

Deutsche Allianz Meeresforschung (DAM)

## »Marine Kohlenstoffspeicher als Weg zur Dekarbonisierung«

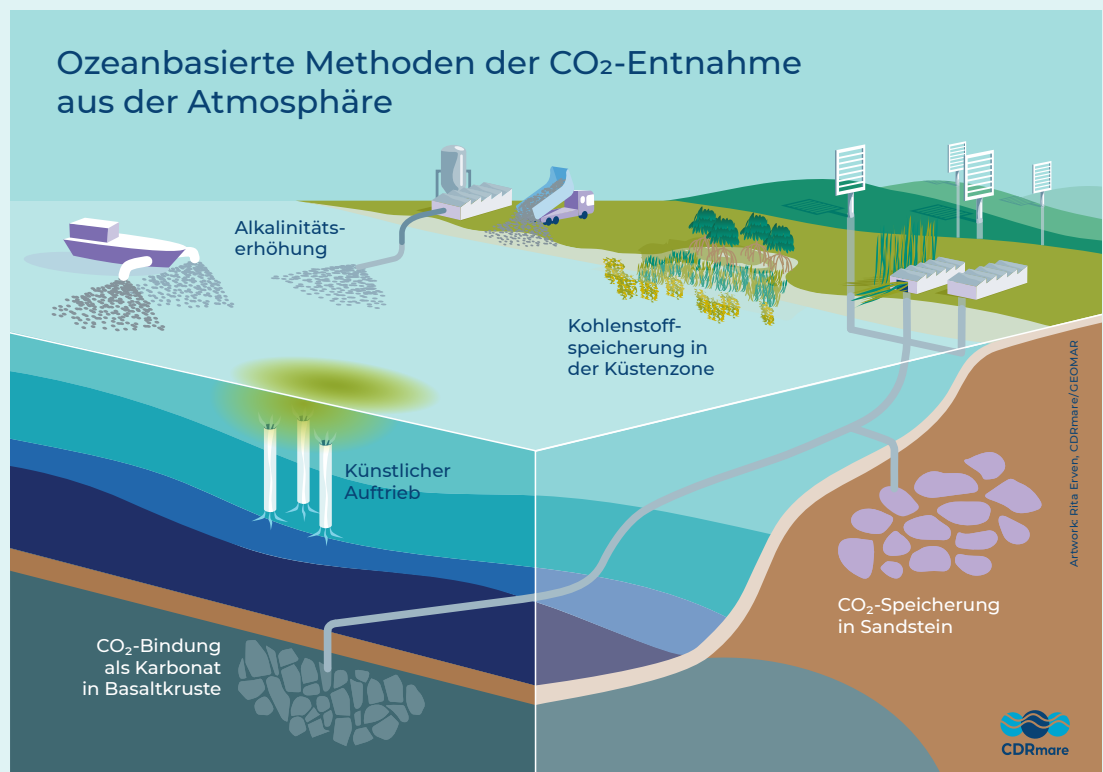
 Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung
   
 und Forschung (BMBF)

