
IASS STUDY

Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS)

Klimaschutz durch Meeresnatur

Potentiale und Handlungsempfehlungen
Potsdam, Februar 2022

Lina Röschel
Sebastian Unger
Torsten Thiele
Barbara Neumann
Ben Boteler



Im Auftrag des:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

IASS STUDY

Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS)

Potsdam, Februar 2022

Klimaschutz durch Meeresnatur

Potentiale und Handlungsoptionen

Potsdam, Februar 2022

Lina Röschel

Sebastian Unger

Torsten Thiele

Barbara Neumann

Ben Boteler



IMPRESSUM

Herausgeber

Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS)
Berliner Straße 130
14467 Potsdam

Autor:innen

Lina Röschel
Sebastian Unger
Torsten Thiele
Barbara Neumann
Ben Boteler

Abschlussdatum

Oktober 2021

Zitation

Röschel, L., Unger, S., Thiele, T., Neumann, B., & Boteler, B. (2022). Klimaschutz durch Meeresnatur: Potentiale und Handlungsoptionen. IASS Studie, Februar 2022.

DOI

10.48481/iass.2022.010

Im Auftrag des:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

Die Studie wurde von den oben genannten Autorinnen und Autoren des IASS Potsdam ausgearbeitet. Der Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren. Die darin dargestellten Ergebnisse spiegeln nicht zwangsläufig die Meinung des Fördermittelgebers wider.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	5
Kurzbeschreibung	6
1 Einleitung	7
2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Meeresnatur	8
2.1 Erwärmung des Ozeans	8
2.2 Versauerung des Ozeans	9
2.3 Meeresspiegelanstieg	9
2.4 Stürme und Sturmfluten	10
2.5 Sauerstoffverlust	10
3 Blue Carbon	11
3.1 Wie wird CO ₂ in Blue-Carbon-Ökosystemen gespeichert?	11
3.2 Wie kann man das Potential zur CO ₂ -Sequestrierung in Blue-Carbon-Ökosystemen messen?	11
3.3 Blue-Carbon-Ökosysteme	12
3.3.1 Mangrovenwälder	12
3.3.2 Seegraswiesen	13
3.3.3 Salzwiesen	14
3.3.4 Makroalgen	14
3.3.5 Marine Sedimente	15
4 Klimaschutz durch Meeresnatur	16
5 Praktische Umsetzung	19
5.1 Wiederherstellung und Erhalt von Blue-Carbon-Ökosystemen	19
5.2 Regulierung und Finanzierung von Blue Carbon	21
5.2.1 Blue Carbon im Rahmen der UNFCCC	21
5.2.2 Blue Carbon über die UNFCCC hinaus	22
5.3 Relevante Stakeholder	23
6 Politische Handlungs-empfehlungen	25
6.1 In Deutschland	25
6.2 Durch Deutschland	26
6.3 Mit Deutschland	27
7 Literatur	28
8 Annex A: Blue-Carbon-Dossiers	37
I. Mangrovenwälder	37

II. Seegraswiesen.....	40
III. Salzwiesen.....	43
IV. Makroalgen	45
V. Marine Sedimente	47
Annex B: Blue-Carbon-Projekte.....	49

Abbildungen

<i>Abbildung 1: Blue-Carbon-Ökosysteme unterstützen verschiedene Ziele nachhaltiger Entwicklung der Agenda 2030 der Vereinten Nationen. Die Abbildung zeigt eine Auswahl dieser.</i>	17
---	----

Tabellen

<i>Tabelle 1: CO₂-Sequestrierungspotential, regionale Verteilung und Ausdehnung von verschiedenen Blue-Carbon-Ökosystemen</i>	12
<i>Tabelle 2: Übersicht von Co-Benefits der identifizierten Blue-Carbon-Ökosysteme.....</i>	18

Textboxen

<i>Textbox 1: Beschreibung der deutschen Seegraswiesenbestände, deren Potential zur CO₂-Sequestrierung und deren Zustand.....</i>	13
<i>Textbox 2: Beispiel eines Blue-Carbon-Projektes, welches über Emissionshandel am freien Markt finanziert wird.....</i>	19
<i>Textbox 3: Beispiel eines Blue-Carbon-Projektes, welches sich um die Einbindung der lokalen Bevölkerung bemüht.....</i>	20
<i>Textbox 4: Textauszug aus dem NDCs der Seychellen, welches Blue Carbon als Adaptionenmaßnahme integriert</i>	21

Abkürzungsverzeichnis

AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BLANO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Nord- und Ostsee
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
CBD	Übereinkommen über die Biologische Vielfalt
CDM	Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CO₂e	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
COP	UN-Klimakonferenz
EU	Europäische Union
EU-ETS	EU-Emissionshandelssystem
G7	Gruppe der Sieben
GEOMAR	GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel
GCF	Green Climate Fonds
GHG	Treibhausgas
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
HELCOM	Helsinki Konvention
IKI	Internationale Klimaschutzinitiative des BMU
IPCC	Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen
NAMA	nationalen Eindämmungsmaßnahme
NbS	Naturbasierte Lösungen
NDCs	auf nationaler Ebene festgelegten Beiträge zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel
NGO	Nichtregierungsorganisation
OSPAR	OSPAR Konvention
RCP	Repräsentativer Konzentrationspfad
REDD+	Verringerung von Emissionen aus Entwaldung und Waldschädigung sowie die Rolle des Waldschutzes, der nachhaltigen Waldbewirtschaftung und des Ausbaus des Kohlenstoffspeichers Wald in Entwicklungsländern
SBSTA	Nebenorgan für wissenschaftliche und technologische Beratung
SDG	Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen
UN	Vereinte Nationen
UNFCCC	Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen

Kurzbeschreibung

Marine Ökosysteme wie Mangrovenwälder, Seegraswiesen, Salzwiesen und Makroalgen sowie marine Sedimente verfügen über die Eigenschaft, Kohlenstoff in ihrer Biomasse und Sedimenten zu speichern. Durch die Rehabilitation, Wiederherstellung und den Schutz dieser Ökosysteme kann somit das Potential des Ozeans zur Aufnahme von atmosphärischem CO₂ erhöht werden. Dieses Potential wurde in Vorbereitung der 15. UN-Klimakonferenz in Kopenhagen 2009 unter dem Konzept „Blue Carbon“ eingeführt und wird seitdem weiter erforscht und in politischen Prozessen weiterentwickelt. Die langfristige Sequestrierung von atmosphärischem CO₂ durch Blue-Carbon-Ökosysteme unterstützt Umsetzungsprozesse zur Erreichung der Ziele des Pariser Abkommens. Das über Blue-Carbon-Ökosysteme sequestrierte CO₂ zählt als Teil der globalen Kohlenstoffsénke als „negative Emissionen“. So erreichte negative Emissionen sollten jedoch nicht zur Umgehung von ohnehin notwendigen politischen und wirtschaftlichen Schritten in Richtung einer CO₂-neutralen Zukunft führen. Die Wiederherstellung und Rehabilitation von Blue-Carbon-Ökosystemen zur Erhöhung der natürlichen Kohlenstoffsénke des Planeten sollte zusätzlich zu einer signifikanten globalen Emissionsreduktion eingesetzt werden. Diese Studie erörtert die wissenschaftlichen, ökonomischen und politischen Fortschritte im Bereich Blue Carbon und stellt mögliche politische Handlungspfade vor, die das Potential von Blue-Carbon-Ökosystemen zum Klimaschutz in, durch und mit Deutschland stärken. Für die verschiedenen Blue-Carbon-Ökosysteme wird aufgezeigt, inwiefern die Ausweitung und der Schutz dieser Ökosystemen weitere Ziele der Klimaanpassung und der nachhaltigen Entwicklung unterstützen. Aufbauend auf einer Auswertung praktischer Umsetzungsbeispiele von Blue-Carbon-Projekten und möglicher Finanzierungsmechanismen wird nachfolgend ein politischer Handlungsleitpfaden für Deutschland in Bezug auf Blue Carbon entwickelt. Die politischen Handlungsempfehlungen wurden gemeinsam mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit entwickelt.

Summary

Marine ecosystems like mangroves forests, seagrass meadows, salt marshes and macroalgae can store carbon in their biomass and sediments. Rehabilitation, restoration and conservation of these ecosystems can increase the potential for atmospheric carbon uptake by the ocean. This concept was first introduced as ‘blue carbon’ during the preparation for the 15th UN Climate Change Conference in Copenhagen in 2009 and since then it has seen continuous incorporation into politics and research. The long-term sequestration of atmospheric CO₂ via blue carbon ecosystems supports the 1.5°C goal of the Paris Agreement. The CO₂ that is sequestered by blue carbon ecosystems is part of the global carbon sink and therefore it can be counted as ‘negative emissions’ in the global carbon stocktake. However, such negative emissions should not be implemented as a substitute for necessary political and economic measures towards a carbon neutral future. Rehabilitation and restoration of blue carbon ecosystems as a natural carbon sink is one of many measures but cannot replace the significant reduction of global emissions needed for the realisation of the global climate targets. This study discusses the scientific, economic and political realm of blue carbon. Furthermore, possible courses for political action “in”, “by”, and “through” Germany that could strengthen the potential of blue carbon ecosystems to sequester carbon are explored. The study investigates a variety of blue carbon ecosystems to determine to what extent the expansion and conservation of blue carbon ecosystems can support additional climate adaptation targets and Sustainable Development Goals. The evaluation of a multitude of implemented and ongoing blue carbon projects across the globe gives insight to best practices and possible financing mechanisms. A political guideline for Germany regarding blue carbon was developed together with the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.

1 Einleitung

Der Ozean ist ein wesentlicher Bestandteil des Klimasystems. Der Ozean wirkt – vereinfacht formuliert - regulierend auf das Klima sowie den CO₂-Gehalt der Atmosphäre. Bestimmte Küstenökosysteme wie Mangrovenwälder, Seegraswiesen und Salzwiesen können Kohlenstoff in ihrer Biomasse und in ihren Sedimenten speichern und zugleich der Menschheit Schutz vor Extremereignissen bieten. Doch angesichts zunehmender Veränderungen im Klimasystem und wachsender anthropogener Einflüsse auf die Weltmeere wird die regulierende und schützende Wirkung des Ozeans und zugehöriger Ökosysteme zunehmend beeinträchtigt. Die Reduzierung von umweltschädlichen Aktivitäten und Treibhausgasen zusätzlich zu Wiederherstellung und Schutz von klimarelevanten marinen Ökosystemen sind unabdingbar, um dem Klimawandel und den damit einhergehenden Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu begegnen. Die internationale Politik hat die Verbindung zwischen Klimawandel und Ozean und das Potential des Ozeans als Kohlenstoffsенke erstmalig mit dem Bericht *Blue Carbon – The Role of Healthy Oceans in Binding Carbon* (Nellemann et al. 2009) offiziell aufgegriffen. Der Bericht wurde gemeinsam von mehreren internationalen Organisationen in Vorbereitung auf die 15. UN-Klimakonferenz („Conference of Parties“, COP) in Kopenhagen 2009 veröffentlicht. Für Kohlenstoff, der im Ozean und in Küstenökosystemen gespeichert ist, wird in diesem Bericht der Begriff *Blue Carbon* geprägt. Der Begriff bzw. das Konzept *Blue Carbon* wird als Gegenstück zu Kohlenstoff verwendet, welches durch fossile Brennstoffe emittiert wird („black carbon“ oder „brown carbon“), und gleichzeitig als Pendant zu „green carbon“ (durch terrestrische Wälder und Sedimente gespeicherter Kohlenstoff) verstanden. Das Konzept *Blue Carbon* wird seit der 15. COP als Klimaschutzmaßnahme weiter erforscht und in politische Prozesse eingebracht, wobei sich die Umsetzung von wissenschaftlichen Erkenntnissen in klimapolitischen Aktivitäten verzögert (Herr und Landis 2016).

Der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen („Intergovernmental Panel on Climate Change“, IPCC) hat im Sonderbericht *Der Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelndem Klima* (IPCC 2019) die zukünftigen Folgen des Klimawandels auf die Meeresnatur als drastisch bewertet und das Potential von *Blue Carbon* zur Minderung dieser hervorgehoben. Als Reaktion auf den Bedarf an politischem Fortschritt im Themenfeld *Blue Carbon* auf globaler Ebene haben sich verschiedene Allianzen gebildet, so zum Beispiel die *Blue Carbon Initiative*, welche sich dafür einsetzt, dass *Blue Carbon* in internationale Abkommen integriert wird, oder aber die *International Partnership for Blue Carbon* (IPBC), welche Staaten dabei unterstützt, *Blue Carbon* in ihre nationalen Beiträge zum Klimaschutz („Nationally Determined Contributions“, NDCs) zur Erreichung der Ziele des Pariser Abkommens aufzunehmen. *Blue Carbon* hat somit in der letzten Dekade sehr an Relevanz in globalen klimapolitischen Prozessen gewonnen. Als Mandat der 25. COP hielt das Nebenorgan für wissenschaftliche und technologische Beratung des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen („Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice“, SBSTA) einen Austausch zum Thema Ozean und Klimawandel ab, um zu erörtern, wie dieses Themenfeld den weltweiten Klimaschutz unterstützen kann. Es wurde festgestellt, dass viele Mitgliedsstaaten (70 %) das Potential mariner Ökosysteme im Kampf gegen den Klimawandel in ihren NDCs anerkennen, wobei nur ein Drittel dieser NDCs konkret marine Ökosysteme als Maßnahme zum Klimaschutz angeben (Gattuso et al. 2021). Es fehlt hierfür allgemein noch an Vorschlägen zur praktischen Umsetzung und innovativen Finanzierungsmechanismen für die optimale Integration von *Blue Carbon* in Klimaschutzmaßnahmen (Turley et al. 2021). Doch die internationalen Bemühungen und Fortschritte stärken das Potential von *Blue Carbon* zur Unterstützung der Klimaziele des Pariser Abkommens.

Diese Studie erörtert die wissenschaftlichen, ökonomischen und politischen Fortschritte im Bereich *Blue Carbon* und zeigt mögliche politische Handlungspfade auf, um das Potential von *Blue-Carbon*-Ökosystemen zum Klimaschutz in und durch Deutschland zu stärken. Die Studie berücksichtigt Mangrovenwälder, Seegraswiesen, Salzwiesen, Makroalgen und marine Sedimente als *Blue-Carbon*-Ökosysteme. Diese werden auf Sequestrierungspotential, Co-Benefits und auch auf Risiken im Einsatz als Klimaschutzmaßnahme untersucht (Kapitel 3 *Blue Carbon*). Weiterhin wird erörtert, inwiefern die Ausweitung und der Schutz von *Blue-Carbon*-Ökosystemen weitere Ziele der nachhaltigen Entwicklung unterstützen kann (Kapitel 4 Klimaschutz durch Meeresnatur). Aufbauend auf einer Auswertung praktischer Umsetzungsbeispiele von *Blue-Carbon*-Projekten und möglicher Finanzierungsmechanismen (Kapitel 5 Praktische Umsetzung) wird nachfolgend ein politischer Handlungsleitpfaden für Deutschland in Bezug auf *Blue Carbon* vorgestellt (Kapitel 6 Politische Handlungsempfehlungen). Die politischen Handlungsempfehlungen wurden gemeinsam mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit entwickelt.

2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Meeresnatur

Der Ozean ist ein elementarer Bestandteil des Klimasystems mit zahlreichen, für das weltweite Klima bedeutenden Funktionen wie die Aufnahme von Kohlendioxid oder Wärme aus der Atmosphäre und deren Umverteilung durch marine Prozesse und Meeresströmungen. Anthropogene Einträge haben den Kohlenstoffgehalt in den Weltmeeren über Jahrzehnte erhöht und der Klimawandel hat unter anderem einen Anstieg der Meerestemperatur zur Folge. Diese Veränderungen beeinträchtigen die Funktionen der Meeresnatur und deren Potential zur Klimaanpassung. Das folgende Kapitel erörtert die im IPCC Sonderbericht *Der Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelndem Klima* (IPCC 2019) identifizierten klimabedingten Belastungen auf die Meeresumwelt. Hierbei konzentriert sich die Analyse auf das globale Ausmaß der aktuellen und möglichen zukünftigen Belastungen sowie die Auswirkungen auf die Meeresumwelt. Ein besonderes Augenmerk wird auf sogenannte Blue-Carbon-Ökosysteme gelegt (siehe Kapitel 3 Blue Carbon).

Folgende klimabedingte Belastungen wurden als relevant für die Meeresumwelt identifiziert:

- Erwärmung des Ozeans
- Versauerung des Ozeans
- Meeresspiegelanstieg
- Stürme und Sturmfluten
- Sauerstoffverlust

Die Analyse schließt weitere anthropogene Belastungen (z.B. Landwirtschaft, Fischerei oder Küstenbebauung) aus, wobei diese auftretenden Belastungen mit klimabedingten Stressoren verknüpft sein können und die Koppelung von mehreren Belastungen in einer Region deren Auswirkungen meist verstärken und die Klimafunktionen der Meere beeinträchtigen können. Des Weiteren konzentriert sich dieses Kapitel ausschließlich auf die klimabedingten Belastungen des Ozeans. Die Folgen des Klimawandels für betroffene Bevölkerungsgruppen werden nicht näher betrachtet.

2.1 Erwärmung des Ozeans

Seit Beginn der Aufzeichnung in den siebziger Jahren steigt die globale Meerestemperatur kontinuierlich an, wobei mehr als 90 % der überschüssigen Wärme des Klimasystems vom Ozean aufgenommen wird (IPCC 2019). Seit Anfang der neunziger Jahre hat sich die Ozeanerwärmung in Geschwindigkeit mehr als verdoppelt, was zu einem erhöhten Auftreten von marinen Hitzewellen und Versauerung oberflächennahen Meereswassers führt (IPCC 2019) und sich somit negativ auf temperatursensible marine Ökosysteme auswirkt (Wernberg et al. 2013; Arias-Ortiz et al. 2018; Macreadie, Atwood, et al. 2019). Besonders betroffen vom klimawandelbedingten Temperaturanstieg ist die Arktis, wo als Folge der Erwärmung durch einen Rückgang der Ausdehnung des Meereises vermehrt eisfreie Gewässer auftreten. Dies löst ein verfrühtes jährliches Auftreten von Phytoplankton aus und beeinflusst den Lebensraum arktischer Arten (IPCC 2019).

Der prognostizierte Anstieg der globalen Meerestemperatur wird sich größtenteils negativ auf marine Ökosysteme, welche zur Kohlenstoffspeicherung beitragen, auswirken. Zum Beispiel wird die Makroalgenart Kelp, welche in Australien 30 % des gesamten Blue-Carbon-Speichers ausmacht (Filbee-Dexter und Wernberg 2020), in kommenden Jahrzehnten auf Grund der erhöhten Meerestemperatur Veränderungen in Bezug auf Struktur und regionale Verteilung erfahren (Smale 2020). Regionen, die verstärkt von der Meereserwärmung betroffen sind (z.B. Polarregionen) und folglich eine Veränderungen ihrer physikalischen, chemischen oder biologischen Eigenschaften erfahren, sind besonders anfällig für einen klimabedingten Verlust von z.B. Makroalgen (Smale 2020). Obgleich es bereits Belege für derartige negative Auswirkungen von Ozeanerwärmung auf marine Küstenökosysteme mit Potential zu CO₂-Sequestrierung gibt, besteht auch die Möglichkeit, dass bestimmte Meeresökosysteme bei erhöhten

Meerestemperaturen expandieren. Hier muss jedoch beachtet werden, dass dies auch mit einem Anstieg von toxischen Algenarten („harmful algae bloom“) einhergehen kann (Gobler et al. 2017).

2.2 Versauerung des Ozeans

Die tatsächliche Erderwärmung wird durch die marine Aufnahme von CO₂ aus der Atmosphäre abgepuffert, wobei die Lösung von CO₂ im Meerwasser zur Bildung von Kohlensäure führt und dadurch den durchschnittlichen pH-Wert des Meerwassers senkt („Ozeanversauerung“) (Caldeira und Wickett 2003). Mit zunehmendem CO₂-Gehalt in der Atmosphäre nimmt auch der Ozean mehr CO₂ auf. Die IPCC Klimamodellprojektion für eine Zukunft mit hohen Treibhausgasemissionen und ausbleibenden Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels (IPCC Szenario RCP8.5) projiziert eine Verringerung des pH-Wertes der offenen Meeresoberfläche um mindestens 0,3 pH-Einheit bis 2100 (IPCC 2019). Makroalgen können die projizierte Versauerung des Meerwassers weitestgehend tolerieren (Porzio et al. 2011), und es wurde nachgewiesen, dass die Versauerung des Ozeans bei Seegraswiesen und manchen Algenarten die Photosynthese fördert, was sich positiv auf diese Arten auswirken kann (Koch et al. 2013).

Bei kalkbildenden Organismen, wie z.B. Korallen und Muscheln, wirkt sich die Versauerung des Ozeans jedoch besonders negativ aus (Orr et al. 2005; IPCC 2019). Die Folgen der Versauerung sind bereits in tropischen, subtropischen und gemäßigten Küstensystemen nachgewiesen worden und zeichnen sich vor allem durch das dominante Auftreten von Makroalgen und durch Habitat- und Biodiversitätsverluste aus (Hall-Spencer und Harvey 2019). Die Versauerung der Ozeane verringert außerdem die Resilienz von küstennahen Ökosystemen, so auch von Blue-Carbon-Ökosystemen, gegenüber einer Reihe anderer Belastungen, die mit dem Klimawandel in Verbindung stehen: Erwärmung, Anstieg des Meeresspiegels oder verstärkte Stürme (IPCC 2019). Die dadurch erhöhte Vulnerabilität der Ökosysteme kann weitere Veränderungen und sogar Umstrukturierungen des marinen Regimes und den Verlust kritischer Ökosystemfunktionen und -leistungen mit sich bringen (Hall-Spencer und Harvey 2019).

2.3 Meeresspiegelanstieg

Die Hauptursache für den Anstieg des Meeresspiegels ist das durch die globale Erwärmung bedingte Abschmelzen von Gletschern und Eisschilden, sowie die Ausdehnung des Meerwassers durch thermische Erwärmung (IPCC 2019). Es wird prognostiziert, dass der Meeresspiegel zwischen 2081 und 2100 – je nach IPCC Szenario – zwischen zu 0,43 m (RCP2.6) und 0,84 m (RCP8.5) gegenüber dem globalen mittleren Meeresspiegelanstiegs zwischen 1986-2005 ansteigen könnte, wobei sich der Anstieg im Laufe der Zeit (mit regionalen Unterschieden) wahrscheinlich weiterhin beschleunigt (IPCC 2019). Zu den Folgen des Meeresspiegelanstiegs für marine Ökosysteme gehören eine Verengung von Lebensräumen, die geographische Verschiebung dazugehöriger Arten und der Verlust von Artenvielfalt und Funktionalität der Ökosysteme (IPCC 2019). Küstenökosysteme sind besonders durch den Anstieg des Meeresspiegels belastet, und der Einfluss von nicht-klimatisch bedingten Belastungen wie die Küstenbebauung erhöht diesen Druck (IPCC 2019). Überschwemmungen von Küstenökosystemen auf Grund von Meeresspiegelanstieg können auch eine landwärtige Verlagerung der Vegetation bewirken. Diese geographische Verschiebung wird z.B. bei Mangrovenwäldern vor menschengemachten Hindernissen eingeschränkt, was zu einem sogenannten „Coastal Squeeze“ führen kann und die Folgen für solche Ökosysteme verschärft (IPCC 2019; Lovelock und Reef 2020). Dabei besitzen Küstenökosysteme und vor allem Blue-Carbon-Ökosysteme eine hohe natürliche Anpassungsfähigkeit in Bezug auf klimabedingte Belastungen, die vor Überschwemmungsereignissen und Habitats-Verlusten durch den Meeresspiegelanstieg schützt (IPCC 2019).

