

Biologische Methoden

## Verstärkte Kohlenstoff-Speicherung durch die Ausweitung der Wiesen und Wälder des Meeres

Vegetationsreiche Küstenökosysteme wie Salzmarschen, Seegraswiesen, Mangroven- und Tangwälder wachsen auf gerade einmal 0,2 Prozent der Ozean- und Küstenfläche, sind aber für einen signifikanten Teil der natürlichen Kohlenstoffeinlagerung im Meeresboden und für viele andere Ökosystemleistungen verantwortlich. Pläne, diese wertvollen Küstenlebensräume auszubauen, um ihre natürliche Kohlendioxid-Aufnahme zu verstärken, klingen vielversprechend. Doch wie realistisch sind sie wirklich und auf welche Weise lassen sich Küstenökosysteme zielführend erweitern? Die Forschungsmission CDRmare liefert Antworten und Lösungsideen.

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

**In der naturwissenschaftlichen Klimaforschung herrscht Konsens: Die Menschheit wird die Erderwärmung und ihre immer schwerwiegenderen Folgen und Risiken nur dann eindämmen, wenn sie die Menge ihrer jährlichen Kohlendioxid-Emissionen in die Atmosphäre auf eine rechnerische Null reduziert (netto null). Deutschland beispielsweise strebt eine ausgeglichene Bilanz seiner Treibhausgasemissionen (einschließlich Methan und Lachgas) bis zum Jahr 2045 an.**

Vom Menschen verursachte Kohlendioxid-Emissionen entstehen durch die Verbrennung fossiler Rohstoffe wie Erdöl, Erdgas und Kohle sowie durch Veränderungen der Landnutzung. Bislang

weiß niemand, wie die Menschheit diese Emissionen künftig vollständig auf ökologische und sozialverträgliche Weise vermeiden oder kompensieren kann. Vielmehr gehen Expert:innen davon aus, dass die Menschheit auch zur Mitte des 21. Jahrhunderts noch Restmengen an Kohlendioxid emittieren wird. Deren Höhe liegt voraussichtlich bei 5 bis 15 Prozent der aktuellen Emissionen.

Kohlendioxid-Rest-Emissionen werden zum Beispiel bei der Zement- und Stahlherstellung, im Luftverkehr und beim Schwerlasttransport, in der Landwirtschaft, aber auch bei der Müllverbrennung erwartet. Um sie auszugleichen, wird der Mensch Kohlendioxid im selben Umfang aus der Atmosphäre entnehmen müssen.



Mangroven-Wald (*Rhizophora*) an der Küste der kolumbianischen Halbinsel Barú. Foto: Carolina Hortúa Romero

## Mit den Werkzeugen der Natur: Vegetationsreiche Küstenökosysteme als Kohlenstoffspeicher

Gelingen könnte eine solche verstärkte Kohlendioxid-Entnahme auch mit Hilfe des Meeres, etwa durch die Wiederherstellung und großräumige Ausweitung vegetationsreicher Küstenökosysteme im Gezeiten- und Flachwasserbereich (bis 40 Meter Wassertiefe). Zu ihnen zählen Salzmarschen, Seegraswiesen, Mangroven- und Tang- oder Kelpwälder. Ihre Verbreitungsgebiete machen zusammen genommen gerade einmal 0,2 Prozent der weltweiten Meeresfläche aus, die Gezeitenzone mit eingeschlossen. Gemeinsam sind die Wiesen und Wälder des Meeres jedoch für einen signifikanten Teil des im Meeresboden eingelagerten Kohlenstoffs verantwortlich und somit Schlüsselakteure im Kohlenstoffkreislauf der Erde.

Salzmarschen, Seegraswiesen, Mangroven- und Tangwälder gelten als hochproduktive Ökosysteme und Kohlenstoffsinken. Im Zuge ihrer Photosynthese nehmen sie Kohlendioxid aus der Atmosphäre und aus dem Meerwasser auf und binden den darin enthaltenen Kohlenstoff.

Da die Pflanzengemeinschaften in Mangrovenwäldern, Seegraswiesen und Salzmarschen allesamt Wurzeln bilden und auf sandigem oder schlammigem Untergrund wachsen, sind sie in der Lage, einen Großteil des gebundenen Kohlenstoffs im Untergrund einzulagern – zum einen als lebende Biomasse im eigenen Wurzelwerk; zum anderen in Form eigener abgestorbener Pflanzenteile, die zu Boden sinken und im Küstensediment eingeschlossen werden. Hinzu kommt, dass die Meereswiesen und -wälder viele Schwebstoffe aus dem Wasser filtern und die Partikel sowie abgestorbenes Tier- und Pflanzenmaterial zwischen ihren Halmen und Wurzeln ablagern. Durch diesen steten Partikelregen wachsen die Pflanzengemeinschaften langsam in die Höhe.

Es wird jedoch nicht nur lokales Pflanzenmaterial eingelagert, sondern auch Pflanzenreste, die von Land eingetragen oder aus anderen Meeresgebieten angeschwemmt wurden. Sobald das organische Material im Untergrund eingeschlossen ist, wird es konserviert, denn das Küstensediment ist sauerstoffarm und salzhaltig. Mikroben fehlt somit der Sauerstoff, um das organische Material zeitnah zu zersetzen.

