

Chemische Methoden

## Minerale für eine verstärkte Kohlendioxid-Aufnahme des Ozeans

Wie viel Kohlendioxid der Ozean aufnehmen kann, ohne dabei stark zu versauern, hängt von der Alkalinität seines Oberflächenwassers ab. Hinter diesem Begriff verbirgt sich die Menge säurebindender Bestandteile mineralischer Herkunft, die zuvor aus verwittertem Gestein gelöst und in das Meer eingetragen wurden. Die Frage lautet nun: Könnte ein gezielter Eintrag solcher Minerale helfen, die Kohlendioxid-Aufnahme des Ozeans zu steigern, ohne die Chemie und das Leben im Meer aus dem Gleichgewicht zu bringen? In einfachen Modellrechnungen funktioniert dieser Ansatz. Feldversuche aber fehlen bislang ebenso wie realitätsnahe Simulationen und detailliertes Wissen über Folgen und Risiken einer Alkalinitätssteigerung. Die Forschungsmission CDRmare untersucht die Potenziale, Machbarkeit und Nebenwirkungen der verschiedenen Verfahren.

### Das große Klimaziel: Eine Netto-Null der Kohlendioxid-Emissionen

- > Selbst bei ambitionierter Klimapolitik wird Deutschland in drei Jahrzehnten voraussichtlich noch immer **10 bis 20 Prozent** seiner aktuellen Treibhausgas-Emissionen freisetzen und den Klimawandel weiter vorantreiben. Ein möglicher Ausweg: **Die Rest-Emissionen ausgleichen** – etwa durch eine verstärkte Kohlendioxid-Aufnahme und -Speicherung des Ozeans.
- > Zwischen der Meeresoberfläche und der Atmosphäre findet ein ständiger Kohlendioxid-Austausch statt, wodurch etwaige Druckunterschiede zwischen dem im Meerwasser gelösten Kohlendioxid und dem Kohlendioxid der Atmosphäre ausgeglichen werden. Steigt die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre, nimmt auch der Ozean mehr Kohlendioxid auf.
- > In den zurückliegenden Jahrzehnten hat der **Wellozean** etwa 25 Prozent der vom Menschen verursachten Kohlendioxid-Emissionen aus der Atmosphäre aufgenommen und so die **Erderwärmung maßgeblich gebremst**.

### Die Gesetze der Meereschemie

- > Löst sich Kohlendioxid im Meerwasser, durchläuft ein Teil des Gases eine **Abfolge chemischer Reaktionen**. Dabei wird es chemisch als Hydrogenkarbonat gebunden, sodass der Ozean neues Kohlendioxid aufnehmen kann. Bei dieser Reaktionskette werden aber auch Protonen freigesetzt, **die den Ozean versauern lassen**. In welchem Umfang dies geschieht, entscheidet die Menge

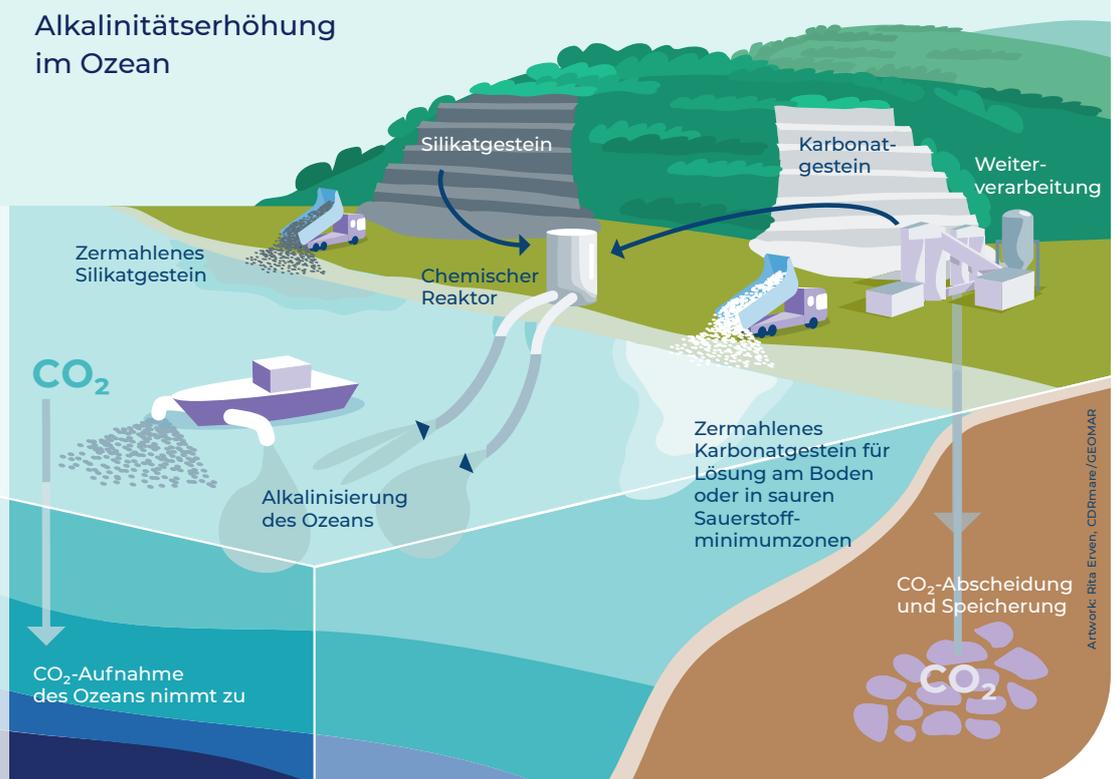
Kosten: Schätzungen reichen von **40 – 260 US-Dollar pro Tonne Kohlendioxid**

Skalierbarkeit: Eine **CO<sub>2</sub>-Entnahme im industriellen Maßstab ist theoretisch möglich**.

