

Ergebnis-Synthese

## Ein Bewertungsleitfaden für marine Kohlendioxid-Entnahme-Methoden

Zu marinen Kohlendioxid-Entnahme-Methoden wird derzeit mehr geforscht als je zuvor. Das Fachwissen über die einzelnen Ansätze wächst stetig. Gleichzeitig setzt die Politik auf Kohlendioxid-Entnahme-Methoden, um nationale Klimaziele zu erreichen. Was fehlt, ist ein Instrument, mit dem die Forschungsergebnisse zusammengeführt und Methoden bewertet werden können – auf transparente und für jedermann nachvollziehbare Weise. In der Forschungsmission CDRmare entwickelt ein interdisziplinäres Team von Wissenschaftler:innen einen Bewertungsleitfaden, der dies ermöglichen soll. Er fragt nicht nur, ob eine Methode technisch, rechtlich oder politisch umsetzbar ist, sondern auch, ob ihr Einsatz gemessen an ethisch-moralischen Grundsätzen unserer Gesellschaft als »wünschenswert« bezeichnet werden kann – ein elementar wichtiger Beitrag für künftige Debatten.

## Das große Klimaziel: Netto-Null

**In der naturwissenschaftlichen Klimaforschung herrscht Konsens: Die Menschheit wird die Erderwärmung und ihre zunehmend drastischeren Folgen und Risiken nur dann eindämmen, wenn sie die Menge ihrer jährlichen Kohlendioxid-Emissionen in die Atmosphäre auf eine rechnerische Null reduziert (Netto-Null).**

Vom Menschen verursachte Kohlendioxid-Emissionen entstehen durch die Verbrennung fossiler Rohstoffe wie Erdöl, Erdgas und Kohle sowie durch eine veränderte Landnutzung. Unklar ist, wie die Menschheit diese Emissionen künftig zu 100 Prozent auf technische, ökonomische und sozialverträgliche Weise vermeiden kann. Expert:innen gehen davon aus, dass die Menschheit auch zur Mitte des 21. Jahrhunderts noch Kohlendioxid und andere Treibhausgase emittieren wird.



Ist oder wäre ein Einsatz mariner CDR-Methoden langfristig für Mensch und Umwelt erstrebens- und wünschenswert?

