbegrenzungen den Demonstrationscharakter stärker hervorgehoben. Weiterhin enthielt er auf Betreiben Schleswig-Holsteins und Niedersachsens eine Länderklausel, die den Bundesländern die Option zum generellen Verbot der CO₂-Speicherung auf ihrem Territorium ermöglichen sollte. Dieser Gesetzentwurf scheiterte im September 2011 im Bundesrat.^[38] Die Bundesregierung rief daraufhin den Vermittlungsausschuss an.^[39] Nach monatelangen Verhandlungen wurde eine Einigung erzielt, auf deren Grundlage Bundestag und Bundesrat das Gesetz Ende Juni 2012 verabschiedeten. Es trat einen Tag nach der Veröffentlichung im Bundesgesetzblatt Jg 2012 Teil I Nr. 38 in Kraft.

Der CO₂-Testspeicher Ketzin ist nach Bergrecht genehmigt. Auch weitere Untersuchungsgenehmigungen zur Erkundung von CO₂-Speichern wurden vor Inkrafttreten des KSpG (mangels eines geeigneten Rechtsrahmens) nach Bergrecht („Aufsuchung von Sole“) beantragt und könnten in Erkundungsgenehmigungen nach dem KSpG übergeleitet werden. Allerdings gab es zum Zeitpunkt des Inkrafttretens des KSpG keine offenen Antragsverfahren.

In einem 2012 veröffentlichten Positionspapier kritisiert der Energieversorger EnBW die CCS-Technologie. Zur Zeit gebe es in der Bevölkerung keine Akzeptanz für die unterirdische Speicherung von CO₂ und außerdem „ist die CCS-Technologie mit erheblichen Kosten verbunden, die perspektivisch die Förderkosten der Erneuerbaren inklusive Photovoltaik deutlich übertrifft“. Darüber hinaus bekannte sich EnBW zur Energiewende und sah die systematischen und ökonomischen Vorteile der Erneuerbaren, die es jetzt auszubauen gelte.^[40]

Andere Länder

In der EU wollen weitere Länder, z. B. die Niederlande und Großbritannien, die EU-Richtlinie zeitnah umsetzen und diskutieren eine entsprechende Gesetzgebung. In Österreich wurde die CO₂-Endlagerung verboten. Lediglich Forschungsvorhaben bis zu 100.000 t CO₂ wurden gestattet.

In Australien regelt ein neues Gesetz die CO₂-Speicherung offshore in den Territorialgewässern. Für die Speicherung auf Land gibt es in einigen Bundesstaaten Regelungen. Ähnlich ist auch in den Vereinigten Staaten und in Kanada die CO₂-Speicherung in einzelnen Bundesstaaten geregelt. Eine landesweite gesetzliche Regelung befindet sich in den USA in der öffentlichen Anhörung.

Bewertung

Vorteile und Chancen

Auch eine stark zunehmende Nutzung regenerativer Energien und Energieeffizienzsteigerung auf der Erzeugungs- und Verbrauchsseite kann die fossile Energieerzeugung erst mittel- oder langfristig ablösen. Wie lange große Wachstumsländer (z. B. die Volksrepublik China und Indien) und Schwellenländer für diesen Umstieg brauchen werden, bleibt abzuwarten. Die dauerhafte Einlagerung (Endlagerung) des Kohlenstoffdioxids ist eine Möglichkeit, die ansonsten zu erwartende steigende Belastung der Atmosphäre mit Treibhausgasen zu reduzieren.

In Sedimentschichten eingelagertes Kohlenstoffdioxid kann (lokal begrenzt und in der Menge ohne Bedeutung) in fast erschöpften Erdöllagerstätten den Förderdruck erhöhen. Entsprechende Programme laufen in Großbritannien (Nordsee) und den USA. Diese Technik wird EOR (enhanced oil recovery) genannt. Hierbei bestehen dieselben Risiken wie bei CCS.

Setzt man Biomasse als Brennstoff ein, könnte man in Verbindung mit CCS CO₂ aus dem atmosphärischen Kreislauf entziehen und damit theoretisch durch menschliche Aktivität verursachte CO₂-Emissionen aus der Atmosphäre entfernen.

Nutzbarkeit der Technik

Der Wirkungsgradverlust am Kraftwerk führt bei heutigem Stand der Technik zu einem Effizienzverlust von Kraftwerken um ca. 10 Prozentpunkte.^[41] Dies entspricht einem um ca. 30 % erhöhten Ressourceneinsatz.^[42] Hieraus resultieren neben hohen Kosten ein schnellerer Verbrauch teils ohnehin knapper Ressourcen und zusätzliche Umweltbelastungen durch Landschaftszerstörung (im Fall z. B. von Braunkohletagebau), den Transport, die Zunahme an Abwärme und die Emission anderer Schadstoffe (Feinstaub, Schwermetalle). Weitere Umweltfolgen entstehen durch erhöhten Anfall von Abwasser und Abfall als Folge des Abscheidungsprozesses. Diese lassen sich mit dem gegenwärtigen Kenntnisstand noch nicht quantifizieren.

In jedem Fall würde die Technik Strom aus Kohlekraftwerken deutlich verteuern.

Bei Pipelinelängen von mehr als 500 km dürften die Verluste umso höher ausfallen. Für Europa ist ein CO₂-Pipeline-Netz von 22.000–37.000 km Länge geplant. Legt man die Erfahrungen aus den USA zu Grunde, wäre bei einem 25.000 km langen Pipeline-Netz jedes Jahr mit sechs Leckagen zu rechnen. Nicht eingerechnet ist der langfristige Energieeinsatz, da in den Lagerstätten über Tausende von Jahren ein Monitoring stattfinden sollte. Insofern stellt sich die Frage, ob die Energiebilanz von CCS-Kraftwerken überhaupt positiv ausfällt.

Die Technik ermöglicht keine CO₂-freie, sondern nur eine CO₂-„arme“ Stromproduktion. Nur etwa 70 % der CO₂-Emissionen werden tatsächlich vermieden.^[43]

Lagerung des Kohlenstoffdioxids

Diskutiert wird (Stand etwa 2009) die Lagerung von Kohlenstoffdioxid vor allem in tiefen salinaren Aquiferen (salzwasserführende unterirdische Schichten) und ausgedienten Erdöl- und Erdgaslagerstätten. Nach Angaben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe liegen die Kapazitäten dieser bei etwa 20 Mrd. Tonnen (salinare Aquifere, aufsummiert) bzw. 2,75 Mrd. Tonnen (ausgediente Erdöl- und Erdgaslagerstätten, aufsummiert). Diese Kapazitäten würden genügen, um die Emissionen aller deutschen Kraftwerke für etwa 30–60 Jahre zu lagern. Es handelt sich also nicht um eine langfristige Lösung, nach etwa einer Kraftwerksgeneration wäre die Lagerfähigkeit deutscher unterirdischer Speicher erschöpft.^[17] Dies könnte den kurz- bis mittelfristigen Zielen entsprechen, auf die die Technologie ausgelegt ist.^[44]

Bei manchen Arten der Lagerung, insbesondere bei der Einleitung ins Meer, könnte das gelagerte CO₂ im Laufe von einigen 100 bis 1000 Jahren wieder in die Atmosphäre gelangen, so dass nur eine Verzögerung der Emission erreicht oder es sogar zu einer Erhöhung der CO₂-Emission kommen würde (aufgrund des erhöhten Brennstoffeinsatzes wird mehr CO₂ produziert als ohne Abscheidung). Auch bei einigen unterirdischen Lagern, die prinzipiell wesentlich zuverlässiger sind, ist die Dichtigkeit des Endlagers schwer einzuschätzen. Das Beobachten von CO₂-Lagern ist daher wichtiger Gegenstand der Entwicklung. Die Gefahr des allmählichen Ausgasens, das den klimapolitischen Effekt der CO₂-Sequestrierung womöglich unbemerkt zunichtemachen würde, erschwert auch die Suche nach geeigneten Lagerstätten, denn der endgültige Verbleib des Gases muss natürlich gesichert sein (je nach Ansicht für mindestens 200 oder 10.000 Jahre). Die deutsche Bundesregierung nannte 2007 aus klimapolitischer Sicht eine maximale Leckage-Rate von 0,01 % pro Jahr akzeptabel^[45], bei der nach 1000 Jahren noch ca. 90 % des CO₂ im Endlager verbleibt.