Doch der Verlust und die Fragmentierung dieser Ökosysteme durch anthropogene Aktivitäten (z.B. Küstenbebauung, siehe Annex A: Blue-Carbon-Dossiers) führt zur Degradierung des natürlichen Schutzes von z.B. Mangrovenwäldern und Salzwiesen in Bezug auf solche Belastungen (IPCC 2019). Das Ausmaß der Folgen des Meeresspiegelanstiegs auf Blue-Carbon-Ökosysteme hängt davon ab, wie das jeweilige Ökosystem im Meer situiert ist (Lovelock und Reef 2020). Die Kohlenstoffspeicherung in marinen Sedimenten kann unter Anstieg des Meeresspiegels sogar an Zuwachs gewinnen, da mehr Fläche überspült wird und für die Sedimentierung zur Verfügung steht (Watanabe et al. 2019). Salzwiesen sind trotz ihrer adaptiven Fähigkeiten besonders durch den Meeresspiegelanstieg gefährdet, da oftmals Küstenbebauung ihr natürliches Migrationspotential eindämmt (Kirwan et al. 2016).

2.4 Stürme und Sturmfluten

Der Klimawandel begünstigt das Entstehen von Wirbelstürmen und verstärkt insbesondere das Auftreten von tropischen Zyklonen. Starke Wirbelstürme können im küstennahen Bereich Sturmfluten generieren und damit drastische Folgen für die nahegelegene Küstenlandschaft haben (Wong et al. 2014). Für ein Klimaszenario mit einem möglichen Temperaturanstieg von 2°C werden ein vermehrtes Auftreten von tropischen Zyklonen, vor allem solcher der Stufe 4 und 5, sowie damit einhergehende erhöhte durchschnittliche Niederschlagsraten für wahrscheinlich gehalten (Collins et al. 2019). Die Zunahme an Vorkommen und Intensität von tropischen Wirbelstürmen auf Grund des globalen Temperaturanstiegs wird die Küsten global erheblich beeinträchtigen und somit potentiell auch die dort vorkommenden Blue-Carbon-Ökosysteme und deren Potential zur langfristigen CO₂-Speicherung. Das verstärkte Auftreten von extremen Sturmereignissen kann negative Auswirkungen auf Küstenvegetation haben und zu Erosion führen, wobei Blue-Carbon-Bestände in diesen Regionen sogar verloren gehen können (Leonardi et al. 2016). Vor allem Seegraswiesen werden als hoch vulnerabel in Hinsicht auf Sturmereignisse eingestuft, welches sich bei vermehrten Extremereignissen auf die Bestände auswirken kann (Waycott et al., 2011). Die Vulnerabilität von Blue-Carbon-Ökosystemen in Hinblick auf Sturmfluten ist regional jedoch unterschiedlich ausgeprägt. In den Subtropen gelegene Mangrovenwälder sind Stürmen z.B. weit häufiger ausgesetzt als Mangrovenwälder in Äquatorialregionen. Das muss in Bezug auf eine gewünschte langfristige Festlegung von CO₂ in diesen Ökosystemen berücksichtigt werden (Sippo et al. 2018). Welchen Effekt intensive Stürme auf das in Sedimenten von Blue-Carbon-Ökosystemen gespeicherte CO₂ haben ist noch unzureichend erforscht, so dass hierzu keine verlässlichen Aussagen getroffen werden können (Lovelock und Reef 2020).

2.5 Sauerstoffverlust

Der mittlere Verlust von Sauerstoff im Ozean seit 1950 wird auf 1-2 % geschätzt, welches zu einer Ausweitung der Volumina von „Sauerstoffminimumzonen“ führen kann (Schmidtke et al. 2017; IPCC 2019). Dem anhaltenden Verlust von Sauerstoff im Ozean liegen eine zunehmende Wasserschichtung sowie eine veränderte Belüftung und Biogeochemie zugrunde (IPCC 2019). Verursacht werden diese Veränderungen durch die Erwärmung des Ozeans sowie durch anthropogen bedingte Belastungen der Meere. Hier sind insbesondere der Eintrag von Nährstoffen aus der Landwirtschaft über Flüsse und Grundwasser zu nennen sowie Stickstoffeinträge im Zusammenhang mit der Verbrennung fossiler Brennstoffe, welche zur Eutrophierung speziell von Küstenregionen beitragen (Laffoley und Baxter 2019). Gewässer mit einer erhöhten Temperatur oder eutrophierte Gewässer haben einen erhöhten Bedarf an Sauerstoff. Die obere Wasserschicht wird von der unteren getrennt und die Zirkulation zwischen beiden ist eingeschränkt. In Bereichen, wo der Sauerstoff bereits niedrig ist, können Grenzwerte schnell unterschritten und signifikante biologische und biochemische Abläufe weitreichend eingeschränkt werden. Anhand des IPCC-Szenarios RCP8.5 wurde für den Zeitraum 2081-2100 (gegenüber 2006-2015) ein Sauerstoffverlust im Ozean um 3-4 % vorhergesagt (IPCC 2019).

Der Sauerstoffentzug führt außerdem zu Veränderungen im Nährstoffkreislauf, in der Artenverteilung, bei Ökosystemleistungen und in der Habitat-Verfügbarkeit. In Küstengebieten führt der Sauerstoffentzug zusammen mit dem Anstieg der Meerestemperatur und Eutrophierung zum erhöhten Vorkommen von toxischen Algenarten („harmful algae bloom“), welches sich negativ auf die Nahrungsmittelversorgung, die menschliche Gesundheit und auf wirtschaftliche Zweige (z.B. Tourismus) in diesen Regionen auswirken kann (IPCC 2019). Blue-Carbon-Ökosysteme wie Seegraswiesen und Mangrovenwälder sind besonders vulnerabel in Hinsicht auf Sauerstoffentzug, was angesichts der zu erwartenden zukünftigen Veränderungen eine Artenverschiebung hin zu stresstoleranteren Arten mit einer geringeren Lebensraumkomplexität zur Folge haben könnte (Laffoley und Baxter 2019). Manche Mangroven- und Seegrasarten können anderen Arten Schutz bieten, da sie den Fluss des sauerstoffarmen Wassers mit beeinflussen und blockieren können (Laffoley und Baxter 2019).

3 Blue Carbon

Der Ozean absorbiert 20-35 % der anthropogenen CO₂-Emissionen, was ihn global zur signifikantesten CO₂-Senke macht (Howard, Sutton-Grier, et al. 2017). **Blue Carbon** ist ein Sammelbegriff für CO₂, welches in biotischen (z.B. Seegraswiesen, Algen) oder abiotischen (z.B. Sedimente) Komponenten eines marinen oder küstennahen Ökosystems gebunden wird und, wenn ungestört, auf langfristig (fix) gespeichert wird. Die Ausweitung und der Schutz solcher „Blue-Carbon-Ökosysteme“ kann als unterstützende Maßnahme zur Realisierung nationaler und globaler Klimaschutzziele eingesetzt werden. Da diese Ökosysteme vor allem auch auf Grund ihrer vielen Co-Benefits für den Meeres- und Biodiversitätsschutz (siehe Kapitel 4 Klimaschutz durch Meeresnatur) als naturbasierte Lösungen zur Erhöhung der Resilienz der Meere in Hinsicht auf die Folgen des Klimawandels (siehe Kapitel 2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Meeresnatur) eingesetzt werden können, lassen sich so zugleich Ziele der Klimaanpassung, des Biodiversitätsschutzes und der nachhaltigen Entwicklung verfolgen. Im folgenden Kapitel wird erläutert, wie Kohlenstoff in Blue-Carbon-Ökosystemen gebunden wird und wie dieses Speicherungspotential gemessen werden kann. Es werden fünf Blue-Carbon-Ökosysteme vorgestellt, einschließlich ihrer Funktion als Kohlenstoffsенke und weiterer klimarelevanter Co-Benefits. Die Übersicht umfasst die Küstenökosysteme Mangrovenwälder, Seegraswiesen und Salzwiesen, sowie Makroalgen und marine Sedimente. Diese fünf Blue-Carbon-Ökosysteme werden derzeit am umfangreichsten erforscht und in klimapolitische Prozesse eingebunden (siehe Kapitel 5 Praktische Umsetzung). Weitere Blue-Carbon-Ökosysteme wie Schlickwatt, Muschelbänke oder Kalkalgenbänke wurden nicht gesondert betrachtet, und auch die Kohlenstoffspeicherung durch Verwesungsprozesse mariner Säugertiere kann in dieser Studie nicht behandelt werden, auch wenn es Belege für deren Relevanz gibt. Für eine erweiterte Darstellung ist für jedes der in dieser Studie behandelten Blue-Carbon-Ökosystem ein Dossier beigefügt (siehe Annex A: Blue-Carbon-Dossiers).

3.1 Wie wird CO₂ in Blue-Carbon-Ökosystemen gespeichert?

Blue-Carbon-Ökosysteme stellen die Verbindung zwischen terrestrischen und marinen Komponenten des Kohlenstoffkreislaufs dar. Im Falle von küstennahen Ökosystemen wie Mangrovenwäldern, Salzwiesen und Seegraswiesen wird atmosphärisches CO₂ an der Oberfläche durch den Prozess der Photosynthese gebunden und in ihren Wurzeln oder den darunter liegenden marinen Sedimenten gespeichert.

Das CO₂-Reservoir in marinen Sedimenten, vor allem auch über den küstennahen Bereich hinaus, wird hinzu durch weitere Prozesse geprägt. Zum Beispiel binden Phytoplankton an der Meeresoberfläche anorganischen Kohlenstoff und wandeln ihn in gelösten organischen Kohlenstoff um. Ein Teil dieses kurzzeitig gebundenen CO₂ entweicht aus den Oberflächengewässern und gelangt über die sogenannte "biological Pump" in die Tiefsee und die darunter liegenden Sedimente, wo es langfristig gespeichert wird. Darüber hinaus können kohlenstoffhaltige aquatische Pflanzen von verschiedenen marinen Arten als Nahrungsmittel aufgenommen werden, welche später das aufgenommene CO₂ veratmen. Der Kohlenstoff wird nach Verrottung der Tiere und Pflanzen zum größten Teil remineralisiert und in anorganischen Kohlenstoff umgewandelt. Ein kleiner Teil dieses CO₂ wird in die darunter liegenden Böden und Sedimente verlagert, wo er potenziell auf unbestimmte Zeit gespeichert werden kann (Avelar et al. 2017). Darüber hinaus wird terrestrisches CO₂ als Teil des globalen Kohlenstoffkreislaufes über weitere komplexe fluviale und atmosphärische Prozesse in marinen Sedimenten gebunden.

3.2 Wie kann man das Potential zur CO₂-Sequestrierung in Blue-Carbon-Ökosystemen messen?

Die Messung und Quantifizierung des Kohlenstoffbestandes in Blue-Carbon-Ökosystemen ist von großer Bedeutung, um die Signifikanz und Rolle dieser Ökosysteme für den Klimaschutz zu erörtern und um finanzielle, politische und regulatorische Weichen zu stellen. Die Blue Carbon Initiative hat zu diesem Zweck ein Handbuch („Blue Carbon Manual“) herausgegeben (Howard et al. 2014), welches eine Anleitung für die Messung von CO₂-Werten in Blue-Carbon-Ökosystemen (insb. Mangroven, Seegraswiesen und Salzwiesen) beinhaltet. Demnach soll für jedes Blue-Carbon-Projekt ein CO₂-Inventar erstellt werden, welches sich an den Methoden und internationalen Standards des *IPCC 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands* (IPCC 2014) orientiert.

Um die Kohlenstoffvorräte in marinen Sedimenten zu erfassen, wird eine Sedimentprobe des Blue-Carbon-Ökosystems auf Tiefe, Trockenrohddichte^a und organischen Kohlenstoffgehalt des Bodens untersucht. Für das im pflanzlichen Teil des Ökosystems gespeicherten CO₂ wird (vereinfacht erklärt) die Biomasse des Vegetationstyps (z.B. Holz, Wurzeln, Gräser) mit dem entsprechenden Kohlenstoff-Umrechnungsfaktor multipliziert. Dieser Umrechnungsfaktor entspricht dem durchschnittlichen Anteil von CO₂ im Ökosystem und ist abhängig von der Art (z.B. Mangrove) und Lage (z.B. oberirdisch). Da allein die Größe von Blue-Carbon-Ökosystemen systematische Feldstudien in vielen Fällen nicht zulassen, wird Fernerkundung als Messmethode herangezogen. Mit Hilfe von Fernerkundungsdaten lassen sich die Ausdehnung des Ökosystems kartieren und die Biomasse des Ökosystems berechnen, worüber dann der überirdische Kohlenstoffgehalt quantifiziert werden kann. Diese Methode wird vor allem bei Mangrovenwäldern angewandt, da Salzwiesen zum Beispiel zu tief Unterwasser gelegen sind, um deren Höhe und Biomasse anhand von Fernerkundungsdaten berechnen zu können. Howard et al. (2014) empfehlen, dass Fernerkundungsdaten mit Feldstudien unter Einbeziehung der lokalen Bevölkerung ergänzt und validiert werden, um den Kohlenstoffbestand eines Blue-Carbon-Ökosystems oder -Projekts robust zu berechnen.

3.3 Blue-Carbon-Ökosysteme

Tabelle 1: CO₂-Sequestrierungspotential, regionale Verteilung und Ausdehnung von verschiedenen Blue-Carbon-Ökosystemen

	CO ₂ -Sequestrierungspotential ^b	Regionale Verteilung	Fläche (Global)
Mangroven	168 ± 36 g C m ⁻² a ⁻¹	Tropen, Subtropen	150.000 km ²
Seegraswiesen	138 ± 38 g C m ⁻² a ⁻¹	Boreale, tropische und gemäßigte Gewässer	Zwischen 177.000 km ² und 600.000 km ²
Salzwiesen	218 ± 24 g C m ⁻² a ⁻¹	Gemäßigte und subarktische Regionen	50.000 km ²
Makroalgen	≥3.000 g C m ⁻² a ⁻¹		3,4 Millionen km ²
Marine Sedimente			Bedecken 70 % des gesamten Meeresbodens

3.3.1 Mangrovenwälder

Mangrovenwälder gelten als wichtiges Bindeglied zwischen den terrestrischen und marinen Kohlenstoffkreisläufen und sind eines der kohlenstoffreichsten Ökosysteme weltweit (Donato et al. 2011; Simard et al. 2019). Sie gedeihen in Gewässern oder Böden mit hohem Salzgehalt und kommen ausschließlich in den Gezeitenzonen der Küste vor. Mangrovenwälder treten regional vor allem in den Tropen und Subtropen auf, wobei es einige Vorkommen auch in der gemäßigten Klimazone gibt. Die höchste Arten-Diversität und Mangroven-Bedeckung sind in Südostasien zu finden, wobei bereits über 40 % aller Mangrovenwälder in den folgenden vier Ländern vorkommen: Indonesien (19 %), Brasilien (9 %), Nigeria (7 %) und Mexiko (6 %) (FAO 2020). In den letzten 20 Jahren ist die weltweite Fläche von Mangroven um 1,04 Millionen Hektar geschrumpft, während sich die Verlustrate von Mangroven in den letzten drei Jahrzehnten halbiert hat (FAO 2020).

Mangrovenwälder haben ein hohes Potential für die Sequestrierung von CO₂ und gelten von allen küstennahen Blue-Carbon-Ökosystemen als am produktivsten bezüglich der Kohlenstoffspeicherung; sie weisen eine bis zu fünffach höhere Bruttoprimärproduktion auf als andere Ökosysteme. Mangroven und deren Sedimente beinhalten bis zu 15 % des gesamten globalen gespeicherten organischen Kohlenstoffs (Pérez et al. 2018). Um das Potential der Kohlenstoffspeicherung durch Mangroven weltweit maximal auszuschöpfen, wird es jedoch Jahre bis Jahrzehnte dauern. Dies liegt zum einen daran, dass der Schutz von Mangroven-Ökosystemen über mehrere Dekaden

^a Die Trockenrohddichte (ρ_d), ergibt sich aus der Masse (m_d) der trockenen Probe, bezogen auf ihr Volumen (V). Die Trockenrohddichte hat die Einheit g/cm³.

^b Einheit: sequestrierte Gramm Kohlenstoff pro Quadratmeter und Jahr

erfolgen muss, um effektiv zu sein. Auch die erfolgreiche Wiederherstellung erfordert ein langfristiges Engagement. Dafür kann der Kohlenstoff, wenn Mangroven wiederhergestellt sind und langfristig geschützt werden, unbefristet in dem Ökosystem gebunden werden (Gattuso et al. 2021). Wenn sich die aktuellen Trends der Abholzung und Zerstörung von Mangroven jedoch fortsetzen, könnte ein Großteil des in Mangroven gespeicherten Kohlenstoffs wieder freigesetzt und die Akkumulationsfunktion verloren gehen.

Über die bedeutende Funktion zur CO₂-Sequestrierung hinaus weisen Mangroven eine Vielzahl an weiteren ökologischen Funktionen bzw. Ökosystemleistungen auf und versorgen damit die lokale Bevölkerung mit verschiedenen wirtschaftlich wertvollen Produkten und Dienstleistungen. Beispielsweise nutzen zahlreiche Fischarten und Schalentiere Mangrovenwälder als Habitat und können somit Fischereibestände stärken (Aburto-Oropeza et al. 2008; Castagno 2018). Da Mangrovenwälder die Wellenenergie abschwächen und die Höhe von ankommenden Wellen um 80 % reduzieren können (Brinkman 2006; Hochard et al. 2019), liefert dieses Blue-Carbon-Ökosystem gleichzeitig Schutz vor Überschwemmungen und Sturmfluten, was vor allem in Hinblick auf die in Folge des Klimawandels erwarteten Veränderungen in Bezug auf Meeresspiegelanstieg und Extremereignisse von Bedeutung ist (siehe Kapitel 2.4 Stürme und Sturmfluten).

3.3.2 Seegraswiesen

Seegräser sind Unterwasserpflanzen mit tiefen Wurzeln, die sich als Wiesen entlang von Küsten verbreiten und, im Gegensatz zu z.B. Makroalgen, einmal im Jahr für kurze Zeit blühen. Es sind mehr als 60 Seegrasarten bekannt, wobei sich über 10 unterschiedliche Arten gleichzeitig in einer Wiese ansetzen können. Regional verteilen sich Seegraswiesen entlang der Küsten aller Kontinente außer der Antarktis und sind somit in borealen, gemäßigten und tropischen Gewässern zu finden (Green und Short 2003; Duarte et al. 2010). Trotz ihrer weiten Verbreitung gehören Seegräser mit zu den am stärksten bedrohten Ökosystemen der Welt und weisen einen jährlichen globalen Verlust von etwa 110 km² auf, wobei sich die Verlustrate über die letzten Jahrzehnte beschleunigt hat (Waycott et al. 2009). Zu den größten Bedrohungen für Seegräser gehören die Verschlechterung der Wasserqualität durch Eutrophierung in Folge von Nährstoffeinträgen aus Landnutzung und Aquakultur, thermische Verschmutzung, physische Veränderung oder Schädigung des Lebensraums durch Küsteninfrastrukturentwicklung, invasive Arten, für das Ökosystem schädliche Fischereipraktiken und die Auswirkungen des Klimawandels (Orth et al. 2006). Wenn der Trend anhält, werden in den nächsten 100 Jahren 30-40 % aller Seegraswiesen verloren gehen (IPCC 2019).

Textbox 1: Beschreibung der deutschen Seegraswiesenbestände, deren Potential zur CO₂-Sequestrierung und deren Zustand

Blue-Carbon-Ökosysteme in Deutschland – Seegraswiesen

In der deutschen Nord- und Ostsee kommen die Seegraswiesenarten *Zostera marina* und *Zostera noltei* vor. Seegraswiesen bieten neben ihrem Potential zur CO₂-Sequestrierung ein Habitat für Jungfische und eine Nahrungsquelle für Zugvögel. Seegraswiesen besiedeln in der Ostsee eine Fläche von circa 300 km² und binden somit jedes Jahr zwischen 29 und 56 Kilotonnen CO₂ (SeaStore Projekt 2021). Die Seegraswiesen der deutschen Ostsee sind durch Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft bedroht und werden von der Helsinki Konvention (HELCOM) als stark gefährdet eingestuft. In der niedersächsischen Nordsee beschränkt sich der Seegraswiesenbestand auf weniger als 10 km² (Stand: 2019). Damit ist die Fläche des Ökosystems in der Nordsee im Vergleich zum Stand 2013 (29 km²) stark gesunken (NLWKN 2021). Hauptursache sind Nährstoffeinträge durch Landwirtschaft. Die Überdüngung von Gewässern führt zu vermehrtem Algenwachstum und Überwucherung der Seegraswiesen. Das Potential zur Erweiterung des Ökosystems durch Naturschutzmaßnahmen ist somit hoch. Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierte und vom GEOMAR entwickelte Projekt „SeaStore“ (siehe Annex B: Blue-Carbon-Projekte) schätzt das Seegraswiesen-Besiedlungspotential allein vor der Küste Schleswig-Holsteins auf 450 km². Die Kartierung von Seegraswiesen in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) wird vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) als lückenhaft eingestuft und derzeit über mehrere Forschungsprojekte- und Vorhaben aufgeholt. Zum Beispiel vermisst das von der Universität Kiel koordinierte europäische Verbundprojekt „BONUS ECOMAP“ den Meeresboden der Ostsee. Das vom BMBF finanzierte und vom Helmholtz-Zentrum Hereon (vormals Helmholtz-Zentrum Geesthacht, HZG) geleitete Projekt „CARBOSTORE“ prüft die Kohlenstoffspeicher in Nord- und Ostsee auf Stabilität, Vulnerabilität und Managementperspektiven. Im Rahmen der jüngst gestarteten Forschungsmission „Marine Kohlenstoffspeicher als Weg zur Dekarbonisierung“ der Deutschen Allianz Meeresforschung werden unter anderem neue Ansätze zur Erhöhung des Potentials von Küstenökosystemen zur Kohlenstoffspeicherung untersucht.