Foto: Nattu-Adnan, unsplash.com

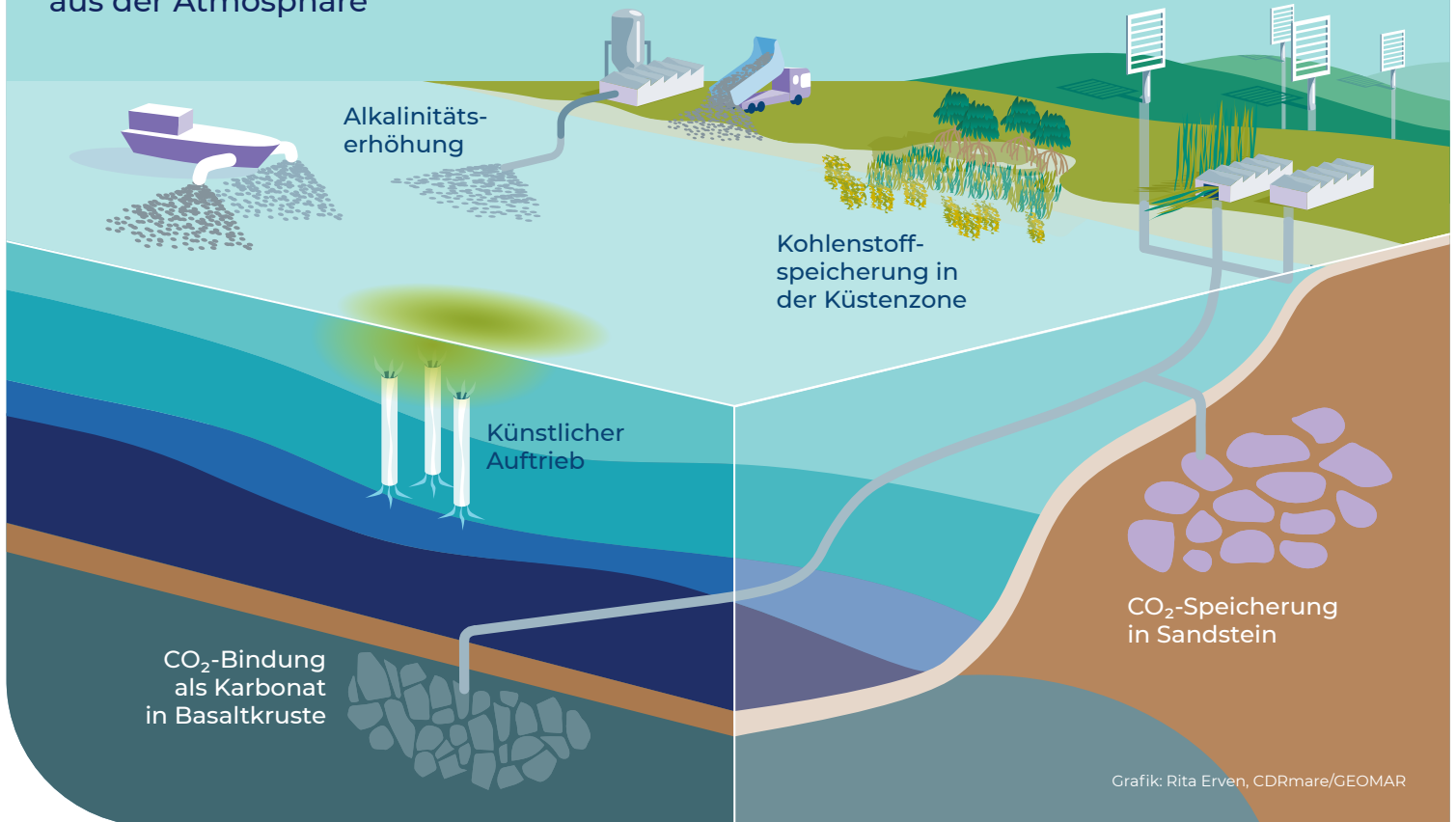
Optimistischen Prognosen zufolge wird die Höhe dieser Rest-Emissionen für Deutschland auf 10 bis 20 Prozent unserer aktuellen Treibhausgasmissionen geschätzt. Dieser Anteil entspricht einem Ausstoß von etwa 60 bis 130 Millionen Tonnen Treibhausgasen pro Jahr, darunter zu einem Großteil Methan und Lachgas. Es gibt allerdings noch keinen gesellschaftlichen Konsens darüber, wie hoch mögliche Rest-Emissionen sein und welche Sektoren diese verursachen dürfen. Zurzeit sind Rest-Emissionen beispielsweise in der Zementherstellung, im Flug- und Schwerlasttransport oder aber in der Landwirtschaft und bei der Müllverbrennung schwer vermeidbar.

Einig sind sich Expert:innen darin, dass Rest-Emissionen ausgeglichen werden müssen, wenn die Erwärmung gestoppt werden soll. Dafür gibt es verschiedene Lösungsansätze. Verfahren, bei denen Kohlendioxid aus der Atmosphäre entnommen wird, wer-

den als Kohlendioxid-Entnahme (Carbon Dioxide Removal, CDR) bezeichnet. Zudem werden Methoden diskutiert, bei denen die Freisetzung von Rest-Emissionen verhindert wird – etwa, indem das Kohlendioxid aus fossilen Quellen an der Emissionsquelle aufgefangen und im Anschluss geologisch, das heißt, im tiefen Untergrund gespeichert wird. Verfahren dieser Art werden als Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (Carbon Capture and Storage, CCS) bezeichnet und nicht zu den Entnahme-Verfahren gezählt.

Viele bekannte Methoden zur Kohlendioxid-Entnahme sind landbasiert. Da Landfläche jedoch eine knappe Ressource ist, rücken nun ozeanbasierte Methoden verstärkt in den Fokus. In der interdisziplinären Forschungsmission CDRmare untersuchen Forschende ein breites Spektrum mariner Ansätze einschließlich vielversprechend erscheinender Methoden und Maßnahmen.