Sowohl die Kohlenstoffeinlagerung im Wurzelwerk als auch das luftdichte Einschließen von Tier- und Pflanzenresten führen dazu, dass die Salzmarschen, Mangrovenwälder und Seegraswiesen mit der Zeit immer mehr organisches Material unter sich anhäufen. Diese Kohlenstoff-Lagerstätten sind unter Umständen mehr als 10 Meter dick und wachsen, solange die Ökosysteme gedeihen. Im Idealfall bleiben sie über viele Jahrhunderte, mitunter sogar Jahrtausende erhalten. Salzmarschen, Mangrovenwälder und Seegraswiesen sind zudem um ein Vielfaches effizienter in der Kohlenstoffaufnahme und -speicherung als Wälder an Land. Im Vergleich zu tropischen Regenwäldern beispielsweise speichern sie pro Fläche und je nach Standort mitunter die fünf- bis 30-Fache Menge Kohlenstoff.

Tangwälder, also Wälder aus Braunalgen, können hingegen den von ihnen gebundenen Kohlenstoff nicht direkt im Untergrund einlagern, denn Braunalgen besitzen keine Wurzeln und wachsen auf felsigem Untergrund. Stattdessen wird loses oder abgestorbenes Algenmaterial von den Meeresströmungen verfrachtet. Es wird an die Küsten gespült oder aber sinkt in die Tiefe, wo ein Teil dann im Meeresboden-Sediment eingelagert wird.

## Kohlenstoffsенke, Küstenschutz, Kinderstube: Die vielen Leistungen der Küstenökosysteme

Expert:innen bezeichnen den durch Seegraswiesen, Salzmarschen, Mangroven- und Tangwälder gebundenen Kohlenstoff auch als blauen Kohlenstoff (englisch: blue carbon). Von gesunden vegetationsreichen Küstenökosystemen aber profitiert der Mensch nicht nur allein, weil sie der Atmosphäre Kohlendioxid entnehmen. Als sogenannte Ökosystem-Ingenieure bilden sie einen dreidimensional strukturierten Lebensraum, in dem zahlreiche andere Tier- und Pflanzenarten des Meeres und Küstenraumes ausreichend Schutz und Nahrung finden. Berichten zufolge bieten zum Beispiel 4000 Quadratmeter Seegraswiese Rückzugsorte und Nahrung für etwa 40.000 Fische und rund 50 Millionen wirbellose Tiere wie Hummer, Muscheln und Garnelen. In ihrem Halmendickicht wächst zudem der Nachwuchs beliebter Speisefische heran, darunter Arten wie der Pazifische Hering und der Atlantische Kabeljau.

Doch damit nicht genug: Salzmarschen, Seegraswiesen, Mangroven- und Tangwälder produzieren Sauerstoff. Sie filtern Krank-

heitserreger, Schweb-, Schmutz- und Schadstoffe aus dem Wasser, bremsen Meeresströmungen, Wellen und Sturmfluten aus und schützen die Küsten so vor Erosion und durch die Anhäufung von Sediment vor steigenden Meeresspiegeln. Gleichzeitig liefern sie verlässliche Nahrung (Fisch, Muscheln, Krebse), tragen zur Erholung und Gesundheit der Menschen bei und ziehen vielerorts Touristen an, wodurch zusätzliche Arbeitsplätze und Einnahmequellen für die Küstenbevölkerung entstehen. Gesunde vegetationsreiche Küstenökosysteme helfen den Küstenbewohnern somit, sich bestmöglich an den Klimawandel anzupassen.

Investitionen in die Wiederherstellung und die Erweiterung bestehender Salzmarschen, Seegraswiesen, Mangroven- und Tangwälder haben demzufolge einen Mehrfachnutzen. Sie tragen dazu bei, die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre zu reduzieren (Minderung des Klimawandels), stärken bei richtiger Herangehensweise die Biodiversität und helfen, die Klimarisiken zu minimieren (Klimaanpassung).



# Das Sterben der Küstenökosysteme

Trotz und auch wegen ihrer wichtigen Ökosystemleistungen schrumpft die Fläche vegetationsreicher Küstenökosysteme weltweit. Verantwortlich ist abermals der Mensch. Infolge von Klimawandel, Küstenentwicklung und -verbau, Land- und Aquakulturwirtschaft, Meeresverschmutzung, Überfischung und

anderweitiger intensiver Nutzung sind in den zurückliegenden 100 Jahren bis zu 50 Prozent aller Salzmarschen, etwa ein Drittel aller Seegraswiesen sowie etwa 35 bis 50 Prozent der Mangrovenwälder verloren gegangen. Von den weltweiten Tangwäldern verzeichnen 40 bis 60 Prozent klare Flächenverluste.

### MANGROVENWÄLDER

Fläche weltweit **170 000 km<sup>2</sup>**  
Das entspricht etwa 47,5 Prozent der Fläche Deutschlands.