Obwohl Seegräser weniger als 0,2 % der Weltmeere ausmachen, binden sie jährlich etwa 10-18 % des gesamten im Ozean sequestrierten CO₂ (Duarte et al. 2005). Pro Hektar können Seegräser bis zu doppelt so viel CO₂ speichern wie terrestrische Wälder (Duarte et al. 2005; Fourqurean et al. 2012). Bei der Wiederherstellung oder dem Erhalt von Seegraswiesen als Blue-Carbon-Speicher sollte bedacht werden, dass die Ausdehnung des Ökosystems hierbei eine wichtige Rolle spielt. Das CO₂-Sequestrierungspotential hängt von der Größe der Seegraswiese ab; größere Seegraswiesen erweisen sich als effektiver bei der Aufnahme und Speicherung von organischem Kohlenstoff (Miyajima et al. 2017).

Seegraswiesen bieten, ähnlich wie Mangrovenwälder, auf Grund ihrer strukturellen Komplexität verschiedenen Arten Schutz und Lebensraum (Beck et al. 2001). Dies gilt auch für einige Fischarten von hohem wirtschaftlichem Wert, so dass Seegraswiesen für die Subsistenzfischerei eine wichtige Rolle spielen können (Schlagwort: Spill-Over-Effekt). Zusätzlich können Seegraswiesen die Widerstandsfähigkeit von kalkbildenden Organismen (z.B. Korallen) erhöhen und somit vor Ozeanversauerung (siehe Kapitel 2.2 Versauerung des Ozeans) resilienter machen. Seegräser werden außerdem von der lokalen Bevölkerung für die Herstellung von Medikamenten oder als Dünger genutzt, was bei der Verwendung von Seegraswiesen für die langfristige CO₂-Sequestrierung allerdings eingestellt werden müsste.

3.3.3 Salzwiesen

Salzwiesen sind dynamische Systeme, die normalerweise in weitestgehend geschützten Umgebungen vorkommen (Best et al. 2007). Die Entwicklung der Salzwiesenvegetation hängt vom Vorhandensein von Schlickflächen ab (Boorman 2003). Salzwiesen kommen vor allem in gemäßigten und subarktischen Regionen vor, obwohl sich auch in den Tropen und Subtropen Salzwiesen ausbreiten können und mit Mangrovenwäldern den Lebensraum teilen können (Friess et al. 2020). Ihre globale Fläche erstreckt sich nach konservativen Schätzungen auf etwa 50.000 km² (Ouyang und Lee 2014; McOwen et al. 2017), was etwa der Hälfte ihrer historischen Ausdehnung entspricht. Der in den letzten Jahrhunderten erfolgte Rückgang ist fast ausschließlich auf menschliches Handeln zurückzuführen (Giuliani und Bellucci 2018). Vor allem Landnutzungsänderungen in Küstengebieten und die Folgen des Klimawandels haben Salzwiesenhabitats in der Vergangenheit negativ beeinflusst (Giuliani und Bellucci 2018).

Salzwiesen speichern Kohlenstoff zum Größten Teil unter der Oberfläche, in der lebendigen unterirdischen Biomasse und den darunter liegenden Sedimenten. Abgestorbene oberirdische Biomasse wird in der Regel mit den Gezeiten abtransportiert und wird daher nicht in das CO₂-Sequestrierungspotential gerechnet.

Wie auch Mangroven und Seegraswiesen können Salzwiesen Wellen in Küstenregionen dämpfen und somit vor Erosion, Sturmfluten und Überschwemmungen schützen (Shepard et al. 2011; Giuliani und Bellucci 2018). Salzwiesen können außerdem toxische Substanzen, z.B. Schwermetalle, aus dem Meerwasser filtern und auch Stickstoff und Phosphor in ihre Biomasse einbinden, was zur Reduktion von Eutrophierung führen kann (Sousa et al. 2010; Marques, Lillebo, et al. 2011). Salzwiesen als Habitat bieten einen wichtigen Lebensraum, u.a. für Zugvögel und spezielle an den Salzgehalt angepasste Pflanzen und Tierarten. Sie sind für die lokale Bevölkerung in weiterer Hinsicht von wirtschaftlichem Nutzen, u.a. für Tourismus, als Tierfutter- oder Brennstofflieferant und sogar für die Versorgung mit medizinischen Heilmitteln (Friess et al. 2020). Diese Ökosystemleistungen müssen als Trade-Off bei dem Schutz von Salzwiesen als CO₂-Senke mitberücksichtigt werden.

3.3.4 Makroalgen

Makroalgen sind Unterwasserpflanzen, die zwar Photosynthese betreiben, im Gegensatz zu anderen Blue-Carbon-Ökosystemen wie Seegraswiesen oder Mangroven jedoch keine Wurzeln, Blattriobe oder Blüten haben. Makroalgen ziehen Nährstoffe über ihr Gewebe direkt aus dem umgebenen Meerwasser, wobei ihre Haftfasern nur zur physischen Verankerung am Meeresboden dienen. Hochwachsende Makroalgen bilden mit einer Fläche von 3,4 Millionen km² global gesehen die ausgedehntesten und produktivsten vegetativen Küstenhabitats der Meere. Doch diese Makroalgen, die dicht an den Uferzonen als Unterwasserwald wachsen (z.B. Kelpwald), sind auch besonders anfällig für die Folgen anthropogener Eingriffe in die Meeresumwelt wie Küstenbebauung, Verschlechterung der Wasserqualität, invasive Arten, und Fischfang sowie Meereserwärmung in Folge des Klimawandels (Filbee-Dexter und Wernberg 2018).

Es gibt in der Fachliteratur unterschiedliche Ansichten darüber, ob Makroalgen die Kriterien erfüllen um als Blue-Carbon-Ökosystem berücksichtigt zu werden, da sie organischen Kohlenstoff nicht über Wurzeln in unterliegenden Sedimenten speichern (Howard, Sutton-Grier, et al. 2017; Smale et al. 2018). Während die meisten Makroalgen an felsigen Küsten wachsen, wo kein direkter Sedimentaufwuchs stattfindet, wird ein signifikanter Anteil des

durch Makroalgen produzierten organischen Kohlenstoffs mit Meeresströmungen in Schelfsedimente und die Tiefsee transportiert (Duarte und Cebrián 1996; Barrón und Duarte 2015), wo der Kohlenstoff über signifikante Zeitskalen gespeichert werden kann (Krause-Jensen und Duarte 2016). Daher tragen Makroalgen zwar zur Kohlenstoffsequestrierung bei, aber dies geschieht größtenteils in Ablagerungsgebieten außerhalb ihrer Habitate (Hill et al. 2015; Krause-Jensen und Duarte 2016).

Duarte et al. (2017) schlagen vor, Blue-Carbon-Strategien auf Makroalgen zu erweitern und den wirtschaftlichen Nutzen dieser hervorzuheben bzw. auszubauen. Die Restbestände der Algenproduktion, sei es aus Aquakultur oder aus der Ernte von Wildbeständen, könnten genutzt werden, um globale CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen zu reduzieren. Dies kann z. B. durch die Verwendung von Algenbiomasse als Biokraftstoff erreicht werden (z.B. Kraan 2013; Chen et al. 2015) oder durch das Ersetzen von Nahrungs- oder Futtermittelproduktionssystemen mit hohem CO₂-Emissions-Fußabdruck durch auf Algen basierende Systeme, die viel geringere Lebenszyklus-CO₂-Emissionen haben (Duarte et al. 2009). In Korea wurde z.B. schon ein algenbasiertes Blue-Carbon-Programm entwickelt, siehe Kapitel 5.1 Wiederherstellung und Erhalt von Blue-Carbon-Ökosystemen (Chung et al. 2013; Sondak und Chung 2015).

3.3.5 Marine Sedimente

Marine Sedimente bedecken einen Großteil (~70 %) des Meeresbodens und bilden somit das größte einzelne Ökosystem der Erde. Marine Sedimente können durch Flüsse, Gletscher oder Wind vom Festland in das Meer getragen werden (bestehend z.B. aus Sand oder Ton) oder durch den Prozess der Ausfällung aus dem Meereswasser entstehen (z.B. Karbonatschlämme oder Riffkalke). Sedimentäre Lebensräume reichen von gezeitenabhängigen Küstengebieten bis hin zu den Tiefen des offenen Ozeans, in die kein Licht eindringt, die Umweltfaktoren nur wenig variieren und der Druck das Hundertfache des Meeresspiegels beträgt (Snelgrove 2013). Marine Sedimente schichten sich an Kontinentalgrenzen am höchsten, mit Ablagerungen von bis zu 10 km Mächtigkeit. In der Nähe Mittelozeanischer Rücken, wo sich kontinuierlich neue ozeanische Kruste bildet, sind die Sedimente weniger mächtig (Webb 2019). Die Ablagerungsrate von marinen Sedimenten ist sehr niedrig und beträgt durchschnittlich zwischen 0,0001 und 2,5 cm pro Jahr.

Kohlenstoff wird zum einen über Blue-Carbon-Ökosysteme (Mangroven, Seegraswiesen, Salzwiesen) in marinen Sedimenten im Küstenbereich eingelagert. Das Speichern des Kohlenstoffs über die Pflanzenwurzeln in Sedimente ermöglicht eine stetige Kohlenstoffakkumulation, selbst wenn das Ökosystem sein Reifestadium erreicht hat. Darüber hinaus sind auch marine Sedimente im offenen Ozean als CO₂-Senke von großer Bedeutung, da marine Sedimente, obwohl sie insgesamt deutlich weniger CO₂ als küstennahe Sedimente speichern, hier meist ungestört von anthropogenen Einflüssen bleiben und somit organischen Kohlenstoff über mehrere Millionen Jahre speichern können (Estes et al. 2019). Organische Substanzen aus dem oberen Teil des Ozeans, die durch Photosynthese entstehen, sinken in die Tiefsee hinab und transportieren dabei Kohlenstoff aus der Atmosphäre mit sich. Diese Substanzen werden in marinen Sedimenten eingelagert, so dass der organische Kohlenstoff auf diesem Wege über Jahrtausende hinweg gebunden wird (Lampitt et al. 2008). Schätzungen nach speichern Tiefseesedimente weltweit jährlich bis zu 300 Tg C[°] (Burdige 2007) und spielen somit eine wichtige Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf (Jahnke 1996).

Durch Störungen wie Grundschieppnetzfisherei können Meeressedimente aufgemischt und resuspendiert werden. Dadurch werden die Sedimente mit gelöstem Sauerstoff in Verbindung gebracht und einem heterotrophen Stoffwechsel ausgesetzt werden, wodurch der gespeicherte Kohlenstoff zu CO₂ remineralisiert werden kann (Bianchi et al. 2016). Der Klimawandel, die Erschließung von Küstengebieten und der technologische Fortschritt, der die Fischerei (z. B. Tiefsee-Grundschieppnetzfisherei), den Meeresbergbau sowie die Öl- und Gasexploration und -bohrungen im Ozean ausgeweitet hat (Davies et al. 2007; Cordes et al. 2016), stellen eine potenzielle Bedrohung für die in marinen Sedimenten eingelagerten Kohlenstoffbestände dar. Der Schutz von wichtigen Kohlenstoffbeständen sollte daher bei der Entwicklung von marinen Raumnutzungs- und Managementplänen, einschließlich Meeresschutzgebieten, berücksichtigt werden (Howard, McLeod, et al. 2017; Roberts et al. 2017).

[°] Einheit: Terragramm Kohlenstoff

4 Klimaschutz durch Meeresnatur

Die langfristige Sequestrierung von atmosphärischem CO₂ durch Blue-Carbon-Ökosysteme (beschrieben in Kapitel 3 Blue Carbon) fördert die Erreichung der Ziele des Pariser Abkommens unter IPCC-Szenarien, welche eine zukünftige globale Dekarbonisierung von Elektrizität und weiteren Energieträgern voraussetzen (Rogelj et al. 2018; Hoegh-Guldberg et al. 2019). Das über Blue-Carbon-Ökosysteme sequestrierte CO₂ zählt als Teil der globalen Kohlenstoffsенke als „negative Emissionen“. So erreichte negative Emissionen sollten jedoch nicht zur Umgehung von ohnehin notwendigen politischen und wirtschaftlichen Schritten in Richtung einer CO₂-neutralen Zukunft dienen. Die Wiederherstellung und Rehabilitation von Blue-Carbon-Ökosystemen zur Erhöhung der natürlichen Kohlenstoffsенke des Planeten sollte parallel zu einer signifikanten globalen Emissionsreduktion durchgeführt werden.

Auf globaler Ebene können derzeit allein die küstennahen Blue-Carbon-Ökosysteme Mangroven, Seegraswiesen und Salzwiesen jedes Jahr über 80 Millionen Tonnen Kohlenstoff sequestrieren (Bertram et al. 2021). Dieses Potential zur Speicherung und Bindung von Kohlenstoff sollte daher in nationalen und globalen Strategien zum Klimaschutz berücksichtigt werden. Jedoch sollten bei der Einbeziehung von Blue Carbon in klimapolitische Ansätze folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Der in den Sedimenten von Blue-Carbon-Ökosystemen gespeicherte Kohlenstoff kann nur auf unbestimmte Zeit gebunden werden, **wenn das Ökosystem ungestört bleibt**. Bemühungen zur Wiederherstellung und zum Erhalt von Blue-Carbon-Ökosystemen mit dem Ziel der langfristigen Generierung negativer Emissionen sind folglich zwecklos, wenn bekannten Gefährdungen dieser Ökosysteme nicht begegnet wird. Da küstennahe Blue-Carbon-Ökosysteme zu den marinen Ökosystemen mit den höchsten jährlichen Verlusten durch anthropogene Störungen zählen, muss dieser Aspekt dringend adressiert werden, bevor das durch Blue-Carbon-Ökosysteme sequestrierte CO₂ in globale Kohlenstoffbilanzen aufgenommen wird. Auch die zukünftigen Folgen des Klimawandels auf den Ozean (siehe Kapitel 2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Meeresnatur) dürfen bei der Betrachtung des Potentials von Blue-Carbon-Ökosysteme als globale Kohlenstoffsенke nicht außer Acht gelassen werden. Je höher die Meerestemperatur, der Meeresspiegel und der Versauerungsgrad des Ozeans, desto gefährdeter sind Blue-Carbon-Ökosysteme und desto eher geht der in den Ökosystemen gespeicherte Kohlenstoff verloren und wieder in die Atmosphäre über. Gleichzeitig kann die Resilienz der Meere gegenüber den Folgen des Klimawandels beim Verlust von Blue-Carbon-Ökosystemen geschwächt werden.
- Verschiedene Einschränkungen derzeitiger Methoden zur Datensammlung lassen noch viele **Unsicherheiten in der Berechnung** des regionalen und globalen CO₂-Sequestrierungspotentials von Blue-Carbon-Ökosystemen zu. Die Erstellung genauer Schätzungen der globalen Ausdehnung von Blue-Carbon-Ökosystemen ist daher eine Voraussetzung für die Bewertung ihres Beitrags zum globalen Kohlenstoffkreislauf. Angesichts des vermehrten Rückgangs vieler Blue-Carbon-Ökosysteme müssen diese Schätzungen zudem regelmäßig überprüft werden, um etwaige Veränderungen ihrer globalen Ausdehnung und Bedeutung zu verfolgen. Bis jetzt fehlt eine umfassende Kartierung von Blue-Carbon-Ökosystemen, vor allem eine welche die relative Veränderung der Ökosysteme im Verlaufe der Zeit zuverlässig darstellt (Macreadie, Anton, et al. 2019).
- Auch wenn unter klimapolitischer Ansicht das Ausschöpfen des Sequestrierungspotentials von Blue-Carbon-Ökosystemen auf globaler Ebene als primäre Zielsetzung gilt, sollten **lokale Nutzungseinschränkungen von Ökosystemen als mögliche Trade-Offs** bei der Implementierung von Maßnahmen zum Erhalt und zur Wiederherstellung der Ökosysteme nicht außer Acht gelassen werden. Aufgrund der Notwendigkeit von langfristigem Schutz der Ökosysteme für die erfolgreiche Sequestrierung von CO₂ müssen lokale Stakeholder in

solche Aktivitäten mit eingebunden (mehr dazu in Kapitel 5 Praktische Umsetzung) und eventuell für die ausbleibenden Ökosystemleistungen kompensiert oder angemessen an Co-Benefits beteiligt werden. Ein solcher Ausgleich ist nicht immer möglich, vor allem dann nicht, wenn es sich um soziokulturelle Ökosystemleistungen handelt.

Die Ungewissheit über die langfristige Speicherung von CO₂ durch Blue-Carbon-Ökosysteme auf Grund von abschätzbaren und unvorhersehbaren Risiken erschwert die politische und finanzielle Unterstützung dieser naturbasierten Lösungsansätze für Klimaschutz durch Meeresnatur. Nichtsdestotrotz ist die komplexe Wechselwirkung zwischen Klima und Meer auch ein bedeutendes Argument für das Bestreben nach dem Erhalt und einer weitreichenden Wiederherstellung von Blue-Carbon-Ökosystemen. Über die CO₂-Sequestrierung hinaus wirken Blue-Carbon-Ökosystemleistungen und -funktionen zum Beispiel als Regulierungs- und Schutzmechanismus vor den in Kapitel 2 identifizierten Auswirkungen des Klimawandels auf die Meeresnatur. Folgende weitere klimarelevante Co-Benefits von Blue-Carbon-Ökosystemen können identifiziert werden:

- Mangrovenwälder, Seegraswiesen und Salzwiesen können **zum Küstenschutz beitragen und vor Erosion, Stürmen und Sturmfluten schützen**. Mangrovenwälder können ankommende Wellenhöhen um 80 % reduzieren (Brinkman 2006), und auch Salzwiesen können Wellen dämpfen und somit Küstenregionen vor Erosion, Sturmfluten und Überschwemmungen schützen (Shepard et al. 2011). Die komplexen oberirdischen Wurzelstrukturen vieler Mangrovenarten tragen zur Sedimentbindung bei und reduzieren so das Ausmaß von Küstenerosion (Krauss et al. 2003). Auch Seegraswiesen stabilisieren Sedimente und tragen so zu einem Schutz vor Küstenerosion und Aufwachsen durch Ablagerung bei.
- Alle Blue-Carbon-Ökosysteme tragen durch die Förderung der marinen Kohlenstoffsenske zur Entsäuerung des Ozeans bei. Manche Blue-Carbon-Ökosysteme, wie Seegraswiesen oder Kelpwälder, können auch zur **Bekämpfung der Folgen von Ozeanversauerung** beitragen. Tropische Seegräser haben z.B. das Potenzial, lokale Erhöhungen des pH-Wertes des Meerwassers zu verursachen und somit die Widerstandsfähigkeit von Korallenriffen gegenüber zukünftiger Ozeanversauerung zu erhöhen (Unsworth et al. 2012).
- Tropische Mangrovenwälder und Seegraswiesen sind zwar selbst anfällig für Hypoxie, doch besitzen sie auch die Fähigkeit, Sauerstoffkonzentrationen zu beeinflussen und so die lokalen **Folgen von Sauerstoffverlust im Ozean auf umliegende Ökosysteme zu reduzieren** (Laffoley und Baxter 2019). Manche Mangrovenarten können darüber hinaus weitere Nährstoffe wie Nitrite, Ammoniumstickstoff und reaktiven Phosphor in Küstengewässern reduzieren (Sousa et al. 2010). Salzwiesen sind je nach Art in der Lage, eine Reinigung des Meerwassers von Metallen durchzuführen (Marques, Lillebø, et al. 2011). Die Tiefsee speichert sinkende Abfallprodukte wie organische Schadstoffe, Makro- und Mikroplastik, Abwässer und Öl.

Über ihre klimarelevanten Funktionen hinaus können Blue-Carbon-Ökosysteme auch andere Bereiche der globalen nachhaltigen Entwicklung, zusammengefasst in den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen („Sustainable Development Goals“, SDGs; siehe Abbildung 1), stärken und soziokulturellen Nutzen für die lokale Bevölkerung haben. Folgende Ökosystemleistungen wurden als Co-Benefits von Blue Carbon identifiziert:

- Ungestörte Blue-Carbon-Ökosysteme sind für viele Arten ein schützendes Habitat und tragen somit zum weltweiten **Biodiversitätsschutz** bei. Zum



Abbildung 1: Blue-Carbon-Ökosysteme unterstützen verschiedene Ziele nachhaltiger Entwicklung der Agenda 2030 der Vereinten Nationen. Die Abbildung zeigt eine Auswahl dieser.

Beispiel bieten Seegraswiesen aufgrund ihrer strukturelle Komplexität vulnerablen Fischarten Schutz vor Räubern, weswegen dieses Ökosystem von verschiedenen Spezies als Aufzuchtthabitat genutzt wird (Beck et al. 2001).

- Geschützte Blue-Carbon-Ökosysteme können aufgrund ihres Artenreichtums einen positiven Folgeeffekt auf die **lokale Fischereiwirtschaft** erzielen. In angrenzenden Habitaten ermöglichen Seegraswiesen in der Karibik zum Beispiel eine erhöhte Sammelquote von Königsmuscheln (*Eustrombus gigas*) (Cullen-Unsworth und Unsworth 2013). Die Erhaltung von Seegraswiesen könnte daher neben dem Schutz der marinen Biodiversität auch einen langfristigen Ansatz zur Erhaltung der **Nahrungssicherheit** ermöglichen (Cullen-Unsworth und Unsworth 2013). Auch Makroalgen aus Aquakultur oder aus der Ernte von Wildbeständen können genutzt werden, um Nahrungs- oder Futtermittelproduktionssystemen mit einem hohen CO₂-Emissions-Fußabdruck durch auf Algen basierende Nahrungsmittelsysteme, die viel weniger CO₂ emittieren, umzustellen (Duarte et al. 2009).
- Vor allem Mangrovenwälder bieten je nach lokalen Gebräuchen eine Vielzahl an **soziokulturellen Ökosystemleistungen**. Hierzu zählen zum Beispiel die Nutzung des Ökosystems für naturbasierte Freizeitaktivitäten, welche positive Folgeeffekte auf die Gesundheit der lokalen Bevölkerung erzielt, sowie auch das Ankurbeln von **touristischem Interesse an der Region**, welches sich wiederum positiv auf die lokale Wirtschaft auswirken kann (Uddin et al. 2013; Queiroz et al. 2017).

Die identifizierten Co-Benefits von Blue-Carbon-Ökosystemen können im Falle von wissenschaftlichen Unbekannten, politischen Unsicherheiten oder einer bestehenden Finanzierungslücke bei der Förderung von Blue-Carbon-Projekten unterstützend wirken (siehe Kapitel 5.2.2 [Blue Carbon über die UNFCCC hinaus](#)). Naturbasierte Lösungen wie Blue-Carbon-Ökosysteme können verschiedene politische Ziele gleichzeitig angehen, so zum Beispiel Klimaziele durch CO₂-Sequestrierung, Artenschutz durch Lebensraumgewinnung und regionale Entwicklungsziele durch wirtschaftlichen Aufschwung, Erstellung und Sicherung von Arbeitsplätzen sowie die Stärkung der allgemeinen Gesundheit. So entstehen durch die Wiederherstellung und den Erhalt von Blue-Carbon-Ökosystemen „Win-Win“-Lösungen, die politische Silos überschreiten und vereinen können.

