

Bericht zur 1. GEOSTOR-Projektphase



1. Einführung und Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse (GEOMAR)
2. Regionale statische Speicherkapazität (BGR)
3. Geologische Modelle der Gebiete A und B (BGR)
4. Reservoirmodellierung zur Abschätzung der dynamischen Speicherkapazität im Gebiet A (CAU)
5. Beschaffenheit der Formationswässer unter der deutschen Nordsee (BGR)
6. Potenzielle Leckagepfade entlang von Störungen (BGR)
7. Leckagen entlang von Altbohrungen (GEOMAR)
8. Geotechnische Risiken (CAU)
9. Gesteins-Fluid-Wechselwirkungen im Untergrund (GEOMAR)
10. Auswirkung von seismischem Lärm auf Schweinswale in der Nordsee (Deutsches Meeresmuseum)
11. Speicherüberwachung mit seismologischen Verfahren (K.U.M., north.io)
12. Technologien und Kosten für CO₂-Transport und Speicherung (Fichtner)
13. Rechtsrahmen und geotechnische Implikationen (Uni Hamburg, BGR)
14. Mögliche Nutzungskonkurrenzen (BGR)
15. Visualisierung geologischer Daten (BGR)
16. Ausblick auf die zweite Projektphase (GEOMAR)

1. Einführung und Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse (GEOMAR)

Ein signifikanter Anteil der CO₂-Menge, die in Zukunft in Deutschland abgeschieden werden muss, könnte unter der deutschen Nordsee gespeichert werden.

Aufgrund der begrenzten Kapazitäten und möglicher Umweltrisiken (Leckagen, Lärm) sollte dort nur jene CO₂-Restmenge deponiert werden, deren Entstehung sich trotz konsequenter Klimapolitik nicht vermeiden lässt.

2. Regionale statische Speicherkapazität (BGR)

Die statische Speicherkapazität in Strukturen des Mittleren Buntsandsteins in der deutschen AWZ beträgt in der Nordsee seewärts der Zwölfmeilenzone circa 0,9 – 5,5 Milliarden Tonnen CO₂.

Bei der Berechnung wurde angenommen, dass 5 – 20 Prozent des Porenraums im Buntsandstein für die Speicherung genutzt werden kann.

Die tatsächlich nutzbare Speicherkapazität kann erst bestimmt werden, nachdem die möglichen Standorte genauer erkundet und exploriert wurden.

3. Geologische Modelle der Gebiete A und B (BGR)

Das Gebiet A liegt auf dem Westschleswig-Block in circa 100 Kilometern Entfernung von der Küste und umfasst eine Fläche von circa 1.300 Quadratkilometern. Die wichtigste potenzielle Speichereinheit stellt der 40 bis 50 Meter mächtige Volpriehausen-Basissandstein des Mittleren Buntsandstein dar. Dieser liegt in circa 1,6 - 2 Kilometern Tiefe unter dem Meeresboden.

Das Gebiet B erstreckt sich über eine Fläche von circa 560 Quadratkilometern. Es liegt im nordwestlichen Teil des deutschen Nordseesektors in circa 300 Kilometern Entfernung von der Küste. Potenzielle Speichergesteinsschichten stellen wiederum Sandsteine des Mittleren Buntsandstein dar, die hier in circa 3 – 3,5 Kilometern Tiefe unter dem Meeresboden liegen. Das Gebiet B ist im Vergleich zum Gebiet A durch eine deutlich komplexere Geologie und eine höhere Anzahl von Störungen gekennzeichnet.

Für beide Gebiete wurden detaillierte geologische Strukturmodelle und darauf aufbauend parametrisierte Volumenmodelle entwickelt, die von der Christian-Albrechts-Universität (CAU) für die dynamische Reservoir-Modellierung genutzt wurden (Kapitel 4).

4. Dynamische Speicherkapazität im Gebiet A (CAU)

Die CO₂-Speicherung im Gebiet A wurde mithilfe numerischer Modelle simuliert. Die dynamischen Modelle zeigen, dass dort bis zu 10 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr über einen Zeitraum von 30 Jahren gespeichert werden könnten. Diese dynamische Speicherkapazität ist eine Maximalabschätzung, da die räumliche Heterogenität innerhalb der Speicherformation von dem vorhandenen geologischen Modell nicht ausreichend aufgelöst wird. Zudem könnte der starke, simulierte Druckanstieg bei der Injektion (um bis circa 130 bar) zur Migration von CO₂ und zu Leckagen entlang der im Gebiet A vorliegenden Altbohrung und Störungen führen.