Lebensraum **Gezeitenbereich**

Jährlich eingelagerte Kohlenstoffmenge pro Hektar **560 kg – 11 t**

Restaurationspotenzial **Groß**

Hauptgefahren und Stressfaktoren **Abholzung, Meeresverschmutzung, Küstenverbauung, Extremwetter, Meeresspiegelanstieg**

CDRmare-Feldforschung in Kolumbien & Malaysia

**Verlustrate**  
35 bis 50 % der Ursprungsfläche

### SALZMARSCHEN

Fläche weltweit **60 000 km<sup>2</sup>**  
Das entspricht etwa 16,8 Prozent der Fläche Deutschlands.

Lebensraum **Gezeitenbereich**

Jährlich eingelagerte Kohlenstoffmenge pro Hektar **28 kg – 17 t**

Restaurationspotenzial **Groß**

Hauptgefahren und Stressfaktoren **veränderte Landnutzung (Landwirtschaft, Bebauung), Meeresspiegelanstieg, eingeschleppte Arten, Verschmutzung**

CDRmare-Feldforschung in der Deutschen Nord- & Ostsee, Kolumbien & Malaysia

**Verlustrate**  
25 bis 50 % der Ursprungsfläche Industrielländer: bis zu 60 % seit den 1980ern

### TANGWÄLDER

Fläche weltweit **3,4 Mio. km<sup>2</sup>**  
Das entspricht mehr als der 9-fachen Fläche Deutschlands.

Lebensraum **Flachwasserbereich von Felsküsten**

Jährlich eingelagerte Kohlenstoffmenge pro Hektar **keine Angabe**

Restaurationspotenzial **Gering, wenn zu viele Weidegänger (Seeigel etc.) vor Ort sind; bisherige Restaurationsprojekte sind kleinskalig**

Hauptgefahren und Stressfaktoren **Meereserwärmung, marine Hitzewellen, Überfischung, Meeresverschmutzung, Überweidung durch Seeigel und Fische, Entnahme der Braunalgen durch den Menschen, extreme Stürme**

CDRmare-Feldforschung in der Deutschen Nordsee (Tange) & Mexikanischen Karibik (Sargassum)

**Verlustrate**  
40 bis 60 % der Tangwälder verzeichnen Verluste

### SEEGRASWIESEN

Fläche weltweit **rund 317.000 km<sup>2</sup>**  
Das entspricht etwa 89 Prozent der Fläche Deutschlands.

Lebensraum **Flachwasserbereich sandiger, geschützter Meeresbuchten**

Jährlich eingelagerte Kohlenstoffmenge pro Hektar **25 kg – 1 t**

Restaurationspotenzial **Mittel**

Hauptgefahren und Stressfaktoren **Meeresspiegelanstieg, Küstenbebauung, Steigende Luft- und Wassertemperaturen, Überdüngung, Grundnetzfisherei, Überfischung, Bootsverkehr, insbesondere Ankerungen, extreme Stürme**

CDRmare-Feldforschung in der Deutschen Nord- & Ostsee, Kolumbien & Malaysia

**Verlustrate**  
Rund 29 % der Ursprungsfläche im Zeitraum 1879 – 2006

Fotos: Mangroven – Martin Zimmer, ZMT // Salzwiese – Ella Logemann, Uni Hamburg // Tang – AWI Centre for Scientific Diving // Seegras – Jens Schneider von Deimling, Uni Kiel // Grafik: Rita Erven, CDRmare/GEOMAR.



## Küstenökosysteme als Kohlenstoffspeicher

### Kosten:

Unsere Schätzungen reichen von **1 bis 60 US-Dollar pro Tonne CO<sub>2</sub> für Mangrovenwälder** und **100 bis 1000 US-Dollar pro Tonne CO<sub>2</sub> für Salz- und Seegraswiesen**.

### Skalierbarkeit:

Ein **flächendeckender Ausbau vegetationsreicher Küstenökosysteme ist theoretisch möglich**. Wie viele Flächen zur Verfügung stünden, ist Gegenstand der CDRmare-Forschung. Wichtig: Küstenbevölkerung und Gesellschaft müssen einer Erweiterung zustimmen.