Bei einer gezielten Wiederherstellung von Blue-Carbon-Ökosystemen dürfen jedoch oben genannte Risiken nicht außer Acht gelassen werden. Die bereitstellenden, regulierenden und soziokulturellen Leistungen von Blue-Carbon-Ökosystemen sind an ihr langfristiges Bestehen gekoppelt. Die Wiederherstellung des Ökosystems reicht vor allem bei der Verfolgung von globalen Klimazielen nicht aus, wenn die Erhaltung nicht über Jahrhunderte bis Jahrtausende gelingt. Es muss auch auf die Trade-Offs für die lokale Bevölkerung eingegangen werden. Im Folgenden Kapitel wird die erfolgreiche praktische Umsetzung von Blue-Carbon-Projekten erörtert.

Tabelle 2: Übersicht von Co-Benefits der identifizierten Blue-Carbon-Ökosysteme

Co-Benefits	Mangroven	Seegraswiesen	Salzwiesen	Makroalgen	Marine Sedimente
Ozeanentsäuerung					
Schutz vor Erosion, Stürmen und Sturmfluten					
Wasserfiltrierung					
Biodiversitätsschutz					
Nahrungssicherheit					
Wirtschaftliche Entwicklung					
Soziokulturelle Dienstleistung					

5 Praktische Umsetzung

5.1 Wiederherstellung und Erhalt von Blue-Carbon-Ökosystemen

Mangrovenwälder, Seegraswiesen und Salzwiesen können zum einen durch Schutzgebiete erhalten und zum anderen durch verschiedene Maßnahmen dort wiederhergestellt werden, wo sie zuvor bestanden und aufgrund verschiedener Stressoren degradiert oder vollständig verloren gegangen sind. Die Wiederherstellung eines Ökosystems zielt laut *Society for Ecological Restoration* darauf ab, „die Integrität der ökologischen Systeme wiederherzustellen und damit eine kritische Bandbreite der Variabilität der biologischen Vielfalt, der ökologischen Prozesse und Strukturen, des regionalen und historischen Kontexts und der nachhaltigen kulturellen Praktiken wiederherzustellen“ (Society for Ecological Restoration 2004). Bei der Wiederherstellung von Blue-Carbon-Ökosystemen werden dieselben Praktiken wie beim Küsten- und Naturschutz eingesetzt, wenn diese Ökosysteme beispielsweise als naturbasierte Lösungen zum Schutz vor Sturmfluten eingesetzt werden. Deswegen ist auch der Transfer von Erkenntnissen aus dem Bereich des Küstenschutzes sowie des Biodiversitätsschutzes für die Wiederherstellung von Blue-Carbon-Ökosystemen von Bedeutung (Vierros 2017).

Die Wiederherstellung von Ökosystemen mit dem Ziel Kohlenstoff langfristig zu sequestrieren, wurde bis heute hauptsächlich bei Mangrovenwäldern durchgeführt (siehe auch Annex B: Blue-Carbon-Projekte). Gründe dafür können der Fortschritt an wissenschaftlichen Erkenntnissen zu Mangrovenwäldern und die im Gegensatz zu anderen Ökosystemen niedrigeren Projektkosten sein. Zum anderen werden derzeit hauptsächlich Blue-Carbon-Projekte in Ländern durchgeführt, die an CO₂-Offsets interessiert sind; diese liegen zum größten Teil in den Tropen, wo Mangroven vorrangig vorkommen (Wylie et al. 2016). Letztendlich kann es auch damit zusammenhängen, dass UNFCCC-Mechanismen, vor allem REDD+ und CDM (siehe Kapitel 5.2.1 [Blue Carbon im Rahmen der UNFCCC](#)), ausschließlich Mangrovenwälder als Blue-Carbon-Ökosystem mit einbeziehen, was die Finanzierung solcher Projekte erleichtern kann (Wylie et al. 2016).

Textbox 2: Beispiel eines Blue-Carbon-Projektes, welches über Emissionshandel am freien Markt finanziert wird

Praxisbeispiel 1: Mangrovenprojekt in Kolumbien mit 30 Jahren Laufzeit

Das im Jahr 2015 gestartete Blue-Carbon-Projekt im Golf von Morrosquillo ist ein überregionales Langzeit-Projekt (30 Jahre), dessen Expansionsgebiet alle Mangrovenwälder des Golfs von Morrosquillo in der kolumbianischen Karibik umfasst. In dieser Region befinden sich einige der wichtigsten Mangroven- und Meeresschutzgebiete der Karibikküste. Das von der privaten Firma Apple finanzierte Projekt soll über 30.000 t CO₂e^d pro Jahr sequestrieren, welches sich auf 1.221.717 t CO₂e über die 30 Jahre Projektdauer beläuft. Obwohl das Hauptziel des Projekts die Reduzierung der Treibhausgasemissionen durch die Bewirtschaftung von Mangrovenwäldern ist, zielt das Projekt vor allem auch auf die Einbindung lokaler Stakeholder ab. Durch die ständige Einbindung und Konsultation der lokalen Bevölkerung und Regierung werden effektive Kommunikationskanäle geschaffen. Da die Wiederherstellung und Erhaltung von Mangrovenwäldern für die lokale Bevölkerung mitunter den Verlust von Einnahmequellen durch Ökosystemleistungen bedeutet, bietet das Projekt den Gemeinden Schulungen zu anderweitigen nachhaltigen Aktivitäten an, wie z.B. Ökotourismus, Bienenzucht mit einheimischen Bienen und die Einrichtung und Verwaltung von Gemeinschaftsgärten.

^d CO₂-Äquivalent

Die Erfolgsrate von Blue-Carbon-Projekten hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab. Es wurde festgestellt, dass die Einbindung der lokalen Bevölkerung und deren Kenntnisse und Kapazitäten sowie Informationen über Existenzgrundlagen und Landbesitz bei der Planung und Durchführung von Blue-Carbon-Projekten von großem Vorteil für deren langfristigen Erfolg ist (Wylie et al. 2016; Vierros 2017; Pricillia et al. 2021). Für die Wiederherstellung von Blue Carbon-Ökosystemen hat sich das Zusammenführen von lokalen Kenntnissen und traditionellem Wissen zum Küsten- und Biodiversitätsschutz mit aktuellen Erkenntnissen aus der Forschung als äußerst zielführend erwiesen (Vierros 2017). Durch die Berücksichtigung der lokalen Bedürfnisse kann zudem sichergestellt werden, dass die an einer Stelle durchgeführten Maßnahmen nicht durch Ausweichhandlungen an anderer Stelle konterkariert werden. Wenn beispielsweise die forstwirtschaftliche Nutzung von Mangrovenwäldern als Existenzgrundlage dient, könnte möglicherweise ohne die Berücksichtigung derartiger Belange der Schutz eines Mangrovenwaldes an einem Ort zur Abholzung von Mangroven an anderer Stelle führen (Wylie et al. 2016). Studien zu Genderrollen in Mangrovenmanagement haben zudem gezeigt, dass die Stärkung der weiblichen lokalen Bevölkerung bei der Wiederherstellung des Ökosystems von großem Vorteil bei der Durchführung von Blue-Carbon-Projekten sein kann (Blum und Herr 2017; Mai und Dang 2018).

Das Potential zur CO₂-Sequestrierung kann auch über verbesserte Managementmethoden von bestehenden Blue-Carbon-Ökosystemen erhöht werden. Macreadie et al. (2017) zeigen auf, dass bestimmte Interventionen die ökologischen Prozesse der Kohlenstoffbindung in küstennahen Blue-Carbon-Ökosystemen optimieren können. Dazu gehören z.B. die Reduzierung von Nährstoffeinträgen aus der Landwirtschaft oder die Wiederherstellung der natürlichen Hydrologie durch die Renaturierung von Feuchtgebieten im Einzugsgebiet von Blue-Carbon-Ökosystemen (Macreadie et al. 2017).

Wie beim Naturschutz allgemein üblich, ist auch bei Blue-Carbon-Ökosystemen vor allem der Schritt der Erhaltung wichtig. Über allgemeine Schutzmaßnahmen hinaus ist es bei Mangroven, Seegraswiesen und Salzwiesen essentiell, dass der in ihren Sedimenten gebundene Kohlenstoff durch den Prozess der Erosion nicht langfristig wieder freigesetzt wird (Moritsch et al. 2021). Im Falle von marinen Sedimenten im offenen Ozean können die Ausweisung eines Meeresschutzgebietes oder gewisse Einschränkungen von bodenstörenden maritimen Aktivitäten eine sinnvolle Maßnahme sein. Und auch bei der Erhaltung von Blue-Carbon-Ökosystemen muss die Wechselwirkung zwischen Klima und Meer im Zusammenhang mit dem Klimawandel berücksichtigt werden. Schon bei der Planung von Projekten sollten beispielsweise regionale oder lokale Annahmen zum Meeresspiegelanstieg auf einer Zeitskala von bis zu einem Jahrhundert mit in Betracht gezogen werden, um sicherzustellen, dass vulnerable küstennahe Blue-Carbon-Ökosysteme wie Salzwiesen nicht verloren gehen und gespeichertes CO₂ wieder freigesetzt wird (Wylie et al. 2016; Raw et al. 2021).

Textbox 3: Beispiel eines Blue-Carbon-Projektes, welches sich um die Einbindung der lokalen Bevölkerung bemüht

Praxisbeispiel 2: Der größte Mangrovenwald der Welt (Indien)

Der größte Mangrovenwald der Welt sind die Sundarbans, eine Inselgruppe im Ganges Delta in der indischen Region Westbengalen, die sehr stark vom Meeresspiegelanstieg betroffen ist. Über die letzten 40 Jahre ist knapp ein Drittel der Landfläche überspült worden. Auch die Mangrovenwälder sind bedroht - zum einen durch den Klimawandel, aber auch durch menschliche Aktivitäten, da z.B. das Holz als Brennmittel genutzt wird oder illegale Umwandlungen in Aquakulturen stattfinden.

Das im Jahr 2011 von der indischen Nichtregierungsorganisation (NGO) „Nature Environment and Wildlife Society“ und dem französischen „Livelihoods Venture“ initiierte Projekt strebt über 20 Jahre eine enge Zusammenarbeit mit den lokalen Gemeinschaften an, um die im Rückgang befindlichen Mangrovenwälder der Region wiederherzustellen. Die lokale Bevölkerung wurde bei der Planung, bei der Auswahl der zu restaurierenden Gebiete, bei der Wahl der Mangrovenarten und bei der Pflanzung stark eingebunden, mit insgesamt 18.000 Freiwilligen, die bei der Pflanzungsphase mitgewirkt haben. Insbesondere Frauen waren an der Anzucht und Pflege der Mangroven beteiligt. Um den Trade-Offs entgegenzuwirken, wurde 2018 die Marke „Badabon Harvest“ gegründet, durch welche die landwirtschaftlichen Methoden verbessert werden, Bio-Produkte besser vermarktet werden und neue Märkte erschlossen werden sollen.

Das Projekt erzielt eine geschätzte jährliche Speicherung von 82.085 t CO₂e, welches sich über den Projektzeitraum von 20 Jahren auf 700.000 t CO₂e Sequestrierung addiert. Das Projekt erhält vorab die finanziellen Mittel zur Etablierung des Projekts vom „Livelihoods Carbon Fund“, welche später durch den Verkauf von CO₂-Zertifikaten an Privatunternehmen wieder eingenommen werden sollen.

5.2 Regulierung und Finanzierung von Blue Carbon

5.2.1 Blue Carbon im Rahmen der UNFCCC

Obwohl die in diesem Bericht dargestellten Ökosysteme (noch) nicht wörtlich als „Blue Carbon“ im Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) verzeichnet sind, fallen sie einzeln oder zusammengefasst in verschiedene Implementierungs-Mechanismen des Pariser Abkommens, vor allem bezüglich der Ausweitung der globalen natürlichen Kohlenstoffsinken. Die nach Artikel 4 und 12 UNFCCC von Annex-I-Vertragsparteien geleisteten **jährlichen Berichterstattungen nationaler Treibhausgasemissionen** berücksichtigen den Abbau von Treibhausgasen durch bestimmte küstennahe Feuchtgebiete wie Mangroven, Seegraswiesen und Salzwiesen als Kohlenstoffsinke bei der Bestandsaufnahme der globalen Treibhausgasemissionen. Die auf nationaler Ebene festgelegten Beiträge zum Klimaschutz („mitigation“) und zur Anpassung („adaptation“) an den Klimawandel („**Nationally Determined Contributions**“, **NDCs**) funktionieren als primärer Mechanismus zur Umsetzung des Pariser Abkommens. Sie werden alle fünf Jahre aktualisiert und erläutern für jede Vertragspartei wie die planmäßige Reduktion nationaler Emissionen langfristig erreicht werden soll. Die Möglichkeit zur Einbindung von Blue-Carbon-Ökosystemen in NDCs wurde bei der ersten Iteration 2015 noch nicht von allen Nationen wahrgenommen. Von den 161 bis dahin eingereichten NDCs enthielten ein Drittel meeresbezogene Minderungsmaßnahmen, obwohl schätzungsweise in über 150 Staaten mindestens ein Blue-Carbon-Ökosystem innerhalb ihrer Landesgrenzen vorkommt (Thomas et al. 2020; Gattuso et al. 2021). Die in der zweiten Iteration eingereichten NDCs nennen teilweise Blue Carbon als Teil ihrer Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen (siehe Beispiel der Seychellen unten).

Textbox 4: Textauszug aus dem NDC der Seychellen, welcher Blue Carbon als Anpassungsmaßnahme integriert

Blue-Carbon-Ökosysteme in dem NDC der Seychellen (Englisch)

“b. Adaptation Contribution

Seychelles new key contributions to climate change adaptation under this NDC include the following commitments and targets, focused on safeguarding the Blue Economy and Blue Carbon ecosystems:

- Seychelles intends for coastal planning and infrastructure to be regulated at the national and local level to prioritize the consideration of “blue” Nature-based Solutions (NbS) for climate resilience.
- Seychelles will protect its blue carbon ecosystems, i.e., at least 50% of its seagrass and mangrove ecosystems by 2025, and 100% of seagrass and mangrove ecosystems by 2030;
- Seychelles will establish a long-term monitoring programme for seagrass and mangrove ecosystems by 2025 and include the GHG sink of Seychelles’ blue carbon ecosystems within the National Greenhouse Gas Inventory by 2025;
- Seychelles commits to the implementation of its adopted Marine Spatial Plan and the effective management of the 30% marine protected areas within the Seychelles’ Exclusive Economic Zone”

Quelle: Republic of Seychelles (2021): Seychelles’ Updated Nationally Determined Contribution

Blue-Carbon-Projekte können mittels globaler klimapolitischer Emissionshandel-Systeme („Cap-and-Trade-Systeme“) reguliert werden (Ullman et al. 2013). Hierbei werden wirtschaftliche Anreize für die Verringerung von Emissionen geschaffen, in dem eine Obergrenze für die Menge an emittierten Treibhausgasen für einzelne Entitäten (z.B. private Unternehmen, Institutionen, Staaten) festgelegt wird. Es wird für eine Entität folglich attraktiv, unter dieser Obergrenze zu wirtschaften um eine „Emissions-Gutschrift“ (Carbon Credit) zu erhalten und mit dieser weiter zu handeln. Die Entitäten können dann untereinander mit den Gutschriften handeln, wenn ein Emissionsüberschuss oder eine Lücke besteht. Für bestimmte Aktivitäten gibt es keine Emissions-Obergrenzen, doch auch für diese Emissionen können Gutschriften erstellt und an andere verkauft werden („Offsets“). Negative Emissionen aus Blue-Carbon-Ökosystemen werden als Offsets im Emissionshandel-System reguliert, um einen Anreiz zur Reduzierung von Emissionen schaffen.

Der Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung („**Clean Development Mechanism**“, **CDM**) soll zur Reduktion von Treibhausgasemissionen dienen, wobei Entwicklungsländer durch Emissionsreduktion Zertifikate erhalten, welche durch den Handel mit Industrieländern zu deren Emissionsbilanz angerechnet werden können. Ein weiterer Mechanismus unter UNFCCC dient zur Minderung von Emissionen, die durch Abholzung und Waldschäden in Entwicklungsländern entstehen (**REDD+**). Hierbei werden die Ökosystemleistungen von Wäldern (u.a. als Kohlenstoffsinke) gewertet und finanzielle Anreize zu deren Schutz geschaffen. Innerhalb dieses Rahmens

können Staaten, private Investoren und multilaterale Fonds andere Länder dafür bezahlen (Direktzahlungen oder Carbon Credits), ihre Forstlandschaft zu schützen oder wiederherzustellen. Eine solche Transaktion kann Staaten bei der Erreichung ihrer NDCs unterstützen. Die Wiederherstellung von Mangrovenwäldern ist unter CDM und REDD+ zertifizierbar. Doch damit die UNFCCC-Mechanismen einzelne Blue-Carbon-Projekte finanzieren können, müssen die jeweiligen nationalen Regierungen entsprechende Gesetze und Vorschriften erlassen, was nicht immer der Fall ist. Der freiwillige Kohlenstoffmarkt ist daher vor allem für kleinere Projekte die attraktivere Finanzierungsmethode (Wylie et al. 2016).

Eine weitere Option unter UNFCCC ist die Finanzierung eines Blue-Carbon-Projekts im Rahmen einer nationalen Eindämmungsmaßnahme („**Nationally Appropriate Mitigation Action**“, NAMA), was einzelnen Ländern erlaubt, ihre eigenen Minderungsmaßnahmen vorzuschlagen. Dies würde eine größere Flexibilität bei den vorgeschlagenen Projekttypen und Finanzierungsmechanismen zulassen, was ideal für Blue-Carbon-Projekte sein könnte (Wylie et al. 2016). Die Finanzierung eines Blue-Carbon-Projekts unter NAMA wäre zum Beispiel durch den Green Climate Fund (GCF) möglich. Der GCF besteht seit 2015 als Finanzierungsmechanismus der UNFCCC und kann für Klimaschutz- und Klimaanpassungsprojekte genutzt werden. Dieser Mechanismus kann für Projekte nützlich sein, die sowohl die Vorteile des Klimaschutzes als auch die Co-Benefits der Klimaanpassung (z.B. Küstenschutz, siehe Kapitel 4 Klimaschutz durch Meeresnatur) durch Blue-Carbon-Ökosysteme nutzen wollen (Wylie et al. 2016).

5.2.2 Blue Carbon über die UNFCCC hinaus

Private Unternehmen haben die Möglichkeit ihre Emissionen innerhalb des **freiwilligen Kohlenstoffmarkts** auszugleichen und „klimaneutral“ zu werden, indem sie Emissionsgutschriften („Carbon Credits“) z.B. durch die Wiederherstellung eines Blue-Carbon-Ökosystems bzw. die Finanzierung eines solchen Projekts erhalten. Eine Gutschrift entspricht hierbei einer Tonne sequestriertem CO₂. Die Unternehmen (z.B. Apple, siehe Textbox 2: Beispiel eines Blue-Carbon-Projektes, welches über Emissionshandel am freien Markt finanziert wird) können ihre Kohlenstoffgutschriften entweder dazu verwenden, Emissionen freizusetzen und dabei klimaneutral zu bleiben, oder sie können Kohlenstoffgutschriften an andere Unternehmen verkaufen, die ihre Treibhausgasemissionen reduzieren wollen. Es besteht also ein Anreiz, Treibhausgasemissionen zu reduzieren und ungenutzte Emissionsgutschriften gewinnbringend an andere Unternehmen zu verkaufen (Jones 2021). Die Gutschriften werden anhand von gesetzten Standards von der NGO *Verra* akkreditiert. Obwohl der freiwillige Kohlenstoffmarkt leichter zugänglich ist als der UNFCCC-Prozess und der hohe Verwaltungsaufwand umgangen werden kann, sind Gutschriften auf dem freiwilligen Markt aufgrund der geringeren Nachfrage, der unterschiedlichen Qualitätsstandards und der fehlenden Übertragbarkeit tendenziell weniger wert (Wylie et al. 2016). Darüber hinaus kann der Preis von Emissionsgutschriften auf dem freiwilligen Markt bei hohem Angebot fallen und die Suche nach Käufern erschweren, wenn mehr Blue-Carbon-Projekte im freiwilligen Kohlenstoffmarkt durchgeführt werden (Wylie et al. 2016).

Über die Finanzierung von Blue-Carbon-Projekten durch den Emissionshandel hinaus werden entsprechende Projekte auf Basis der Co-Benefits von Blue-Carbon-Ökosystemen bisher auch durch Finanzierungsmechanismen aus anderen Bereichen wie Naturschutz, Katastrophenschutz oder Entwicklungsförderung verwirklicht. Blue-Carbon-Ökosysteme gelten in einer solchen primären Funktion als naturbasierte Lösungen („**nature-based solutions**“, **NbS**) und können durch ihre Zielsetzung als Maßnahme zur Anpassung an den Klimawandel, zum Aufbau von Resilienz oder zur ökonomischen Unterstützung der lokalen Bevölkerung über verschiedene Finanzoptionen realisiert werden. Dies kann durch direkte Entwicklungshilfe erfolgen oder auch durch den PROBLUE Fonds der Weltbank, der die Entwicklung blauer Infrastruktur unterstützt. Dabei sollte hinsichtlich der Anerkennung des Beitrags der Ökosysteme zum Klimaschutz beachtet werden, dass unabhängig von den übergeordneten Projektzielen für jedes Projekt eine Bestandsaufnahme des gespeicherten Kohlenstoffs erstellt wird, welche sich idealerweise an den Methoden und internationalen Standards des *IPCC 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands* (IPCC 2014) orientiert (Howard et al. 2014).

Weiterhin können Blue-Carbon-Ökosysteme über anderweitige nationale und globale Zielsetzungen **indirekt reguliert und finanziert** werden. Der erste Entwurf des Post-2020 Rahmenwerks des Übereinkommens über die Biologische Vielfalt (CBD) sieht z.B. unter anderem vor, dass mindestens 20 % der geschädigten Meeresökosysteme wiederhergestellt und mindestens 30 % des Ozeans durch Schutzgebiete dauerhaft erhalten werden. Zur Umsetzung dieser Ziele könnten Staaten Blue-Carbon-Ökosysteme im Sinne des Naturschutzes wiederherstellen, rehabilitieren oder schützen.

