

5.6 CO₂-Speicherung unter dem Meer

HANS PETER DAMIAN & ULRICH CLAUSSEN

Sub-seabed geological storing of CO₂: Considering that global CO₂ emissions are rising, the option of storing CO₂ in geological formations deep below the sea floor should not be dismissed completely and might be used as transitional technology to bridge the gap until a sustainable energy production and significant increase in energy efficiency takes place. Sub-seabed geological storage is not unproblematic, since a release of CO₂ to the atmosphere cannot be fully excluded, whether due to technical faults, accidents arising in the transport, injection or storage process or the selection of inappropriate geological formations. Leakage in sub-seabed reservoirs can cause an acidification of the ocean. Nekton (Fish, Cephalopoda) and plankton (Algae, Coccolithophoridae) might be affected by acidification. »Current knowledge indicates that, under certain geological and technological preconditions, leakage rates may be acceptable (<0.01% per year). There is a need for substantial further research, however, to be able to verify this with sufficient certainty. Issues in particular need of clarification include the criteria that geological formations must meet, and how any escape of the gas to seawater could be monitored and quantified« (WGBU 2006). Since 1996 the storage of sequestered CO₂ is practiced in the Norwegian Sleipner-Field (800 m depth). The SUGAR-Project (Submarine Gashydrat-Lagerstätten: Erkundung, Abbau und Transport) aims at using natural gas from marine methane hydrates and sequestration of CO₂ from power plants and other industrial sources as CO₂-hydrate in marine sediments.

Der mit Beginn der Industrialisierung stetig gestiegene CO₂-Ausstoß ist nicht nur für den weltweiten Temperaturanstieg verantwortlich, auch die marinen Ökosysteme werden durch die anthropogenen CO₂-Emissionen teilweise massiv geschädigt (WBGU 2006). Die Ozeane absorbieren zurzeit etwa 27 ± 7 % der globalen CO₂-Emissionen und haben seit Beginn

der Industrialisierung fast 50% des anthropogenen CO₂ aus der Verbrennung von Öl, Gas und Kohle sowie der Zementproduktion aufgenommen (IPCC 2007b).

Abb. 5.6-1 zeigt eine schematische Darstellung des globalen Kohlenstoffkreislaufs. Kohlenstoff zirkuliert zwischen der Atmosphäre, den terrestrischen Ökosystemen, der Lithosphäre (Gesteinshülle) und den Oze-