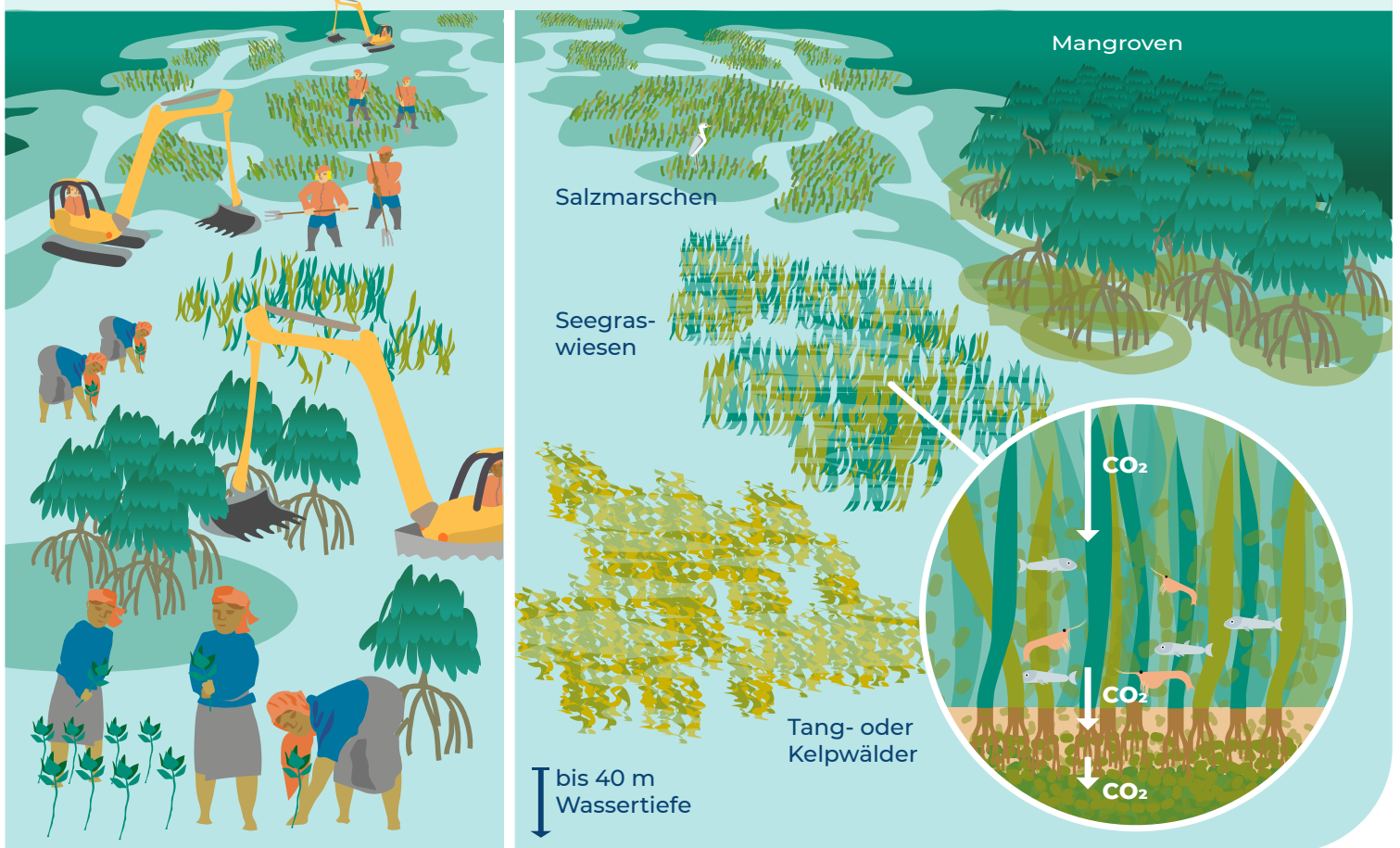


### Dauer der Kohlenstoff-Speicherung:

**von mehreren Jahrzehnten bis zu Jahrtausenden**

### Technischer Entwicklungsstand:

Rund um den Globus werden Küstenökosysteme wiederhergestellt, allerdings häufig nur auf ihren ursprünglichen Flächen. Eine **massive Erweiterung** ihrer Ausdehnung ist theoretisch möglich, wurde aber **bislang nirgendwo praktisch versucht**.



Durch die Wiederherstellung und großräumige Ausweitung vegetationsreicher Küstenökosysteme im Gezeiten- und Flachwasserbereich könnte es gelingen, die Kohlendioxid-Aufnahme des Meeres zu verstärken. Zu ihnen gehören Salzmarschen, Seegraswiesen, Tang- und Mangrovenwälder. Grafik: Rita Erven, CDRmare/GEOMAR

## Schützen, wiederherstellen, erweitern: Strategien zur Steigerung der Kohlendioxid-Entnahme durch die Wälder und Wiesen des Meeres

Es gibt allerdings auch gute Nachrichten: Geschädigte oder verloren gegangene Küstenökosysteme lassen sich zum Teil wiederherstellen, wie Restaurationsprojekte aus vielen Teilen der Welt belegen. Ihr Beitrag zu einer verstärkten Kohlendioxid-Entnahme des Meeres könnte jedoch noch gesteigert werden, wenn die hochproduktiven Küstenlebensräume nicht nur geschützt und

wiederhergestellt, sondern über ihre kürzlich verlorenen Flächen hinaus aufgeforstet oder aber erweitert werden. Dazu müsste der Mensch Mangrovenwälder, Seegraswiesen, Tangwälder und Salz- marschen auch in Gebieten neu anlegen, in denen sie bislang auf natürliche Weise nicht vorkommen und auch in der Vergangenheit möglicherweise nie vorgekommen sind. Außerdem müssten

Pflanzenarten ausgewählt und zusammengestellt werden, die als Artengemeinschaft die gewünschten Ökosystemleistungen am effizientesten erfüllen würden.

