

Lösungen für drängende gesellschaftliche Probleme

CO₂ in Flutbasalten unter dem Meer speichern: Optionen im Milliarden-Tonnen-Maßstab

Die Menschheit wird in naher Zukunft viele Millionen Tonnen Kohlendioxid [CO₂] pro Jahr aus der Atmosphäre entnehmen und sicher im Untergrund einlagern müssen. Als große Lagerstätte bieten sich weitläufige Lavagesteinsformationen im Meeresboden an, sogenannte Flutbasalte. Forschende des GEOMAR und ihre internationalen Partner untersuchen mit neuen Mess- und Modellierungs-methoden, wie viel CO₂ sich in diesen Gesteinsschichten speichern ließe und wie schnell das Treibhausgas dort in festes Karbonatgestein umgewandelt würde. So wäre es für Jahrtausende klimasicher eingelagert.

Die Herausforderung: Restemissionen durch die Entnahme und Speicherung vieler Millionen Tonnen CO₂ ausgleichen

Unsere Gesellschaft steht vor einer enormen Herausforderung: Um die drastischen Folgen des Klimawandels abzumildern und die globale Erwärmung auf unter 2 Grad Celsius zu begrenzen, werden wir unsere Kohlendioxid-Emissionen in weniger als 30 Jahren auf eine rechnerische Null reduzieren müssen. Dazu müssen wir zum einen jede denkbare Chance ergreifen, um CO₂-Emissionen so schnell und umfassend wie möglich zu vermeiden. Außerdem werden wir schon bald gezwungen sein, pro Jahr viele Millionen Tonnen CO₂ aus der Atmosphäre zu entnehmen. Diese CO₂-Entnahme wird gebraucht, um jene Restemissionen auszugleichen, die sich nicht vermeiden lassen, etwa in der Landwirtschaft. Es gibt verschiedene Lösungsansätze, um CO₂ aus der Atmosphäre zu entnehmen. Diese Methoden werden als CO₂-Entnahmeverfahren bezeichnet [englisch: Carbon Dioxide Removal, CDR]. Parallel dazu kommen aber auch sogenannte Abscheide-Technologien zum Einsatz [englisch: Carbon Capture]. Sie verhindern die Freisetzung von CO₂, indem es beispielsweise in Zementwerken und Abfallverbrennungsanlagen direkt aus dem Abgasstrom abgeschieden wird.

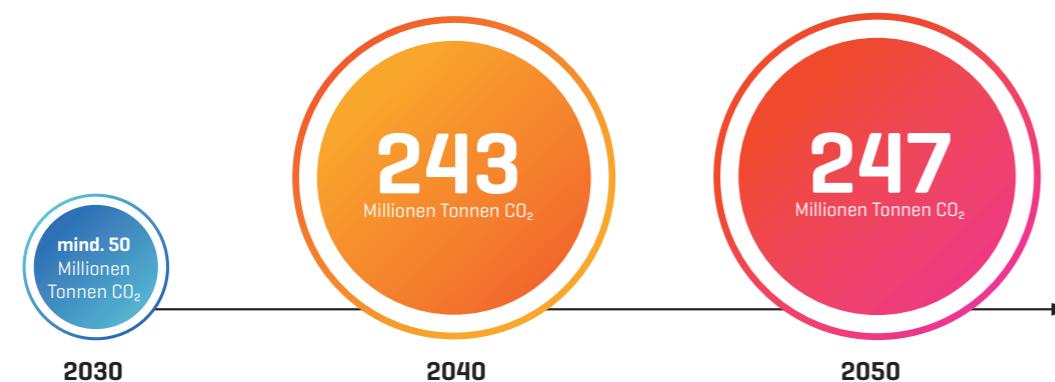
Sowohl bei der gezielten CO₂-Entnahme als auch bei der CO₂-Abscheidung fallen große Mengen CO₂ an. Diese müssen klimasicher eingelagert werden. Das heißt, sie dürfen nicht wieder in die Atmosphäre entweichen. Die favorisierte Form der CO₂-Speicherung ist ein Verpressen des Gases im tiefen Untergrund [geologische Speicherung]. Auf diese Weise lassen sich viel größere Mengen CO₂ dauerhaft einlagern als mit allen anderen bekannten CO₂-Speichermethoden.