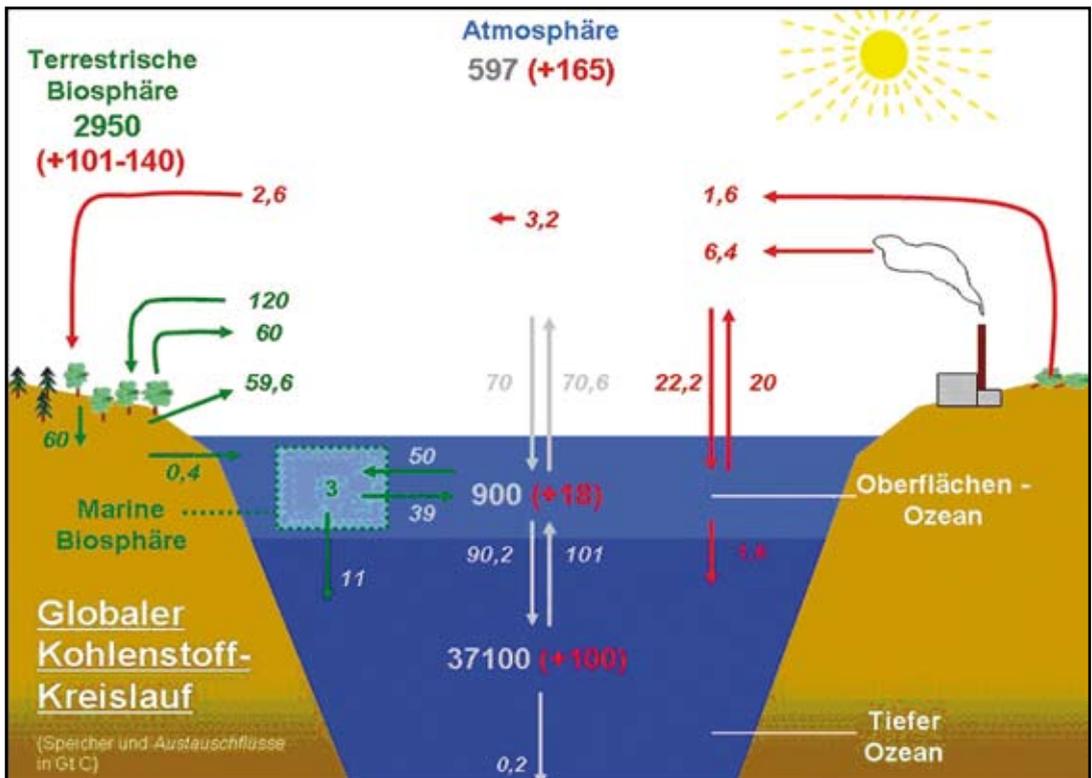


Abb. 5.6-1 zeigt eine schematische Darstellung des globalen Kohlenstoffkreislaufs (nach IPCC 2007).

anen. Die Kenntnisse dieses Kreislaufes ermöglichen es, die Eingriffe des Menschen auf das Klima abzuschätzen. Die Zahlen geben die Kohlenstoffspeicher an (in Gt C) und die jährlichen Austauschflüsse zwischen den Speichern (in Gt C/Jahr). Die durch menschliche Aktivitäten seit der industriellen Revolution dazugekommenen Speicher und Flüsse sind in rot dargestellt (IPCC 2007).

Die CO₂-Aufnahme durch die Weltmeere hat bereits zu einer signifikanten Reduktion des pH-Wertes des marinen Oberflächenwassers geführt. Es ist zu befürchten, dass sich dieser Prozess in Zukunft weiter verstärken und damit ein erhebliches Bedrohungspotential für marine Ökosysteme darstellen wird.

Nachhaltige Klimaschutzpolitik

Die Bundesregierung setzt auf eine nachhaltige Klimaschutzpolitik durch Vermeidung von Treibhausgasemissionen. Sie fordert daher den eingeleiteten Wechsel in der deutschen Energiepolitik zu forcieren. Das bedeutet eine konsequente Abkehr von fossilen Brennstoffen hin zu erneuerbaren Energien und deutlich gesteigerter Energieeffizienz, und damit CO₂-Emissionen nicht entstehen zu lassen.

Für einen begrenzten Zeitraum kann es erforderlich sein, auch nachsorgende Aktivitäten zur Verminderung des CO₂-Ausstoßes zu ergreifen. Dazu können bestimmte Formen der technischen Abscheidung und Speicherung des wichtigsten Klimagases Kohlendioxid – oftmals als CCS (Carbon Capture and Storage) bezeichnet – zählen. Die technische CO₂-Abscheidung und -Speicherung lässt zwar weiterhin Treibhausgase entstehen, verspricht aber, das Entweichen in die Atmosphäre und damit ihre Klimawirkung für längere Zeiträume zu verhindern. Aus Sicht des Umweltbundesamtes handelt es sich bei der CCS-Technologie lediglich um eine Übergangstechnologie bis der oben skizzierte Wechsel in der Energiepolitik vollzogen ist.

CO₂-Abscheidung

Um Emissionen von CO₂ in die Atmosphäre in grossem Maßstab zu verhindern, kann das CO₂ am Ort der Entstehung (Kraftwerk, Industrie, Erdöl und -gasförderung) abgetrennt, verdichtet und zur endgültigen Lagerung in Speicherstätten transportiert werden.

Das Abgas heutiger Kraftwerke besteht nur zum Teil aus CO₂. Den größten Teil bildet Stickstoff, der neben dem Sauerstoff in der Umgebungsluft enthalten ist, die für die Verbrennung benötigt wird. Weil es nicht sinnvoll wäre, den für die Umwelt harmlosen Stickstoff geologisch zu speichern, muss das CO₂ zunächst vom Stickstoff getrennt, sprich »abgeschieden« werden. Für

die Abscheidung gibt es gegenwärtig drei verschiedene Verfahren: Erstens die nachträgliche Auswaschung von CO₂ aus dem Rauchgas (»post-combustion«), zweitens die Umwandlung von festen Brennstoffen in gasförmige Brennstoffe bei gleichzeitiger Abtrennung des entstehenden CO₂ vor der Verbrennung (»pre-combustion«) und drittens die Verbrennung des Kraftstoffes mit reinem Sauerstoff nach dem »oxyfuel« Verfahren. Alle drei Varianten haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile und die Diskussion über die zu bevorzugende Abscheidetechnik wird kontrovers geführt.