Expert:innen bezeichnen diesen Ansatz als Ökosystem-Design. Mit ihm, so die Annahme, ließen sich drei Ziele gleichzeitig erreichen:

- > Die Kohlendioxid-Aufnahme vegetationsreicher Küstenökosysteme könnte gesteigert und ein Teil der vom Menschen verursachten Kohlendioxid-Rest-Emissionen so ausgeglichen werden.
- > Die Artenvielfalt in den Küstengewässern könnte bei richtiger Herangehensweise gesteigert werden. Einschränkend muss

jedoch gesagt werden, dass eine Ausweitung vegetationsreicher Küstenökosysteme zu Lasten anderer lokaler Ökosysteme ginge, so zum Beispiel zu Lasten von Sandstränden und Wattflächen.

- > Mensch und Natur hätten aufgrund der vielen zusätzlichen Ökosystemleistungen der Küstenökosysteme (Nahrung, Küstenschutz, etc.) deutlich bessere Möglichkeiten, sich an den Klimawandel anzupassen und seinen Gefahren zu trotzen.

Tatsächlich aber wirft der Ansatz, vegetationsreiche Küstenökosysteme großflächig zu erweitern, noch immer viele Fragen auf, die im Rahmen der Forschungsmission CDRmare beantwortet werden sollen.

## Wie viel Kohlendioxid entnehmen vegetationsreiche Küstenökosysteme der Atmosphäre tatsächlich?

Derzeit entnehmen die vegetationsreichen Küstenökosysteme der Atmosphäre schätzungsweise 85 bis 250 Millionen Tonnen Kohlenstoff pro Jahr. Die Spannweite dieser Schätzung ist unter anderem deshalb so groß, weil viele Prozesse und Wechselwirkungen innerhalb der sehr komplexen Pflanzengemeinschaften und ihrer Ökosysteme noch gar nicht richtig verstanden sind. Eine offene Forschungsfrage lautet zum Beispiel, wie viel Kohlendioxid Mangroven- und Tangwälder, Salzmarschen und Seegraswiesen in verschiedenen Regionen der Erde aufnehmen und in Form organischen Kohlenstoffs einlagern und welchen Anteil sie im Verlauf ihres Lebenszyklus wieder freisetzen.

Kohlendioxid emittieren die Meereswiesen und -wälder im Zuge ihrer pflanzlichen Atmung oder wenn Seekühe, Seeigel und die vielen anderen Meeresbewohner das Pflanzenmaterial fressen und im Zuge ihres Stoffwechsels in Energie und Kohlendioxid umwandeln. Zersetzen dagegen Mikroben das im Küstensediment eingelagerte organische Material, entstehen unter bestimmten Voraussetzungen Methan und Lachgas. Welche Mengen dieser beiden klimaschädlichen Gase unter welchen Bedingungen aus Küstenökosystemen freigesetzt werden,

ist noch nicht gut verstanden. Fest steht jedoch: Wo Methan und Lachgas aus dem Küstensediment entweichen, schrumpfen die unterirdischen Kohlenstofflagerstätten der Küstenökosysteme und damit ihr angestrebter Klimaeffekt. Daher gilt: Um beurteilen zu können, ob der massive Ausbau von Küstenökosystemen ein möglicher Weg wäre, die Kohlendioxid-Aufnahme des Meeres zu verstärken, müssen deren Treibhausgas-Aufnahme und -Abgabe sowie die Kohlenstoffeinlagerung im Meeresboden genau verstanden und bilanziert werden.

*In der Forschungsmission CDRmare untersuchen Wissenschaftler:innen in vier ausgesuchten Küstenregionen der Erde die Kohlenstoffbilanzen und Treibhausgasemissionen lokaler Küstenökosysteme. Salzmarschen und Seegraswiesen werden an der deutschen Ost- und Nordseeküste sowie in der Karibik (Kolumbien) und an der malaysischen Pazifikküste erforscht. Die Feldforschung an Mangroven führt die Wissenschaftler:innen nach Kolumbien und Malaysia. Studien zu Großalgen finden auf Helgoland (Schwerpunkt Tangwälder) sowie im mexikanischen Teil der Karibik (Schwerpunkt Sargassum) statt.*

## Für wie lange speichern vegetationsreiche Küstenökosysteme den Kohlenstoff?

Die Dauer der Kohlenstoffspeicherung in vegetationsreichen Küstenökosystemen hängt vom Speicherort ab. Kohlenstoff, den die Pflanzen als Teil ihrer oberirdischen Biomasse in Blätter, Halme, Zweige oder Äste einlagern, ist der Atmosphäre für Wochen bis Jahrzehnte entzogen. Im Gegensatz dazu können die unterirdischen, oftmals luftdicht abgeschlossenen Kohlenstofflager viele Jahrhunderte oder gar Jahrtausende überstehen, wenn die sie schützende Vegetation erhalten bleibt. In der spanischen Portlligat-Bucht beispielsweise wachsen Seegraswiesen, deren Kohlenstoffspeicher über 6000 Jahre alt sind.

Noch aber wissen Forschende nicht genau, welche Faktoren die Lebensdauer der unterirdischen Kohlenstofflagerstätten bestimmen und welche Abbauprozesse unter welchen Bedingungen im Sediment stattfinden. Konkrete Aussagen zur aktuellen und künftigen Kohlenstoffspeicherung in vegetationsreichen Küstenökosystemen sind demzufolge noch nicht möglich.