Finanzvolumen: 26 Mio. Euro

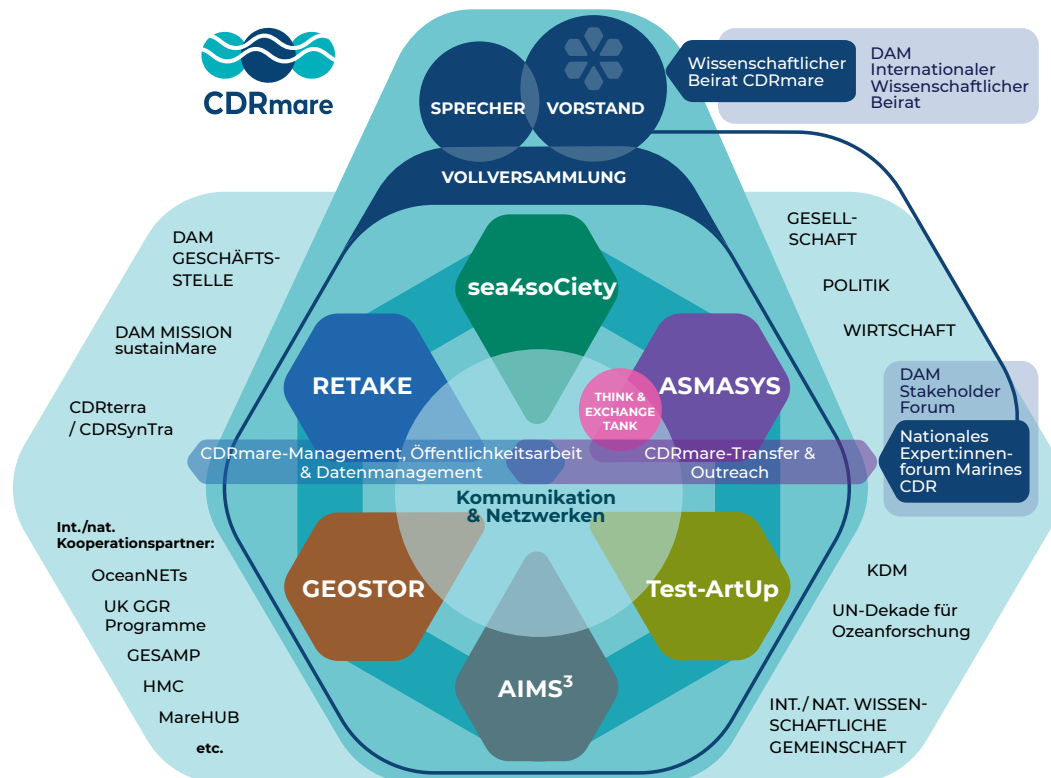
Laufzeit: Aug 2021 – Juli 2024

### ZIELE

Bei der Suche nach Möglichkeiten, die zunehmend drastischen Folgen des menschengemachten Klimawandels abzumildern und die versprochenen Klimaziele zu erreichen, wird neben einer massiven CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion auch die Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre eine wichtige Rolle spielen. Die Forschungsmission CDRmare (CDR: Carbondioxide Removal – CO<sub>2</sub>-Entnahme) wird untersuchen, ob und in welchem Umfang der Ozean eine wesentliche Rolle bei der Entnahme und Speicherung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre spielen kann. Es werden dabei auch die Wechselbeziehungen mit und die Auswirkungen auf die Meeresumwelt, das Erdsystem und die Gesellschaft sowie geeignete Ansätze für die Überwachung, Attribution und Bilanzierung der marinen Kohlenstoffspeicherung in einer sich verändernden Umwelt betrachtet. Die Forschungsmission wird im engen Dialog mit Stakeholdern relevante Bewertungskriterien und langfristig eine Marine Carbon Roadmap für die nachhaltige Nutzung der marinen Kohlenstoffspeicher auf regionaler, überregionaler und globaler Ebene erstellen.



## STRUKTUR



Die DAM-Forschungsmision »Marine Kohlenstoffspeicher als Weg zur Dekarbonisierung« (CDRmare) setzt sich aus 6 Verbänden zusammen, in denen 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 werden.

## ASMASYS



## Koordinator: Prof. Gregor Rehder

Innerhalb von ASMASYS wird ein transdisziplinärer Bewertungsrahmen für marine CDR-Optionen als Basis für eine einheitliche Bewertung der verschiedenen marinen CDR-Optionen und als Nukleus für eine weitere Homogenisierung mit der Bewertung von CDR-Optionen an Land entwickelt werden. Besonderes Augenmerk wird auf nicht-naturwissenschaftliche Aspekte gelegt, einschließlich Kriterien, die rechtliche, soziale und ethische Aspekte sowie politische Rahmenbedingungen und politikimmanente Mechanismen berücksichtigen. Aktuelle Lücken in der Bewertungskette werden analysiert werden. ASMASYS wird sich auch mit den aktuellen Hürden bei der Genehmigung von Demonstrationsprojekten mit Feldstudien befassen, die eine unabdingbare Voraussetzung für eine technische Anwendung im großen Maßstab sind. Insbesondere die Nachhaltigkeit wird eine starke Komponente des Bewertungsrahmens sein, wobei die UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs (United Nations, 2015)) als Kriterien verwendet werden. Der aktuelle Wissensstand zu einigen marinen CDR-Optionen, die nicht von den Verbundprojekten der DAM-Mission abgedeckt werden, wird zusammengestellt, einschließlich der jüngsten Fortschritte und Entwicklungen in anderen internationalen Initiativen. Das Wissen über Methoden, die im Rahmen der Forschungsmission (FM) behandelt werden, wird von den geförderten Verbundprojekten der Mission abgefragt und im Hinblick auf den Bewertungsrahmen zusammengestellt. Die in der Mission betrachteten marinen CDR-Optionen werden anhand des entwickelten Bewertungsrahmens detailliert bewertet. Hierauf aufbauend wird eine Zwischensynthese erstellt und mögliche neue Richtungen für die zweite Förderphase der FM identifiziert. Während des gesamten Verlaufs von ASMASYS ist eine starke Interaktion und Austausch mit allen Projekten der Mission, derzeit aktiven internationalen Forschungsaktivitäten, Stakeholdern und dem Syntheseprojekt von CDRterra vorgesehen. Die Transferkomponente innerhalb von ASMASYS wird die Einbindung von Experten und Stakeholdern während der Entwicklung des Bewertungsrahmens sicherstellen, Interaktionsformate einbinden und maßgeschneiderte Informationsmaterialien für die wissenschaftliche Gemeinschaft, Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit erstellen. Besonderes Augenmerk wird darauf gelegt, dass die Arbeitsergebnisse und Produkte von ASMASYS von Relevanz für die nationale Klimastrategie Deutschlands sind.