Für die technische Abscheidung von CO₂ aus dem Kraftwerksprozess muss zusätzlich erhebliche Energie aufgewendet werden. Somit sinken der Nettowirkungsgrad und die elektrische Nennleistung des Kraftwerks. Dies führt zu vermehrtem Brennstoffeinsatz und erhöhter CO₂-Produktion.

Im abgeschiedenen Kohlendioxid aus Kraftwerken oder Industrieanlagen können Verunreinigungen aus der Verbrennung, wie Stickoxide sowie Schwefelverbindungen, aber auch Schwermetalle wie Quecksilber, oder für Abtrennung, Transport und Speicherung notwendige Zusatzstoffe enthalten sein. Solche Beimengungen können das Speicherverhalten des Gases ändern und negative Auswirkungen auf die Integrität und Langzeitsicherheit der geologischen Deckschichten sowie insbesondere der Bohrlöcher haben und im Falle des Austritts der Meeresumwelt schaden.

CO₂-Speicherung

Die Speicherung von CO₂ in geologischen Formationen wird auch vom IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) als eine wesentliche Maßnahme zur Minderung der industriellen CO₂-Emissionen eingeschätzt (IPCC 2005, IPCC 2007a). In diesem Zusammenhang wird behauptet, dass mit dieser Technologie innerhalb weniger Jahrzehnte eine signifikante Reduktion der anthropogenen CO₂-Emissionen erreicht werden kann (STERN 2007). Da die marinen Ökosysteme durch anthropogene CO₂-Emissionen massiv geschädigt werden und die CCS-Technologie eine signifikante Reduktion dieser Emissionen in Aussicht stelle, kann es aus meeresökologischer Perspektive sinnvoll sein, diese Technologie weiterzuentwickeln und umzusetzen, bis die Abkehr von der Nutzung fossiler Energien vollzogen ist.

Dabei müsse jedoch sichergestellt werden, dass die Reduktion der atmosphärischen CO₂-Emissionen nicht durch eine Zunahme der CO₂-Freisetzung in die Ozeane erkaufte wird. Die Leckage von CO₂ aus unterirdischen CO₂-Speichern in das überstehende Meerwasser sollte so gering sein, dass die Organismen am Meeresboden und in der Wassersäule weder lokal noch regional oder global beeinträchtigt werden.

In Abb. 5.6-2 sind die heute diskutierten Speicheroptionen für CO_2 im marinen Bereich dargestellt:

- CO_2 kann unter dem Meeresboden in salinen Aquiferen (salzwasserführende Gesteinsschicht) gespeichert werden.
- CO_2 kann unter dem Meeresboden in (leergepumpten) Öl- oder Gasreservoiren gespeichert werden.
- CO_2 kann auf dem Meeresboden abgelagert werden.
- CO_2 kann im Sediment der Tiefsee gespeichert werden.
- CO_2 kann in die freie Wassersäule eingebracht werden.

CO_2 -Speicherung im Meeresboden

Die Speicherung von CO_2 im Meeresboden kann in salinen Aquiferen und in Erdöl- oder Erdgaslagerstätten erfolgen. Bei der Beurteilung eines möglichen Leckagerisikos ist zu beachten, dass das CO_2 abhängig von der Meerestiefe in unterschiedlicher Dichte vorkommt. Wenn CO_2 in einer Tiefe austritt, in der es als Hydrat vorliegt (>3.000 m), sind die geringsten Schäden zu befürchten. Die Speicherung von CO_2 in dieser Wassertiefe ist nach heutigem Erkenntnisstand mit einem geringeren Risiko verbunden. Die Kosten und der entsprechende Aufwand für die Speicherung sind vermutlich deutlich höher als bei einer Speicherung in geringerer Tiefe.

Die Speicherung in geringen Tiefen erfordert wegen des beträchtlichen Auftriebes des Kohlendioxides ein geeignetes Deckgestein mit durchgehend niedriger Permeabilität. Kommt es dennoch zu Leckagen, wird

das CO_2 im Wasser gelöst und trägt zur Versauerung des Meeres bei. Bei sehr großen Leckagen kann das CO_2 auch an die Meeresoberfläche gelangen, wo es dann zur Anreicherung des CO_2 in der Atmosphäre beiträgt.