Beim Einlagern sehr großer Mengen CO₂ wird das Salzwasser aus den Aquiferen verdrängt. Da dieses nicht „nach unten“ ausweichen kann, wird es zur Seite fließen und letztlich an Schwächezonen des Gebirges (Störungszonen) aufsteigen, so dass es dann zu einer Durchmischung mit dem Grundwasser kommen kann. Sichere Lagerungsorte haben die Anforderung, hinreichend weit von Störungszonen, die eine derart hohe Durchlässigkeit bis zur Erdoberfläche aufweisen, entfernt zu sein. Da es nach Angaben des BGR alleine in Niedersachsen über 16.000 Tiefenbohrungen, Risse und Frakturen bis in die geplanten Speicherhorizonte gibt, reduziert sich dadurch die Zahl möglicher CO₂-Endlager noch einmal deutlich.

Weit gefährlicher als das allmähliche Ausgasen des gelagerten Kohlenstoffdioxids wäre ein plötzliches Zutagetreten. Dadurch würden hohe CO₂-Konzentrationen erreicht werden, die erstickend wirken (siehe hierzu Nyos-Unglück). Aufgrund von Beobachtungen bei der Erdgasförderung kann das Auftreten von Erdbeben im Bereich der Lagerstätte und damit evtl. ein solches Zutagetreten durch Risse oder an defekten Bohrlöchern nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden.

Die Einleitung großer Mengen CO₂ ins Meer kann massive ökologische Folgen haben, etwa durch Senkung des pH-Wertes oder die Bildung von „CO₂-Seen“ auf dem Meeresgrund, die das dortige Leben abtöten (siehe dazu auch Kohlenstoffzyklus, hier vor allem Probleme technischer Lösungen).

Die Verfahren zur CO₂-Sequestrierung verursachen zusätzliche Kosten bei der Stromerzeugung. Die wirtschaftliche Machbarkeit hängt daher wesentlich von den im CO₂-Handel festgelegten Preisen der Emissionsrechte ab. Ziel des europäischen Emissionsrechtehandels ist die Förderung CO₂-mindernder Technologien. Zu diesen zählt die CO₂-Sequestrierung.

Inzwischen – 2014 – sind die Herstellungskosten für Strom aus Wind und Sonne (Photovoltaik) stark gesunken; zahlreiche fossile Kraftwerke in Deutschland können im Betrieb nicht einmal die Kosten für Brennstoff und CO₂-Rechte erwirtschaften.^[46] Die CCS-Technologie – sie impliziert eine deutliche Verteuerung der Stromproduktion aus fossilen Energien – erscheint damit obsolet.

Alternativen

Kritiker der CO₂-Sequestrierung wenden ein, dass alternative Stromerzeugung und ein Ausstieg aus der Kohleverstromung mit weniger Problemen behaftet, weiter entwickelt und (schon jetzt oder zumindest auf Sicht) billiger seien. Insbesondere werden hier genannt:

- Maßnahmen zur Energieeinsparung und Verbesserung der Energieeffizienz
- Ausbau der erneuerbaren Energien
- verstärkte Nutzung von Kernenergie
- biologische Sequestrierung.
- Recycling durch Methanisierung

Biologische Sequestrierung

Die bisherigen Forschungen oder Vorhaben beschäftigen sich in der Regel nur mit der Lagerung von flüssigem oder gasförmigem CO₂ oder in Form von Trockeneis. Daneben gibt es aber auch die Möglichkeit, das CO₂ als Biomasse zu binden und als daraus gewonnenen Kohlenstoff zu speichern, also z. B. als pyrogenen Kohlenstoff in Form von Biokoks oder Schwarzerde (siehe auch Terra preta: schwarze Erde in Amazonien, oder: Hydrothermale Karbonisierung). Auf diese Aggregatform sind die meisten der oben genannten Kritikpunkte dann nicht mehr zutreffend. Dieser Umweg zeigt allerdings, dass es am effektivsten wäre, die fossilen Kohlenstoffablagerungen gleich unberührt liegen zu lassen, anstatt sie nachträglich wiederherzustellen.

Eine weitere mögliche Sequestrierung bietet Aufforstung, die laut der Gesellschaft Deutscher Chemiker (Mai 2004) sinnvoller und wesentlich preiswerter zu realisieren sei als die Abtrennung von CO₂ aus Abgasen. Allerdings wird nur dann CO₂ dauerhaft gebunden, wenn das erzeugte Holz nicht verbrannt wird oder verrottet, sondern zu Häusern oder Möbeln verbaut wird. Holz stellt eine lagerfähig gebundene Form des Kohlenstoffs dar, aus der auch eine verdichtete und vor Verrottung geschützte Speicherungsform hergestellt werden könnte. Wirksam wäre auch die Wiedervernässung von Mooren, da hier durch den Aufwuchs des Torfmooses im zusätzlich entstehenden Torf Kohlenstoff gebunden werden kann. Durch die Wiedervernässung kommt es zum Luftabschluss, was den Abbau der organischen Substanz und damit die erneute Freisetzung des CO₂ verhindert. Oftmals kommen derartige Maßnahmen auch anderen Zielen des Umweltschutzes zugute.

Privatpersonen können die CO₂-Sequestrierung durch Aufforstung durchführen.

Weiterhin wird derzeit die Düngung von Meeresgebieten mit Eisen erforscht. Damit soll das Wachstum von Algen befördert werden. Diese binden wie Pflanzen an Land CO₂, sinken danach idealerweise auf den Meeresgrund und verbleiben dort. Allerdings sind die Auswirkungen auf die dadurch stark beeinflussten Ökosysteme bisher weitgehend unbekannt und es ist unklar, wie viel CO₂ durch diese Methode tatsächlich dauerhaft der Atmosphäre entzogen wird. 2009 führte das Alfred-Wegener-Institut das Experiment LOHAFEX (siehe auch EisenEx) durch, um Erkenntnisse zu diesen Fragen zu gewinnen.

Kosten

Die Kosten der CO₂-Sequestrierung setzen sich zusammen aus:

- Kapitalkosten für die Abscheideanlagen
- Betriebskosten der Abscheideanlagen
- Kosten für den zusätzlichen Brennstoffeinsatz aufgrund des reduzierten Wirkungsgrads der Kraftwerke
- Kosten für den Transport zu den Lagern
- Kosten für die Lagerung inklusive der Überwachung.
- Kosten für den Katastrophenschutz und die Abwehr von Schadensfällen.

Die Höhe ist gegenwärtig noch nicht bekannt. Das Global CCS Institute schätzt, dass die Kosten gegenwärtig bei 23 bis 92 US-Dollar pro Tonne vermiedenes CO₂ liegen und durch künftige Forschungs- und Entwicklungsarbeit weiter sinken können.^[47] Da die Preise der CO₂-Zertifikate in der EU langfristig über 20 Euro gesehen werden, kann die CCS-Technologie somit die Wirtschaftlichkeit erreichen. Vorausgesetzt wird hierbei allerdings, dass andere Alternativen (z. B. erneuerbare Energieträger) nicht in ausreichendem Maße oder nur zu höheren Kosten zur Verfügung stehen.