5.3 Relevante Stakeholder

Stakeholder	Beschreibung	Webseite	Kontakt
	<p>Die 2019 von Conservation International, IOC-UNESCO und IUCN gegründete Blue Carbon Initiative setzt sich für den Schutz und die Wiederherstellung von Küstenökosystemen (Mangroven, Seegraswiesen und Salzwiesen) ein, um deren Rolle bei der Verringerung der Auswirkungen des globalen Klimawandels zu stärken. Die Initiative soll Regierungen, Forschungseinrichtungen, NGOs und lokale Stakeholder aus der ganzen Welt zusammenbringen. Zur Unterstützung dieser Arbeit koordiniert die Initiative die <i>International Blue Carbon Scientific Working Group</i> und die <i>International Blue Carbon Policy Working Group</i>, die Orientierungshilfen für die erforderliche Forschung, die Projektdurchführung und die politischen Prioritäten bieten.</p>	<p>https://www.thebluecarboninitiative.org/</p>	<p>Frau Dorothee Herr, Marine Program Officer, IUCN dorothee.herr@iucn.org</p>
	<p>Die 1994 etablierte interfraktionelle Arbeitsgruppe des Europäischen Parlaments "Climate Change, Biodiversity and Sustainable Development" hat sich in der Vergangenheit mit Blue Carbon auseinandergesetzt. 2012 war sie Gastgeber eines Workshops der <i>Blue Carbon Policy Working Group</i> (siehe Blue Carbon Initiative). 2018 organisierte die Arbeitsgruppe eine Debatte zu Blue Carbon in der EU-Klimapolitik im Europäischen Parlament.</p>	<p>https://ebcd.org/intergroup/</p>	<p>Frau Regine Roncucci, EU Affairs Officer regine.roncucci@ebcd.org</p>
	<p>Die australische Regierung hat bei der COP21 die Gründung der „International Partnership for Blue Carbon“ angekündigt. Die Partnerschaft soll Regierungen, NGOs, zwischenstaatliche Organisationen und die Wissenschaft zusammenbringen, um ein besseres Verständnis von Blue Carbon im Einsatz für die Bekämpfung des Klimawandels zu etablieren und entsprechendes Handeln zu beschleunigen. Gründungsmitglieder der Partnerschaft sind Australien, Indonesien, Costa Rica, die Blue Carbon Initiative, GRID-Arendal, das Sekretariat des Pazifischen Regionalen Umweltprogramms (SPREP), das Sekretariat des Pazifischen Inselforums und das Büro des Beauftragten für die pazifische Ozeanlandschaft, das Zentrum für Internationale Waldforschung (CIFOR) und das Global Change Institute. Mittlerweile sind es über 40 Mitglieder.</p>	<p>https://bluecarbonpartnership.org/</p>	<p>IPBC Koordinations-Team ipbc@awe.gov.au</p>
	<p>Blue Solutions ist ein globales Projekt, das in Partnerschaft von GIZ, GRID-Arendal, IUCN und UN-Environment durchgeführt wird. Es wird vom Bundesumweltministerium (BMU) über die Internationale Klimaschutzinitiative (IKI) finanziert. Die Blue Solutions Initiative befasst sich mit verschiedenen Themen, die für die Erhaltung und nachhaltige Nutzung der mit der biologischen Vielfalt der Meere und Küsten verbundenen Ressourcen von Bedeutung sind, unter anderem Blue Carbon. Diese Arbeit erfolgt durch den Aufbau von Kapazitäten und den globalen Wissensaustausch in Zusammenarbeit mit Partnerprojekten der durchführenden Organisationen. Blue</p>	<p>https://panorama.solutions/en</p>	<p>Dr. Berthold Seibert, GIZ berthold.seibert@giz.de</p>

	<p>Solutions arbeitet derzeit eng mit der Regierung von Costa Rica und dem Coordinating Body on the Seas of East Asia (COBSEA) zusammen, um Strategien für die marine Raumplanung zu entwickeln und umzusetzen. Über die Wirkungen und Erfolge des Projekts wird in internationalen politischen Prozessen wie den Vertragsstaatenkonferenzen der CBD, des Nebenorgans für wissenschaftliche und technologische Beratung („Subsidiary Body of Scientific and Technological Advice“, SBSTTA) oder im Rahmen der nationalen Berichte zur Umsetzung von SDG14 informiert.</p>		
	<p>Der Green Climate Fund (GCF) wurde als Mandat des Pariser Abkommens als der weltweit größte Klimafonds etabliert und unterstützt Entwicklungsländer dabei ihre NDCs zu erhöhen und zu realisieren. Der GCF unterstützt Projekte in den Bereichen urbaner Raum, Energie und Industrie, menschliches Wohlergehen, sowie Landnutzung, Wälder und Ökosysteme.</p>	<p>https://www.greenclimate.fund/</p>	<p>info@gcfund.org</p>
	<p>Die Global Environment Facility (GEF) wurde 1991 gegründet und ist der weltweit größte multilaterale Treuhandfonds. Die GEF konzentriert sich auf Investitionen in Umweltprojekte in Entwicklungsländern und unterstützt die Umsetzung der wichtigsten internationalen Umweltkonventionen, u.a. in den Bereichen biologische Vielfalt, Klimawandel, Chemikalien und Desertifikation. Der GEF gehören 184 Mitgliedsstaaten sowie Partner aus der Zivilgesellschaft, internationalen Organisationen und dem Privatsektor an. Über ihr Programm für kleine Zuschüsse hat die GEF mehr als 25.000 Initiativen der Zivilgesellschaft und Kommunen in 135 Ländern unterstützt.</p>	<p>https://www.thegef.org/</p>	
	<p>Das PROBLUE Programm der Weltbank ist ebenfalls ein multilateraler Treuhandfonds, welcher die nachhaltige Nutzung von Meeres- und Küstenressourcen unter Berücksichtigung eines gesunden Ozeans unterstützt. PROBLUE unterstützt zugleich SDG 14 und die Ziele der Weltbank, 1) extreme Armut beenden und 2) das Einkommen und den Wohlstand der Armen auf nachhaltige Weise zu steigern. PROBLUE ist Teil des Gesamtprogramms der Weltbank für die blaue Wirtschaft. Ein Schlüsselbereich ist der Aufbau staatlicher Kapazitäten für die integrierte Bewirtschaftung von Meeresressourcen, einschließlich naturbasierter Infrastrukturen wie Mangroven, um Ländern und Gemeinschaften einen größeren und dauerhaften Nutzen zu bieten.</p>	<p>https://www.worldbank.org/en/programs/problue/</p>	<p>Morgan Graham, Communications Officer</p> <p>mgraham2@worldbankgroup.org</p>
	<p>Die Blue Natural Capital Financing Facility (BNCFF) unterstützt die Entwicklung von Projekten, die sich über das Konzept blaues Naturkapital finanzieren, also vorteilhaft für das Ökosystem sind und gleichzeitig die Ökosystemleistungen über mehrere Einkommensströme monetarisieren. BNCFF wird von IUCN als Facility-Manager verwaltet; IUCN führt die Umsetzung der Aktivitäten durch.</p>	<p>https://bluenaturalcapital.org/</p>	<p>info@bluenaturalcapital.org</p>

6 Politische Handlungs-empfehlungen

6.1 In Deutschland

1. **Handlungsempfehlung:** Rehabilitation, Ausweitung und Schutz von Blue-Carbon-Ökosystemen im Bereich der deutschen Küsten an Nord- und Ostsee

Die Blue-Carbon-Ökosysteme an Deutschlands Küsten sind mit Blick auf ihre räumliche Ausdehnung und Verbreitung im Rückgang und vielfältigen anthropogenen Stressoren ausgesetzt. Angesichts der prognostizierten Zunahme von klimabedingten Stressoren sind deutsche Küstenökosysteme wie Seegraswiesen und Salzwiesen und das darin gebundene CO₂ zunehmend gefährdet. Für die erfolgreiche und langfristige Rehabilitation und den Schutz der deutschen Blue-Carbon-Ökosysteme sollte das Potential dieser als Kohlenstoffsенке wissenschaftlich weiter untersucht, Restaurierungstechniken entwickelt, anthropogene Stressoren ermittelt und entsprechende Maßnahmen erarbeitet und umgesetzt werden. Dabei sollte auf die Vereinbarkeit mit dem Küstenschutz geachtet und auf Synergie-Effekte von naturbasierten Lösungsansätzen gebaut werden. Schutzmaßnahmen sollten langfristig geplant werden, da bei Störungen der Ökosysteme der gespeicherte Kohlenstoff wieder freigesetzt wird. Die Finanzierung neuer Erkenntnisse aus wissenschaftlicher Forschung und lokalem Wissen über die Ökosysteme und die langfristige Finanzierung von Blue-Carbon-Projekten im Nord- und Ostseeraum ist für die Bewirtschaftung unserer Meere und ihrer klimarelevanten Funktionen unabdingbar.

2. **Handlungsempfehlung:** Strategische Integration von Klima- und Meeresschutzzielen sowie synergetische Zielsetzungen zwischen Meeres- und Biodiversitätsschutz in Deutschland, u.a. durch Einbindung von Blue-Carbon-Ökosystemen in integriertes Küstenmanagement/ Küstenzonenmanagement und Integration von marinem Klimaschutz in die Meeres-Raumplanung

Die Einordnung von Blue-Carbon-Ökosystemen in nationale und regionale politische Zielsetzungen kann diversen Ansätzen folgen, je nachdem ob und wie deren Ökosystemleistungen als naturbasierte Lösungen Bereiche wie Meeresschutz, Klimaschutz und Küstenmanagement unterstützen. Momentan fehlt es aber noch an einer kohärenten und strategischen Integration der Meeresnatur in Maßnahmen zum Klimaschutz. Der Erhalt und die Wiederherstellung von Blue-Carbon-Ökosystemen würden ermöglichen, verschiedene politische Zielsetzungen gemeinsam zu verfolgen und diese zu vereinen. Dabei sollte nicht allein die Integration von Meeresthemen in die deutsche Klimapolitik und deren Umsetzung durch geeignete Maßnahmen zum Ziel gemacht werden. Die klimarelevanten Eigenschaften der Meere sollten darüber hinaus in die Bereiche des Küsten(zonen)managements und der Meeres-Raumplanung integriert werden. Eine strategische Koordination und Zusammenarbeit zwischen zuständigen Behörden auf Landes- und Bundesebene sollte für die erfolgreiche Umsetzung des Blue-Carbon-Konzepts im Rahmen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Nord- und Ostsee (BLANO) gewährleistet sein bzw. forciert werden.

3. **Handlungsempfehlung:** Einbeziehen von nationalen Blue-Carbon-Ökosystemen (Seegraswiesen und Salzwiesen) in die Nationally Determined Contributions (NDCs) der EU und entsprechende Integration des Blue-Carbon-Konzepts in die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie und das deutsche Klimaschutzprogramm 2030

Deutschlands Seegraswiesen und Salzwiesen können eine wichtige Rolle in der Bestandsaufnahme der nationalen Treibhausgasemissionen für den deutschen bzw. EU-Beitrag zum Pariser Abkommen übernehmen und als negative Emissionen auf das „Emissionskonto“ gerechnet werden. Es gibt noch Potential zur Erweiterung heimischer Blue-Carbon-Ökosysteme im Nord- und Ostseeraum sowie zur Verbesserung des Erhaltungszustands der Bestände. Beide Aktivitäten würden ein erhöhtes CO₂-Sequestrierungspotential bedeuten und gleichzeitig hohen Synergieeffekte für den Biodiversitätsschutz und die Stärkung der Resilienz von Küstenökosystemen erzielen. Das Einbeziehen dieser Ökosysteme in die NDCs der Europäischen Union (EU),

entweder als Klimaschutzmaßnahme oder als naturbasierte Anpassungsstrategie, würde zum Erreichen der Ziele des Pariser Abkommens beitragen und Deutschlands Beitrag zu weiteren europäischen Zielsetzungen (z.B. EU-Anpassungsstrategie und EU-Biodiversitätsstrategie 2030) und globalpolitischen Zielsetzungen der nachhaltigen Entwicklung (z.B. Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen, insbesondere Nachhaltigkeitsziele 13 und 14) erhöhen. Deutschland und die EU könnten so in der internationalen Gemeinschaft mit gutem Beispiel durch die Berücksichtigung und Förderung von Blue Carbon-Ansätzen vorgehen. Die Berücksichtigung dieser Ökosysteme in regionalen und internationalen Prozessen sollte sich dementsprechend auch in den nationalen Strategien wie zum Beispiel der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie oder dem Klimaschutzprogramm 2030 spiegeln.

6.2 Durch Deutschland

4. Handlungsempfehlung: Engagement Deutschlands in der UNFCCC und anderen relevanten multilateralen Prozessen, um die Integration des Blue-Carbon-Konzepts in verschiedene Politikbereiche- und Prozesse zu unterstützen

Deutschland kann in der Anerkennung seines globalen Einflusses in verschiedenen Politikbereichen dazu beitragen, dass das Konzept Blue Carbon kohärent in all seinen Dimensionen als Klimaschutzmaßnahme und für weitere Bereiche der nachhaltigen Entwicklung und des Biodiversitätsschutzes anerkannt wird. Deutschland kann als Fürsprecher für Blue Carbon als Klimaschutzmaßnahme mit weitreichenden Co-Benefits z.B. im Rahmen der nächsten UN-Klimakonferenz (COP26) und der G7 aktiv werden. Im Paris Rulebook-Prozess kann sich Deutschland für einen landesübergreifenden Kohlenstoffmarkt, in dem Blue Carbon vertreten ist, einsetzen, um das EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS) an andere Kohlenstoffmärkte zu koppeln. Auf regionaler Ebene kann Deutschland für den Schutz und Wiederaufbau heimischer Blue-Carbon-Ökosysteme in der Nord- und Ostsee durch die Konventionen HELCOM und OSPAR eintreten. Vor allem die deutsche HELCOM-Präsidenschaft ermöglicht es, den Einsatz von Blue Carbon im Ostseeschutz weiter hervorzuheben. In der Umsetzung der neuen OSPAR Umweltstrategie für den Nordost-Atlantik (Agreement 2021-01) sollte Deutschland für das Strategische Ziel 12 zur Bedeutung der Meeresumwelt bei der Bekämpfung des Klimawandels (u.a. Entwicklung eines regionalen Ansatzes für Blue Carbon bis 2025) eine federführende Rolle mitübernehmen. Auch durch die Unterstützung relevanter Akteure und die Förderung von Stakeholder-Austauschen auf nicht-staatlicher Ebene, zum Beispiel im Rahmen der *UN Decade for Ecosystem Restoration (2021-2030)* und der *UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030)*, kann das Konzept Blue Carbon durch Deutschland gestärkt werden.

5. Handlungsempfehlung: Bestehenden internationalen Allianzen, die sich für die Anerkennung von Blue Carbon in internationale klimapolitische Prozesse einsetzen, beitreten und so den Themenbereich weiter fördern und vom Wissensstand anderer Partner profitieren

Die politische Anerkennung des Blue-Carbon-Konzeptes in internationalen und regionalen Verhandlungen und Prozessen kann durch den Beitritt Deutschlands in verschiedene Allianzen gestärkt werden. Die *International Partnership for Blue Carbon (IPBC)* besteht aus einem Netzwerk von über 40 Staaten sowie weiteren Vertretern von NGOs, zwischenstaatlichen Organisationen und wissenschaftlichen Institutionen. Durch einen Beitritt Deutschlands zur IPBC könnte sich Deutschland mit anderen Staaten darüber austauschen, wie Blue Carbon in die NDCs und nationale Politikansätze integriert werden kann, von bestehenden Erfahrungen profitieren und sich gemeinsam für die Integration des Blue-Carbon-Ansatzes in internationale Politikprozesse einsetzen. Dies könnte die Formulierung und Integration von Blue Carbon in die NDCs der EU befördern und die politische Stellung der IPBC stärken. Des Weiteren kann Deutschland bei der nächsten UN-Klimakonferenz (COP26) die IUCN Blue Natural Capital Finance Facility unterstützen. Diese wurde 2018 gegründet und hat zum Ziel, naturbasierte Lösungen mit modernen Datensystemen und Meerestechnologien sowie Lösungen für erneuerbare Energien und sauberes Wasser zu verbinden, um die Investitionsmöglichkeiten in Küstenökosysteme zu schaffen. Zurzeit wird die Facility von der luxemburgischen Regierung mitfinanziert, doch weitere finanzielle und politische Unterstützung (z.B. durch Deutschland) wäre zur robusten Etablierung der Facility notwendig.

6.3 Mit Deutschland

6. Handlungsempfehlung: Verstärkte Förderung von Blue-Carbon-Projekten im internationalen Raum im Rahmen nationaler Regulierungs- und Finanzierungsmechanismen, z.B. über die „Internationale Klimaschutzinitiative“ (IKI), und übergreifende Abstimmung bestehender Finanzierungsinstrumente der Bundesregierung.

Deutschland kann verschiedene nationale Förderungsoptionen zur Finanzierung von Blue-Carbon-Projekten nutzen. Das BMU kann beispielsweise anhand des Förderinstruments „Internationale Klimaschutzinitiative“ (IKI) für die gleichzeitige Unterstützung der Klimaschutz- und Biodiversitätsaspekte von Blue Carbon eintreten. Blue Carbon könnte zum Beispiel als Themenbereich „Meeres- und Küstenbiodiversität sowie Küstenschutz“ im Förderbereich „Schutz der biologischen Vielfalt“ der IKI-Initiative aufgenommen werden. Die Integration des Blue-Carbon-Themas in die IKI-Initiative kann die weltweite Umsetzung von Blue-Carbon-Projekten unterstützen und vor allem Projekte im Globalen Süden fördern. Über die Projektförderung hinaus kann die IKI-Initiative somit Zielsetzungen der globalen nachhaltigen Entwicklung fördern. Aufgrund der themenübergreifenden Co-Benefits von Blue-Carbon-Projekten können auch Förderinstrumente aus anderen Bereichen der deutschen Politik in Frage kommen. Die Entwicklung gemeinsamer Zielsetzungen und eine koordinierte Zusammenarbeit mit anderen Finanzierungsmechanismen der Bundesregierung wie dem Themenbereich „Risikomanagement“ des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) könnte z.B. förderlich sein, um Projekte zur Aufforstung von Mangrovenwäldern für den Küstenschutz in Entwicklungsländern gemeinsam zu unterstützen. Der „Blue Action Fund“, mitfinanziert durch das BMZ, fördert Projekte von NGOs zu Meeresschutzgebieten im Küstenbereich und „Ecosystem-based Adaptation“ auch unter Berücksichtigung von deren Relevanz für den Klimaschutz. Bei der Förderung von Blue-Carbon-Projekten sollten jedoch einige wichtige Voraussetzungen beachtet werden, damit größtmöglicher Erfolg sichergestellt werden kann (siehe Kapitel 5.1 „Wiederherstellung und Erhalt von Blue-Carbon-Ökosystemen“).

7 Literatur

- Aburto-Oropeza, O.; Ezcurra, E.; Danemann, G.; Valdez, V.; Murray, J.; Sala, E. (2008): Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. In: *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2008, 105, 30, S. 10456-10459
- ACES (2021): Mikoko Pamoja Project. <https://aces-org.co.uk/mikoko-pamoja-project/> (27.08.2021)
- Acosta, A.; Bioret, F.; Gardfjell, H.; Janssen, J.; Loidi, J.; Tzonev, R. (2016a): A2.5b Baltic coastal meadow. European Red List of Habitats - Coastal Habitat Group,
- Acosta, A.; Bioret, F.; Gardfjell, H.; Janssen, J.; Loidi, J.; Tzonev, R. (2016b): A2.5c Atlantic coastal salt marsh. European Red List of Habitats - Coastal Habitat Group 2016,
- Alongi, D. M. (2012): Carbon sequestration in mangrove forests. In: *Carbon Management*, 2012, 3, 3, S. 313-322
- Alongi, D. M. (2014): Carbon cycling and storage in mangrove forests. In: *Ann Rev Mar Sci*, 2014, 6, S. 195-219
- Arias-Ortiz, A.; Serrano, O.; Masqué, P.; Lavery, P. S.; Mueller, U.; Kendrick, G. A.; Rozaimi, M.; Esteban, A.; Fourqurean, J. W.; Marbà, N.; Mateo, M. A.; Murray, K.; Rule, M. J.; Duarte, C. M. (2018): A marine heatwave drives massive losses from the world's largest seagrass carbon stocks. In: *Nature Climate Change*, 2018, 8, 4, S. 338-344
- Atwood, T. B.; Witt, A.; Mayorga, J.; Hammill, E.; Sala, E. (2020): Global Patterns in Marine Sediment Carbon Stocks. In: *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7, S. 1-9
- Avelar, S.; van der Voort, T. S.; Eglinton, T. I. (2017): Relevance of carbon stocks of marine sediments for national greenhouse gas inventories of maritime nations. In: *Carbon Balance and Management*, 2017, 12, 1, S. 10
- Barrón, C.; Duarte, C. M. (2015): Dissolved organic carbon pools and export from the coastal ocean. In: *Global Biogeochemical Cycles*, 2015, 29, 10, S. 1725-1738
- Beck, M. W.; Heck, K. L., Jr.; Able, K. W.; Childers, D. L.; Eggleston, D. B.; Gillanders, B. M.; Halpern, B.; Hays, C. G.; Hoshino, K.; Minello, T. J.; Orth, R. J.; Sheridan, P. F.; Weinstein, M. P. (2001): The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. In: *BioScience*, 2001, 51, 8, S. 633-641
- Bertram, C.; Quaas, M.; Reusch, T. B. H.; Vafeidis, A. T.; Wolff, C.; Rickels, W. (2021): The blue carbon wealth of nations. In: *Nature Climate Change*, 2021, 11, 8, S. 704-709
- Best, M.; Massey, A.; Prior, A. (2007): Developing a saltmarsh classification tool for the European water framework directive. In: *Mar Pollut Bull*, 2007, 55, 1-6, S. 205-214
- Bianchi, T. S.; Schreiner, K. M.; Smith, R. W.; Burdige, D. J.; Woodard, S.; Conley, D. J. (2016): Redox Effects on Organic Matter Storage in Coastal Sediments during the Holocene: A Biomarker Proxy Perspective. In: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2016, 44, S. 295-319
- Blankespoor, B.; Dasgupta, S.; Lange, G. M. (2017): Mangroves as a protection from storm surges in a changing climate. In: *Ambio*, 2017, 46, 4, S. 478-491
- Blue Ventures (2015): Blue forests: Community-led mangrove management to protect coastal ecosystems and livelihoods. Blue Ventures, Blue Ventures,, London, United Kingdom
- Blue Ventures (2019a): Communities in Madagascar launch the world's largest mangrove carbon conservation project. <https://blueventures.org/communities-in-madagascar-launch-the-worlds-largest-mangrove-carbon-conservation-project/> (18.08.2021)
- Blue Ventures (2019b): Plan Vivo Project Design Document - Tahiry Honko - Community Mangrove Project, Southwest Madagascar.
- Blue Ventures (o. D.): Blue Forests - Community-led mangrove management to protect coastal ecosystems and livelihoods. <https://blueventures.org/conservation/blue-forests/> (18.08.2021)
- Blum, J.; Herr, D. (2017): Gender equity is key to mangrove restoration. <https://www.iucn.org/news/forests/201707/gender-equity-key-mangrove-restoration> (31.08.2021)
- Boorman, L. (2003): Saltmarsh Review: An overview of coastal saltmarshes, their dynamic and sensitivity characteristics for conservation and management. JNCC Report, 334, JNCC, Peterborough
- Brinkman, R. M. (2006): Wave attenuation in mangrove forests: An investigation through field and theoretical studies. University of James Cook