Einen erheblichen Gaseintritt in die Atmosphäre kann man seit 1990 in den britischen Hoheitsgewässern der Nordsee beobachten. Der »Blow out« ereignete sich bei einer Erdölexplorationsbohrung der Firma Exxon Mobile. Seither strömen erhebliche Mengen des sehr klimaschädlichen Methangases (CH_4 ist 21mal klimaschädlicher als CO_2) in die Nordsee und anschließend in die Atmosphäre. Große CCS-Leckagen aus undichten Bohrlöchern dürften ein ähnliches Erscheinungsbild liefern. Die Austrittsstelle war im Sommer 2011 erneut Gegenstand einer wissenschaftlichen Expedition unter der Leitung des IFM Geomar.

Damit das in saline Aquifere sowie Öl- und Gassreservoiren injizierte CO_2 dort dauerhaft unschädlich bleibt, muss es langfristig (am besten für einige Jahrtausende) gespeichert werden. An einigen natürlichen und künstlichen Speichern werden derzeit Versuche hinsichtlich der dauerhaften Speichersicherheit durchgeführt. Potenzielle Sicherheitsrisiken stellen insbesondere alte, ungenügend versiegelte Bohrlöcher dar. Die Erfahrungen mit der CO_2 -Beständigkeit dieser Bohrlöcherversiegelungen liegen naturgemäß nur für wenige Jahrzehnte vor. Neben den Bohrlöcherversiegelungen gilt das Augenmerk dem durch das eingebrachte CO_2 verursachten Druckanstieg

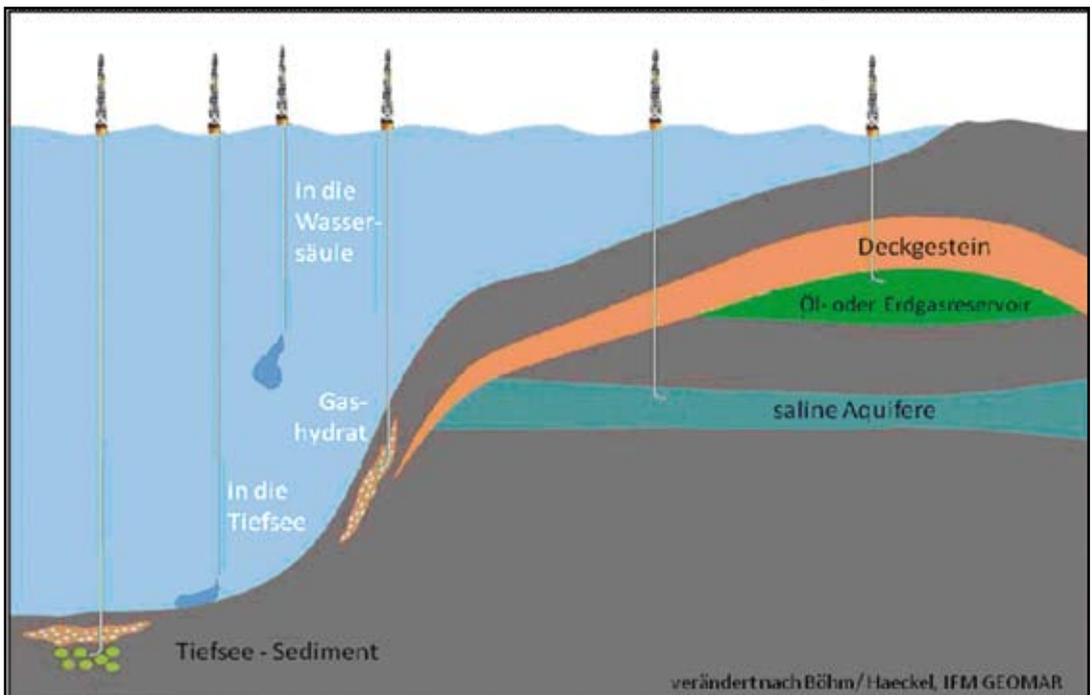


Abb. 5.6-2: Darstellung von Speicheroptionen im Meer und unter dem Meeresboden.

im Speichergestein. Dieser muss unbedingt in engen Grenzen gehalten werden, um eine mechanische Beeinträchtigung der Deckschichten zu vermeiden.