Kritik des Umweltrates

Der Gesetzentwurf zu CCS traf im Mai 2009 auf deutliche Kritik beim Sachverständigenrat für Umweltfragen.^[48] Empfohlen wird stattdessen ein Forschungsgesetz für eine begrenzte Zahl von Demonstrationsprojekten. Das Papier warnt eindringlich vor Risiken und versteckten Kosten und nennt folgende Punkte:

- Risiken sind noch unerforscht. Das Gesetz würde CCS aber gleich in großem Maßstab ermöglichen. Die Einlagerung ist irreversibel.
- Bis heute gibt es keinen säurefesten Beton, um die Bohrlöcher verschließen zu können. Es droht ein weiteres nicht kontrollierbares Endlagerproblem.
- Ewigkeitskosten über mehrere 1000 Jahre aus Steuergeldern, da die Energiekonzerne 40 Jahre nach Stilllegung die Lagerstätten an den Bund übergeben. Dieser trägt dann das Haftungsrisiko und die Monitoringkosten.
- Nutzungskonflikte mit Geothermie und Druckluftspeichern für die Windkraft. CCS hätte durch das Gesetz faktisch Vorrang.
- Gesetzentwurf ist übereilt, da bis 2020 durch CCS noch kein nennenswerter Beitrag zu erwarten sei.
- Indirekte Förderung der Kohlekraft durch kostenlosen Zugang zu begrenzten Ressourcen an Speicherkapazität
- Hohe direkte Subventionen für CCS für Energiekonzerne zu Lasten erneuerbarer Energien
- fehlende Raumordnung / Einflussnahme vor Ort
- wichtige Einzelheiten nicht geregelt
- Akzeptanzprobleme unterschätzt

Zudem äußert der Umweltrat Kritik an CCS in Verbindung mit Kohlekraft:

- Abspaltung, Transport und Einlagerung verschlechtern den Wirkungsgrad der Kraftwerke
- Technik würde erst nach immensen Investitionen zur Verfügung stehen

Verhältnis von Kohle- und Windkraft

Kohlekraftwerke gelten als nicht geeignet, um die wachsenden Mengen aus Wind- und Solarenergie flexibel zu ergänzen. Bei wechselnden Windverhältnissen sind solche Grundlastkraftwerke z. B. nicht in der Lage, schnell hoch- oder runterzufahren. Gas- oder Wasserkraftwerke können dagegen schneller reagieren und eignen sich entsprechend besser zur Ergänzung.

Die Diskussion mündet in der Frage, ob auf neue Kohlekraftwerke bei vollständiger Versorgungssicherheit verzichtet werden kann. Der Umweltrat positioniert sich hier eindeutig: „Die Systementscheidung sollte zugunsten der erneuerbaren Energien erfolgen.“^[49]

Nutzung der Lagerstätten

Der Umweltrat lehnt CCS nicht grundsätzlich ab. Statt die Lagerstätten jedoch für Kohlekraftwerke aufzubrechen, sollte stattdessen zu einem späteren Zeitpunkt der Atmosphäre CO₂ durch Biomasse aktiv entzogen werden. Dies könnte in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts nötig werden, um den Klimawandel in Grenzen zu halten.

Bevorzugung von CCS

Das Gesetz gibt Unternehmen nach erfolgter Untersuchung ein Recht, die Ressource Untergrund dauerhaft zu nutzen. Private Eigentumsrechte oder Planungshoheiten von Gemeinden, Kreisen und Bundesländern spielen dann keine Rolle mehr. Die Behörden wären gezwungen, zu genehmigen: Zum Zuge komme derjenige, „der zuerst einen Antrag stellt“. Somit wird CCS nach Ansicht des Umweltrates deutlich gegenüber zukünftigen alternativen Energien wie Geothermie und Druckluftspeichern bevorteilt, da diese dann nicht mehr in Frage kämen.

Subventionierung

- Die Stellungnahme beziffert die Forschungsgelder der aktuellen Programme in der EU auf 745 Millionen Euro.
- Im Konjunkturprogramm der EU vom März 2009 sind demnach weitere 1,05 Milliarden Euro vorgesehen.
- Hinzu kämen geschätzte 9 Milliarden Euro durch Emissionszertifikate, die bis 2015 speziell für CCS reserviert wurden.
- Staatliche Umweltschutzbeihilfen könnten ebenfalls in CCS-Projekte fließen.
- Die Europäische Investitionsbank soll 1 Mrd. Euro an Darlehen u. a. zur CCS-Förderung bereitstellen.

Fazit aus der Stellungnahme: „Die den Unternehmen entstehenden Mehrkosten (...) könnten – in Abhängigkeit für den Preis der Emissionszertifikate – weitgehend bis vollständig durch die geplante Förderung auf EU-Ebene gedeckt werden“. Es müsse geprüft werden „wie sich die Subventionierung von CCS auf die Wettbewerbsfähigkeit anderer Klimaschutztechnologien auswirkt“.

Kritik von Umweltschützern

Neben dem Sachverständigenrat für Umweltfragen wurde CCS auch von Umweltschutzorganisationen immer wieder kritisiert. So äußerte zum Beispiel der WWF Deutschland in einer 2009 veröffentlichten Stellungnahme Zweifel, ob entsprechende Technologien weltweit schnell genug zur Verfügung stehen würden, um einen signifikanten Beitrag zur Reduzierung der CO₂-Emissionen zu leisten.^[50] Greenpeace bezeichnete CCS gar als „Mogelpackung“.^[51]

Umsetzung

Ende 2015 waren laut IEA weltweit 13 CCS-Projekte von größerem Ausmaß in Betrieb, die insgesamt 26 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr abschieden. Dies entsprach weniger als einem Tausendstel der globalen Emissionen.^[52] Im Gewerbegebiet von Tomakomai wurden vom April 2016 bis Februar 2020 über 300.000 Tonnen Kohlendioxid abgeschieden und im Meeresboden gespeichert. Das entspricht dem Jahresausstoß von 75.000 Autos.^[53]

Forschungsprogramme

In vielen Industrieländern der Erde wird die CO₂-Sequestrierung erforscht. Die Europäische Union hat ihren bisherigen Forschungssetat für diesen Bereich von 30 auf 200 Millionen Euro aufgestockt. Im Rahmen des European Energy Programme for Recovery^[54] wurden 2009 Förderzusagen über 1 Milliarde Euro für CCS-Projekte gegeben. Auch in den USA existiert bereits seit 1997 ein derartiges Forschungsprogramm.

In der Bundesrepublik Deutschland wird in Forschungsprojekten im Rahmen der Programme *Geotechnologien*^[55] und *Cooretec*^[56] untersucht, wie der notwendige Kraftwerksneubau in Deutschland von 40 GW (etwa 1/3 der Engpassleistung aller deutschen Kraftwerke) so gestaltet werden sollte, dass die notwendige Reduzierung der CO₂-Emissionen erreicht werden kann. So müssen insbesondere die Wirkungsgrade der Kraftwerke maximiert werden, weil so der CO₂-Anfall an der Quelle minimiert wird. Weiterhin erprobt man die Realisierung von Kraftwerkstechnologien mit CO₂-Abtrennung (Prognose: Ersteinsatz bis 2030) sowie Möglichkeiten, das Gas aus den Rauchgasen konventioneller Kraftwerke abzuscheiden. Zuletzt wird nach Möglichkeiten gesucht, das abgetrennte CO₂ dauerhaft und sicher zu lagern.



CO₂-Abscheider im Labormaßstab
(im Institut für Energie- und
Umwelttechnik), Duisburg

Im September 2009 hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Finanzierung eines Projekts zur Untersuchung von Speicherstandorten gestoppt.^[57]

Auf EU-Ebene wurde die *Technologieplattform für CO₂-freie Kraftwerke (TP ZEFFPP)* eingerichtet, die in internationaler Kooperation von Experten aus Nichtregierungsorganisationen, Wissenschaft und Industrie den Stand der Forschung untersucht und den Handlungsbedarf ermittelt, um die Vision CO₂-freier Kraftwerke umzusetzen. Dieses Gremium erarbeitet auch Vorschläge für die Ausrichtung des 7. Forschungsrahmenprogramms der EU. Hierzu ist allerdings anzumerken, dass der Begriff CO₂-freie Kraftwerke irreführend ist, es geht allenfalls um eine Reduzierung der CO₂-Abgabe in die Atmosphäre. Dies gilt insbesondere, wenn nicht nur das Kraftwerk, sondern die Stromerzeugung aus Kohle insgesamt betrachtet wird.

In der Schweiz wird derzeit (Stand Januar 2019) ein Endlager im Felslabor Mont Terri geprüft.^[58]

Pilotanlagen für die Abscheidung

Derzeit wird in verschiedenen Anlagen die CO₂-Abscheidung in Kraftwerken im Pilotmaßstab erprobt:

- im Kraftwerk Staudinger durch Siemens Energy und E.ON^[59]

- im Kraftwerk Niederaußem durch RWE, Linde und BASF^[60]
- Im Kraftwerk Heilbronn durch EnBW Praxistests zum Aminwäscheverfahren.^[61]

Im Kraftwerk Schwarze Pumpe wurde die CCS-Technologie durch Alstom und Vattenfall Europe getestet^[62], am 9. April 2014 wurde bekannt, dass Vattenfall die Anlage auf Grund der politischen Rahmenbedingungen komplett stilllegt und demontiert.