Die tatsächlich mögliche Speicherrate kann erst bestimmt werden, nachdem der Standort genauer erkundet und exploriert wurde.

5. Beschaffenheit der Formationswässer unter der deutschen Nordsee (BGR)

Bisher liegen nur wenige Daten zur chemischen Zusammensetzung des Formationswassers in den tiefen Gesteinsschichten unter der Nordsee vor. Die verfügbaren Daten zeigen, dass dieses Formationswasser einen deutlich höheren Salzgehalt als Meerwasser hat. Sie weisen zudem auf eine starke räumliche Variabilität hin.

Die Beprobung und Analyse von Fluiden möglicher Reservoir- und Barrierschichten ist daher bei der Standortcharakterisierung in jedem Fall vorzusehen, zumal ein Austritt von salzreichem Formationswasser das Ökosystem am Meeresboden lokal schädigen könnte.

Zudem müssen die Schadstoffgehalte im Formationswasser bestimmt werden.

6. Potenzielle Leckagepfade entlang von Störungen (BGR)

Die seismische Kartierung von Störungen, möglichen Leckagepfaden und Fluidansammlungen im Untergrund des Westschleswig-Blocks (Gebiet A) deutet auf wenig gestörte Gesteinsschichten und günstige Barriereigenschaften hin.

Im Bereich des Zentral-Grabens (Gebiet B) wird die Fallenstruktur durch stratigraphische und störungsgebundene Strukturen gebildet. Die geomechanischen und hydraulischen Eigenschaften der Störungen müssten weiter untersucht werden, um deren Einfluss auf die Standorteignung abschätzen zu können.

7. Leckagen entlang von Altbohrungen (GEOMAR)

Erdgas kann entlang von Altbohrungen zum Meeresboden aufsteigen, wenn es im direkten Umfeld der Bohrungen in Tiefen von circa 0,1 – 1 Kilometer unterhalb des Meeresbodens vorkommt. Die Austrittsraten, die an sieben Altbohrungen im britischen und norwegischen Bereich der Nordsee ermittelt wurden, liegen bei circa 0,8 – 5,2 Tonnen Methan pro Bohrung und Jahr.

An den Altbohrungen, die in der deutschen Nordsee untersucht wurden, konnte kein austretendes Erdgas nachgewiesen werden. Dennoch müsste die im Gebiet A vorliegende Altbohrung genauer untersucht, kontinuierlich überwacht oder abgedichtet werden, falls dort CO₂ gespeichert werden sollte.

8. Geotechnische Risiken (CAU)

Durch den Druckanstieg im Zuge der CO₂-Speicherung könnten bereits vorhandene Störungen im Untergrund reaktiviert und Erdbeben ausgelöst werden.

Die geotechnische Analyse der Störungen im Gebiet A weist jedoch darauf hin, dass diese induzierten Erdbeben wahrscheinlich nur eine maximale Magnitude von 2 erreichen könnten.

Windkraftanlagen, die im Umfeld des Gebiets A liegen, würden durch diese schwachen Erdbeben voraussichtlich nicht beeinträchtigt werden.

9. Gesteins-Fluid-Wechselwirkungen im Untergrund (GEOMAR)

Die Reaktionen von CO_2 mit Speicher- und Barriere-Gesteinen und der reaktive Transport von CO_2 durch Risse im Gestein können durch Versuchsaufbauten, die in GEOSTOR entwickelt wurden, unter in situ Druck- und Temperaturbedingungen untersucht werden.

Erste Experimente zeigen, dass CO_2 -Leckagen an Altbohrungen durch das Einbringen reaktiver Minerale in den Meeresboden signifikant verringert werden könnten.

10. Auswirkung von seismischem Lärm auf Schweinswale in der Nordsee (DMM)

In ihrem Lebensraum sind Schweinswale auf akustische Orientierung angewiesen. Sie haben eines der sensibelsten Gehöre im Tierreich. Während einer seismischen Untersuchung im Gebiet B mieden die Schweinswale die Schallquelle in einem Umkreis von circa 10 Kilometern. Regelmäßige seismische Untersuchungen im Rahmen der CO₂-Speicherung in Sandsteinformationen unter der Nordsee können daher die Qualität des Lebensraums für Schweinswale verschlechtern.