Der Bedarf, abgeschiedenes CO₂ geologisch zu speichern, wird in den kommenden Jahren stark ansteigen. Dafür sprechen unter anderem Berechnungen der Weltenergieagentur IEA: Werden im Jahr 2024 weltweit rund 50 Millionen Tonnen CO₂ unterirdisch verpresst, müssen es im Jahr 2030 eine Milliarde Tonne CO₂ sein, um das Pariser Klimaziel zu erreichen – also die 20-fache Menge! Ausbaupläne im ähnlichen Maßstab verfolgt die EU-Kommission.

EU-Zahlen

Die EU-Kommission setzt bei der Dekarbonisierung der europäischen Industrie stark auf die Abscheidung und geologische Speicherung von CO₂. Bis zum Jahr 2030 sollen EU-weit mindestens 50 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr unterirdisch gespeichert werden. Zehn Jahre später sollen es dann fast fünfmal so viel sein.

Grafik: M. Wolter/GEOMAR,
Zahlen aus dem S3-Szenario
aus dem Annex der Mitteilung
zum Klimaziel der EU für 2040
[SWD(2024) 63]



Die Kernfrage: Wo lassen sich sichere Speicherorte finden?

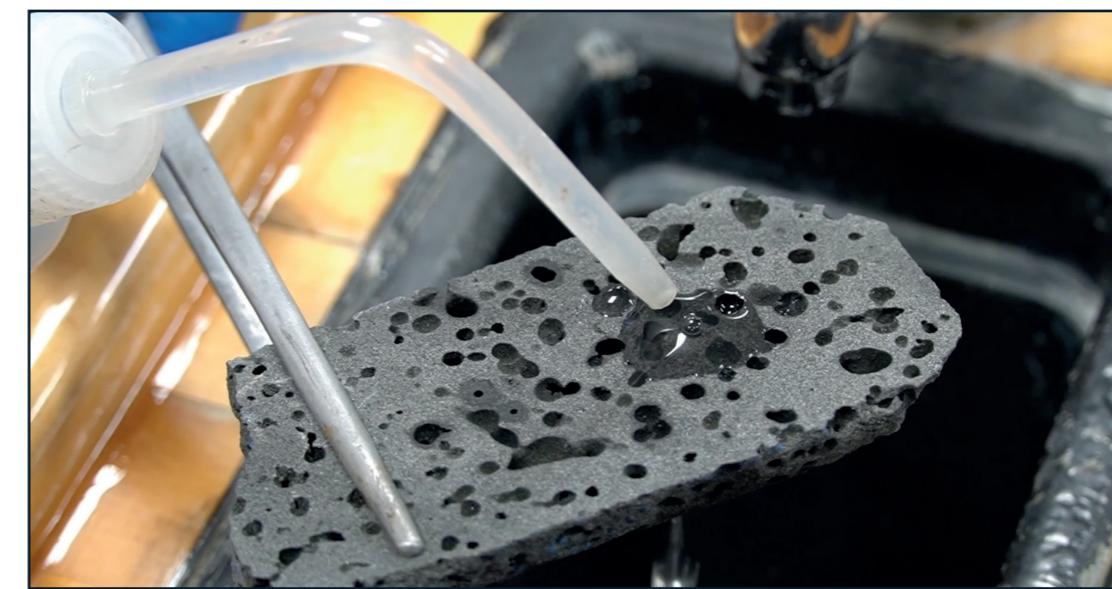
Wo aber kann so viel Kohlendioxid unterirdisch gespeichert werden? Nordsee-Anrainerstaaten wie Dänemark, Großbritannien, Norwegen, die Niederlande und auch Deutschland erkunden die Möglichkeit, CO₂ in tiefliegenden Sandsteinformationen unter dem Meer zu verpressen. Die Speicherkapazitäten der Sandsteinformationen unter der Nordsee sind dabei gewaltig. Dort könnten bis zu 100 Milliarden Tonnen CO₂ eingelagert werden. Ein Nachteil dabei: Das verpresste CO₂ bleibt im Sandstein für lange Zeit mobil und könnte durch Risse oder Störungen im Deckgestein wieder zum Meeresboden aufsteigen. CO₂-Lagerstätten im Sandstein müssen deshalb für viele Jahrzehnte überwacht werden. Hinzu kommt, dass die Nordsee ein intensiv genutztes Meer ist und eine CO₂-Speicherung andere Nutzungen (Fischerei, Schifffahrt, Windparks etc.) gegebenenfalls ausschließt. CO₂ an Land zu verpressen, ist vielerorts undenkbar. Wegen möglicher Risiken lehnt die Bevölkerung entsprechende Pläne häufig ab, vor allem in dicht besiedelten Gebieten.