Speicherstätten, Projekte und Bürgerprotest

Die möglichen Lagerungskapazitäten für CO₂ werden für die Bundesrepublik Deutschland mit etwa 12 Milliarden Tonnen (= Gigatonnen) CO₂ plus/minus 3 Milliarden Tonnen angenommen.^[63] Diese Zahlen beruhen weitgehend auf Schätzungen und haben sich in der Vergangenheit deutlich verändert, meist nach unten. Umfangreiche Untersuchungen dazu finden sich bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).^[64]

Schleswig-Holstein

Der Stromversorger RWE hatte zwischen 2006 und 2010 Planungen verfolgt, eine CO₂-Abscheidung an einem neuen Braunkohlekraftwerk auf dem Standort des Goldenbergwerks in Hürth zu installieren sowie dieses CO₂ über eine 530 km lange Pipeline ins nördliche Schleswig-Holstein zu pumpen und dort zu verpressen. Ursprünglich sollte die Anlage 2015 in Betrieb gehen.

Schleswig-Holsteins Umweltminister Christian von Boetticher, Wirtschaftsminister Dietrich Austermann (beide CDU) und RWE Dea hatten das „gemeinsame Projekt“ zunächst mit einem „Startschuss“ angekündigt^[65]. Zunächst war grob von Nordfriesland und Ostholstein als Speicherregion die Rede. Im Mai 2009 hatte das Landeswirtschaftsministerium Bodenuntersuchungen in beiden Regionen genehmigt. RWE Dea startete zunächst in Südtondern/Schafflund in einer etwa 20 mal 15 km Region in den Ämtern Südtondern, Mittleres Nordfriesland und Schafflund.

Ende Mai und Anfang Juni 2009 stellte RWE Dea das Projekt dann erstmals den Bürgermeistern der betroffenen Gemeinden im Detail vor. Geplant waren mehrere 1000 unterirdische Sprengungen für seismische Tests zur Eignung der geologischen Formationen. Vor Ort treffen die Pläne auf starken Widerstand. Die Bürgerinitiative gegen das CO₂-Endlager e.V. in Schleswig-Holstein hatte nach eigenen Angaben von Mai bis November 2009 mehr als 80.000 Unterschriften für eine Petition gesammelt, regelmäßige Demonstrationen, Aufkleber und Plakate erstellt und Menschenketten organisiert. Ämter und Gemeinden organisierten im Sommer 2009 zahlreiche gut besuchte Infoveranstaltungen^[65], auf denen RWE-DEA das Projekt vorstellten und verschiedene Redner aus Forschung, Behörden und Umweltverbänden kontrovers diskutierten.

Landes-SPD, SSW, Grüne und Die Linke hatten sich in Schleswig-Holstein schon früh gegen das Projekt ausgesprochen. Im Juni und Juli 2009 folgten zahlreiche einstimmig verabschiedete Resolutionen von Kreistagen, Gemeinden und Verbänden. Der parteiübergreifende Protest vor Ort führte dazu, dass auch die Schleswig-Holsteinische CDU umschwenkte und das Projekt nicht weiter vorantreiben wollte. Auch die FDP lenkte ein. Somit beschloss der Schleswig-Holsteinische Landtag am 17. Juni 2009 einstimmig, das Speichervorhaben abzulehnen und das CCS-Gesetz im Bundesrat abzulehnen. Nach der Landtagswahl 2009 bekräftigte die Landesregierung ihre ablehnende Haltung. RWE nahm daraufhin von seinen Plänen Abstand und legte das gesamte CCS-Projekt auf Eis.^[66]

Brandenburg

In Brandenburg wollte der Energiekonzern Vattenfall CO₂ an einem neuen Block des Braunkohlekraftwerk in Jänschwalde abspalten, über Pipelines transportieren und bei Beeskow (Landkreis Oder-Spree) oder Neutrebbin (Landkreis Märkisch-Oderland) im Untergrund verpressen. Für dieses Projekt waren Fördergelder der EU in Höhe von 180 Millionen Euro vorgesehen gewesen.^[67] Die Resonanz auf das Projekt war im Land gespalten. Während die Landesregierung, Handels- und Handwerkskammer sowie Teile der Gewerkschaften wie beispielsweise die IGBCE das Projekt befürworteten^[68], gab es vor allem in den avisierten Speicherregionen Ablehnung. Gegen das Projekt hatten die Bürgerinitiativen CO₂ntraEndlager und CO₂-Endlager-stoppen e.V. mehr als 10.000 Unterschriften gesammelt. Politische Unterstützung erhalten die Brandenburger Bürgerinitiativen durch den CDU-Bundestagsabgeordneten Hans-Georg von der Marwitz aus Märkisch-Oderland, der in CCS einen wirtschafts- und umweltpolitischen Irrweg sieht^[69]. Ebenso hat sich die Evangelische Kirche Berlin-Brandenburg-schlesische Oberlausitz (EKBO) in einem Beschluss der Synode am 30. Oktober 2010 aufgrund ungeklärter Risiken gegen die Erprobung von CCS in Brandenburg ausgesprochen^[70]. Die Linke ist in der CCS-Frage gespalten: Während Einzelstimmen CCS ablehnen^[71], steht die Brandenburger Landespartei und insbesondere Wirtschaftsminister Christoffers zur Koalitionsvereinbarung mit der SPD, in der sie CCS unterstützt^[72], obwohl Die Linke zuvor im Wahlkampf 2009 mit dem Slogan „Konsequent gegen CO₂-Endlager“ geworben hatte.^[73]



Bürgerprotest

Nachdem das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) die Aufsuchungserlaubnis für die Erkundungsregion Birkholz-Beeskow und Neutrebbin 2009 erteilt hatte, war Vattenfall aufgefordert gewesen, Betriebspläne für die Erkundung (Seismik, Bohrung) aufzustellen und genehmigen zu lassen^[74]. Hierzu kam es nicht mehr. Im Dezember 2011 stellte Vattenfall das Projekt unter Hinweis auf das verzögerte Gesetzgebungsverfahren zum Kohlendioxidspeichergesetz (KSpG) ein^[75].

Niedersachsen

Pressemeldungen zufolge hatte im Juni 2009 die E.ON Gas Storage GmbH (EGS) Anträge zur Aufsuchung von Sole in den Landkreisen Wesermarsch und Cuxhaven und weiteren Landkreisen im Zusammenhang mit Kraftwerksplanungen in Wilhelmshaven eingereicht^[76]. E.ON hat das Projekt nach 2010 nicht weiterverfolgt.

Der dänische Konzern Dong Energy dachte 2009 darüber nach, für ein neues Kohlekraftwerk in Emden CCS einzusetzen. Eine Lagerstätte wurde noch nicht benannt.^[77]

Sachsen-Anhalt

Im Bereich Maxdorf, Altmarkkreis Salzwedel, plante die Firma GDF Suez zusammen mit Vattenfall in dem fast leergeförderten Erdgastiefeld Altensalzwedel die Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Verbindung mit der Förderung des restlichen Erdgases in Höhe von rund 2 Mrd. m³ zu erproben. Der Betrieb der Anlage wurde 2012 beendet.^[78]

Fahrplan der Internationalen Energieagentur

„In letzter Zeit hatte die CCS-Technik enorme Rückschläge zu verzeichnen. Der Fahrplan der Internationalen Energieagentur (IEA) von 2009 ist längst Makulatur. Dieser forderte, von 2010 bis 2020 rund hundert CCS-Projekte aufzubauen und dabei 300 Millionen Tonnen CO₂ zu speichern. Doch Politikern erschienen die

Kosten zu hoch, viele Projekte wurden gestoppt. ... Im aktualisierten IEA-Fahrplan von 2013 ist nur noch von gut 30 CCS-Kraftwerken die Rede.“^[79]

Siehe auch

- [Klimafarming](#)
- [Kohlenstoffbindung im Boden](#)