**RETAKE****Koordinator: Prof. Andreas Oschlies**

Der Verbund RETAKE untersucht die Potenziale, Machbarkeit und Nebenwirkungen verschiedener Möglichkeiten der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Entnahme durch marine Alkalinitätssteigerung (AE). Durch AE wird die Aktivität von CO<sub>2</sub> im Meerwasser reduziert, wodurch der Gasaustausch von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre in den Ozean verstärkt und die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration verringert werden kann. In RETAKE werden eine Reihe mineralischer Alkalinitätsquellen hinsichtlich Lösungskinetik, CO<sub>2</sub>-Entnahmepotenzial sowie chemischer und biologischer Nebenwirkungen untersucht.

In Labor- und Mesokosmenexperimenten wird die AE unter realistischen Bedingungen für benthische und pelagische Systeme mit Fokus auf Nord- und Ostsee untersucht. Mit numerischen Modellen werden der Einsatz der AE in deutschen Hoheitsgewässern und anderen Meeresgebieten simuliert und lokale experimentelle Ergebnisse auf regionale bis globale Skalen extrapoliert. Aspekte der Permanenz, der Bilanzierung sowie der Überwachung, des Nachweises und der Attribution der CO<sub>2</sub>-Entnahme werden vor dem Hintergrund natürlicher Variabilität untersucht. Eine Analyse ökonomischer Aspekte sowie der Relation zu den UN-Zielen für nachhaltige Entwicklung (SDGs) komplettiert die umfassende Bewertung von der AE. Mit dem so generierten Handlungswissen sollen Entscheidungsträger über Machbarkeit, Potenzial und Umweltrisiken mariner Alkalinitätssteigerung informiert werden.

**sea4soCiety****Koordinator: Prof. Martin Zimmer**

Das Konsortium sea4soCiety hat sich zum Ziel gesetzt, innovative Ansätze zur Verbesserung des Potenzials für Kohlenstoffspeicherung in Küstenökosystemen in Deutschland und weltweit zu entwickeln, die ökologisch umsetzbar, umweltverträglich, sowie rechtlich und ethisch unbedenklich sind und auf gesellschaftlichen Anforderungen an zusätzliche Nutzen, einschließlich der Wirtschaftlichkeit, sowie auf breiter Akzeptanz beruhen. Das Konsortium sea4soCiety wird die Speicherkapazität des »blauen Kohlenstoffs« in vier Küstenökosystem-Typen quantifizieren und mit den Depots organischen Materials in unbewachsenen marinen Sedimenten vergleichen. Die Herkunft und Stabilität der Speicher organischen Materials, sowie ihre Dynamik, werden vergleichend an der deutschen Nordseeküste, der deutschen Ostseeküste, der Karibik und der Indonesischen See analysiert. Fernerkundung wird zur Quantifizierung der oberirdischen Biomasse der Vegetation in den Untersuchungsgebieten genutzt. Anhand der Charakterisierung des jeweiligen Lebensraums werden solche derzeit unbewachsenen Küstenregionen, die sich für die unterstützte Ausdehnung von Küstenökosystemen (Ökosystem-Design) eignen würden, identifiziert. Auf diese Weise werden evidenz- und szenariobasierte Empfehlungen für Politiker:Innen und Entscheidungsträger:Innen entwickelt und anschließend, ausgehend von der lokalen Feldforschung, auf Ebenen von nationaler, internationaler und globaler Relevanz hochskaliert. In einem innovativen und partizipativen Ansatz werden neue Governance-Systeme gestaltet, die die lokalen Bedürfnisse nach Ökosystemleistungen zusätzlich zur Eindämmung des Klimawandels durch die Bindung von »blauem Kohlenstoff« berücksichtigen. Die Identifizierung potenzieller Synergien und Kompromisse bei Initiativen zur Speicherung und Festlegung von Treibhausgasen aus der Perspektive der regionalen Entwicklung (in Übereinstimmung mit den SDGs der Vereinten Nationen, der deutschen Strategie für nachhaltige Entwicklung und dem Deutschen Klimaschutzprogramms) trägt zum Ziel, eine Roadmap für die nachhaltige Nutzung mariner Kohlenstoffspeicher zu erstellen, bei und wird nationale Kompetenzen im Bereich der Extraktion des CO<sub>2</sub> (carbon dioxide removal, CDR) ausbauen. Explizit wird sea4soCiety die Bewertungskompetenz in Bezug auf Potenzial und Umsetzbarkeit, Risiken und gesellschaftliche Akzeptanz – sowie Wechselwirkungen mit anderen Ökosystemleistungen und Nachhaltigkeitszielen – für Küstenökosysteme in Deutschland und weltweit erhöhen. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in lösungsorientiertes Handlungswissen für Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft umgesetzt, um politische und gesellschaftliche Entscheidungsprozesse im regionalen, nationalen und internationalen Kontext wissenschaftlich fundiert zu unterstützen und somit auch die internationale Wirksamkeit und Sichtbarkeit der deutschen Meeresforschung zu stärken.