*Im Rahmen der Forschungsmission CDRmare nehmen die Forschenden in allen untersuchten Mangrovenwäldern, Salzmarschen und Seegraswiesen Sedimentproben, um herauszufinden, über welchen Zeitraum die entsprechenden Kohlenstoffmengen eingelagert wurden. Die Küstensedimente werden zudem umfangreichen chemischen Analysen unterzogen, um zu ergründen, welche biologischen und chemischen Abbauprozesse im Sediment ablaufen, welche Komponenten des eingelagerten Kohlenstoffs herausgewaschen werden und welche Anteile die klimarelevanten langfristigen Kohlenstofflagerstätten bilden.*

*Das Kohlendioxid-Entnahmepotenzial verschiedener Großalgenarten wird in zwei Teilprojekten erforscht: Vor der Küste der mexikanischen Karibik-Halbinsel Yucatán werden Wissenschaftler:innen unter anderem die Biomasseproduktion, den Kohlenstoffgehalt und das Speicherpotenzial schwimmender*

*Sargassum-Algen untersuchen. Vor Helgoland konzentrieren sich die Untersuchungen auf die dort wachsenden Tangwälder.*

*In allen Fällen muss untersucht werden, wie viel Kohlenstoff die Ökosysteme zusätzlich speichern könnten, wenn ihre Fläche erweitert würde.*

## Welche Auswirkungen hat der Klimawandel auf die Küstenökosysteme und werden die Meereswiesen und -wälder auch unter wärmeren Bedingungen in der Lage sein, große Mengen Kohlendioxid aufzunehmen und einzulagern?

Der Klimawandel stellt eine große Bedrohung für die Küstenökosysteme dar. Infolge der steigenden Luft- und Wassertemperaturen verlagern Pflanzen und Tiere ihren Lebensraum polwärts; Hitzestress erhöht ihre Anfälligkeit für Krankheiten. Infolge steigender Meeresspiegel werden einstige Gezeitenbereiche dauerhaft überflutet und gehen als Habitat verloren; Ozeanversauerung und Sauerstoffarmut erschweren das Überleben unter Wasser zusätzlich. Enormen Schaden richten zudem Extremereignisse wie schwere Stürme und Meereshitzewellen an. Wind und Wellen entwurzeln Mangroven, reißen Seegräser aus dem Meeresboden und spülen mitunter Salzmarschen und Großalgen-Wälder davon. Meereshitzewellen setzen vor allem Tangwäldern und Seegraswiesen zu und haben nach Aussage des Weltklimarates in den zurückliegenden Jahren in verschiedenen Regionen zum großflächigen Absterben der lokalen Pflanzengemeinschaften geführt.

Wetterextreme und ihre Auswirkungen vor Ort lassen sich nur schwer vorhersagen. Außerdem werden die Folgen des Klimawandels durch weitere, vom Menschen verursachte Stressfaktoren oder Störungen verstärkt. Dazu gehören die Grundnetzfisherei, Meeresverschmutzung, Küstenbebauung sowie das Errichten von Staudämmen entlang großer Flüsse. Staustufen verhindern den Eintrag von Sedimenten, welche vor allem Mangroven für ihre Flächenausdehnung sowie für ihr vertikales Höhenwachstum (Anpassungen an den Meeresspiegelanstieg) benötigen. Alle genannten Stressfaktoren reduzieren die Fähigkeit der Küstenökosysteme, Klimafolgen zu kompensieren und sich an den Wandel anzupassen.



Es stellt sich daher die Frage, in welchen Regionen der Welt vegetationsreiche Küstenökosysteme künftig überhaupt noch überleben und in der Lage sein werden, durch ihre Kohlendioxid-Aufnahme zur Minderung des Klimawandels beizutragen und wo Investitionen in ihren Schutz und großflächigen Ausbau zukunftsfruchtig wären. Außerdem muss diskutiert werden, ob eine großflächige Erweiterung der Meereswiesen und -wälder angesichts der zunehmenden Klimaextreme wirklich eine geeignete Methode wäre, die Kohlendioxid-Aufnahme des Meeres zu verstärken – und wenn ja, durch welche innovativen Verfahren sowohl angestammte als auch wiederhergestellte und neu angelegte Pflanzengemeinschaften vor den Auswirkungen des Klimawandels geschützt werden könnten. Denkbar wäre zum Beispiel, wärmeresistente Braunalgen und Seegräser zu züchten. Ob ein solcher Ansatz gelingen würde und ökologisch sinnvoll wäre, ist angesichts der Komplexität mariner Ökosysteme jedoch noch ungewiss.