Literatur

Übersichtsliteratur

- IPCC Special report on CCS von 2005 (http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf) (PDF-Datei; 22,80 MB, engl.).
- Technische Abscheidung und Speicherung von CO₂ – nur eine Übergangslösung (http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennummer&Suchwort=3074) – Positionspapier des Umweltbundesamtes (2006) als Kurz- oder Langfassung zum Herunterladen
- Internationale Energieagentur (IEA): *CO₂ Capture and Storage – A Key Carbon Abatement Option*, Paris 2008 (http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/CCS_2008.pdf) (PDF-Datei; 3,8 MB).
- CO₂-Abscheidung und -Lagerung bei Kraftwerken (<http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/098/1609896.pdf>) – Bericht des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), 1. Juli 2008 (PDF; 683 kB)
- Die dauerhafte geologische Speicherung von CO₂ in Deutschland – Aktuelle Forschungsergebnisse und Perspektiven – Geotechnologien Science Report 2009 Nr. 14, 2009 (<http://www.geotechnologien.de/portal/cms/Geotechnologien/Ressourcen/Docs/Science+Report/SR14;jsessionid=5DC50450CFBBDE689FD4DFC1437785AE?binary=true&status=300&language=de>) (PDF-Datei)
- *CCS – Rahmenbedingungen des Umweltschutzes für eine sich entwickelnde Technik* – Hintergrundpapier des Umweltbundesamtes (http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennummer&Suchwort=3804) auf umweltbundesamt.de, 2009
- International CCS technology survey (<http://www.gassnova.no/frontend/files/CONTENT/CCSworld/IN-report-issue5-2009.pdf>) (PDF-Datei; 4,7 MB, englisch)
- Ralf E. Krupp: *Geologische Kurzstudie zu den Bedingungen und möglichen Auswirkungen der dauerhaften Lagerung von CO₂ im Untergrund; im Auftrag des BUND; 2010* (http://www.bund-brandenburg.de/fileadmin/bundgruppen/lvbrandenburg/Klimaschutz_Energie/20101118_klima_energie_ccs_studie.pdf) (PDF-Datei; 6,1 MB)
- Global CCS Institute: *Global Status of CCS; 2011* (<http://cdn.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/22562/global-status-ccs-2011.pdf>) (PDF-Datei; 6 MB, engl.)

Gesetzestexte

- [Richtlinie 2009/31/EG zur geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid](#)
- [Kohlendioxidspeichergesetz in Deutschland vom 17. August 2012](#) (<http://www.buzer.de/gesetz/10273/b27321.htm>)

Aufsätze

- Robert H. Socolow: *Können wir das Klimaproblem begraben?* In: *Spektrum der Wissenschaft*. Heidelberg, 03/2006, S. 72 ff., ISSN 0170-2971, kostenfrei abrufbar bei [wissenschaft-online](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/836155) (<http://www.wissenschaft-online.de/artikel/836155>) (PDF; 348 kB)
- Oliver Mayer-Spohn, Markus Blesl, Ulrich Fahl, Alfred Voß: *Logistik der CO₂-Sequestrierung – Optionen für den CO₂-Transport*. In: *Chemie Ingenieur Technik*. 78.2006,4, S. 435–444, ISSN 1522-2640
- L. Dietrich: *CO₂-Abscheidung und Ablagerung (CAA) im deutschen und europäischen Energieumweltrecht*. Baden-Baden 2007, Forum Energierecht Bd. 12, zugl. Diss. Universität Osnabrück, 264 Seiten, ISBN 978-3-8329-2864-3
- Lutz Wicke: „Mit CCS oder gar nicht“ (http://www.wir-klimaretter.de/index.php?option=com_content&task=view&id=1427&Itemid=371). Artikel zur technischen Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Sequestrierung, der ein „Schweigekartell der Oberingenieure“ analog zur Diskussion um die Abscheidung von Schwefeldioxid in den 1970er Jahren ins Feld führt.
- Rainer Wolf: *CCS, Anlagengenehmigungsrecht und Emissionshandel* (http://www.zur.nomos.de/fileadmin/zur/doc/Aufsatz_ZUR_09_12.pdf). In: *Zeitschrift für Umweltrecht (ZUR)*. Ausgabe 12/2009, S. 571–579. (PDF-Datei; 149 kB)
- Ernst Riensche, Sebastian Schiebahn, Li Zhao, Detlef Stolten: *Kohlendioxid-Abtrennung aus Kohlekraftwerken – Aus der Erde in die Erde*. In: *Physik in unserer Zeit* 43(4), S. 190–197 (2012), ISSN 0031-9252
- Dirk Asendorpf: "Wir könnten alle Emissionen aufnehmen". Norwegen macht Europa ein verführerisches Angebot: Leere Erdgasfelder vor der Nordseeküste sollen zum CO₂-Endlager werden, in: *Die Zeit* Nr. 33, 9. August 2018, S. 31.

Weblinks



- Geologische Charakterisierung tiefliegender Speicher- und Barrierehorizonte in Deutschland – Speicher-Kataster Deutschland. 2011 (<http://schweizerbart.com/9783510492220>), Kataster potentieller Speicher in Gestein in Deutschland
- Kraftwerkforschung (BINE Informationsdienst/FIZ Karlsruhe) (<http://www.kraftwerkforschung.info/>) – auf dieser vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Seite werden aktuelle CCS-Projekte vorgestellt
- [vattenfall.de/ccs](http://www.vattenfall.de/ccs) (<http://www.vattenfall.de/ccs>) – Umfangreiche Informationen zum CCS-Demonstrationsprojekt von Vattenfall, das von der Kommission der Europäischen Union mit bis zu 180 Mio. Euro gefördert wird
- CO₂-Abscheidung und -Lagerung bei Kraftwerken (<http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/16/098/1609896.pdf>) – Bericht des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), 1. Juli 2008 (PDF; 683 kB)
- Sequestrierung von CO₂: Technologien, Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen (http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2003/wbgu_jg2003_ex07.pdf) (PDF) – Externe Expertise von Christiane Ploetz im Auftrag des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung *Globale Umweltveränderungen* (WBGU 2003; 770 kB)
- Technische Abscheidung und Speicherung von CO₂ – nur eine Übergangslösung (http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3074) – Positionspapier des Umweltbundesamt (2006) als Kurz- oder Langfassung zum Herunterladen
- Carbon Capture and Storage (http://www.wupperinst.org/de/projekte/themen_online/carbon_capture_and_storage/) – Publikationen und Forschungsaktivitäten des Wuppertal Instituts
- CO₂ Capture and Storage (<http://www.ieaghg.org/index.php?/20091218110/what-is-css.html>) von der Internationalen Energieagentur-Greenhouse Gas (IEA-GHG) (englisch)

- CO2NET (<http://www.co2net.com/>) – Europäisches Forschungsnetzwerk zur CO₂-Sequestrierung (englisch)
- CO2Seals (<http://www.co2seals.de/>), Dichtigkeit der Gesteinsschichten von CO₂ Speichern und deren Langzeitsicherheit – Forschungsprojekt an der RWTH Aachen University und der Universität Karlsruhe
- Stand per Mitte 2017 (Technik und Umsetzung) (<https://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2018/EE/C7EE02342A#!divAbstract>) (Royal Society of Chemistry - englisch)
- Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ): Geologische Speicherung von CO₂ (<https://av.tib.eu/series/285>) im AV-Portal (<https://av.tib.eu/>) der Technischen Informationsbibliothek