Risikoabschätzungen hinsichtlich der Dichtigkeit der Speicher sollten auf Erfahrungen mit bestehenden natürlichen und künstlichen CO₂-Speichern zurückgreifen. Größere Gewissheit über die CO₂-Migration im Untergrund und zu großräumigen CO₂-Leckagen kann vermutlich nur über Pilotprojekte in der industriellen Praxis gewonnen werden (z.B. aus dem norwegischen Sleipner-Projekt s.u.).

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WGBU) geht in seinem Sondergutachten (Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer) aus dem Jahr 2006 davon aus, »dass sich nach gegenwärtigem Wissensstand unter bestimmten geologischen und technischen Voraussetzungen eine Leckagerate von < 0,01 % pro Jahr als vertretbar erweisen könnte. Das entspricht einer Rückhaltezeit von 10.000 Jahren. Um dies abzusichern, bestehe aber nach wie vor deutlicher Forschungsbedarf. Dies betrifft insbesondere die Fragen, welche Kriterien die geologischen Formationen erfüllen müssen, und wie sich ein etwaiges Entweichen des Gases in das Meerwasser erfassen und quantitativ bestimmen lässt« (WGBU 2006).

Speicherkapazität

In einer Publikation aus dem Jahr 2010 hat die BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) das Speicherpotenzial der salinen Aquifere im deutschen Nordseesektor auf 1,9–4,5 Mrd t CO₂ geschätzt (BGR 2010). Der jährliche CO₂ Ausstoß in Deutschland wird im Vergleich dazu mit 788,8 Mio. t (2009) angegeben. Dieses Potenzial würde damit gerade ausreichen, den deutschen CO₂-Ausstoß für ungefähr 2–5 Jahre einzulagern.

Einbringung von CO₂ in das Meer

Die Einbringung von CO₂ in das Meer, d.h. in die Wassersäule und auf den Meeresboden, sollte strikt abgelehnt werden. Dies ist keine nachhaltige Option, weil der Ozean im permanenten Austausch mit der Atmosphäre steht, so dass die Langzeitfolgen der CO₂-Emissionen für künftige Generationen nicht vermieden werden. Gegen die Deponierung des Treibhausgases im Wasser spricht außerdem die Gefahr, dass die Ökosysteme unter einem höheren CO₂-Gehalt des Wassers spürbar leiden werden (IPCC 2005, PÖRTNER 2005). Zudem sind CO₂-Seen auf dem Meeresboden nur schwer zu kontrollieren, und ein langfristiges Entweichen in die Atmosphäre kann nicht ausgeschlossen werden. Aufgrund der beschriebenen negativen Effekte der Versauerung auf die Meeresumwelt ist die Verklappung von CO₂ im Meerwasser nach dem global gültigen

Londoner Protokoll und dem regionalen OSPAR-Übereinkommen zum Schutz des Nordostatlantiks verboten. Die CO₂-Speicherung in geologischen Formationen unterhalb der Meere ist bei Einhaltung bestimmter Auflagen erlaubt.

Ungeachtet dessen wird in Japan weiter an Projekten gearbeitet, die die CO₂-Injektion in die Wassersäule vorantreiben sollen.

Umweltrisiken

Folgen von CO₂-Austritten können in den verschiedenen Bereichen der marinen Lebewelt auftreten. In der tiefen Biosphäre können dort lebende Mikrobengesellschaften unmittelbar mit dem eingespeisten CO₂ in konzentrierter oder gelöster Form in Kontakt kommen. Außerdem könnten die Beimengungen zum CO₂ Auswirkungen auf die Mikrobengesellschaften und die marinen Ökosysteme haben. Die Zusammensetzung der Beimengungen des eingespeisten Gases hängt vor allem vom Abtrennungsverfahren, vom Kraftwerkstyp und dem genutzten Energieträger ab. Die Hauptbeimengungen sind Schwefelverbindungen (SO₂, H₂S) und Stickoxide, Methan, Kohlenmonoxid, Wasserstoff, sowie Stickstoff, Sauerstoff und Argon.

Eine zusätzliche Gefahr besteht, wenn durch die CO₂-Einleitung toxische Stoffe in der Speicherformation mobilisiert werden. Dazu können Schwermetalle, aber auch radioaktive Substanzen in Abhängigkeit von Zusammensetzung der Gesteinsformationen und Reaktivität der Substanzen zählen. Einerseits können diese die tiefe Biosphäre beeinträchtigen. Andererseits könnte bei einer Leckage ein mit diesen Stoffen angereichertes Porenwasser in andere Grundwasserhorizonte eindringen und diese kontaminieren.