Marine Flutbasalte: Raum für viele Milliarden Tonnen CO₂?

Forschende des GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel und ihre Partner richten ihren Fokus deshalb auf alternative Lagerstätten, sogenannte Flutbasalte. Dabei handelt es sich um erkaltete Lavaströme, die in erster Linie an den Rändern der Kontinentalplatten im Meeresuntergrund entstanden sind, in Europa insbesondere vor der Westküste Norwegens.

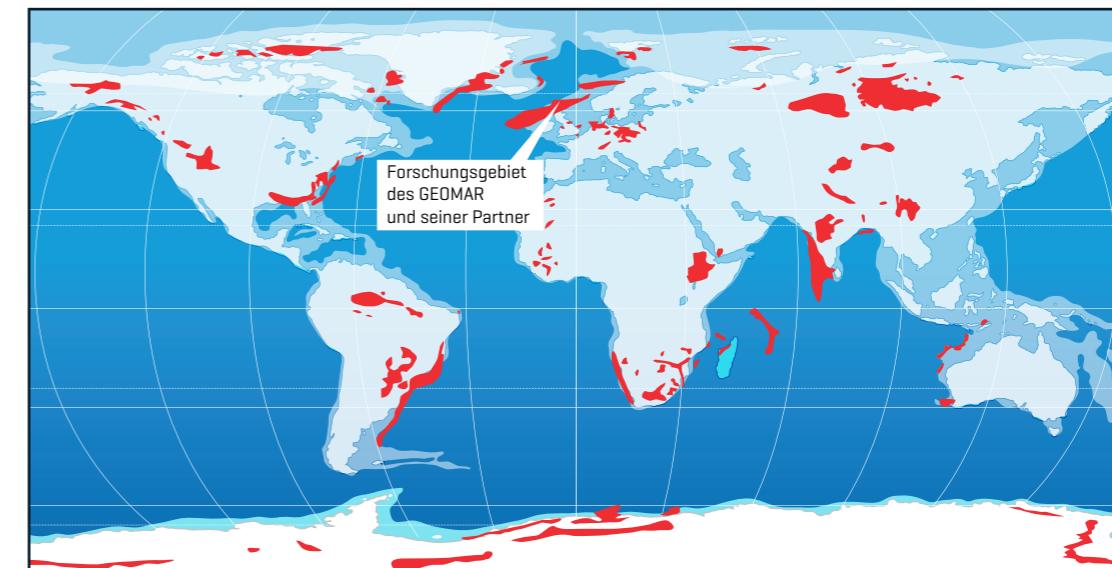
Die Lava war einst im Zuge der Entstehung der Ozeanbecken aus dem Erdinneren aufgestiegen und hatte sich viele Male weitläufig über die Erdoberfläche ergossen. Da die Lavaströme dabei im direkten Kontakt mit der Atmosphäre standen und nicht von Meerwasser bedeckt wurden, konnte das glühend heiße Gestein beim Erkalten ausgasen.

02



Das Gestein aus der oberen Schicht der Flutbasalte ist so stark von Blasen durchzogen, dass Wasser schnell einen Weg hindurchfindet.
Foto: S. Planke, VBER

So entstanden im oberen Bereich der wenige Meter bis Zehnermeter dicken Lavaschichten unzählige Blasen mit einem Durchmesser von bis zu zwei Zentimetern. Diese Hohlräume (Porenraum) verleihen den Basalten eine enorme Porosität und Durchlässigkeit – eine Materialeigenschaft, die das Lavagestein zu einem idealen Speichergestein macht. Sollten sich alle bekannten Flutbasalte für eine CO₂-Speicherung eignen, ließen sich weltweit Hunderte Milliarden Tonnen CO₂ in den Lavagesteinen einlagern. Noch aber sind marine Flutbasalte nur unzureichend auf ihre Eignung als CO₂-Speicher untersucht. Auch die Blasenstruktur kennen Fachleute nur aus wenigen Bohrungen und Gesteinsprobennahmen.