**GEOSTOR****Koordinator: Prof. Klaus Wallmann**

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) Emissionen von Industrieanlagen können drastisch reduziert werden, indem das CO<sub>2</sub> an der Quelle aufgefangen und im geologischen Untergrund gespeichert wird. Der überwiegende Teil der europäischen Speicherkapazität befindet sich in Sandsteinformationen im tieferen Untergrund der Nordsee. Obwohl die potentiellen Speicherformationen in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) bisher nur zum Teil exploriert wurden, zeigen die verfügbaren Daten, dass im tiefen Untergrund der deutschen Nordsee genügend Kapazität vorhanden ist, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen der deutschen Industrie durch die Speicherung in Sandsteinformationen signifikant zu reduzieren. Vor diesem Hintergrund zielt das hier vorgeschlagene Projekt darauf ab, untersuchungswürdige Speicherformationen zu identifizieren und eine »Roadmap« für die Umsetzung der CO<sub>2</sub>-Speicherung im Bereich der deutschen Nordsee zu entwickeln. Um diese Ziele zu erreichen, wird GEOSTOR die statische Speicherkapazität in der gesamten deutschen Nordsee auf Basis der aktuell erweiterten Datengrundlage neu erfassen, dynamische Speicherkapazitäten an zwei ausgewählten Lokationen quantifizieren, potentielle Leckage-Pfade und Mechanismen evaluieren, mögliche Umweltauswirkungen bei Standorterkundung oder Speicherbetrieb, wie die Beeinträchtigung von Schweinswalen durch seismischen Lärm, untersuchen, sowie ein neues umweltverträgliches Verfahren zur Überwachung von Speicherstätten mittels passiv seismischer Methoden entwickeln. Zudem wird GEOSTOR mögliche

Interaktionen zwischen einer CO<sub>2</sub>-Speicherung und anderen Nordsee-Nutzungen und Funktionen aus ökologischer, technischer, rechtlicher und ökonomischer Perspektive aufzeigen und bewerten, sowie Lösungsstrategien für potentielle Konflikte entwickeln.

## Test-ArtUp



### Koordinator: Prof. Ulf Riebesell

Durch den Klimawandel und die damit einhergehende Ozeanerwärmung kommt es zu einer verstärkten Schichtung nahe der Oberfläche, wodurch die Zufuhr von nährstoffreichem Tiefenwasser zur sonnendurchfluteten Oberflächenschicht verringert und dadurch ein Rückgang der Produktivität des Ozeans verursacht wird, insbesondere in den niederen und mittleren Breiten (IPCC 2019). Forcierter Transport von nährstoffreichem Tiefenwasser in die Oberflächenschicht, sogenannter künstlicher Auftrieb, kann diesen Trend teilweise kompensieren. Während der Nutzen dieses Ansatzes für das marine Nahrungsnetz unbestritten ist, wird sein Potenzial zur Bindung von CO<sub>2</sub> als vernachlässigbar angesehen. Jüngste Studien zum künstlichen Auftrieb zeigen jedoch ein weit höheres Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Bindung als bisher angenommen. Test-ArtUp zielt darauf ab, in einem einzigartigen transdisziplinären Ansatz den Einsatz von künstlichem Auftrieb zum Zweck der CO<sub>2</sub>-Entfernung im Hinblick auf seine technische Anwendung und Optimierung, seine Kapazität zur zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Aufnahme und Langzeitspeicherung, die damit verbundenen Umweltrisiken und ökologischen Nebeneffekte, seine Wirtschaftlichkeit im Sinne einer Kosten-Nutzen-Abwägung sowie die rechtlichen Beschränkungen und Governance-Anforderungen zu untersuchen. Der Erkenntnistransfer erfolgt in einem bilateralen Stakeholder-Dialog, der durch eine Stakeholder-Referenzgruppe moderiert wird, sowie durch gezielte Kommunikations- und Verbreitungschanäle mit ausgewählten Zielgruppen, denen gruppenspezifische Materialien und Informationen angeboten werden. Die Ergebnisse von Test-ArtUp werden zusammengefasst, um wissenschaftliche Empfehlungen für die mögliche Implementierung von künstlichem Auftrieb zur CO<sub>2</sub>-Entfernung zu geben und zur Entwicklung einer Marine Carbon Roadmap in Übereinstimmung mit den UN-Zielen für nachhaltige Entwicklung beizutragen, insbesondere SDG 2 (Zero Hunger), SDG 13 (Climate Action) und SDG 14 (Life below Water).