Die Benthosorganismen wären in der Umgebung einer Leckage dem ausströmenden CO₂ ausgesetzt. Das durch den CO₂-Austritt bedingte Absinken des pH-Wertes beeinträchtigt in erster Linie Organismen mit Kalkskeletten. Insbesondere Echinodermen (z.B. Seesterne, Seeigel) und einige Mollusken (Schnecken, Muscheln) dürften davon betroffen sein, da sie Calciumcarbonat für den Skelettbau verwenden. Auch Krebse (Crustaceen) könnten in Mitleidenschaft gezogen werden (IEA GHG 2007, TURLEY et al. 2004, PÖRTNER 2006).

Bei langanhaltenden, schwerwiegenden Leckagen können so große Mengen CO₂ ins Meer gelangen, dass es auch im freien Wasser über dem CO₂-Ausstrom zu Änderungen des pH-Wertes und der CO₂-Konzentration kommt. Dadurch können auch das Nekton (vor allem Fische, Cephalopoden) und das Plankton (Algen wie Coccolithophoriden (Kalkalgen)) beeinträchtigt werden. Allerdings sind im freien Wasser nur bei Extremleckagen ähnlich hohe CO₂-Konzentrationen zu erwarten wie am Meeresboden nahe einer Austrittsstelle.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Entwicklung von Tiefseeorganismen eher langsam verläuft, ihre Stoffwechselraten niedriger sind und ihre Lebenserwartung höher ist als in anderen Meeresschichten (IPCC 2005). Die Bewohner der Tiefseeökosysteme haben sich während ihrer Evolution an die sehr speziellen Lebensbedingungen angepasst, mit ihren typischerweise sehr stabilen Temperatur- und Druckverhältnissen und relativ konstanten CO_2 -Konzentrationen. Diese gleichbleibenden Umgebungsvariablen erfordern keine schnellen Anpassungsstrategien. Daher muss bei einer möglichen Speicherung von CO_2 auf dem Meeresboden ebenso wie bei Leckagen der Speicherstätten unter dem Meeresboden damit gerechnet werden, dass die dortigen Ökosysteme sehr stark geschädigt werden können und voraussichtlich sehr lange brauchen werden, um sich von einer, durch mögliche CO_2 -Leckagen bedingten Veränderungen ihrer Umgebung zu erholen (IPCC 2005).

Über die Organismen der Tiefsee, ihre Lebensformen und Interaktionen, ist generell sehr wenig bekannt. Die direkte Wirkung von CO_2 auf marine Organismen ist bisher vorwiegend im Labor untersucht worden. Studien über Beobachtungen im Feld fehlen weitgehend, bis auf einige wenige Experimente mit kleinen CO_2 -Wolken auf dem Meeresboden und Untersuchungen an vulkanischen CO_2 -Quellen (IPCC 2005).

Erste praktische Erfahrungen mit CO_2 -Speicherung im Sleipner Feld (Utsira Sand)

Die norwegische Firma Statoil ist weltweit das erste Unternehmen, das CO_2 zum Zwecke des Klimaschutzes untertage speichert. CO_2 -haltiges Erdgas, das aus dem Sleipner Feld im norwegischen Sektor der Nordsee gefördert wird, muss vor der Abgabe an die Verbraucher aufbereitet werden. Die Abtrennung des CO_2 erfolgt seit 1996 auf einer Förderplattform. Das separierte Gas wird in einen salinen Aquifer etwa 800 m unter dem Meeresboden, oberhalb der gasführenden Hejmdal-Schichten durch eine abgelenkte, im Speicher horizontale Bohrung injiziert (s.a. Abb. 5.6-3).

Das Projekt wird wissenschaftlich begleitet, um die Sicherheit der Sequestrierung zu erforschen. Simulationsrechnungen für Hunderttausende von Jahren lassen vermuten, dass sich das injizierte CO_2 im Porenwasser löst und dann in gelöster Form nach unten sinkt. Somit wäre zumindest eine Rückhaltezeit des Kohlendioxids im Meeresboden von mehr als 10.000 Jahren für dieses Speichergebiet erfüllt.