Einzelnachweise





1. Ulrich Förstner: *Umweltschutztechnik*. 8. Auflage, Berlin Heidelberg 2012, S. 170.
2. Mark Z. Jacobson, *Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security*. In: *Energy and Environmental Science* 2, (2009), 148–173, S. 155, doi:10.1039/b809990c (<https://doi.org/10.1039/b809990c>).
3. Kevin Anderson, Glen Peters: *The trouble with negative emissions*. In: *Science*. Band 354, Nr. 6309, 2016, S. 182 f., doi:10.1126/science.aah4567 (<https://doi.org/10.1126/science.aah4567>).
4. Sachverständigenrat für Umweltfragen: *Abtrennung, Transport und Speicherung von Kohlendioxid*. (https://web.archive.org/web/20161017223002/http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2009_05_AS_13_Stellung_Abscheidung_Transport_und_Speicherung_von_Kohlendioxid.pdf?__blob=publicationFile) (Memento des Originals (https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.umweltrat.de%2FSharedDocs%2FDownloads%2FDE%2F04_Stellungnahmen%2F2009_05_AS_13_Stellung_Abscheidung_Transport_und_Speicherung_von_Kohlendioxid.pdf%3F__blob%3DpublicationFile) vom 17. Oktober 2016 im *Internet Archive*) ⓘ **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis.. In: *umweltrat.de*. April 2009, abgerufen am 17. Oktober 2016.
5. Jacco van Holst, Patricia. P. Politek, John P. M. Niederer, Geert F. Versteeg: *CO₂ capture from flue gas using amino acid salt solutions* (http://www.co2-cato.org/cato-download/317/20090917_123323_Holst_Manuscript_GHGT8_J._van_Holst.pdf). In: *co2-cato.org*. Universität Twente. 17. September 2009. (PDF; englisch)
6. *Neues Waschmittel zur CO₂-Abscheidung* (<http://kraftwerkforschung.info/neues-waschmittel-zu-r-co2-abscheidung>). In: *kraftwerkforschung.info*, abgerufen 21. Mai 2014
7. Abanades, Carlos Juan; Alonso, Mónica; Rodriguez, N.; González, Belén; Grasa, Gemma S.; Murillo, R. (Nov. 2008): Capturing CO₂ from combustion flue gasses with a carbonation calcination loop. Experimental results and process development, doi:10.1016/j.egypro.2009.01.053 (<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.01.053>)
8. Andrea Mayer-Grenu: *Klimaschonende Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen* (<http://idw-online.de/de/news448540>). In: *Informationsdienst Wissenschaft*. IDW-Online. 31. Oktober 2011
9. Empfehlungen des COORETEC-Beirates zur Förderung von Forschung und Entwicklung CO₂-emissionsarmer Kraftwerkstechnologien und CO₂-Abscheide- und Speichertechnologien (<http://www.cooretec.de/index.php/index.php?path=publikationen&file=182>) (PDF-Datei)
10. CCS-Versuchsanlage an der Technischen Universität Darmstadt (http://www.tu-darmstadt.de/vorbeischaue/aktuell/nachrichten_1/ccsversuchsanlage.de.jsp)
11. Birgit Kessler, Jörg von Eysmond und Heinrich Merten: *Nutzung von CO₂ aus Rauchgas für chemische Synthesen*. In: *Chem.-Ing.-Tech.* 64 (1992) Nr. 12, S. 1078, VCH-Verlagsgesellschaft Weinheim

12. Das Sleipner-Projekt der norwegischen Firma Statoil (Einlagerung von CO₂ im norwegischen Nordsee-Meeressgrund) (<https://web.archive.org/web/20121014144327/http://www.statoil.com/en/TechnologyInnovation/NewEnergy/Co2Management/Pages/SleipnerVest.aspx>) (Memento des Originals (<https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.statoil.com%2Fen%2FTechnologyInnovation%2FNewEnergy%2FCo2Management%2FPages%2FSleipnerVest.aspx>) vom 14. Oktober 2012 im *Internet Archive*) ⓘ **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß [Anleitung](#) und entferne dann diesen Hinweis. (englisch)
13. Johannes Peter Gerling: *Kohlendioxidspeicherung – Stand in Deutschland und Europa*, in: *Spektrum der Wissenschaft*, Dossier 4/2009, *Die fiebernde Erde*, S. 70
14. Britta Paasch, Philip Ringrose, Anne-Kari Furre, Peter Zweigel, Bamshad Nazarian, Rune Thorsen, Per Ivar Karstad: *Industrial-scale CCS in Norway: experience gained and application to future projects*. (https://geoconvention.com/wp-content/uploads/abstracts/2017/351_GC2017_Industrial-scale_CCS_in_Norway.pdf) Abgerufen am 23. September 2020.
15. TÜV NORD CERT: *Kraftwerksprüfung nach Carbon Capture Ready* (<http://www.tuev-nord.de/50152.asp>). In: *TÜV Nord*
16. *How Bill Gates aims to clean up the planet* (<https://www.theguardian.com/environment/2018/feb/04/carbon-emissions-negative-emissions-technologies-capture-storage-bill-gates>). In: *The Guardian*, 4. Februar 2018. Abgerufen am 4. Februar 2018.
17. Gabriela von Goerne (2009): *CO₂-Abscheidung und -Lagerung (CCS) in Deutschland*; Germanwatch Hintergrundpapier (<https://web.archive.org/web/20120111190159/http://www.germanwatch.org/klima/ccsdeu09.pdf>) (Memento des Originals (<https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.germanwatch.org%2Fklima%2Fccsdeu09.pdf>) vom 11. Januar 2012 im *Internet Archive*) ⓘ **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß [Anleitung](#) und entferne dann diesen Hinweis. (PDF-Datei; 374 kB)
18. Yossi Cohen, Daniel H. Rothman: *Mechanisms for mechanical trapping of geologically sequestered carbon dioxide* (<http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/471/2175/20140853>). In: *The Royal Society*. 21 January 2015. (englisch)
19. Peter B. Kelemen and Jürg Matter: *In situ carbonation of peridotite for CO₂ storage*. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2008 online (<http://www.pnas.org/content/105/45/17295>)
20. Kevin Bullis: *Der Klimagas Killer* (<https://www.heise.de/tr/artikel/Der-Klimagas-Killer-275832.html>). Zur CO₂-Sequestrierung in Peridotit. *Technology Review* vom 17. November 2008. Online auf heise.de.
21. E. Kintisch: *New solution to carbon pollution?*. In: *Science*. 352, Nr. 6291, 2016, ISSN 0036-8075, S. 1262–1263. doi:10.1126/science.352.6291.1262 (<https://doi.org/10.1126/science.352.6291.1262>).
22. *Geologen „versteinern“ CO₂* (<http://science.orf.at/stories/2779447/>), Science@ORF, 10. Juni 2016, laut dieser Quelle findet die Mineralisierung in 400 bis 800 Meter Tiefe statt und dauert 2 Jahre.
23. CO₂SINUS (<https://web.archive.org/web/20160305045048/http://www.co2sinus.org/>) (Memento des Originals (<https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.co2sinus.org%2F>) vom 5. März 2016 im *Internet Archive*) ⓘ **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß [Anleitung](#) und entferne dann diesen Hinweis. CO₂ Speicherung in vor Ort umgewandelten Kohleflözen – Forschungsprojekt an der RWTH Aachen
24. IFM-GEOMAR: SUGAR-Projekt (<https://web.archive.org/web/20100715121702/http://www.ifm-geomar.de/index.php?id=sugar>) (Memento des Originals (<https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.ifm-geomar.de%2Findex.php%3Fid%3Dsugar>) vom 15. Juli 2010 im *Internet Archive*) ⓘ **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß [Anleitung](#) und entferne dann diesen Hinweis. Erforschung der CO₂-Sequestrierung in submarinen Gashydrat-Lagerstätten