Dauer der Speicherung: **viele hundert bis hunderttausend Jahre**

Technischer Entwicklungsstand: Für den Ozean wurde die Methode bisher **nur in Computermodellen simuliert und in einzelnen Laborexperimenten getestet**. Umfangreiche **Labor- und Feldtests** sowie **Wissen zu Risiken und Nebenwirkungen für Mensch und Umwelt** fehlen.

### Alkalinitätssteigerung im Ozean



der im Wasser gelösten säurebindenden Mineralstoffe, die zuvor aus verwittertem Gestein gelöst und ins Meer geschwemmt wurden. Expert:innen sprechen vom Alkalinitätsgrad als Maß für das **Säurebindungsvermögen** des Meerwassers.

- > Die Gesteinsverwitterung an Land und die anschließende Speicherung der säurebindenden Lösungsprodukte im Meer sind vergleichsweise langsam ablaufende natürliche Prozesse. Dennoch entfernen sie jährlich etwa **1 Milliarde Tonnen Kohlendioxid** aus der Atmosphäre. Diese Menge entspricht im langzeitlichen Mittel etwa jener Menge Kohlendioxid, die durch vulkanische Aktivität sowie durch Mineralisierungsprozesse im Erdmantel und im Ozean in die Atmosphäre gelangt.
- > Um die menschengemachten Rest-Emissionen ab dem Jahr 2050 vollständig zu kompensieren, müsste **die natürliche Kohlenstoffaufnahme des Ozeans verfünffacht werden**.

### Die Idee: Eine Beschleunigung der natürlichen Verwitterung

- > Modellstudien zufolge wäre eine Steigerung der ozeanischen Kohlenstoffaufnahme durchaus möglich, wenn die Menschheit die natürliche Verwitterung mineralhaltiger Gesteine beschleunigen und den Alkalinitätsgrad des Meerwassers gezielt erhöhen würde.
- > Ein solcher Eingriff in die Meereschemie hätte den Vorteil, dass **der Ozean mehr Kohlendioxid aufnehmen könnte, ohne dabei zu versauern**. Zugleich würde eine Alkalinitätserhöhung in stark versauerten Meeresregionen dazu führen, dass freie Protonen gebunden werden und ihre versauernde Wirkung abnimmt. Dies wiederum würde den **Schutz und die Wiederherstellung** von Korallenriffen, Muschelbänken und anderen wichtigen marinen Lebensräumen erleichtern.

### Alkalinitätserhöhung: Ein Verfahren in den Kinderschuhen

- > Derzeit werden **verschiedene Verfahren** entwickelt, mit denen die natürliche Verwitterung mineralhaltigen Gesteins beschleunigt und die Alkalinität des Meerwassers erhöht werden könnte.
- > Das meiste Wissen über die chemischen und biologischen Folgen einer Alkalinitätserhöhung stammt bisher jedoch aus Modellstudien (Computersimulationen). **Aussagekräftige Labor- oder Feldstudien** zu lokalen, regionalen und globalen Auswirkungen eines Mineraleintrages im industriellen Maßstab auf die Umwelt und den Menschen **fehlen bislang weitestgehend**.
- > Es ist auch nicht geklärt, in welchen Meeresregionen entsprechende Verfahren eingesetzt werden müssten, um einen größtmöglichen Nutzen zu erzielen und ob Methoden zur Alkalinitätserhöhung am Ende effektiver und zielführender sind als andere meeres- oder landgestützte Verfahren zur verstärkten Kohlendioxid-Entnahme aus der Atmosphäre.

### CDRmare liefert Antworten

- > In der interdisziplinären Forschungsmission CDRmare untersuchen Wissenschaftler:innen erstmals umfassend das **Kohlendioxid-Entnahmepotenzial, die Machbarkeit und mögliche ökologische und soziale Nebenwirkungen** der verschiedenen Verfahren zur Alkalinitätserhöhung des Ozeans.
- > Sie kombinieren dabei lokale Labor- und Mesokosmen-Experimente mit Modellstudien für ausgewählte Regionen sowie für den Weltozean. Sie überprüfen die rechtlichen Rahmenbedingungen, berücksichtigen soziale Aspekte und die Vereinbarkeit eines Einsatzes mit den UN-Nachhaltigkeitszielen und analysieren, ob der möglicherweise erzielte Nutzen, den Aufwand, die Kosten und eventuell entstehende Umweltbelastungen rechtfertigen könnte.
- > Außerdem gehen sie der Frage nach, wie dauerhaft eine durch Alkalinitätserhöhung erzielte Kohlendioxid-Entnahme des Ozeans wäre und wie sich diese messen, überwachen und bestimmten Maßnahmen zuschreiben ließe.
- > Ihr Ziel lautet, Politik und Gesellschaft **wissenschaftlich fundierte Information** darüber bereitzustellen, ob und in welcher Form marine Alkalinitätserhöhung ein praktikables Verfahren sein kann, um signifikante Mengen Kohlendioxid auf umweltverträgliche und gesellschaftlich verantwortbare Weise dauerhaft aus der Atmosphäre zu entnehmen.

Alle hier beschriebenen Forschungsarbeiten werden im CDRmare-Forschungsverbund »RETAKE – CO<sub>2</sub>-Entnahme durch Alkalinitätserhöhung: Potenzial, Nutzen und Risiken« durchgeführt.



retake.cdrmare.de



twitter.com/cdrmare



linkedin.com/  
company/cdrmare/



CDRmare Wissenstransfer  
transfer@cdrmare.de



GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

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