Nutzung von Methanhydratvorkommen als CO_2 -Lagerstätte

Das Verbundprojekt SUGAR (Submarine Gashydrat-Lagerstätten: Erkundung, Abbau und Transport) wurde

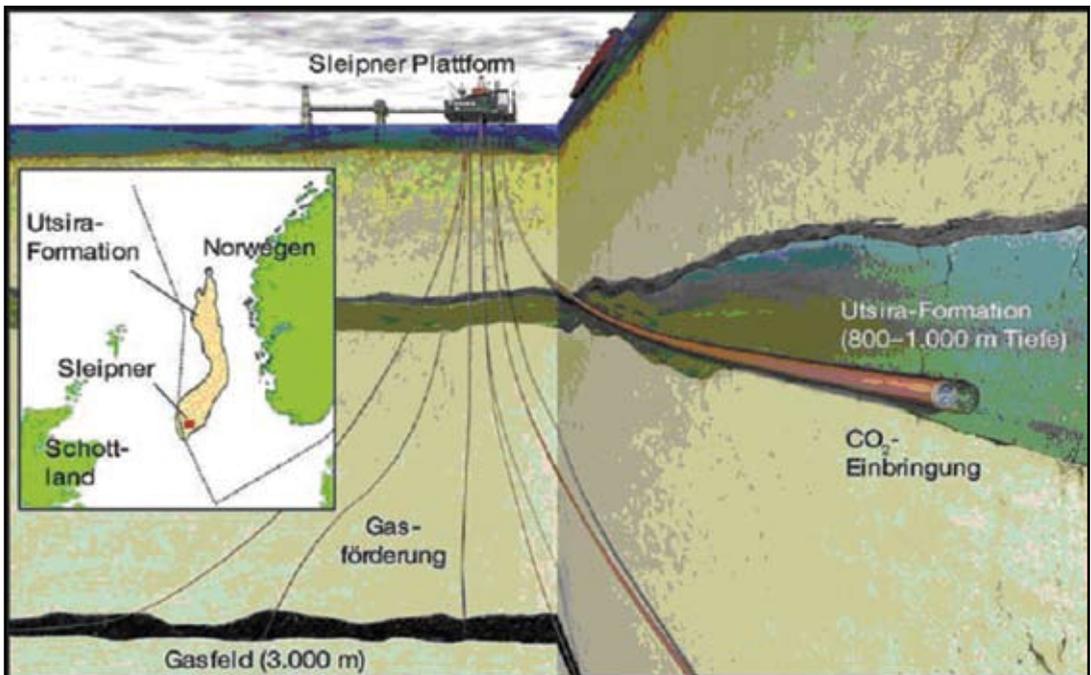


Abb. 5.6-3: Das Sleipner-Projekt in der Nordsee, vereinfachte Darstellung. Das abgetrennte CO_2 wird in die Utsira-Sandsteinformation eingebracht. Die kleine Grafik zeigt Lage und Größe der Utsira-Formation in der Nordsee (aus WBGU 2006).

im Sommer 2008 von den Bundesministerien für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie für Bildung und Forschung (BMBF) bewilligt. Unter Leitung des Kieler Leibniz Institut für Meereswissenschaften (IFM-GEOMAR) sollen 30 Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft mit einem Mitteleinsatz von ca. 13 Mio. € neue Technologien entwickeln, um Erdgas (Methan) aus Methanhydraten im Meeresboden als neue Energiequelle zu gewinnen und abgetrenntes Kohlendioxid (CO₂) aus Kraftwerken und anderen industriellen Anlagen sicher im Meeresboden zu speichern.

Bei den im SUGAR-Projekt entwickelten Hydrat-Technologien wird das CO₂ als eisartiger Feststoff (Hydrat) anstatt des gewonnenen Methanhydrats eingelagert. In dieser Form ist CO₂ nicht mobil, und damit könnten Leckagen weitgehend ausgeschlossen werden. Der Porenraum wird durch den Methanhydrat-Abbau zunächst leer geräumt und kann dann ohne Druckanstieg mit CO₂ verfüllt werden. Dabei wird deutlich mehr CO₂ gespeichert als Erdgas gefördert.

Um möglichen Umweltrisiken des Methanhydratabbaus zu begegnen sind im SUGAR-Projekt erste Ansätze entwickelt worden:

- Methanhydrate, die direkt am Meeresboden anstehen und die an steilen Kontinentalhängen auftreten, werden nicht abgebaut.
- Methanhydrate werden beim Abbau durch CO₂-Hydrate ersetzt. Die Sedimente sollen durch diese Hydrate stabilisiert werden.