Flutbasalte, hier rot markiert, kommen sowohl an Land vor als auch im Meeresuntergrund – dort vor allem an Kontinentalrändern. Forschende des GEOMAR und ihre internationalen Partner untersuchen Flutbasalte vor der Küste Norwegens auf ihre Eignung als CO₂-Speicher.

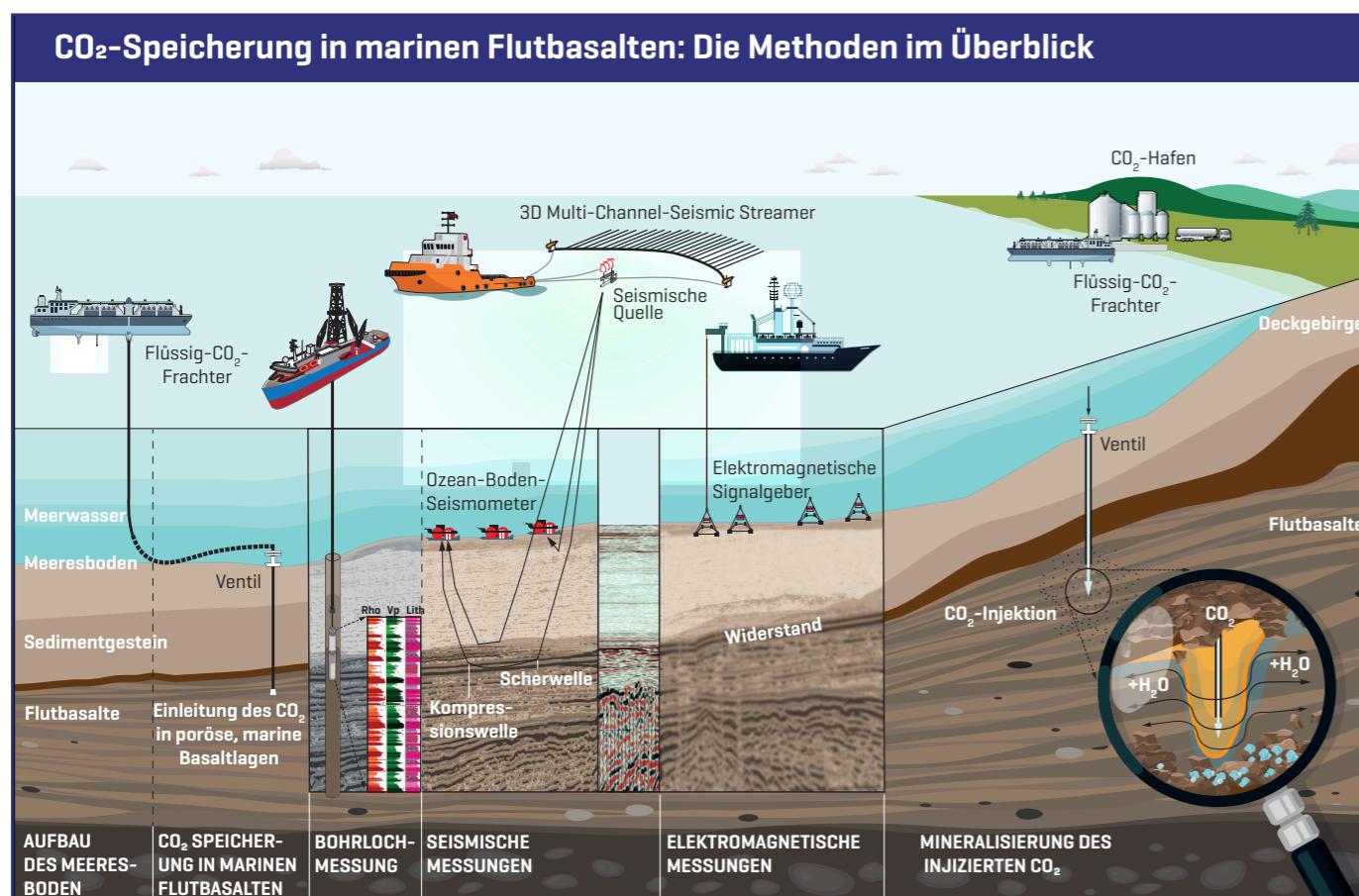
Karte: M. Wolter/GEOMAR nach einer Vorlage von John M. Millet et al. [2024], DOI: 10.1144/SP547-2023-102

CO₂ wird im Basalt fest gebunden

Bekannt ist allerdings, dass das Basaltgestein viele Eisen-, Kalzium- und Magnesiumionen enthält. Löst sich das verpresste CO₂ im Porenwasser des Gesteins und kommt mit diesen mineralischen Bestandteilen in Berührung, reagieren die Stoffe miteinander (Mineralisierung). Dabei entsteht Karbonatgestein, in dem der Kohlenstoff für Jahrtausende fest gebunden ist.