## Ozeanbasierte Methoden der Kohlendioxid-Entnahme aus der Atmosphäre



## Schwierige Entscheidungen für Gesellschaft und Politik

Menschliche Eingriffe in den marinen Raum mit dem Ziel, die Kohlendioxid-Aufnahme des Ozeans zu erhöhen, sind verbunden mit einer Veränderung der Meereschemie oder der Ökosysteme und damit der Lebensbedingungen für viele Meeresorganismen. Der Ozean ist außerdem ein von der Menschheit intensiv und vielfältig genutzter Raum und unsere Ansprüche an die Leistungen der Meere steigen weiter. Ein ganzer Wirtschaftszweig – die Meereswirtschaft oder auch Blue Economy

– setzt darauf, dass der Ozean einer wachsenden Weltbevölkerung langfristig jene Nahrung, Energie und Rohstoffe (auch für die Energiewende) liefert, die an Land nicht mehr in einem ausreichenden Maße produziert werden können. Jede Nutzung und Eingriff in das empfindliche System Ozean müssen deshalb sorgsam überdacht werden, und es muss sichergestellt werden, dass die Lebensgemeinschaften der Meere erhalten bleiben und nachhaltig genutzt werden. Aktuelle Schätzun-

gen zufolge muss die Menschheit der Atmosphäre in den kommenden 80 Jahren 420 bis 1100 Milliarden Tonnen Kohlendioxid entnehmen, wenn sie die globale Erwärmung bis zum Jahr 2100 auf 1,5 Grad Celsius begrenzen will. Sollte diese Entnahme verstärkt durch ozeanbasierte Methoden erfolgen, würde dies – so viel steht heute schon fest – großräumige Eingriffe über lange Zeiträume hinweg erfordern, selbst dann, wenn nur die effizientesten Methoden zum Einsatz kämen. Das heißt, es müssten internationale Industriezweige und die dazugehörigen regulatorischen Rahmenbedingungen entstehen, deren Zweck vorrangig eine verstärkte Kohlendioxid-Aufnahme der Meere wäre.

Diese komplexe Ausgangssituation stellt die Gesellschaft und ihre Entscheidungsträger:innen vor eine enorme Herausforderung. Es gilt, den Klimawandel wirksam zu begrenzen und gleichzeitig eine nachhaltige Entwicklung und damit eine lebenswerte Zukunft für alle Menschen auf der Erde zu sichern. So hat es die Staatengemeinschaft in den 17 Zielen für eine nachhaltige Entwicklung festgeschrieben, die auch bei Überlegungen zu marinen Kohlendioxid-Entnahme-Methoden berücksichtigt werden müssen. In diesen Zielen hat sich die internationale Staatengemeinschaft unter anderem dem Schutz des Lebens unter Wasser, dem Schutz der biologischen Artenvielfalt, dem Klimaschutz und dem Recht des Menschen auf Frieden, Gesundheit, Bildung und gerechte Behandlung verschrieben.

## Wie lassen sich marine Kohlendioxid-Entnahme-Methoden bewerten?

Um diese Herausforderung zu meistern, brauchen politische und gesellschaftliche Entscheidungsträger:innen Antworten auf die Fragen, ob Methoden der marinen Kohlendioxid-Entnahme tatsächlich im erhofften Maße funktionieren, ob sie politisch, rechtlich, sozial und finanziell umsetzbar wären, welche zusätzlichen Vorteile und Risiken sie für Mensch und Umwelt mit sich bringen und ob die mit dem Einsatz verbundenen Auswirkungen langfristig tatsächlich erstrebenswert sind. Auf Grundlage dieses Wissens kann dann faktenbasiert entschieden werden, ob marine CDR-Methoden möglicherweise im großen Maßstab umgesetzt werden oder nicht.