25. Ingvi Gunnarsson et al.: *The rapid and cost-effective capture and subsurface mineral storage of carbon and sulfur at the CarbFix2 site*. In: *International Journal of Greenhouse Gas Control*. Band 79, 2018, S. 117–126, doi:10.1016/j.ijggc.2018.08.014 (<https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2018.08.014>).
26. vgl. z. B. Yousif K. Kharaka, David R. Cole, Susan D. Hovorka, W.D. Gunter, K.G. Knauss, B.M. Freifeld: *Gas-water-rock interactions in Frio Formation following CO₂ injection: Implications for the storage of greenhouse gases in sedimentary basins* (<http://geology.gsapubs.org/content/34/7/577>), The Geological Society of America, 24. Februar 2006
27. Christopher Schrader: *Wissenschaftler warnen vor Erdbeben durch CO₂-Speicherung* (<http://www.sueddeutsche.de/wissen/kohlendioxid-und-klimawandel-wissenschaftler-warnen-vor-erdbeben-durch-co-speicherung-1.1386723>). In: *Süddeutsche Zeitung*. 19. Juni 2012, abgerufen am 19. Juni 2012.
28. *Earthquake triggering and large-scale geologic storage of carbon dioxide* (<http://www.pnas.org/content/early/2012/06/13/1202473109.abstract>). Abstract. Abgerufen am 19. Juni 2012. (englisch)
29. Dietrich und Schäperklaus: *Der Raum wird knapp: über die Steuerbarkeit*, Erdöl Erdgas Kohle 125. Jg. 2009, Heft 1
30. Amtsblatt der Europäischen Union: *Richtlinie 2009/31/EG zur geologischen Speicherung von Kohlenstoffdioxid*
31. CCS in Europe (Informationsseiten der EU-Kommission zur Regulierung von CCS) (http://ec.europa.eu/clima/policies/lowcarbon/ccs/index_en.htm) (engl.)
32. „EU-Klimaschutzpaket 2020: CO₂-Abtrennung und Speicherung“ (<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?language=DE&reference=20080513STO28752>), Website des Europäischen Parlaments, 14. Mai 2008
33. Präsentation EU-Kommission Oktober 2011 (https://web.archive.org/web/20120810063234/https://www.ccsnetwork.eu/uploads/publications/martina_doppelhammer_on_ner_%28lodz_26.09.11%29.pdf) (Memento des Originals (https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=https%3A%2F%2Fwww.ccsnetwork.eu%2Fuploads%2Fpublications%2Fmartina_doppelhammer_on_ner_%2528lodz_26.09.11%2529.pdf) vom 10. August 2012 im *Internet Archive*)  Info: Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis.. In: *ccsnetwork.eu*. (PDF)
34. *Sonderbericht Nr. 24/2018: Großkommerzielle Demonstration von CO₂-Abscheidung und -Speicherung und innovativen Technologien für erneuerbare Energien in der EU: Die für die letzten zehn Jahre geplanten Fortschritte wurden nicht erzielt* (<https://www.eca.europa.eu/de/Pages/DocItem.aspx?did=47082>). EUROPÄISCHER RECHNUNGSHOF. Abgerufen am 12. Juli 2019.
35. *Gesetz zur Demonstration der dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid (Kohlendioxid-Speicherungsgesetz – KSpG)* (<http://www.buzer.de/gesetz/10273/b27321.htm>). In: *buzer.de*.
36. Meldung Spiegel Online zum gescheiterten CCS-Gesetz vom Juni 2009 (<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,632374,00.html>)
37. Pressemitteilung Bundesumweltministerium zum CCS-Gesetzentwurf April 2011 (<http://www.bmub.bund.de/bmub/presse-reden/pressemitteilungen/pm/artikel/kabinett-verabschiedet-ccs-gesetz/>)
38. wbr/Reuters/dpa: *Bundesrat verhindert Gesetz zur CO₂-Entsorgung* (<http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/0,1518,788066,00.html>). In: *Spiegel Online*. 23. September 2011.
39. Mitteilung des Bundestags zum Anrufen des Vermittlungsausschuss November 2011 (http://www.bundestag.de/presse/hib/2011_11/2011_452/03.html) (Seite nicht mehr abrufbar, Suche in Webarchiven (http://timetravel.mementoweb.org/list/2010/http://www.bundestag.de/presse/hib/2011_11/2011_452/03.html))  Info: Der Link wurde automatisch als defekt markiert. Bitte prüfe den Link gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis.

40. Positionspapier von EnBW (https://web.archive.org/web/20130103003808/http://www.hans-josef-fell.de/content/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=771&Itemid=77) (Memento des Originals (https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.hans-josef-fell.de%2Fcontent%2Findex.php%3Foption%3Dcom_docman%26task%3Ddoc_download%26gid%3D771%26Itemid%3D77) vom 3. Januar 2013 im *Internet Archive*) ⓘ **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis.
41. Wettlauf um die weiße Kohle (<http://www.zeit.de/2009/24/T-CCS>), Die Zeit, 2009
42. Hans-Werner Sinn: *Das grüne Paradoxon: Warum man das Angebot bei der Klimapolitik nicht vergessen darf.* (<http://www.socialpolitik.org/docs/2007/Thuenen.pdf>) (Ifo Working Paper No.54; PDF; 687 kB) ifo Institut für Wirtschaftsforschung an der Ludwig-Maximilians-Universität München und Lehrstuhl für Finanzwissenschaft, Januar 2008, S. 45, abgerufen am 21. Juni 2009: „[...] Leider ist eine solche Lösung [...] teuer, weil man viel Energie für die Verpressung benötigt (ungefähr ein Drittel der erzeugten Energie).“
43. Umweltbundesamt: Technische Abscheidung und Speicherung von CO₂ – nur eine Übergangslösung (http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3074)
44. GeoCapacity project description (<http://www.geology.cz/geocapacity/project>)
45. CO₂-Abscheidung und -Lagerung, Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage von Abgeordneten der Fraktion Bündnis 90/Die Grünen im Deutschen Bundestag, 18. April 2007 (PDF; 246 kB) (<http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/16/050/1605059.pdf>)
46. siehe z. B. RWE-Pressemitteilung vom 14. August 2014 (<http://www.rwe.com/web/cms/de/37110/rwe/presse-news/pressemitteilungen/pressemitteilungen/?pmid=4011671>)
47. cdn.globalccsinstitute.com (<https://web.archive.org/web/20121013110811/http://cdn.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/24202/costs-ccs-and-other-low-carbon-technologies.pdf>) (Memento des Originals (<https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fcdn.globalccsinstitute.com%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fpublications%2F24202%2Fcosts-ccs-and-other-low-carbon-technologies.pdf>) vom 13. Oktober 2012 im *Internet Archive*) ⓘ **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis. (PDF-Datei; 1,9 MB)
48. Stellungnahme des Sachverständigenrates für Umweltfragen (https://web.archive.org/web/20140903172030/http://www.umweltrat.de/cae/servlet/contentblob/468434/publicationFile/35861/2009_Stellung_Abscheidung_Transport_und_Speicherung_von_Kohlendioxid.pdf) (Memento des Originals (https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.umweltrat.de%2Fcae%2Fservlet%2Fcontentblob%2F468434%2FpublicationFile%2F35861%2F2009_Stellung_Abscheidung_Transport_und_Speicherung_von_Kohlendioxid.pdf) vom 3. September 2014 im *Internet Archive*) ⓘ **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis. (PDF-Datei; 429 kB)
49. Weichenstellungen der Stromversorgung (Prof. Hohmeyer) (https://web.archive.org/web/20110304050849/http://www.umweltrat.de/cae/servlet/contentblob/581556/publicationFile/34408/2009_Thesen_Weichenstellungen_Stromversorgung_Hohmeyer.pdf) (Memento des Originals (https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.umweltrat.de%2Fcae%2Fservlet%2Fcontentblob%2F581556%2FpublicationFile%2F34408%2F2009_Thesen_Weichenstellungen_Stromversorgung_Hohmeyer.pdf) vom 4. März 2011 im *Internet Archive*) ⓘ **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis. (PDF-Datei; 174 kB)
50. Stellungnahme zum Gesetz zur Regelung von Abscheidung, Transport und dauerhafter Speicherung von Kohlendioxid (CCS). (http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Positionspapier_zu_CCS.pdf) (PDF) WWF Deutschland, 5. März 2009, abgerufen am 30. Juni 2016.
51. Mogelpackung CCS. (<https://www.greenpeace.de/themen/endlager-umwelt/co2-endlagerung/mogelpackung-ccs>) Greenpeace, abgerufen am 30. Juni 2016.