## AIMS<sup>3</sup>



### Koordinator: Prof. Achim Kopf

Das AIMS<sup>3</sup>-Projekt wird neue Erkenntnisse, Überwachungsinstrumente und Best-Practice-Leitlinien für die ozeanische CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung (Carbon Capture and Storage, CCS) liefern, und zwar speziell in Krustengestein (basaltische Ozeankruste) an den sich langsam ausbreitenden Flanken mittelozeanischer Rücken (MORF) mit Sedimentbedeckung, wo CO<sub>2</sub> ohne das Risiko eines späteren Entweichens wirksam gebunden werden kann. Die Studie steht in einer Linie mit CO<sub>2</sub>-Einleitungsexperimenten wie GRE Slepner [2012] oder STEMM-CCS [2017-19], wobei der Fokus auf ozeanischen MORF-Umgebungen liegt. Anders als bei der klassischen CO<sub>2</sub>-Einleitung in ehemaligen küstennahen Unterwasserreservoirs oder Aquiferen, nutzt AIMS<sup>3</sup> reaktive Gesteinsformationen, nämlich die alterierte, permeable obere Ozeankruste, deren Porenwasser mit flüssigem CO<sub>2</sub> bzw. Bikarbonat als Minerale ausfallen. Diese Karbonatfällung bzw. -mineralisierung der oberen Basalte offeriert ein Speicherpotential, das die anthropogenen Emissionen übersteigt. AIMS<sup>3</sup> wird (unter Verwendung bestehender kommerzieller Sensoren und neu entwickelter Sensoren wie ISFET-pH, DIC und optischem CO<sub>2</sub>) potenzielle CO<sub>2</sub>-Leckagen an CCS-Standorten identifizieren und überwachen (Arrays aus stationären und autonomen Plattformen). Gemeinsam mit Partnern aus der Industrie werden wir eine Reihe kosteneffizienter Instrumente zur Identifizierung, Erkennung und Quantifizierung von CO<sub>2</sub>-Leckagen mit hoher Präzision und Genauigkeit entwickeln, die die Grundlage für ein größeres Vertrauen der Öffentlichkeit in CCS und ein nachhaltiges Management von CCS-Verfahren unter verschiedenen geologischen Szenarien bilden werden, die weit über die in AIMS<sup>3</sup> untersuchten Beispiele hinausgehen. Auf der Grundlage einer Fülle von Daten und eines direkten Vergleichs zwischen den beiden immanentesten geologischen Szenarien (in AIMS<sup>3</sup> und dem GEOSTOR-Projekt) werden wir auch bewährte Verfahren für die Auswahl und den Betrieb von Offshore-CCS-Lagerstätten liefern, einschließlich einer Bewertung des Nutzens chemischer Tracer in der Meeresumwelt (hauptsächlich im Karbonatsystem).

## CDRmare

Forschungsmission  
der Deutschen Allianz  
Meeresforschung (DAM)  
»Marine Kohlenstoff-  
speicher als Weg zur  
Dekarbonisierung«

### Sprecher

**Prof. Andreas Oeschlies** // GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel  
aoschlies@geomar.de

**Prof. Gregor Rehder** // Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)  
gregor.rehder@io-warnemuende.de

### Management und Transfer CDRmare

**Dr. Chris Schelten** // GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel  
cschelten@geomar.de

**Ulrike Bernitt** // GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel  
ubernitt@geomar.de

[www.cdrmare.de](http://www.cdrmare.de)