*Einen dringend benötigten Leitfaden zur Bewertung der verschiedenen CDR-Methoden entwickeln Wissenschaftler:innen aus den Natur-, Sozial-, Geistes-, Rechts und Wirtschaftswissenschaften in der Forschungsmission CDRmare. Er soll die vielen Dimensionen des facettenreichen Themas Kohlendioxid-Aufnahme und -Speicherung im Ozean abdecken und es ermöglichen, ein faktenbasiertes und nachvollziehbares Urteil zu einzelnen Methoden oder künftigen Einzelprojekten und Anwendungen zu fällen.*

Bevor die Forschenden jedoch die erste Version eines solchen Bewertungsleitfadens auf dessen Einsatztauglichkeit testen können, müssen die Wissenschaftler:innen grundlegende Fragen beantworten.

## Anhand welcher Kategorien sollte eine Bewertung mariner Kohlendioxid-Entnahme-Methoden vorgenommen werden?

In der Debatte um marine Kohlendioxid-Entnahme-Methoden liegt das Hauptaugenmerk bisher vor allem auf der technologischen, wirtschaftlichen, politischen und rechtlichen Machbarkeit und damit auf der Frage: Welche Methoden funktionieren und lassen sich tatsächlich umsetzen?

Eine zweite Frage spielt jedoch eine ebenso wichtige Rolle, wird allerdings vielfach nicht ausdrücklich gestellt. Sie lautet: Ist oder wäre ein Einsatz mariner CDR-Methoden auch für die Gesellschaft erstrebens- und wünschenswert? Hierbei geht es um ein Abwägen der Vor- und Nachteile und ob diese mit anderen gemeinschaftlichen Zielen vereinbar sind.

Dass diese Frage wichtig ist, zeigt sich unter anderem darin, dass fast alle wissenschaftlichen Studien, die sich mit der Machbarkeit mariner CDR-Methoden befassen, auch mögliche positive und negative Auswirkungen für Mensch und Umwelt in den Blick nehmen. Die Forschenden wollen herausfinden, ob marine Methoden der Kohlendioxid-Entnahme zu unserem Ziel der Treibhausgasneutralität beitragen können, ohne andere international anerkannte Ziele und Normen zu gefährden – so zum Beispiel das Recht auf Nahrung und Gesundheit.

Ein weiterer, immer wichtiger werdender Anspruch ist der nach einer gerechten und fairen Lastenverteilung des Klimawandels. Politisch debattiert wird er unter dem Stichwort »Klimagerechtigkeit« (englisch: Climate Justice). Vor dem Hintergrund der Diskussion um marine Kohlendioxid-Entnahme-Methoden umfasst dieser Aspekt insbesondere Fragen wie: Sollten in erster Linie die großen Treibhausgasemittenten für potenzielle CDR-Maßnahmen aufkommen? Wie werden mögliche Risiken und Vorteile eines CDR-Einsatzes verteilt? Und soll es Staaten erlaubt werden, abgeschiedenes Kohlendioxid zur unterirdischen Speicherung in andere Länder zu exportieren?

*In der Forschungsmission CDRmare verfolgen Forschende daher das Ziel, erstmals einen Bewertungsleitfaden für marine Kohlendioxid-Entnahme-Methoden zu entwickeln, der klar zwischen den Bewertungskategorien des technologisch, wirtschaftlich, rechtlich und politisch Machbaren und des gesellschaftlich Wünschenswerten unterscheidet und der beiden Kategorien dieselbe Priorität zuordnet. Auf diese Weise soll sichergestellt werden, dass im Zuge einer Verfahrens- oder Projektbewertung alle entscheidungsrelevanten Informatio-*

nen transparent zusammengetragen werden und auf dieser Basis ein umfassendes Urteil über die Eignung des Verfahrens oder Projekts gefällt werden kann – sowohl aus technischer, finanzieller, rechtlicher und politischer Perspektive als auch gemessen an anerkannten sozialen und ökologischen Standards. Hierbei fließen die Erkenntnisse aller an den einzelnen Entnahme- und Speichermethoden arbeitenden Konsortien innerhalb der Forschungsmission CDRmare in die Bewertung mit ein – etwa zu Blue Carbon, zur Alkalinitäts-erhöhung des Meerwassers, zu künstlichem Auftrieb sowie zu Kohlendioxid-Einlagerungen in der oberen Ozeanbasaltkruste oder in den Sandsteinformationen unter der deutschen Nordsee.