- Burdige, D. J. (2007): Preservation of organic matter in marine sediments: Controls, mechanisms, and an imbalance in sediment organic carbon budgets? In: *Chemical Reviews*, 2007, 107, 2, S. 467-485
- Burger, J.; Gochfeld, M.; Niles, L. J. (1995): Ecotourism and Birds in Coastal New Jersey: Contrasting Responses of Birds, Tourists, and Managers. In: *Environmental Conservation*, 1995, 22, 1, S. 56-65
- Caldeira, K.; Wickett, M. E. (2003): Anthropogenic carbon and ocean pH. In: *Nature*, 2003, 425, 6956, S. 365-365
- Carbon Copy (2020): Seagrass Ocean Rescue. <https://carboncopy.eco/initiatives/seagrass-ocean-rescue> (18.08.2021)
- Carugati, L.; Gatto, B.; Rastelli, E.; Lo Martire, M.; Coral, C.; Greco, S.; Danovaro, R. (2018): Impact of mangrove forests degradation on biodiversity and ecosystem functioning. In: *Scientific Reports*, 2018, 8, 1, S.
- Castagno, K. A. (2018): Salt Marsh Restoration and the Shellfishing Industry: Co-evaluation of Success Components. In: *Coastal Management*, 2018, 46, 4, S. 297-315
- Cavanagh, R. D.; Melbourne-Thomas, J.; Grant, S. M.; Barnes, D. K. A.; Hughes, K. A.; Halfter, S.; Meredith, M. P.; Murphy, E. J.; Trebilco, R.; Hill, S. L. (2021): Future Risk for Southern Ocean Ecosystem Services Under Climate Change. In: *Frontiers in Marine Science*, 2021, 7, S.
- Ceccarelli, D. M.; Loffler, Z.; Bourne, D. G.; Al Moajil-Cole, G. S.; Boström-Einarsson, L.; Evans-Illidge, E.; Fabricius, K.; Glasl, B.; Marshall, P.; McLeod, I.; Read, M.; Schaffelke, B.; Smith, A. K.; Jorda, G. T.; Williamson, D. H.; Bay, L. (2018): Rehabilitation of coral reefs through removal of macroalgae: state of knowledge and considerations for management and implementation. In: *Restoration Ecology*, 2018, 26, 5, S. 827-838
- Chen, H.; Zhou, D.; Luo, G.; Zhang, S.; Chen, J. (2015): Macroalgae for biofuels production: Progress and perspectives. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 47, S. 427-437
- Chmura, G. L.; Anisfeld, S. C.; Cahoon, D. R.; Lynch, J. C. (2003): Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. In: *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, 17, 4, S. 22-21 - 22-12
- Chung, I. K. (2017a): CØST - Carbon Zero Seaweed Town Global Project. http://agw-seaweed.org/popup/COST_2017_ikchung.pdf (18.08.2021)
- Chung, I. K. (2017b): Project - Carbon Zero Seaweed Town (CØST). <https://www.researchgate.net/project/Carbon-Zero-Seaweed-Town-COST> (18.08.2021)
- Chung, I. K.; Beardall, J.; Mehta, S.; Sahoo, D.; Stojkovic, S. (2011): Using marine macroalgae for carbon sequestration: A critical appraisal. In: *Journal of Applied Phycology*, 2011, 23, 5, S. 877-886
- Chung, I. K.; Oak, J. H.; Lee, J. A.; Shin, J. A.; Kim, J. G.; Park, K. S. (2013): Installing kelp forests/seaweed beds for mitigation and adaptation against global warming: Korean Project Overview. In: *ICES Journal of Marine Science*, 2013, 70, 5, S. 1038-1044
- Collins, M.; Sutherland, M.; Bouwer, L.; Cheong, S.-M.; Frölicher, T.; Jacot Des Combes, H.; Koll Roxy, M.; Losada, I.; McInnes, K.; Ratter, B.; Rivera-Arriaga, E.; Susanto, R. D.; Swingedouw, D.; Tibig, L. (2019): Extremes, Abrupt Changes and Managing Risk. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.,
- Commonwealth Secretariat (2020): Case Study - Tahiry Honko – Community-Led Mangrove Carbon Project, Velondriake Locally Managed Marine Area, Madagascar. Charter, T. C. B.,
- Conservation International (2021a): A critical investment in 'blue carbon'. <https://www.conservation.org/stories/critical-investment-in-blue-carbon> (17.08.2021)
- Conservation International (2021b): A new Lifeline for the World's Mangrove Forests? <https://www.conservation.org/press-releases/2021/05/06/a-new-lifeline-for-the-world%E2%80%99s-mangrove-forests> (17.08.2021)
- Cordes, E. E.; Jones, D. O. B.; Schlacher, T. A.; Amon, D. J.; Bernardino, A. F.; Brooke, S.; Carney, R.; DeLeo, D. M.; Dunlop, K. M.; Escobar-Briones, E. G.; Gates, A. R.; Génio, L.; Gobin, J.; Henry, L. A.; Herrera, S.; Hoyt, S.; Joye, M.; Kark, S.; Mestre, N. C.; Metaxas, A.; Pfeifer, S.; Sink, K.; Sweetman, A. K.; Witte, U. (2016): Environmental impacts of the deep-water oil and gas industry: A review to guide management strategies. In: *Frontiers in Environmental Science*, 2016, 4, SEP, S. 1-26
- Corte, G. N.; Checon, H. H.; Shah Esmaeili, Y.; Lefcheck, J. S.; Amaral, A. C. Z. (2021): Mangrove fragments as key coastal reservoirs of taxonomic and functional biodiversity. In: *Biodiversity and Conservation*, 2021, 30, 5, S. 1573-1593

- CSA (o. D.): The 'Markets and Mangroves' (MAM) project in Vietnam. <https://csa.guide/csa/the-markets-and-mangroves-mam-project-in-vietnam> (27.08.2021)
- Cullen-Unsworth, L.; Unsworth, R. (2013): Seagrass meadows, ecosystem services, and sustainability. In: *Environment*, 2013, 55, 3, S. 14-28
- Davies, A. J.; Roberts, J. M.; Hall-Spencer, J. (2007): Preserving deep-sea natural heritage: Emerging issues in offshore conservation and management. In: *Biological Conservation*, 2007, 138, 3-4, S. 299-312
- de Lima, N. G. B.; Galvani, E. (2013): Mangrove microclimate: A case study from southeastern Brazil. In: *Earth Interactions*, 2013, 17, 2, S. 1-16
- Díaz-Almela, E.; Piñeiro-Juncal, N.; Marco-Méndez, C.; Giral, S.; Leiva-Dueñas, C.; Mateo-Mínguez, M. Á. (2019): Carbon Stocks and Fluxes Associated To Andalusian Saltmarshes and estimates of impact in stocks and fluxes by diverse land-use changes DELIVERABLE C2.2 (a C2.1 update): Results Report, LIFE14CCM/ES/000957. Blanes
- Donato, D.; Kauffman, J.; Murdiyarto, D.; Kurnianto, S.; Stidham, M.; Kanninen, M. (2011): Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. In: *Nature Geoscience*, 2011, 4, S. 293-297
- Duarte, C.; Holmer, M.; Olsen, Y.; Soto, D.; Marba, N.; Guiu, J.; Black, K.; Karakassis, I. (2009): Will the Oceans Help Feed Humanity? In: *BioScience*, 2009, 59, S. 967-976
- Duarte, C. M.; Cebrián, J. (1996): The fate of marine autotrophic production. In: *Limnology and Oceanography*, 1996, 41, 8, S. 1758-1766
- Duarte, C. M.; Losada, I. J.; Hendriks, I. E.; Mazarrasa, I.; Marbà, N. (2013): The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. In: *Nature Climate Change*, 2013, 3, 11, S. 961-968
- Duarte, C. M.; Marbà, N.; Gacia, E.; Fourqurean, J. W.; Beggins, J.; Barrón, C.; Apostolaki, E. T. (2010): Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows. In: *Global Biogeochemical Cycles*, 2010, 24, 4, S.
- Duarte, C. M.; Middelburg, J. J.; Caraco, N. (2005): Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. In: *Biogeosciences*, 2005, 2, 1, S. 1-8
- Duarte, C. M.; Wu, J.; Xiao, X.; Bruhn, A.; Krause-Jensen, D. (2017): Can Seaweed Farming Play a Role in Climate Change Mitigation and Adaptation? In: *Frontiers in Marine Science*, 2017, 4, 100, S. 1-8
- Dunn, R. (2010): Global Mapping of Ecosystem Disservices: The Unspoken Reality that Nature Sometimes Kills us. In: *Biotropica*, 2010, 42, S. 555-557
- Esselink, P.; van Duin, W. E.; Bunje, J.; Cremer, J.; Folmer, E. O.; Frikke, J.; Glahn, M.; de Groot, A. V.; Hecker, N.; Hellwig, U.; Jensen, K.; Körber, P.; Petersen, J.; Stock, M. (2017): Wadden Sea Quality Status Report 2017: Salt marshes. Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany
- Estes, E. R.; Pockalny, R.; D'Hondt, S.; Inagaki, F.; Morono, Y.; Murray, R. W.; Nordlund, D.; Spivack, A. J.; Wankel, S. D.; Xiao, N.; Hansel, C. M. (2019): Persistent organic matter in oxic seafloor sediment. In: *Nature Geoscience*, 2019, 12, 2, S. 126-131
- FAO (2020): Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. FAO, Rome
- Filbee-Dexter, K.; Wernberg, T. (2018): Rise of Turfs: A New Battlefield for Globally Declining Kelp Forests. In: *BioScience*, 2018, 68, 2, S. 64-76
- Filbee-Dexter, K.; Wernberg, T. (2020): Substantial blue carbon in overlooked Australian kelp forests. In: *Scientific Reports*, 2020, 10, 1, S. 12341
- Fourqurean, J. W.; Duarte, C. M.; Kennedy, H.; Marbà, N.; Holmer, M.; Mateo, M. A.; Apostolaki, E. T.; Kendrick, G. A.; Krause-Jensen, D.; McGlathery, K. J.; Serrano, O. (2012): Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. In: *Nature Geoscience*, 2012, 5, 7, S. 505-509
- Fox, M. (2016): Field notes from the 'Kingdom of Fishes'. <https://www.conservation.org/blog/field-notes-from-the-kingdom-of-fishes-> (25.08.2021)
- Friess, D. A.; Yando, E. S.; Alemu I, J. B.; Wong, L. W.; Soto, S. D.; Bhatia, N. (2020): Ecosystem services and disservices of mangrove forests and salt marshes. In: *Oceanography and Marine Biology*, 2020, 58, S. 107-141
- Frigstad, H.; Gundersen, H.; Andersen, G. S.; Borgersen, G.; Kvile, K. O.; Krause-Jensen, D.; Boström, C.; Bekkby, T.; d'Auriac, M. A.; Ruus, A.; Thormar, J.; Asdal, K.; Hancke, K. (2020): Blue Carbon – climate adaptation, CO₂ uptake and sequestration of carbon in Nordic blue forests - Results from the Nordic Blue Carbon Project. Ministers, N. C. o.,

- Gattuso, J.-P.; Williamson, P.; Duarte, C. M.; Magnan, A. K. (2021): The Potential for Ocean-Based Climate Action: Negative Emissions Technologies and Beyond. In: *Frontiers in Climate*, 2021, 2, 37, S.
- Gedan, K. B.; Silliman, B. R.; Bertness, M. D. (2009): Centuries of human-driven change in salt marsh ecosystems. In: *Annual Review of Marine Science*, 2009, 1, S. 117-141
- GEOMAR (2021): Kohlenstoff-Hotspots in der Ostsee. <https://www.geomar.de/news/article/kohlenstoff-hotspots-in-der-ostsee> (18.08.2021)
- Giuliani, S.; Bellucci, L. G. (2018): Salt marshes: Their role in our society and threats posed to their existence. In: [ed.]: *World Seas: An Environmental Evaluation Volume III: Ecological Issues and Environmental Impacts*. S. 79-101
- Giuliani, S.; Bellucci, L. G. (2019): Salt Marshes: Their Role in Our Society and Threats Posed to Their Existence. In: [ed.]: *World Seas: an Environmental Evaluation*. S. 79-101
- Global Mangrove Alliance (o.D.): Valuing Blue Carbon in the Kaimana MPA. <https://www.mangrovealliance.org/indonesia/> (25.08.2021)
- Gobler, C. J.; Doherty, O. M.; Hattenrath-Lehmann, T. K.; Griffith, A. W.; Kang, Y.; Litaker, R. W. (2017): Ocean warming since 1982 has expanded the niche of toxic algal blooms in the North Atlantic and North Pacific oceans. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017, 114, 19, S. 4975-4980
- Green, E. P.; Short, F. T. (2003): *World Atlas of Seagrasses*. University of California Press, Berkeley, USA
- Hall-Spencer, J. M.; Harvey, B. P. (2019): Ocean acidification impacts on coastal ecosystem services due to habitat degradation. In: *Emerging topics in life sciences*, 2019, 3, 2, S. 197-206
- Hamilton, S. E.; Friess, D. A. (2018): Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. In: *Nature Climate Change*, 2018, 8, 3, S. 240-244
- Hemminga, M. A.; Duarte, C. M. (2000): *Seagrass Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge
- Herr, D.; Landis, E. (2016): Coastal blue carbon ecosystems. Opportunities for Nationally Determined Contributions. Policy Brief. Gland, Switzerland IUCN and Washington, DC, USA: TNC;
- Hill, R.; Bellgrove, A.; Macreadie, P. I.; Petrou, K.; Beardall, J.; Steven, A.; Ralph, P. J. (2015): Can macroalgae contribute to blue carbon? An Australian perspective. In: *Limnology and Oceanography*, 2015, 60, 5, S. 1689-1706
- Hochard, J. P.; Hamilton, S.; Barbier, E. B. (2019): Mangroves shelter coastal economic activity from cyclones. In: *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2019, 116, 25, S. 12232-12237
- Hoegh-Guldberg, O.; Northrop, E.; Lubchenco, J. (2019): The ocean is key to achieving climate and societal goals. In: *Science*, 2019, 365, 6460, S. 1372-1374
- Hopkinson, C. S.; Cai, W. J.; Hu, X. (2012): Carbon sequestration in wetland dominated coastal systems-a global sink of rapidly diminishing magnitude. In: *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2012, 4, 2, S. 186-194
- Howard, J. (2016): Supporting Coastal Conservation and Community Development in Kaimana, Indonesia by valuing Blue Carbon. <https://birdsheadseascape.com/conservation-science/supporting-coastal-conservation-and-community-development-in-kaimana-indonesia-by-valuing-blue-carbon-by-jennifer-howard/> (25.08.2021)
- Howard, J.; Hoyt, S.; Isensee, K.; Telszewski, M.; Pidgeon, E.; (eds.) (2014): *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature, Arlington, Virginia, USA
- Howard, J.; McLeod, E.; Thomas, S.; Eastwood, E.; Fox, M.; Wenzel, L.; Pidgeon, E. (2017): The potential to integrate blue carbon into MPA design and management. In: *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2017, 27, S. 100-115
- Howard, J.; Sutton-Grier, A.; Herr, D.; Kleypas, J.; Landis, E.; McLeod, E.; Pidgeon, E.; Simpson, S. (2017): Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. In: *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2017, 15, 1, S. 42-50
- IfW Kiel (o. D.): Projekt: SeaStore - Wiederansiedlung von Seegrasswiesen als Beitrag zur Erhöhung der marinen Biodiversität. <https://www.ifw-kiel.de/de/institut/forschungszentren/global-commons-und-klimapolitik/projects/seastore-wiederansiedlung-von-seegrasswiesen-als-beitrag-zur-erhoehung-der-marinen-biodiversitaet/> (18.08.2021)
- Internationale Klimaschutzinitiative (2020): Wandel der Küstenregion im Mekong-Delta. https://www.international-climate-initiative.com/de/news/article/wandel_der_kuestenregion_im_mekong_delta (27.08.2021)

- Internationale Klimaschutzinitiative (2021): Ausweitung von Mangroven-EbA im Mekong-Delta. https://www.international-climate-initiative.com/de/details/project/ausweitung-von-mangroveneba-im-mekongdelta-16_II_127-506 (27.08.2021)
- Internationale Klimaschutzinitiative (o. D.): Vietnam: Mangroves & Markets. https://www.international-climate-initiative.com/de/infothek/videos/film/show_video/show/vietnam_mangroves_markets (27.08.2021)
- IPCC (2014): 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Hiraishi, T.; Krug, T.; Tanabe, K.; Srivastava, N.; Baasansuren, J.; Fukuda, M.; Troxler, T. G.; (eds), IPCC, Switzerland
- IPCC (2019): IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Pörtner, H.-O.; Roberts, D. C.; Masson-Delmotte, V.; Zhai, M. T., P.; Poloczanska, E.; Mintenbeck, K.; Alegría, A.; Nicolai, M.; Okem, A.; Petzold, J.; Rama, B.; Weyer, N. M.; (eds.),
- IUCN (2021): Mangroves and Markets (MAM). <https://www.iucn.org/regions/asia/our-work/regional-projects/mangroves-and-markets-mam> (27.08.2021)
- Jahnke, R. A. (1996): The global ocean flux of particulate organic carbon: Areal distribution and magnitude. In: *Global Biogeochemical Cycles*, 1996, 10, 1, S. 71-88
- Jones, N. (2021): Why the Market for 'Blue Carbon' Credits May Be Poised to Take Off. <https://e360.yale.edu/features/why-the-market-for-blue-carbon-credits-may-be-poised-to-take-off> (31.08.2021)
- Kilminster, K.; McMahon, K.; Waycott, M.; Kendrick, G. A.; Scanes, P.; McKenzie, L.; O'Brien, K. R.; Lyons, M.; Ferguson, A.; Maxwell, P.; Glasby, T.; Udy, J. (2015): Unravelling complexity in seagrass systems for management: Australia as a microcosm. In: *Science of the Total Environment*, 2015, 534, S. 97-109
- Kirwan, M. L.; Walters, D. C.; Reay, W. G.; Carr, J. A. (2016): Sea level driven marsh expansion in a coupled model of marsh erosion and migration. In: *Geophysical Research Letters*, 2016, 43, 9, S. 4366-4373
- Knight, J.; Dale, P.; Dwyer, P.; Marx, S. (2017): A conceptual approach to integrate management of ecosystem service and disservice in coastal wetlands. In: *AIMS Environmental Science*, 2017, 4, S. 431-442
- Koch, M.; Bowes, G.; Ross, C.; Zhang, X. H. (2013): Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae. In: *Global Change Biology*, 2013, 19, 1, S. 103-132
- Kraan, S. (2013): Mass-cultivation of carbohydrate rich macroalgae, a possible solution for sustainable biofuel production. In: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2013, 18, 1, S. 27-46
- Krause-Jensen, D.; Duarte, C. M. (2016): Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. In: *Nature Geoscience*, 2016, 9, 10, S. 737-742
- Krause-Jensen, D.; Lavery, P.; Serrano, O.; Marba, N.; Masque, P.; Duarte, C. M. (2018): Sequestration of macroalgal carbon: the elephant in the Blue Carbon room. In: *Biol Lett*, 2018, 14, 6, S. 1-6
- Krauss, K. W.; Allen, J. A.; Cahoon, D. R. (2003): Differential rates of vertical accretion and elevation change among aerial root types in Micronesian mangrove forests. In: *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2003, 56, 2, S. 251-259
- Laffoley, D.; Baxter, J. M. (2019): Ocean deoxygenation : everyone's problem : causes, impacts, consequences and solutions. ICUN, Global Marine and Polar Programme, Gland, Switzerland
- Lampitt, R. S.; Boorman, B.; Brown, L.; Lucas, M.; Salter, I.; Sanders, R.; Saw, K.; Seeyave, S.; Thomalla, S. J.; Turnewitsch, R. (2008): Particle export from the euphotic zone: Estimates using a novel drifting sediment trap, 234Th and new production. In: *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2008, 55, 11, S. 1484-1502
- Leibniz Universität Hannover (2020): SeaStore - Seegrass für den Klimaschutz. https://www.lufi.uni-hannover.de/fileadmin/lufi/images/projects/2020-11-05_Flyer_SeaStore_final.pdf (18.08.2021)
- Leibniz Universität Hannover (2021): Seastore - Diversity Enhancement Through Seagrass Restoration. <https://www.lufi.uni-hannover.de/de/forschung/forschungsschwerpunkte/oekohydraulik-und-oekosystemleistungen/seastore/> (18.08.2021)
- Leonardi, N.; Ganju, N. K.; Fagherazzi, S. (2016): A linear relationship between wave power and erosion determines salt-marsh resilience to violent storms and hurricanes. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016, 113, 1, S. 64-68
- LIFE Blue Natura (o. D.-a): Budget. <https://life-blunatura.eu/en/the-project/budget/> (17.08.2021)
- LIFE Blue Natura (o. D.-b): The Project. <https://life-blunatura.eu/en/the-project/> (17.08.2021)
- LIFE Blue Natura (o. D.-c): Project Area. <https://life-blunatura.eu/en/the-project/project-area/> (17.08.2021)