03

Wie schnell dieser Prozess in Basalten ablaufen kann, zeigt ein CO₂-Speicherprojekt auf Island [Carbfix]: Weil das Speichergestein dort jung, warm und besonders reaktionsfreudig ist und das CO₂ als wässrige Lösung eingebracht wurde, waren innerhalb von zwei Jahren 98 Prozent des verpressten CO₂ mineralisiert. Sollten ähnliche Raten auch in Flutbasalten möglich sein, könnte eine Überwachung künftiger CO₂-Speicher deutlich früher enden als bei CO₂-Lagerstätten im Sandstein. Außerdem minimiert die fest versteinerte Porenstruktur der Basalte das Erdbebenrisiko beim Verpressen des CO₂ im Untergrund.



Marine Flutbasalte liegen tief im Meeresuntergrund, begraben unter einer zumeist dicken Schicht aus Sedimenten und Sedimentgestein. Um dennoch herauszufinden, ob sich die Basaltlagen als CO₂-Speicher eignen, kombinieren die GEOMAR-Forscher und ihre internationalen Partner drei **moderne geowissenschaftliche Methoden** miteinander. Erstens bohren sie tief in das Gestein, nehmen Gesteinsproben und **messen in den Bohrlöchern wichtige Parameter** wie Temperatur und Fluid-Zusammensetzung. Mit Hilfe **seismischer Messungen** entschlüsseln sie zweitens, wie sich die Basaltlagen

schichten und testen Verfahren zur Überwachung eines möglichen CO₂-Speichers. Im dritten Schritt wird mit **elektromagnetischen Verfahren** der elektrische Widerstand der Flutbasalte gemessen. Er erlaubt Rückschlüsse auf die Porosität und damit das potentielle CO₂-Speichervolumen des Gesteins. Alle diese Einzelinformationen werden benötigt, um die **technische Machbarkeit** einer CO₂-Speicherung in den Basaltlagen zu bewerten und abzuschätzen, in welcher Geschwindigkeit injiziertes CO₂ im Gestein mineralisieren würde.

Grafik: M. Wolter/GEOMAR

Schichtung der Flutbasalte erhöht die Sicherheit des Speichers

Da sich die Lavamassen bei der Entstehung der Flutbasalte viele Male über die Erdoberfläche ergossen haben, besteht das heutige Speichergestein aus bis zu 100 übereinander-

liegenden Basaltschichten. Von diesen bildet nahezu jede eine mögliche Speicherschicht, was die Sicherheit möglicher CO₂-Speicherprojekte erhöht. Sollte das CO₂ in einer tiefliegenden Schicht verpresst werden und in dem begrenzten Zeitraum zwischen Verpressung und Mineralisierung unerwartet auf einen Riss oder Spalt im Gestein treffen, dann würde es in die darüber liegende Schicht aufsteigen und dort mit demselben Mineralisierungsprozess umgewandelt und fest eingelagert. Eine Rückkehr zur Oberfläche wird damit bestmöglich verhindert.



Diese Gesteinsprobe enthält weißes Karbonatgestein, welches sich am Carbfix-Standort auf Island durch die Wechselwirkung zwischen CO₂-haltigem Wasser und mineralischen Bestandteilen im Basalt gebildet hat.

Foto: Sandra Ósk Snæbjörnsdóttir, Wiki Commons

Weniger Konflikte mit Fischerei, Schiffahrt und dem Betrieb von Windkraftanlagen

Hinzu kommt, dass Meeresregionen, in denen Flutbasalte vorkommen, meist weit vor der Küste liegen und nicht so vielfältig genutzt werden wie die Nordsee oder andere flache Randmeere. Konflikte mit anderen Nutzungsformen dürften demzufolge seltener auftreten. Und sollten doch im Zuge der CO₂-Injektion Mikroerdbeben im Untergrund auftreten, wäre das Risiko für Bauten und Menschen gering. Der große Abstand zur Küste wäre im Umsetzungsfall allerdings ein großer Kostentreiber. Tankschiffe müssten das CO₂ weit auf das Meer hinaus transportieren.