*In der Forschungsmission CDRmare führen Wissenschaftler:innen umfangreiche Klimawandel-Experimente an der deutschen Nordseeküste sowie in den Tropen durch. Entlang der deutschen Nordseeküste kommen dafür unter anderem große temperaturkontrollierte Meerwasser-Becken (Mesokosmen) zum Einsatz sowie spezielle Folienkuppeln, mit denen sich ausgewählte Versuchsflächen im Gezeitenbereich bis in den Untergrund erwärmen lassen. Auf diese Weise können die Wissenschaftler:innen die kurzfristigen Auswirkungen steigender Temperaturen auf die Primärproduktion, die Kohlenstoffeinlagerung und die Treibhausgas-Emissionen einheimischer Salzmarschen und Seegraswiesen untersuchen. Von besonderem Interesse sind dabei Schwellenwerte verschiedener Umweltparameter, deren Überschreiten zu einem langfristigen Absterben der Pflanzengemeinschaften und zu einem Abbau ihrer Kohlenstoffspeicher führen würde. Anhand ihrer Ergebnisse werden die Wissenschaftler:innen Aussagen zur klimatischen Widerstandsfähigkeit der weltweiten Meereswiesen treffen.*

*Ihre Messdaten fließen zudem in Computermodelle ein, mit denen ein großflächiger Ausbau der Küstenökosysteme simuliert wird. Dabei untersuchen die Forschenden, wie stabil und anpassungsfähig die Lebensgemeinschaften und ihre Kohlenstoffspeicher unter verschiedenen Klimabedingungen wären. Außerdem prüfen sie, in welchem Umfang die Artenvielfalt und der Zusatznutzen der Meereswiesen und -wälder zunehmen würde, wenn sie auf einer deutlich größeren Fläche wachsen würden als heutzutage. Analysiert wird auch, welche negativen Folgen eine Flächenerweiterung haben könnte.*

Eine Grüne Meeresschildkröte erkundet eine Seegraswiese vor der Küste Teneriffas. Foto: Liam McGuire / Ocean Image Bank



## Mit welchen Methoden lassen sich große Küstenökosysteme flächendeckend erfassen und überwachen, um auch ihre zusätzliche Kohlendioxid-Entnahme zu quantifizieren?

Wer vegetationsreiche Küstenökosysteme großflächig erweitern und ihre Kohlendioxid-Aufnahme und -Speicherung quantifizieren möchte, muss große Küstenbereiche bestens kennen und über lange Zeiträume hinweg überwachen. Bisher aber sind viele Mangroven- und Tangwälder, Seegraswiesen und Salzmarschen noch nicht einmal umfassend kartiert. Fortschritte sollen nun mit bildgebenden Fernerkundungsmethoden gelingen. Dazu zählen Satellitenaufnahmen ebenso wie schiffs-, flugzeug- und drohnen-gestützte Messverfahren. Mancherorts wurden diese Techniken schon für die Erkundung von Küstenbereichen eingesetzt. Inwiefern sie aber geeignet sind, Daten für eine genaue Quantifizierung der Kohlendioxid-Entnahme zu liefern und geeignete Flächen für die Erweiterung der Küstenökosysteme zu finden, ist bislang wenig erforscht.

*In der Forschungsmission CDRmare entwickeln, testen und implementieren Wissenschaftler:innen verschiedene Fernerkundungsmethoden zur Überwachung der Vegetation im Gezeiten- und Flachwasserbereich. Dabei kombinieren sie auch Fernerkundungsverfahren. So ist unter anderem geplant, Satellitenbild-Auswertungen mit Unterwasser-Sonartechniken zu koppeln. Mithilfe dieser Innovationen soll es zum einen gelingen, die oberirdische Biomasse der Küstenökosysteme in der Nordsee, der Ostsee sowie an der Küste Kolumbiens und Malaysias zu quantifizieren und vor Ort gemessene Kohlenstoffvorräte – etwa der Kohlenstoffspeicher unter wenigen Quadratmetern Mangrovenwald – auf die gesamte regionale und globale Fläche dieser Küstenökosysteme hochzurechnen. Zum anderen werden hochauflösende Fernerkundungsdatensätze für die Suche nach bislang unbewachsenen Küstenabschnitten gebraucht, in denen Mangroven, Tangwälder, Salzmarschen oder aber Seegraswiesen neu angelegt werden könnten.*

## Wäre eine großflächige Erweiterung vegetationsreicher Küstenökosystem tatsächlich eine wirksame Maßnahme um Rest-Emissionen auszugleichen und den Klimawandel aufzuhalten?

Um diese Frage zu beantworten, benötigen Forschende sogenannte Erdsystemmodelle, in denen sich sowohl der globale Kohlenstoffkreislauf als auch die Rolle der Küstenökosysteme, ihre klimabedingten Veränderungen und ihre mögliche Ausdehnung simulieren lassen. Bislang aber fehlen den Erdsystemmodellen Komponenten zur Darstellung der Meereswiesen und -wälder.