- Livelihoods (2016): India: A Protective and Nutritive Natural Barrier. <https://livelihoods.eu/india-a-protective-and-nutritive-natural-barrier/> (27.08.2021)
- Livelihoods (2020a): Amphan cyclone, Sundarbans: Mangroves played a bio-shield role & protected coastal communities. <https://livelihoods.eu/amphan-sundarbans-india-mangroves-bio-shield/> (27.08.2021)
- Livelihoods (2020b): INDIA (Sundarbans): 16 million mangrove trees to protect local communities. <http://livelihoods.eu/portfolio/news-india/> (27.08.2021)
- Livelihoods (2020c): An interview with Ajanta Dey, India: "Livelihoods has brought our NGO's mission at scale". <https://livelihoods.eu/interview-with-ajanta-dey-news/> (27.08.2021)
- Livelihoods (2020d): MANGROVE RESTORATION Impacts after 10 years of the largest mangrove restoration project of the Livelihoods Carbon Fund in Senegal with Océanium - Summary Report.
- Livelihoods (2020e): SENEGAL: the largest mangrove restoration programme in the world. <http://livelihoods.eu/portfolio/oceanium-senegal/> (27.08.2021)
- LKN-SH Nationalparkverwaltung (2015): Februar 2015. <https://www.nationalpark-wattenmeer.de/news/februar-2015/> (18.08.2021)
- LKN-SH Nationalparkverwaltung (2018): Juli 2018. <https://www.nationalpark-wattenmeer.de/news/juli-2018/> (18.08.2021)
- LKN-SH Nationalparkverwaltung (2020): Nationalpark Nachrichten September 2020. <https://www.nationalpark-wattenmeer.de/news/nationalpark-nachrichten-september-2020/> (18.08.2021)
- Lovelock, C. E.; Reef, R. (2020): Variable Impacts of Climate Change on Blue Carbon. In: *One Earth*, 2020, 3, 2, S. 195-211
- Macreadie, P. I.; Anton, A.; Raven, J. A.; Beaumont, N.; Connolly, R. M.; Friess, D. A.; Kelleway, J. J.; Kennedy, H.; Kuwae, T.; Lavery, P. S.; Lovelock, C. E.; Smale, D. A.; Apostolaki, E. T.; Atwood, T. B.; Baldock, J.; Bianchi, T. S.; Chmura, G. L.; Eyre, B. D.; Fourqurean, J. W.; Hall-Spencer, J. M.; Huxham, M.; Hendriks, I. E.; Krause-Jensen, D.; Laffoley, D.; Luisetti, T.; Marba, N.; Masque, P.; McGlathery, K. J.; Magonigal, J. P.; Murdiyarso, D.; Russell, B. D.; Santos, R.; Serrano, O.; Silliman, B. R.; Watanabe, K.; Duarte, C. M. (2019): The future of Blue Carbon science. In: *Nat Commun*, 2019, 10, 1, S. 3998
- Macreadie, P. I.; Atwood, T. B.; Seymour, J. R.; Fontes, M. L. S.; Sanderman, J.; Nielsen, D. A.; Connolly, R. M. (2019): Vulnerability of seagrass blue carbon to microbial attack following exposure to warming and oxygen. In: *Science of the Total Environment*, 2019, 686, S. 264-275
- Macreadie, P. I.; Nielsen, D. A.; Kelleway, J. J.; Atwood, T. B.; Seymour, J. R.; Petrou, K.; Connolly, R. M.; Thomson, A. C.; Trevathan-Tackett, S. M.; Ralph, P. J. (2017): Can we manage coastal ecosystems to sequester more blue carbon? In: *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2017, 15, 4, S. 206-213
- Mai, N.; Dang, T. (2018): Gender role in mangrove resource management: case study in Trieu Phong district of Quang Tri province, Vietnam. In: *Journal of Vietnamese Environment*, 2018, 9(2), S. 92-98
- Malik, A.; Rahim, A.; Sideng, U.; Rasyid, A.; Jumaddin, J. (2019): Biodiversity assessment of mangrove vegetation for the sustainability of ecotourism in West Sulawesi, Indonesia. In: *AACL Bioflux*, 2019, 12, 4, S. 1458-1466
- Marques, B.; Lillebo, A. I.; Pereira, E.; Duarte, A. C. (2011): Mercury cycling and sequestration in salt marshes sediments: an ecosystem service provided by *Juncus maritimus* and *Scirpus maritimus*. In: *Environ Pollut*, 2011, 159, 7, S. 1869-1876
- Marques, B.; Lillebo, A. I.; Pereira, E.; Duarte, A. C. (2011): Mercury cycling and sequestration in salt marshes sediments: An ecosystem service provided by *Juncus maritimus* and *Scirpus maritimus*. In: *Environmental Pollution*, 2011, 159, 7, S. 1869-1876
- Mateo-Mínguez, M. Á.; Díaz-Almela, E.; Piñeiro-Juncal, N.; Leiva-Dueñas, C.; Giralt, S.; Marco-Méndez, C. (2018): Carbon Stocks and Fluxes Associated To Andalusian Seagrass Meadows DELIVERABLE C1: Results Report, LIFE14CCM/ES/000957. Blanes
- McCall, B. D.; Pennings, S. C. (2012): Geographic variation in salt marsh structure and function. In: *Oecologia*, 2012, 170, 3, S. 777-787
- McLeod, E.; Chmura, G. L.; Bouillon, S.; Salm, R.; Björk, M.; Duarte, C. M.; Lovelock, C. E.; Schlesinger, W. H.; Silliman, B. R. (2011): A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. In: *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2011, 9, 10, S. 552-560
- McOwen, C. J.; Weatherdon, L. V.; Bochove, J. V.; Sullivan, E.; Blyth, S.; Zockler, C.; Stanwell-Smith, D.; Kingston, N.; Martin, C. S.; Spalding, M.; Fletcher, S. (2017): A global map of saltmarshes. In: *Biodivers Data J*, 2017, 5, 5, S. e11764

- Miyajima, T.; Hori, M.; Hamaguchi, M.; Shimabukuro, H.; Yoshida, G. (2017): Geophysical constraints for organic carbon sequestration capacity of *Zostera marina* seagrass meadows and surrounding habitats. In: *Limnology and Oceanography*, 2017, 62, 3, S. 954-972
- Moritsch, M. M.; Young, M.; Carnell, P.; Macreadie, P. I.; Lovelock, C.; Nicholson, E.; Raimondi, P. T.; Wedding, L. M.; Ierodiakonou, D. (2021): Estimating blue carbon sequestration under coastal management scenarios. In: *Science of the Total Environment*, 2021, 777, S. 145962
- Müller, P. (2017): *Global Change and Land Use Effects on Carbon Turnover in Tidal Wetlands*. Universität Hamburg
- Müller, P. (2018): INTERFACE working package B C-sequestration. <https://www.biologie.uni-hamburg.de/forschung/oekologie-biologische-ressourcen/angpfloek/drittmittelprojekte/interface/interface-part-b.html> (18.08.2021)
- Narayan, S.; Beck, M. W.; Reguero, B. G.; Losada, I. J.; Van Wesenbeeck, B.; Pontee, N.; Sanchirico, J. N.; Ingram, J. C.; Lange, G. M.; Burks-Copes, K. A. (2016): The effectiveness, costs and coastal protection benefits of natural and nature-based defences. In: *PLoS ONE*, 2016, 11, 5, S.
- Nellemann, C.; Corcoran, E.; Duarte, C. M.; Valdés, L.; De Young, C.; Fonseca, L.; Grimsditch, G. (2009): *Blue Carbon. A Rapid Response Assessment*. United Nations Environment Programme GRID-Arendal,
- Nikijuluw, V. (2017): Lessons learned in the 'Kingdom of Fishes'. <https://www.conservation.org/blog/lessons-learned-in-the-kingdom-of-fishes> (25.08.2021)
- Nolte, S. (2018): INTERFACE working package A Planta & Sediments. <https://www.biologie.uni-hamburg.de/en/forschung/oekologie-biologische-ressourcen/angpfloek/drittmittelprojekte/interface/interface-part-a.html> (18.08.2021)
- Nordic Blue Carbon (2021): *Nordic Blue Carbon - Why are Blue Forests so important in the Nordic region?* <https://storymaps.arcgis.com/stories/a0593bd8007646bfae6fa396b0ac3447> (18.08.2021)
- Nordic Blue Carbon (o. D.): *Nordic Blue Carbon - Project Expectations*. <https://nordicbluecarbon.no/#pexpectations> (18.08.2021)
- Nordlund, L. M.; Jackson, E. L.; Nakaoka, M.; Samper-Villarreal, J.; Beca-Carretero, P.; Creed, J. C. (2018): Seagrass ecosystem services – What's next? In: *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 134, S. 145-151
- Oceanium (o. D.-a): *About Oceanium*. <http://www.oceaniumdakar.org/Nouvel-article,29.html?lang=en> (27.08.2021)
- Oceanium (o. D.-b): *Reforestation of Rhizophora: plant your own tree!* <http://www.oceaniumdakar.org/Le-reboisement-du-rhizophora.html?lang=en> (27.08.2021)
- Ondiviela, B.; Losada, I. J.; Lara, J. L.; Maza, M.; Galván, C.; Bouma, T. J.; van Belzen, J. (2014): The role of seagrasses in coastal protection in a changing climate. In: *Coastal Engineering*, 2014, 87, S. 158-168
- Orr, J. C.; Fabry, V. J.; Aumont, O.; Bopp, L.; Doney, S. C.; Feely, R. A.; Gnanadesikan, A.; Gruber, N.; Ishida, A.; Joos, F.; Key, R. M.; Lindsay, K.; Maier-Reimer, E.; Matear, R.; Monfray, P.; Mouchet, A.; Najjar, R. G.; Plattner, G. K.; Rodgers, K. B.; Sabine, C. L.; Sarmiento, J. L.; Schlitzer, R.; Slater, R. D.; Totterdell, I. J.; Weirig, M. F.; Yamanaka, Y.; Yool, A. (2005): Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. In: *Nature*, 2005, 437, 7059, S. 681-686
- Orth, R. J.; Carruthers, T. J. B.; Dennison, W. C.; Duarte, C. M.; Fourqurean, J. W.; Heck Jr, K. L.; Hughes, A. R.; Kendrick, G. A.; Kenworthy, W. J.; Olyarnik, S.; Short, F. T.; Waycott, M.; Williams, S. L. (2006): A global crisis for seagrass ecosystems. In: *BioScience*, 2006, 56, 12, S. 987-996
- Ouyang, X.; Lee, S. Y. (2014): Updated estimates of carbon accumulation rates in coastal marsh sediments. In: *Biogeosciences*, 2014, 11, 18, S. 5057-5071
- Owen, E.; Durham, C. (2020): *Belize Plans Nature-Based Solutions in Fight Against Climate Change*. <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/articles/2020/09/24/belize-plans-nature-based-solutions-in-fight-against-climate-change> (18.08.2021)
- Pembrokeshire Coastal Forum (2019): *One million seeds to be planted in UK's biggest seagrass restoration scheme*. <https://www.pembrokeshirecoastalforum.org.uk/uk-seagrass-restoration-scheme/> (18.08.2021)
- Pembrokeshire Coastal Forum (2020): *Seagrass Ocean Rescue – Restoring Seagrass in Dale*. <https://www.pembrokeshirecoastalforum.org.uk/seagrassoceanrescue/> (18.08.2021)
- Pendleton, L.; Donato, D. C.; Murray, B. C.; Crooks, S.; Jenkins, W. A.; Sifleet, S.; Craft, C.; Fourqurean, J. W.; Kauffman, J. B.; Marbà, N.; Megonigal, P.; Pidgeon, E.; Herr, D.; Gordon, D.; Baldera, A. (2012): Estimating Global "Blue Carbon" Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. In: *PLoS ONE*, 2012, 7, 9, S.

- Pérez, A.; Libardoni, B. G.; Sanders, C. J. (2018): Factors influencing organic carbon accumulation in mangrove ecosystems. In: *Biology Letters*, 2018, 14, 10, S. 20180237
- Plan Vivo (2020): Plan Vivo Project Design Document (PDD) 2020 revision. Plan Vivo,
- Plan Vivo (o. D.-a): Mikoko Pamoja – Kenya. <https://www.planvivo.org/mikoko-pamoja> (27.08.2021)
- Plan Vivo (o. D.-b): Tahiry Honko – Madagascar. <https://www.planvivo.org/tahiry-honko> (18.08.2021)
- Porzio, L.; Buia, M. C.; Hall-Spencer, J. M. (2011): Effects of ocean acidification on macroalgal communities. In: *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2011, 400, 1, S. 278-287
- Pricillia, C. C.; Patria, M. P.; Herdiansyah, H. (2021): Social Consideration for Blue Carbon Management. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 755, 1, S. 012025
- Project Seagrass (2020): Seagrass Ocean Rescue. <https://www.projectseagrass.org/seagrass-ocean-rescue/> (18.08.2021)
- Queiroz, L. D. S.; Rossi, S.; Calvet-Mir, L.; Ruiz-Mallén, I.; García-Betorz, S.; Salvà-Prat, J.; Meireles, A. J. D. A. (2017): Neglected ecosystem services: Highlighting the socio-cultural perception of mangroves in decision-making processes. In: *Ecosystem Services*, 2017, 26, S. 137-145
- Rahman, M. M.; Zimmer, M.; Ahmed, I.; Donato, D.; Kanzaki, M.; Xu, M. (2021): Co-benefits of protecting mangroves for biodiversity conservation and carbon storage. In: *Nature Communications*, 2021, 12, 1, S.
- Rashid, R.; Wanjiru, A.; Huxham, M.; Shilland, R.; Ruzowitzky, L. (2020): 2020 Plan Vivo Annual Report Mikoko Pamoja. Mikoko Pamoja,
- Raven, J. (2018): Blue carbon: Past, present and future, with emphasis on macroalgae. In: *Biology Letters*, 2018, 14, 10, S. 1-5
- Raw, J. L.; Adams, J. B.; Bornman, T. G.; Riddin, T.; Vanderklift, M. A. (2021): Vulnerability to sea-level rise and the potential for restoration to enhance blue carbon storage in salt marshes of an urban estuary. In: *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2021, 260, S. 107495
- Roberts, C. M.; O'Leary, B. C.; McCauley, D. J.; Cury, P. M.; Duarte, C. M.; Lubchenco, J.; Pauly, D.; Saenz-Arroyo, A.; Sumaila, U. R.; Wilson, R. W.; Worm, B.; Castilla, J. C. (2017): Marine reserves can mitigate and promote adaptation to climate change. In: *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2017, 114, 24, S. 6167-6175
- Rogelj, J.; Shindell, D.; Jiang, K.; Fifita, S.; Forster, P.; Ginzburg, V.; Handa, C.; Khesghi, H.; Kobayashi, S.; Kriegler, E.; Mundaca, L.; Séférian, R.; Vilariño, M. V. (2018): Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press,
- Schmidtko, S.; Stramma, L.; Visbeck, M. (2017): Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. In: *Nature*, 2017, 542, 7641, S. 335-339
- Serrano, O.; Almahsheer, H.; Duarte, C. M.; Irigoien, X. (2018): Carbon stocks and accumulation rates in Red Sea seagrass meadows. In: *Scientific Reports*, 2018, 8, 1, S.
- Shepard, C. C.; Crain, C. M.; Beck, M. W. (2011): The protective role of coastal marshes: A systematic review and meta-analysis. In: *PLoS ONE*, 2011, 6, 11, S. e27374
- Short, F. T.; Neckles, H. A. (1999): The effects of global climate change on seagrasses. In: *Aquatic Botany*, 1999, 63, 3-4, S. 169-196
- Simard, M.; Fatoyinbo, L.; Smetanka, C.; Rivera-Monroy, V. H.; Castañeda-Moya, E.; Thomas, N.; Van der Stocken, T. (2019): Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency. In: *Nature Geoscience*, 2019, 12, 1, S. 40-45
- Sippo, J. Z.; Lovelock, C. E.; Santos, I. R.; Sanders, C. J.; Maher, D. T. (2018): Mangrove mortality in a changing climate: An overview. In: *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2018, 215, S. 241-249
- Smale, D. A. (2020): Impacts of ocean warming on kelp forest ecosystems. In: *New Phytologist*, 2020, 225, 4, S. 1447-1454
- Smale, D. A.; Moore, P. J.; Queirós, A. M.; Higgs, N. D.; Burrows, M. T. (2018): Appreciating interconnectivity between habitats is key to blue carbon management. In: *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2018, 16, 2, S. 71-73

- Snelgrove, P. V. R. (2013): Marine Sediments. In: Levin, S. A. [ed.]: Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition). Academic Press, Waltham, S. 105-115
- Society for Ecological Restoration (2004): The SER International Primer on Ecological Restoration. Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group, Society for Ecological Restoration International;
- Sondak, C. F. A.; Chung, I. K. (2015): Potential blue carbon from coastal ecosystems in the Republic of Korea. In: Ocean Science Journal, 2015, 50, 1, S. 1-8
- Sousa, A. I.; Lillebø, A. I.; Pardal, M. A.; Caçador, I. (2010): Productivity and nutrient cycling in salt marshes: Contribution to ecosystem health. In: Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2010, 87, 4, S. 640-646
- Taillardat, P.; Friess, D. A.; Lupascu, M. (2018): Mangrove blue carbon strategies for climate change mitigation are most effective at the national scale. In: Biology Letters, 2018, 14, 10, S. 1-6
- The Blue Carbon Initiative (2019): Kaimana Coastal Conservation and Community Development – Indonesia. <https://www.thebluecarboninitiative.org/blue-carbon-activities/2019/4/26/kaimana-coastal-conservation-and-community-development-indonesia> (25.08.2021)
- The Fish Site (2020): Korean seaweed farmers land sustainability certification. <https://thefishsite.com/articles/korean-seaweed-farmers-land-sustainability-certification> (18.08.2021)
- The Nation Thailand (2017): Baan Bang La Conservation Group Wins Global Equator Prize. <https://www.nationthailand.com/in-focus/30322666> (18.08.2021)
- Thomas, T.; Pidgeon, E.; Durham, C.; Herr, D.; Hickey, T.; Martini, C.; Sandoval, M.; Murray, L. S.; Sinclair, Z.; von Unger, M. (2020): Blue Carbon and Nationally Determined Contributions. The Blue Carbon Initiative, ,
- Turley, C.; Racault, M.-F.; Roberts, J. M.; Scott, B. E.; Sharples, J.; Thiele, T.; Williams, R. G.; P., W. (2021): Why the Ocean Matters in Climate Negotiations. COP26 Universities Network Briefing,
- Uddin, M. S.; de Ruyter van Steveninck, E.; Stuij, M.; Shah, M. A. R. (2013): Economic valuation of provisioning and cultural services of a protected mangrove ecosystem: A case study on Sundarbans Reserve Forest, Bangladesh. In: Ecosystem Services, 2013, 5, S. 88-93
- Ullman, R.; Bilbao-Bastida, V.; Grimsditch, G. (2013): Including Blue Carbon in climate market mechanisms. In: Ocean and Coastal Management, 2013, 83, S. 15-18
- UNDP Thailand (2017): Baan Bang La Conservation Group Wins Global Equator Prize for Long-Standing Efforts on Mangrove Conservation. <https://www.th.undp.org/content/thailand/en/home/presscenter/articles/2017/06/30/baan-bang-la-conservation-group-wins-global-equator-prize-for-long-standing-efforts-on-mangrove-conservation.html> (18.08.2021)
- UNFCCC (o. D.-a): Araku Valley Livelihood Project <https://cdm.unfccc.int/Projects/Validation/DB/U8PML4HH2RJCPDAV27DZRYOS6GKEB4/view.html> (27.08.2021)
- UNFCCC (o. D.-b): Belize: Nationally Determined Contribution under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- UNFCCC (o. D.-c): Project 5265 : Oceanium mangrove restoration project. <https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/ErnstYoung1316795310.61/view> (27.08.2021)
- United Nations Development Programme (2019): Community Mangrove Forest Conservation Of Baan Bang La, Thailand. Equator Initiative Case Study Series, New York, NY
- United Nations Development Programme (2020): Mikoko Pamoja, Kenya. Equator Initiative Case Study Series, New York, NY
- Universität Hamburg (2018): Interaction of fish, plants, carbon & sediment: management and ecosystem functions of Wadden Sea salt marshes - INTERFACE. <https://www.biologie.uni-hamburg.de/forschung/oekologie-biologische-ressourcen/angpfloek/drittmittelprojekte/interface1.html> (18.08.2021)
- Unsworth, R. K. F.; Collier, C. J.; Henderson, G. M.; McKenzie, L. J. (2012): Tropical seagrass meadows modify seawater carbon chemistry: Implications for coral reefs impacted by ocean acidification. In: Environmental Research Letters, 2012, 7, 2, S. 1-9
- Van der Wal, D.; Wielemaker-Van den Dool, A.; Herman, P. M. J. (2008): Spatial patterns, rates and mechanisms of saltmarsh cycles (Westerschelde, The Netherlands). In: Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008, 76, 2, S. 357-368
- Verra (2021a): Blue Carbon Project Gulf Of Morrosquillo “Vida Manglar”. <https://registry.verra.org/app/projectDetail/VCS/2290> (17.08.2021)

- Verra (2021b): CCB & VCS Project Description: Blue Carbon Project Gulf Of Morrosquillo "Vida Manglar".
https://registry.verra.org/mymodule/ProjectDoc/Project_ViewFile.asp?FileID=46802&IDKEY=a0e98hfalksuf098fnsdalfkjfoijmn4309JLKJfjlaksjfla9a64539958 (17.08.2021)
- Verra (2021c): Press Release: Verra Has Registered Its First Blue Carbon Conservation Project.
<https://verra.org/press-release-verra-has-registered-its-first-blue-carbon-conservation-project/> (17.08.2021)
- Vierros, M. (2017): Communities and blue carbon: the role of traditional management systems in providing benefits for carbon storage, biodiversity conservation and livelihoods. In: *Climatic Change*, 2017, 140, 1, S. 89-100
- Voiland, A. (2021): Green Harvest in South Korean Waters.
<https://earthobservatory.nasa.gov/images/148215/green-harvest-in-south-korean-waters> (18.08.2021)
- Watanabe, K.; Seike, K.; Kajihara, R.; Montani, S.; Kuwae, T. (2019): Relative sea-level change regulates organic carbon accumulation in coastal habitats. In: *Global Change Biology*, 2019, 25, 3, S. 1063-1077
- Waycott, M.; Duarte, C. M.; Carruthers, T. J. B.; Orth, R. J.; Dennison, W. C.; Olyarnik, S.; Calladine, A.; Fourqurean, J. W.; Heck Jr, K. L.; Hughes, A. R.; Kendrick, G. A.; Kenworthy, W. J.; Short, F. T.; Williams, S. L. (2009): Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106, 30, S. 12377-12381
- Webb, P. (2019): *Introduction to Oceanography*.
- Wernberg, T.; Smale, D. A.; Tuya, F.; Thomsen, M. S.; Langlois, T. J.; De Bettignies, T.; Bennett, S.; Rousseaux, C. S. (2013): An extreme climatic event alters marine ecosystem structure in a global biodiversity hotspot. In: *Nature Climate Change*, 2013, 3, 1, S. 78-82
- Wong, P. P.; Losada, I. J.; Gattuso, J. P.; Hinkel, J.; Khattabi, A.; McInnes, K. L.; Saito, Y.; Sallenger, A.; Nicholls, R. J.; Santos, F.; Amez, S. (2014): Coastal systems and low-lying areas. In: [ed.]: *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, S. 361-410
- Woodall, L. C.; Sanchez-Vidal, A.; Canals, M.; Paterson, G. L. J.; Coppock, R.; Sleight, V.; Calafat, A.; Rogers, A. D.; Narayanaswamy, B. E.; Thompson, R. C. (2014): The deep sea is a major sink for microplastic debris. In: *Royal Society Open Science*, 2014, 1, 4, S.
- WWF-UK (2020): *Seagrass Ocean Rescue - Restoring ocean health to help tackle the nature and climate emergency*. WWF,
- WWF (o. D.-a): *Fostering coastal habitat protection through embracing ambitious climate commitments in Belize*.
https://c402277.ssl.cf1.rackcdn.com/publications/1360/files/original/Blue_Carbon_Project_Factsheet.pdf?1596934460 (18.08.2021)
- WWF (o. D.-b): *Protecting coastal habitats in Belize through ambitious climate commitments*.
https://www.wwfca.org/protecting_coastal_habitats_in_belize_through_ambitious_climate_commitments/ (18.08.2021)
- Wylie, L.; Sutton-Grier, A. E.; Moore, A. (2016): Keys to successful blue carbon projects: Lessons learned from global case studies. In: *Marine Policy*, 2016, 65, S. 76-84
- Yale Environment 360 (2021): *New Approach to Blue Carbon Projects Underway in Colombia*.
<https://e360.yale.edu/digest/new-approach-to-blue-carbon-projects-unveiled-in-colombia> (17.08.2021)

8 Annex A: Blue-Carbon-Dossiers

I. Mangrovenwälder



©US National Oceanic and Atmospheric Administration

Übersicht

- Mangrovenwälder speichern bis zu 15 % des gesamten globalen organischen Kohlenstoffs und gelten als die produktivsten aller küstennahen Blue-Carbon-Ökosystemen bezüglich der Speicherung von Kohlenstoff
- Mangrovenwälder gehören zu den am meisten bedrohten Ökosystemen weltweit. Das Ökosystem wird vor allem durch Rodung für die Gewinnung von Bau- und Brennholz sowie Abholzung für küstennahe Infrastruktur und Wirtschaftszweige (z.B. Garnelenzucht) bedroht.
- Für eine langfristige Speicherung von Kohlenstoff müssen Mangrovenwälder dauerhaft bewirtschaftet werden, da bei einer Degradation des Ökosystems der gespeicherte Kohlenstoff wieder freigesetzt würde

Einführung

Es gibt circa 70 verschiedene Mangrovenpflanzenarten, wobei Mangroven ausschließlich in den Gezeitenzonen der Küste vorkommen und in Gewässern oder Böden mit hohem Salzgehalt gedeihen. Mangrovenwälder gelten als wichtiges Bindeglied zwischen den terrestrischen und ozeanischen Kohlenstoffkreisläufen und sind eines der kohlenstoffreichsten Ökosysteme weltweit (Donato et al. 2011; Simard et al. 2019). Mangroven erfüllen eine Vielzahl an ökologischen Funktionen bzw. Ökosystemleistungen und versorgen die lokale Bevölkerung mit verschiedenen wirtschaftlich wertvollen Produkten und Dienstleistungen. Auf globaler Ebene erfüllen sie durch ihren beträchtlichen Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung eine wichtige Funktion im Klimasystem und für den Klimaschutz, d.h. die Sequestrierung von CO₂ aus der Atmosphäre. Mangroven gehören jedoch auch zu den am meisten bedrohten natürlichen Ökosystemen weltweit: In den letzten 20 Jahren ist die weltweite Fläche von Mangroven um 1,04 Millionen Hektar geschrumpft, während sich die Verlustrate von Mangroven in den letzten drei Jahrzehnten halbiert hat (FAO 2020). Um das volle Potential der Kohlenstoffspeicherung zu erreichen, müssen Mangrovenwälder langfristig geschützt und wiederhergestellt werden.