Um mögliche Störungen zu minimieren, sollten sensible Orte und Zeiten bei der Planung seismischer Messungen berücksichtigt werden. Empfohlen wird außerdem, die Anzahl aktiv-seismischer Untersuchungen bei der Speicherüberwachung soweit wie möglich zu reduzieren.

11. Speicherüberwachung mit seismologischen Verfahren (K.U.M., north.io)

CO₂-Speicher können auch mithilfe passiv-seismischer Verfahren überwacht werden. Diese Verfahren verursachen keinen Lärm, sodass Schweinswale nicht beeinträchtigt werden können.

Passive Messsysteme, die im GEOSTOR-Verbund entwickelt wurden, detektieren kleinste Bewegungen und Mikroerdbeben im Untergrund, die durch die CO₂-Speicherung induziert werden können. Der Nachweis dieser mikroseismischen Aktivitäten wird durch den Umgebungslärm erschwert. Dennoch können sie mithilfe geeigneter Messknoten und durch den Einsatz von KI-Verfahren identifiziert und lokalisiert werden.

Auf diese Weise können kleinste Bewegungen im Untergrund und eine mögliche Reaktivierung von Störungen frühzeitig erkannt werden.

12. Technologien und Kosten für CO₂-Transport und Speicherung (Fichtner)

Die Technologien für den CO₂-Umschlag an der Küste, den Transport auf das Meer hinaus und die Speicherung von bis zu 10 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr im Gebiet A sind prinzipiell verfügbar.

Die im Projekt ermittelten Kosten liegen bei etwa 13 bis 55 Euro pro Tonne CO₂. Diese Kosten decken jedoch weder den landseitigen Transport noch die CO₂-Abscheidung und Abtrennung an industriellen Quellen ab.

Die Kosten für die gesamte CCS-Kette liegen deutlich über den hier angegebenen Werten, da sowohl die CO₂-Abtrennung als auch der landseitige Transport sehr aufwändig und teuer sein können.

13. Rechtsrahmen und geotechnische Implikationen (Uni Hamburg, BGR)

Der internationale und nationale Rechtsrahmen für die CO₂-Speicherung ermöglicht eine sichere Speicherung von CO₂ in submarinen geologischen Formationen, wenn das Londoner Protokoll ratifiziert und die nationale Gesetzgebung so wie geplant aktualisiert wird. Die genaue rechtliche Ausgestaltung des Rechtsrahmens für den CO₂-Export ist aufgrund unterschiedlicher Auffassungen zwischen EU-Kommission und Mitgliedstaaten allerdings noch klärungsbedürftig.

Aus den rechtlichen Anforderungen ergeben sich viele geotechnische Aufgaben und Anforderungen an die Speichererkundung und -überwachung. Ein allgemeinverbindlicher Rahmen dafür ist mangels Rechtsverordnungen noch nicht gegeben und wäre wohl auch nicht sinnvoll, da für jedes Speicherprojekt unterschiedliche Überwachungsmaßnahmen erforderlich sein werden.

14. Mögliche Nutzungskonkurrenzen (BGR)

Da fast die gesamte deutsche AWZ in der Nordsee bereits für andere Nutzungen oder für den Naturschutz verplant ist, wird die CO₂-Speicherung dort nur dann möglich sein, wenn Konzepte für Mehrfachnutzungen entwickelt und Wege zum Umgang mit Nutzungskonflikten gefunden werden.

Wenn eine CO₂-Speicherung unterhalb von Gebieten ausgeschlossen würde, die für Windparks und militärische Zwecke genutzt oder vorgesehen sind, könnte nur ein kleiner Teil der aus geologischer Sicht für die CO₂-Speicherung untersuchungswürdigen Speicherstrukturen genutzt werden.

15. Visualisierung geologischer Daten (BGR)

Die in GHOSTOR und in Vorgängerprojekten erhobenen geologischen Daten für die deutsche AWZ in der Nordsee sind für die Öffentlichkeit frei verfügbar und können mit Web-Anwendungen durch den Nutzer interaktiv betrachtet und für weitere Anwendungen heruntergeladen werden.