52. So wird die Kohle nicht sauber (<http://www.handelsblatt.com/technik/zukunftderenergie/umstrittene-technik-ccs-lippenbekenntnisse-der-kohleindustrie/12687956-2.html>), Handelsblatt, 7. Dezember 2015
53. Rote Scheibe im Meeresboden; in: TAZ vom 10. Februar 2020 (<https://taz.de/C02-Entsorgung-in-Untergrund/!5659467/>)
54. Archivlink (https://web.archive.org/web/20100413111940/http://ec.europa.eu/energy/eepr/index_en.htm) (Memento des Originals (https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fec.europa.eu%2Fenergy%2Feepr%2Findex_en.htm) vom 13. April 2010 im *Internet Archive*) ⓘ **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis.
55. Forschungsprogramm Geotechnologien (<http://www.geotechnologien.de/>)
56. Forschungsprogramm Coorettec (<http://www.coorettec.de/>)
57. Friederike Balzereit: *CCS-Forschungsprojekt gestoppt* (<http://www.uni-kiel.de/aktuell/pm/2009/2009-092-ccs.shtml>). In: *Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*. Presseinformation 92/2009. 16. September 2009.
58. Markus Gross: *CO₂-Speicher im geklüfteten Fels*. (<https://www.ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2019/01/co2-speicher.html>) In: *ethz.ch*. ETH Zürich, 17. Januar 2019, abgerufen am 29. Januar 2019.
59. Pressemitteilung *Siemens und E.ON Kraftwerke errichten Pilotanlage zur CO₂-Abscheidung aus Kohlekraftwerken* (<https://www.powergeneration.siemens.de/press/press-releases/fossil-power-generation/2009/EFP200902023.htm>) auf [siemens.de](http://www.siemens.de)
60. Pressemitteilung *Bundeswirtschaftsministerium fördert Pilotprojekt für eine CO₂-Wäsche von RWE Power, BASF und Linde* (<http://www.rwe.com/web/cms/de/2320/rwe-power-ag/pressemitteilungen/?pmid=4002281>) auf [rwe.com](http://www.rwe.com)
61. *EnBW Kraftwerke AG baut zweite Testanlage zur Abscheidung von CO₂*. (https://www.enbw.com/unternehmen/presse/pressemitteilungen/presse-detailseite_10345.html) Pressemitteilung der EnBW, 26. Juli 2010, abgerufen am 21. März 2015
62. *Alstom erhält Auftrag für CO₂-freies Kraftwerk in Schwarze Pumpe* (<http://www.verivox.de/nachrichten/alstom-erhaelt-auftrag-fuer-co2-freies-kraftwerk-in-schwarze-pumpe-14440.aspx>)
63. Knopf et al.: Neuberechnung möglicher Kapazitäten zur CO₂-Speicherung in tiefen Aquifer-Strukturen (https://web.archive.org/web/20150919235529/http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/CO2Speicherung/Downloads/ET-knopf-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=2) (Memento des Originals (https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.bgr.bund.de%2FDE%2FThemen%2FCO2Speicherung%2FDownloads%2FET-knopf-2010.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D2) vom 19. September 2015 im *Internet Archive*) ⓘ **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis., in: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 2010
64. *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe* (https://web.archive.org/web/20111227071044/http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/CO2Speicherung/co2-speicherung_node.html) (Memento des Originals (https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.bgr.bund.de%2FDE%2FThemen%2FCO2Speicherung%2Fco2-speicherung_node.html) vom 27. Dezember 2011 im *Internet Archive*) ⓘ **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß Anleitung und entferne dann diesen Hinweis.
65. *Chronologie CCS-Projekt Schleswig-Holstein* (<http://flensburg2.de/CO2.html>)
66. *RWE-Projekt CCS-Kraftwerk und Speicherung* (<http://www.rwe.com/web/cms/de/2688/rwe/innovation/projekte-technologien/kraftwerke/fossil-gefeuerte-kraftwerke/igcc-ccs-kraftwerk/>)
67. *Pressemitteilung der EU-Kommission zur Förderung von CCS aus dem Konjunkturpaket* (http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-09-542_en.htm?locale=en)

68. [lausitzecho.de \(http://www.lausitzecho.de/de/wirtschaft/gewerkschafter-mit-ig-bce-vorsitzende-m-auf-erkundungstour_01850.html\)](http://www.lausitzecho.de/de/wirtschaft/gewerkschafter-mit-ig-bce-vorsitzende-m-auf-erkundungstour_01850.html) (Seite nicht mehr abrufbar, Suche in [Webarchiven \(http://timetravel.mementoweb.org/list/2010/http://www.lausitzecho.de/de/wirtschaft/gewerkschafter-mit-ig-bce-vorsitzendem-auf-erkundungstour_01850.html\)](http://timetravel.mementoweb.org/list/2010/http://www.lausitzecho.de/de/wirtschaft/gewerkschafter-mit-ig-bce-vorsitzendem-auf-erkundungstour_01850.html))  **Info:** Der Link wurde automatisch als defekt markiert. Bitte prüfe den Link gemäß [Anleitung](#) und entferne dann diesen Hinweis.
69. Positionspapier von Hans-Georg von der Marwitz MdB (CDU) zu CCS (http://www.von-der-marwitz-mdb.de/download/?file=100820_mdb_von_der_marwitz_positionspapier_ccs_website.pdf)
70. [ekbo.de \(https://web.archive.org/web/20140222163016/https://www.ekbo.de/1043576/\)](https://web.archive.org/web/20140222163016/https://www.ekbo.de/1043576/) (Memento des Originals (<https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=https%3A%2F%2Fwww.ekbo.de%2F1043576%2F>) vom 22. Februar 2014 im *Internet Archive*)  **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß [Anleitung](#) und entferne dann diesen Hinweis.
71. <http://www.dielinke-brandenburg.de/index.php?id=34168>
72. Archivierte Kopie (<https://web.archive.org/web/20140222171111/http://www.dielinke-brandenburg.de/fileadmin/Koalition/Beschluss%20Anforderungen%20an%20ein%20CCS%20Gesetz.pdf>) (Memento des Originals (<https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.dielinke-brandenburg.de%2Ffileadmin%2FKoalition%2FBeschluss%2520Anforderungen%2520an%2520ein%2520CCS%2520Gesetz.pdf>) vom 22. Februar 2014 im *Internet Archive*)  **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß [Anleitung](#) und entferne dann diesen Hinweis.
73. Archivlink (https://web.archive.org/web/20140223100043/http://www.co2bombe.de/joomla/images/stories/co2/aktion_23082010/p8210269.jpg) (Memento des Originals (https://giftbot.toolforge.org/deref.fcgi?url=http%3A%2F%2Fwww.co2bombe.de%2Fjoomla%2Fimages%2Fstories%2Fco2%2Faktion_23082010%2Fp8210269.jpg) vom 23. Februar 2014 im *Internet Archive*)  **Info:** Der Archivlink wurde automatisch eingesetzt und noch nicht geprüft. Bitte prüfe Original- und Archivlink gemäß [Anleitung](#) und entferne dann diesen Hinweis.
74. europaticker 11/02 Erkundungsbeirat soll klären, ob CO₂ in Ost-Brandenburg unterirdisch gespeichert werden kann (<http://www.umweltruf.de/news/111/news3.php3?nummer=610>)
75. [1] (<http://www.vattenfall.de/de/pressemitteilungen-detailseite.htm?newsid=E3B4752A90F9447FA1B1D95CA6860B77>) Pressemitteilung von Vattenfall zur Einstellung des CCS-Projekt Jänschwalde
76. Nordsee-Zeitung über CCS-Pläne im Wesergebiet (http://www.nordsee-zeitung.de/Home/Region/Cuxland/Salzsichten-reizen-die-Eon-Forscher-_arid,171783_puid,1_pageid,17.html)
77. Ostfriesen-Zeitung über CCS-Pläne in Emden (<http://www.oz-online.de/-news/artikel/20486>)
78. *Aus für geplante CO₂-Verpressung bei Maxdorf.* (http://www.volksstimme.de/nachrichten/lokal/salzwedel/970043_Aus-fuer-geplante-CO2-Verpressung-bei-Maxdorf.html) Volksstimme vom 21. November 2012, abgerufen am 6. September 2015
79. Sven Titz: *Der Klima-Notnagel steht schief – Abscheidung und Speicherung von CO₂ gelten als letzte Chance für den Klimaschutz. Doch der Ausbau der Technik stockt* (<http://www.nzz.ch/wissenschaft/klima/der-klima-notnagel-steht-schief-1.18681211>), Neue Zürcher Zeitung, Forschung und Technik, 27. Januar 2016

Abgerufen von „https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=CO2-Abscheidung_und_-Speicherung&oldid=207042058“

Diese Seite wurde zuletzt am 29. Dezember 2020 um 19:44 Uhr bearbeitet.

Der Text ist unter der Lizenz „Creative Commons Attribution/Share Alike“ verfügbar; Informationen zu den Urhebern und zum Lizenzstatus eingebundener Mediendateien (etwa Bilder oder Videos) können im Regelfall durch Anklicken dieser abgerufen werden. Möglicherweise unterliegen die Inhalte jeweils zusätzlichen Bedingungen. Durch die Nutzung dieser Website erklären Sie sich mit den Nutzungsbedingungen und der Datenschutzrichtlinie einverstanden. Wikipedia® ist eine eingetragene Marke der Wikimedia Foundation Inc.