Flutbasalte im Fokus: Mit neuen Methoden das Speicherpotential erkunden

Wie viel CO₂ aber ließe sich tatsächlich in Flutbasalten speichern? Und besitzt wirklich jede der Basaltschichten jene chemischen Eigenschaften, die es braucht, um CO₂ innerhalb kurzer Zeit in Gestein zu verwandeln?

Um diese Fragen zu beantworten, haben Forschende des GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel und ihre Partner ein neues Verfahren entwickelt. In diesem kombinieren sie drei moderne geowissenschaftliche Untersuchungsmethoden miteinander, um hochaufgelöste Informationen über die Schichtung und Beschaffenheit der Flutbasalte zu sammeln. Auf Basis dieser Datensätze können sie dann Schlussfolgerungen über die Eignung der einzelnen Basaltschichten als CO₂-Speicher treffen und berechnen, wie viel CO₂ sich in den mehrere hundert Quadratkilometer großen Lavaströmen speichern ließe.

Zu den eingesetzten Methoden gehören:

Aktive und passive seismische Vermessungen des Meeresuntergrundes

Dabei werden die Schallgeschwindigkeit des Messsignals und die Dichte des Untergrundes erfasst. Beide Parameter erlauben den Forschenden detaillierte Einblicke in die Schichtung der Lavaströme. Mithilfe dieses Wissens kann bestimmt werden, bis in welche Tiefe eine Bohrung zur Speicherung von CO₂ reichen müsste. Außerdem können die Wissenschaftler*innen beurteilen, wie viel CO₂ im Basaltgestein verpresst werden müsste, um es von der Meeresoberfläche aus mit seismischen Messungen verfolgen zu können – ein wichtiger Aspekt für die Überwachung möglicher CO₂-Speicherprojekte in Flutbasalten. Erste Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass eine Verfolgung des Gases im Basaltgestein mit viel geringeren Mengen CO₂ möglich sein könnte, als die Forschenden erwartet hätten.

Messungen des elektrischen Widerstandes der Flutbasalte

Der elektrische Widerstand der Flutbasalte hängt sowohl von der Porosität des Gesteins ab als auch von der Frage, ob Wasser oder Gas durch die Hohlräume zirkulieren. Meerwasser leitet elektromagnetische Wellen sehr gut, CO₂ hingegen würde sie ausbremsen. Die Messergebnisse lassen somit Rückschlüsse auf die Porosität und damit das potentielle Speichervolumen des Gesteins zu.

Bohrungen für Gesteinsproben und Vor-Ort-Messungen

Im Forschungsgebiet rund 370 Kilometer vor der Westküste Norwegens haben Partner der GEOMAR-Expert*innen bereits eine Reihe von Tiefenbohrungen durchgeführt. Dabei konnten sie Gesteinsproben aus den verschiedenen Basaltschichten entnehmen und verschiedene Messgeräte in den Bohrlöchern installieren. Die Bohrlochmessungen komplettieren die schiffsbasierten Untersuchungen. Die Gesteinsproben dienen als Ausgangsmaterial für chemische Analysen. Deren Ergebnisse wiederum fließen in die Computersimulationen zum Speicherpotential der Flutbasalte ein.

Die Grundlagen für ein CO₂-Speicherexperiment schaffen

Die aktuellen Forschungsarbeiten werden im Sommer 2026 abgeschlossen sein. Das Ziel der GEOMAR-Expert*innen lautet, in enger Zusammenarbeit mit ihren internationalen Partnern die wissenschaftlichen Grundlagen für ein CO₂-Speicherexperiment in den Flutbasalten vor der Küste Norwegens zu schaffen. Um ein solches Experiment jedoch auch wirklich durchführen zu können, braucht es die Hilfe und finanzielle Unterstützung der Industrie.

Wissenschaftliche Ansprechpartner*innen am GEOMAR
Jörg Bialas
jbialas@geomar.de

IMPRESSIONUM
Text: Sina Löschke,
schneehohl.net
Redaktion: Jörg Bialas
jbialas@geomar.de
Grafiken & Layout:
Melanie Wolter,
frauwolter.de

Veröffentlichung:
August 2024

GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
Wischohofstr. 1 – 3
24148 Kiel