*In der Forschungsmission CDRmare werden Wissenschaftler:innen erstmals vegetationsreiche Küstenökosysteme in ein modernes Erdsystemmodell integrieren und deren Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf der Erde simulieren. Dazu fließen viele sowohl bereits veröffentlichte Datensätze zur globalen Ausdehnung und Kohlenstoffbilanz der Meereswiesen und -wälder in das Modell mit ein als auch jene Forschungsergebnisse, die in CDRmare selbst erhoben wurden. Ein solches*

*erweitertes Erdsystemmodell versetzt die Forschenden in die Lage zu ergründen, wie viel zusätzliches Kohlendioxid der Atmosphäre durch eine Erweiterung der Küstenökosysteme entnommen werden könnte, in welchem Maße dies den Klimawandel beeinflussen würde, und wie die Pflanzengemeinschaften selbst auf die zu erwartenden Umweltveränderungen reagieren werden.*

*Basierend auf der in CDRmare durchgeführten Grundlagenforschung wollen die Expert:innen innovative Verfahren zur Flächenausdehnung der vegetationsreichen Küstenökosysteme sowie politische Handlungsempfehlungen entwickeln, mit denen sich die Kohlendioxid-Aufnahme der Meereswiesen und -wälder auf umweltverträgliche und gesellschaftlich akzeptierte Weise steigern ließe – an deutschen Küsten ebenso wie weltweit.*



Salzmarschen, Hamburger Hallig.  
Foto: Ella Logemann, Uni Hamburg

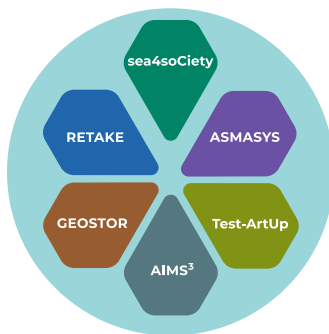
## Wie denkt die Küstenbevölkerung über großflächige Veränderungen vor ihrer Haustür?

Maßnahmen zum Natur- und Klimaschutz lassen sich nur erfolgreich umsetzen, wenn die Interessen der lokalen Bevölkerung von Anfang an mit berücksichtigt werden, diese in alle Entscheidungsprozesse mit eingebunden ist, mit eigenem Wissen und Expertise beitragen kann und im besonderen Maße von den Schutzmaßnahmen profitiert. Ein gut durchdachter Ausbau vegetationsreicher Küstenökosysteme könnte einerseits eine zunehmende Artenvielfalt sowie widerstandsfähigere Lebensgemeinschaften mit sich bringen. Die Fischbestände könnten wachsen, die Wasserqualität zunehmen, die Attraktivität der Region für Touristen steigen. Mangroven- und Tangwälder, Salzmarschen und Seegraswiesen würden zudem einen natürlichen, sich selbst reparierenden Küstenschutz bieten, der eine Anpassung an steigende Meeresspiegel erleichtern würde.

Eine Erweiterung der Meereswiesen und -wälder brächte andererseits aber auch Einschnitte für das Leben der Küstenbevölkerung mit sich, gerade weil der Mensch Küstengebiete intensiv nutzt und nur wenig freie Flächen zur Verfügung stehen. Denkbar wäre an deutschen Küsten zum Beispiel, dass Deiche zurückgebaut und dahinterliegende Weideflächen aufgegeben werden müssten, um Platz für Salzmarschen zu schaffen. Meeresbuchten, in denen Seegraswiesen neu angepflanzt werden, müssten für die Grundnetzfisherei und vielleicht für den Bootsverkehr gesperrt werden. Für neue Tangwälder entlang der Nordseeküste müssten viele Tonnen Felsgestein in das Meer verbracht werden, denn Braunalgen wachsen nur auf steinigem Untergrund.

Im Vorfeld großflächiger Küstenumgestaltungen müsste demzufolge viel Aufklärungsarbeit geleistet werden. Diese Aufgabe aber setzt voraus, dass Entscheidungstragende genau verstehen, welche Wertvorstellungen und Bedürfnisse die lokale Bevölkerung hat und in welchem Maße sie bereit wäre, sich am Ausbau der Küstenökosysteme zu beteiligen und diesen zu unterstützen.

*In der Forschungsmission CDRmare untersuchen Wissenschaftler:innen in ausgewählten Küstenregionen Deutschlands, Kolumbiens und Malaysias die Einstellung der lokalen Bevölkerung zum Klimawandel und zu möglichen Maßnahmen zur Kohlendioxid-Entnahme. Ihr Ziel ist es, die unterschiedlichen Küstenkulturen zu verstehen, sich ein Bild von den Vorstellungen der Menschen zum nachhaltigen Leben am Meer zu machen, lokales Wissen und Innovationskraft zu aktivieren und frühzeitig herauszufinden, welche Themen oder Maßnahmen sozialen Widerstand auslösen könnten oder aber die Zustimmung der lokalen Bevölkerung finden. Auf Grundlage ihrer Erkenntnisse werden im Anschluss regionalspezifische Handlungsoptionen erarbeitet, die sicherstellen, dass im Falle eines großflächigen Ausbaus lokaler Küstenökosysteme Mensch, Natur und Klima gleichermaßen bedacht werden und möglichst viele Beteiligte von den zu findenden Kompromissen für geplante Maßnahmen profitieren. Diese Aufgabe wird keine leichte und stellt eine besondere Herausforderung für die Forschenden dar.*



Alle hier beschriebenen Forschungsarbeiten werden im CDRmare-Forschungsverbund »sea4soCiety – Innovative Ansätze zur Verbesserung des Kohlenstoffspeicherungspotenzials von Vegetationsküstenökosystemen« durchgeführt.

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](mailto:ubernitt@geomar.de)) //  
**Texte:** Sina Löschke ([schneehohl.net](http://schneehohl.net)) // **Design und Grafiken:** Rita Erven // September 2022