Die klare systematische Unterscheidung der Bewertung von Machbarkeit und Wünschenswertigkeit ist für eine gesellschaftliche Debatte enorm wichtig. Denn letztendlich brauchen wir nicht nur eine Debatte darüber, welche Formen von CDR wir umsetzen können, sondern auch darüber, welche Formen von CDR wir umsetzen wollen. Insbesondere letztere kann die Wissenschaft nicht für die Gesellschaft entscheiden, aber sie kann wichtige Grundlagen für die Debatte liefern. Der zu entwickelnde Bewertungsleitfaden soll hierzu einen Beitrag leisten.

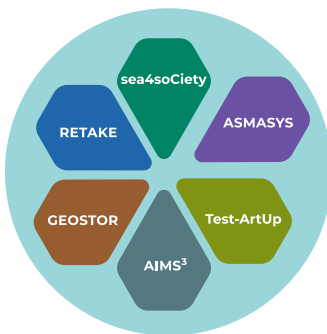
## Welche Herausforderungen ergeben sich aus der Aufgabe, den Bewertungsleitfaden als Werkzeug für die deutsche Klimaschutzpolitik zu entwickeln?

Forscher:innen in CDRmare untersuchen, inwiefern marine Methoden zur Kohlendioxid-Entnahme innerhalb deutscher Hoheitsgewässer oder als Teil einer international ausgerichteten deutschen Klimastrategie machbar und gesellschaftlich wünschenswert sind.

Im Zuge dessen treten die Forschenden unter anderem mit Interessensvertreter:innen aus Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft in den Dialog, um deren Standpunkte zu den ange-dachten Bewertungskategorien und -kriterien einzuholen oder gemeinsam zu erarbeiten. Die Entwicklung plausibler Einsatz-Szenarien mariner Kohlendioxid-Entnahme-Methoden bietet

dabei eine Diskussionsplattform. Geplant ist zudem, den in CDRmare entwickelten Bewertungsleitfaden so zu synchronisieren, dass er den Vergleich mit landbasierten Kohlendioxid-Entnahme-Methoden ermöglicht.

Am Ende, so die Zielstellung des CDRmare-Teams, soll der entwickelte Bewertungsleitfaden für marine Kohlendioxid-Entnahme-Methoden die Bundesregierung und andere Entscheidungsträger:innen in die Lage versetzen, sich ein umfassendes Urteil über die verschiedenen ozeanbasierten Kohlendioxid-Entnahme-Methoden zu bilden und ihre Klimaschutzstrategien und -maßnahmen entsprechend anzupassen.



Die Entwicklung des hier beschriebenen Bewertungsleitfadens erfolgt im CDRmare-Forschungsverbund »ASMASYS – Bewertungsrahmen für marine CO<sub>2</sub>-Entnahme und Synthese des aktuellen Wissenstandes«.

Im Rahmen der Forschungsmission CDRmare der Deutschen Allianz Meeresforschung (DAM), die sich aus rund 200 Forschenden in 6 Verbänden zusammensetzt, werden verschiedene Methoden der marinen CO<sub>2</sub>-Entnahme und Speicherung (Alkalinisierung, Blue Carbon, Künstlicher Auftrieb, CCS) hinsichtlich ihres Potenzials, ihrer Risiken und Trade-Offs untersucht und in einem transdisziplinären Bewertungsrahmen zusammengeführt. Seit August 2021 wird CDRmare in seiner ersten dreijährigen Phase vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mit 26 Mio. Euro gefördert.

### IMPRESSUM

GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel // Wischhofstr. 1–3 // 24148 Kiel  
// **Verantwortlich für den Inhalt:** Andreas Oschlies, Gregor Rehder, Achim Kopf, Ulf Riebesell,  
Klaus Wallmann, Martin Zimmer // **Redaktion:** Ulrike Bernitt (ubernitt@geomar.de) //  
**Texte:** Sina Löschke (schneehohl.net) // **Design und Grafiken:** Rita Erven // June 2023