Résumé und Schlussbetrachtung

Zur Bekämpfung des Klimawandels ist eine nachhaltige Klimapolitik hin zur Steigerung von Energieeffizienz und zur Nutzung erneuerbarer Energie erforderlich. Als Übergangstechnologie sollte die Speicherung von CO₂ in geologische Formationen tief unter dem Meeresboden nicht ausgeschlossen werden.

Die Speicherung von CO₂ im Meeresboden ist jedoch nicht unproblematisch, da ein Entweichen von CO₂ in die Atmosphäre nicht ausgeschlossen werden kann. Dies kann Folge von technischen Mängeln, Unfällen beim Transport-, Injektions- und Lagerungsprozess oder aufgrund ungeeigneter geologischer Formationen sein.

Durch Leckagen können so große Mengen CO₂ ins Meer gelangen, dass es zu Änderungen des pH-Wertes und der CO₂-Konzentration kommt. Dadurch können das Nekton (vor allem Fische, Cephalopoden) und das Plankton (Algen, Coccolithophoridae) beeinträchtigt werden.

Um bei der Speicherung von CO₂ für eine hinreichende Sicherheit zu sorgen und mögliche Wirkungen

von austretendem CO₂ zu vermeiden oder zu minimieren, ist es wichtig dafür zu sorgen, dass Leckagen nur in vertretbarem Ausmaß erfolgen. Der WGBU (2006) hat dazu formuliert:

»Nach gegenwärtigem Wissensstand könnten sich die Leckageraten zwar unter bestimmten geologischen und technischen Voraussetzungen als vertretbar erweisen (Leckagerate < 0,01% pro Jahr). Um dies hinreichend absichern zu können, besteht aber nach wie vor deutlicher Forschungsbedarf. Dies betrifft insbesondere die Fragen, welche Kriterien die geologischen Formationen erfüllen müssen, und wie sich ein etwaiges Entweichen des Gases in das Meereswasser erfassen und quantitativ bestimmen lässt« (WGBU 2006).

Im norwegischen Sleipner-Feld wird seit 1996 abgetrenntes CO₂ in eine Gesteinsschicht etwa 800 m unter dem Meeresboden eingelagert.

Im Forschungsprojekt SUGAR (Submarine Gashydrat-Lagerstätten: Erkundung, Abbau und Transport) wird gegenwärtig erkundet wie Erdgas (Methan) aus dem Meeresboden als neue Energiequelle gewonnen und stattdessen abgetrenntes CO₂ sicher im Meeresboden eingelagert werden kann.

Literatur

- (2008). CO₂-Abscheidung und -speicherung im Meeresgrund: Meeresökologische und geologische Anforderungen für deren langfristige Sicherheit sowie Ausgestaltung des rechtlichen Rahmens; Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes. Göttingen [u.a.].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2005): Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007a): Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007b): Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptions, and Vulnerabilities, Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IEA (International Energy Agency) (2007): Greenhouse Gas R&D Programme (GHG), Environmental Assessment for CO₂ Capture and Storage, in: Technical Study, Report 2007/1, March 2007.
- KNOPF S. (2010): Neuberechnung möglicher Kapazitäten zur CO₂-Speicherung in tiefen Aquifer-Strukturen. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 60(4): 76-80.
- KÖRTZINGER A. (2010): Der globale Kohlenstoffkreislauf im Anthropozän. Betrachtung aus meereschemischer Perspektive. Chemie in unserer Zeit, 44: 118-129.
- PÖRTNER H.-O. (2005): Auswirkungen von CO₂-Eintrag und Temperaturerhöhung auf die marine Biosphäre, Expertise im Auftrag des WBGU, Berlin.
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (2006): Die Zukunft der Meere - zu warm, zu hoch, zu sauer : Sondergutachten, Berlin. 114 pp..
- STERN N. (2007): The Economics of Climate Change (The Stern Review). Cambridge Univ. Press, Cambridge, 712 pp.
- TURLEY C. (2004): Literature Review: Environmental impacts of a gradual or catastrophic release of CO₂ into the marine environment following carbon dioxide capture (DEFRA: MARP 30 (ME2104)), 31 March 2004.

Hans Peter Damian

Ulrich Claussen

Umweltbundesamt

Wörlitzer Platz 1 - 06844 Dessau

hans-peter.damian@uba.de