CO₂-Sequestrierungspotential

Mangrovenwälder gelten von allen küstennahen Blue-Carbon-Ökosystemen als am produktivsten bezüglich der Kohlenstoffspeicherung, mit einer bis zu fünffach höheren Bruttoprimärproduktion als andere Ökosysteme. Mangroven und deren Sedimente beinhalten bis zu 15 % des gesamten globalen gespeicherten organischen Kohlenstoffs (Pérez et al. 2018).

CO₂-Sequestrierungspotential (gemittelt): 168 ± 36 gC m⁻² a⁻¹ ^a
Besonderheiten des Ökosystems
Um das Potential der Kohlenstoffspeicherung durch Mangroven weltweit maximal auszuschöpfen, wird es Jahre bis Jahrzehnte dauern. Dies liegt zum einen daran, dass der Schutz von Mangroven-Ökosystemen über mehrere Dekaden erfolgen muss, um effektiv zu sein. Auch die erfolgreiche Wiederherstellung erfordert ein langfristiges Engagement. Wenn ein Mangrovenökosystem erfolgreich wieder hergestellt ist, kann der Kohlenstoff langfristig gespeichert werden (Gattuso et al. 2021). Die Kohlenstoffspeicherkapazitäten von Mangroven wächst, wenn das Ökosystem ungestört bleibt und die biologische Sequestrierung von CO ₂ und die Festlegung von Kohlenstoff in Sedimenten und Biomasse uneingeschränkt erfolgt. Wenn sich die aktuellen Trends der Abholzung und Zerstörung von Mangroven jedoch fortsetzen, könnte ein Großteil des in Mangroven gespeicherten Kohlenstoffs wieder freigesetzt und die Akkumulationsfunktion verloren gehen.
Regionale Verbreitung des Ökosystems
Mangrovenwälder bedecken weniger als 1% der globalen Küstengebiete. Die Ausbreitung von Mangrovenwäldern beschränkt sich auf die Tropen, Subtropen und einige Standorte der Gemäßigten Zone. Im Jahr 2020 betrug die globale Fläche der Mangrovenwälder 14,8 Millionen Hektar, wobei Asien die höchste Mangroven-Bedeckung ausweist (5,5 Millionen ha) und in Europa keine Mangroven vorkommen (FAO 2020). Die Länder mit der größten Fläche an Mangrovenwäldern (insgesamt 40 %) sind (FAO 2020): <ul style="list-style-type: none"> ▪ Indonesien (19 %) ▪ Brasilien (9 %) ▪ Nigeria (7 %) ▪ Mexiko (6 %) <p>In einer Studie argumentieren Taillardat et al. (2018), dass der Einsatz von Mangrovenwäldern für Kohlenstoffsequestrierung auf globaler Ebene zwar von begrenzter Bedeutung ist, jedoch in Ländern mit ausgedehnten Küsten eine bedeutendere Rolle spielen kann, wenn dies mit komplementären CO₂-Minderungsprogrammen gekoppelt wird und Abholzung von Mangroven reduziert wird.</p>
Parallele Nutzen / Co-Benefits^b
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nahrungssicherheit & Fischerei: Zahlreiche Fischarten und Schalentiere (Castagno 2018) nutzen Mangrovenwälder als Habitat und können somit die Erträge der Fischereiwirtschaft stärken (Aburto-Oropeza et al. 2008) und Nahrung für die lokale Bevölkerung sichern. ▪ Nährstoffregulation: Mangrovenarten wie <i>Sonneratia spp</i> können Nährstoffe wie Nitrite, Ammoniumstickstoff und reaktiven Phosphor um bis zu 89 %, 86 % bzw. 38 % in Küstengewässern reduzieren (Sousa et al. 2010). ▪ Erosions- und Küstenschutz: Mangrovenwälder tragen zum Küstenschutz bei, indem sie die Wellenenergie abschwächen (Hochard et al. 2019). Mangrovenvegetation kann die ankommenden Wellenhöhen um 80 % reduzieren (Brinkman 2006) und dadurch Schutz vor Überschwemmungen und mögliche, durch den Klimawandel bedingte, stärkere Sturmfluten bieten (Blankespoor et al. 2017). Die komplexen oberirdischen Wurzelstrukturen vieler Mangrovenarten tragen zur Sedimentbindung bei (Krauss et al. 2003) und reduzieren Küstenerosion. ▪ Klimaregulierung: Die mittlere Kohlenstoffspeicherrate von Mangroven liegt bei 174 bis 224 gC m⁻² a⁻¹ (Alongi 2012; Hopkinson et al. 2012). Der durchschnittliche globale Kohlenstoffbestand in den Sedimenten von Mangrovenwäldern werden auf 956 TC ha⁻¹^c geschätzt und liegen damit deutlich höher als der von Seegraswiesen oder Salzwiesen (Alongi 2014). Mangrovenwälder können mikroklimatisch zudem wirksam lokale Temperaturen durch Evapotranspiration abkühlen (de Lima und Galvani 2013) und somit auch zur Anpassung an den Klimawandel beitragen.

^a Einheit: Gramm Kohlenstoff pro Quadratmeter pro Jahr

^b Die aufgeführten Co-Benefits beruhen ausschließlich auf der Erhaltung oder Wiederherstellung von Mangroven. Weitere Co-Benefits (z.B. Bereitstellen von Baumaterial oder Brennstoff) werden nur durch Abholzung erlangt.

^c Einheit: Tonne Kohlenstoff pro Hektar

- **Soziokultureller Nutzen:** Mangrovenwälder bieten je nach lokalen Gebräuchen eine Vielzahl an kulturellen Ökosystemleistungen (z.B. naturbasierte Freizeitaktivitäten) und können durch ihre Attraktivität auch das touristische Interesse an der Region ankurbeln (Uddin et al. 2013; Queiroz et al. 2017).
- **Wichtiger Lebensraum (Biodiversität):** Mangroven bieten einen wichtigen Lebensraum für viele Arten. In Mangrovenwäldern ist die Artendiversität höher als in angrenzenden Gewässern und Sedimenten und selbst kleine Mangrovegebiete verbessern die funktionale und taxonomische Artenvielfalt in Küstengebieten (Corte et al. 2021). Erste Forschungsergebnisse deuten außerdem an, dass die Biodiversität auch einen Einfluss auf die Kohlenstoffspeicherung hat (Rahman et al. 2021). Auch für den Ökotourismus (z.B. Vogelbeobachtung oder Angeln) spielt die Biodiversität eine wichtige Rolle (Malik et al. 2019). Allerdings reduziert sich aktuell die Biodiversität in Mangrovenwäldern, insbesondere in gestörten Gebieten (Carugati et al. 2018; Malik et al. 2019).

Mögliche Konflikte / Trade-Offs

Das Abholzen von Mangrovenwäldern verringert nicht nur die natürliche Kohlenstoffspeicherung der Ökosysteme, sondern erzielt eine Negativbilanz durch das Freisetzen des bereits gespeicherten Kohlenstoffs (Hamilton und Friess 2018). Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass das Abholzen von Mangrovenwäldern oftmals für die lokale Bevölkerung durch die Bereitstellung von Energie- und Baumaterialien oder Tierfuttermitteln von mittelfristigem Nutzen ist (Friess et al. 2020). Es können somit Konflikte entstehen, wenn kurz- oder mittelfristige lokale Nutzen den globalen Klimazielen gegenübergestellt werden.

Mangrovenwälder können außerdem als Habitate für Malariaüberträger wie Anopheles-Mücken und andere Krankheitserreger fungieren und so gesundheitliche Risiken fördern (Dunn 2010). Dadurch entstehende Arztkosten und Arbeitsunfähigkeit können den finanziellen Wohlstand der lokalen Bevölkerung beeinträchtigen (Knight et al. 2017). Malaria übertragende Mücken könnten zudem den touristischen Anreiz der Region vermindern (Friess et al. 2020).

Mangrovenwälder werden in manchen Regionen von lokalen Einwohnern als ‚düster‘ und der Geruch als unangenehm beschrieben (Friess et al. 2020) welches die Lebensbedingung der lokalen Bevölkerungen einschränken kann.

II. Seegraswiesen



©US National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA Photo Library

Übersicht

- Obwohl Seegräser weniger als 0,2 % der Weltmeere bedecken, sind sie jährlich für etwa 10-18 % des im gesamten Ozean sequestrierten CO₂ verantwortlich.
- In den letzten Jahrzehnten hat der globale Bestand an Seegraswiesen stark abgenommen. Zu den Stressfaktoren gehören Sediment- und Nährstoffrückgang, physische Störungen, invasive Arten, Krankheiten, bestimmte Fischereipraktiken, Aquakultur, Algenblüten und die globale Erwärmung.
- Seegraswiesen stabilisieren Sedimente und können so zum Erosionsschutz beitragen. Sie haben außerdem die Eigenschaft kalkbildende Organismen wie Korallenriffe vor der Versauerung zu schützen

Einführung

Seegräser sind Unterwasserpflanzen mit tiefen Wurzeln, die sich als Wiesen entlang von Küsten verbreiten und im Gegensatz zu Algen einmal im Jahr für kurze Zeit blühen. Es sind mehr als 60 Seegrasarten bekannt, wobei sich über 10 Arten gleichzeitig in einer Wiese ansetzen können. Seegräser können in ihren Sedimenten CO₂ in bis zu vier Meter Tiefe speichern. Seegräser gehören zu den am stärksten bedrohten Ökosystemen der Welt und weisen einen jährlichen globalen Verlust von etwa 110 km² auf, in einer Geschwindigkeit, die sich über die letzten Jahrzehnte beschleunigt hat (Waycott et al. 2009). Zu den größten Bedrohungen für Seegräser gehören die Verschlechterung der Wasserqualität durch Eutrophierung in Folge von Nährstoffeinträgen aus Landnutzung, Aquakultur, thermische Verschmutzung, physische Veränderung oder Schädigung des Lebensraums durch Küsteninfrastrukturentwicklung, invasive Arten, für das Ökosystem schädliche Fischereipraktiken und Klimawandel (Orth et al. 2006). Wenn der Trend anhält, werden in den nächsten 100 Jahren 30-40% aller Seegraswiesen verloren gehen (IPCC 2019).

CO₂-Sequestrierungspotential

Obwohl Seegräser weniger als 0,2 % der Weltmeere ausmachen, binden sie jährlich etwa 10-18 % des gesamten im Ozean sequestrierten CO₂ (27-44 Tg CO₂^d pro Jahr) (Duarte et al. 2005). Pro Hektar können Seegräser bis zu doppelt so viel CO₂ speichern wie terrestrische Wälder (Duarte et al. 2005; Fourqurean et al. 2012).

CO₂-Sequestrierungspotential (global gemittelt): 138 ± 38 g C m⁻² a⁻¹^e (McLeod et al. 2011)

Besonderheiten der des Ökosystems

Viele Seegraswiesen in den Tropen bestehen aus verschiedenen Seegrasarten, die nicht nur in Größe und Form, sondern auch in Wachstums- und Umsatzraten variieren, welches je nach Gegebenheiten ein andauerndes oder saisonales Vorkommen der Wiesen bedeuten kann (Kilminster et

^d Einheit: Terragram CO₂ pro Jahr

^e Einheit: Gramm Kohlenstoff pro Quadratmeter pro Jahr

al. 2015). Die Kohlenstoffspeicherung, die in verschiedenen Phasen (Sukzessionsstadien) von Seegraswiesen erbracht werden, variiert stark, so dass sich die Werte je nach Betrachtungszeitraum unterscheiden können (Kilminster et al. 2015). Selbst bei monospezifischen Seegraswiesen in gemäßigten Zonen unterliegen die Pflanzen großen jahreszeitlichen Schwankungen in Bezug auf Biomasse und Produktivität (Kilminster et al. 2015).

Während für andere Lebensräume wie Korallen- und Muschelriffe ein Rückgang aufgrund steigender Meerestemperaturen, Ozeanversauerung und zunehmender Industrialisierung vorhergesagt wird, haben Seegraswiesen physiologische Eigenschaften, die sie wahrscheinlich weniger anfällig für globale Umweltveränderungen machen (Short und Neckles 1999). Dennoch zählt der Klimawandel zu ihren Belastungen.

Serrano et al. (2018) berichten in ihrer Studie, dass globale Schätzwerte zu Kohlenstoffvorräten und Akkumulationsraten von Seegräsern auf Werten einiger weniger Regionen beruhen, was die globalen Schätzungen potenziell verzerrt. Im Roten Meer herrschen beispielsweise limitierte Nährstoffverhältnisse, was die Wachstumsrate von Seegraswiesen reduziert, sowie hohe Temperaturen, welche die Bodenatmung und somit die Wiederfreisetzung von CO₂ erhöhen (Serrano et al. 2018). Die Folge ist ein relativ geringer Kohlenstoffspeicher im Vergleich zu Seegraswiesen in der gemäßigten Zone (Serrano et al. 2018).

Bei der Planung von Seegraswiesen als Blue-Carbon-Speicher sollte bedacht werden, dass die Größe des Ökosystems hierbei eine wichtige Rolle spielt. Eine kürzlich durchgeführte Studie zur Kohlenstoffsequestrierung von Seegraswiesen zeigt, dass die Speicherkapazität von der Größe der Seegraswiese abhängt; größere Seegraswiesen erwiesen sich als effektiver bei der Aufnahme und Speicherung von organischem Kohlenstoff (Miyajima et al. 2017).

Regionale Verbreitung des Ökosystems

Seegraswiesen finden sich entlang der Küsten aller Kontinente außer der Antarktis und Schätzungen zur globalen Verbreitung des Ökosystems gehen in der Fachliteratur weit auseinander und reichen von 177.000 bis 600.000 km² (Duarte et al. 2010). Über Dreiviertel der Arten kommen in borealen, gemäßigten und tropischen Gewässern vor (Green und Short 2003). Sie können Flächen im Umfang von 1 m² bis mehrere tausenden Quadratkilometer besiedeln. Die weltweit größte bekannte Seegraswiese bedeckt 4.500 km² und befindet sich vor der Westküste Australiens. Seegraswiesen wachsen in Gebieten mit weichem Sediment, die entweder eulitoral (von Gezeiten täglich aufgedeckt) oder sublitoral (ständig unter Wasser) sind. Seegräser bevorzugen geschützte Orte wie flache Buchten, Lagunen und Flussmündungen, wo der Wellengang begrenzt ist und die Licht- und Nährstoffkonzentration hoch ist. Seegräser können bis zu einer Wassertiefe von ca. 60 m vorkommen, was jedoch von der Verfügbarkeit von Licht abhängt, da Seegraswiesen, wie Pflanzen an Land, Sonnenlicht für die Photosynthese benötigen. Die Gezeiten, der Wellengang, die Klarheit des Wassers und der Salzgehalt steuern, wo sich Seegräser an den flachen, küstennahen Rändern dieser Küstenformen ansiedeln können (Hemminga und Duarte 2000). Aufgrund des flachen Küstenlebensraums, den die meisten Seegraswiesen besiedeln, sind diese jedoch besonders anfällig für anthropogene Störungen (Waycott et al. 2009).

Parallele Nutzen / Co-Benefits

- **Schutz vor Küstenerosion, Stürmen und Überschwemmungen:** Seegraswiesen stabilisieren Sedimente, was zum Schutz vor Küstenerosion beiträgt (Ondiviela et al. 2014).
- **Fischerei:** Seegraswiesen fungieren als Habitat für Fischarten von hohem wirtschaftlichem Wert und können daher eine wichtige Rolle in der Subsistenzfischerei spielen. In vielen Ländern stellen Seegraswiesen für die dortige Fischerei wichtige Lebensräume dar (z. B. Königinnmuschel, *Eustrombus gigas*, in der Karibik, oder Schmutzfleck-Dornfuß, *Siganus canaliculatus*, im Indopazifik) und unterstützen die Produktivität der Fischerei in angrenzenden Lebensräumen (z. B. Korallenriffen) (Cullen-Unsworth und Unsworth 2013). Während für andere marine Ökosysteme wie Korallen- und Muschelriffe ein Rückgang aufgrund steigender Meerestemperaturen, Ozeanversauerung und zunehmender Industrialisierung vorhergesagt wird, verfügen Seegraswiesen über physiologische Eigenschaften, die sie wahrscheinlich weniger anfällig für globale Umweltveränderungen machen (Short und Neckles 1999). Die Erhaltung von Seegraswiesen könnte daher aufgrund des Klimawandels und seiner Folgen neben dem Schutz der marinen Biodiversität auch einen langfristigen Ansatz zur Erhaltung der Ernährungssicherheit ermöglichen (Cullen-Unsworth und Unsworth 2013).

- **Lebensraum und Aufzuchthabitat:** Seegraswiesen bieten auf Grund ihrer strukturellen Komplexität, welche Schutz vor feindlichen Arten bietet kann, ein Aufzuchthabitat für Fische (Beck et al. 2001). Jungfische können in Seegraswiesen schneller wachsen, höhere Überlebensraten haben und letztendlich fruchtbarer werden als in anderen küstennahen Habitaten (Beck et al. 2001).
- **Lokaler Schutz vor Ozeanversauerung:** Auf lokaler Ebene sind Seegraswiesen wichtig, um kalkbildende Organismen vor Ozeanversauerung zu schützen. Hochproduktive tropische Seegräser leben oft angrenzend an oder zwischen Korallenriffen und verbrauchen große Mengen anorganischen Kohlenstoffs. Tropische Seegräser haben dadurch das Potenzial, lokal begrenzte Erhöhungen des pH-Werts des Meerwassers um bis zu 0,38 Einheiten und eine Erhöhung der Aragonitsättigung (ein Indikator für die Wachstumsfähigkeit von Korallen) um 2,9 Einheiten zu bewirken (Unsworth et al. 2012). Seegraswiesen könnten somit die Widerstandsfähigkeit von Korallenriffen gegenüber zukünftiger Ozeanversauerung erhöhen.

Mögliche Konflikte / Trade-Offs

Um Seegraswiesen zu erhalten, muss die lokale Bevölkerung ggf. andere potentielle Nutzungen einschränken, z.B. die Nutzung von Seegras zur Herstellung von Medikamenten oder die Verwendung als Dünger. Die Kommunikationsarbeit, die erforderlich ist um die Bedeutung des langfristigen, globalen Nutzens gegenüber dem direkten lokalen Nutzen der lokalen Bevölkerung darzulegen, kann schwierig sein (Nordlund et al. 2018).

III. Salzwiesen



©Olha Rohulya, Fotalia

Übersicht
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Das CO₂-Sequestrierungspotential von Salzwiesen ist ähnlich dem von Mangrovenwäldern ▪ Salzwiesen weisen heute nur noch rund die Hälfte ihrer ursprünglichen globalen Ausdehnung auf; und sie drohen insbesondere durch Erosion noch weiter zurückzugehen, welches beispielsweise durch Landnutzungsänderungen oder Stürme verursacht wird. ▪ Salzwiesen haben einen signifikant positiven Effekt auf die Wellendämpfung in Küstenregionen und können somit vor Erosion, Sturmfluten und Überschwemmungen schützen.
Einführung
<p>Salzwiesen kommen vor allem in gemäßigten und subarktischen Regionen vor, obwohl sich auch in den Tropen und Subtropen Salzwiesen ausbreiten können und mit Mangrovenwäldern ein Ökoton^f bilden können (Friess et al. 2020). Ihre globale Fläche erstreckt sich nach konservativen Schätzungen auf um 50.000 km² (Ouyang und Lee 2014; McOwen et al. 2017), wobei der beobachtete Rückgang auf die Hälfte ihrer historischen Ausdehnung in den letzten Jahrhunderten fast ausschließlich auf menschliches Handeln zurückzuführen ist (Giuliani und Bellucci 2019). Salzwiesen sind dynamische Systeme, die normalerweise nur in einer weitestgehend geschützten Umgebung vorkommen (Best et al. 2007). Die Entwicklung von Salzwiesen hängt unter anderem vom Vorhandensein von Schlickflächen ab (Boorman 2003).</p>
CO ₂ -Sequestrierungspotential
<p>CO₂-Sequestrierungspotential (gemittelt): 218 ± 24 g C m⁻² a⁻¹ g (McLeod et al. 2011)</p>
Besonderheiten des Ökosystems
<p>Salzwiesen können Zyklen von großflächiger Sumpfbildung im Wechsel mit lateraler Erosion durchlaufen, was zu einer räumlichen Verschiebung der Vegetationskante führt. Folglich wird es eine Herausforderung sein, Entwicklungstrends im Salzwiesenbestand, die durch Umweltveränderungen wie Klimawandel und Meeresspiegelanstieg verursacht werden, von Veränderungen aufgrund der natürlichen Variabilität dieses Ökosystems zu trennen (Van der Wal et al. 2008).</p>
Regionale Verbreitung des Ökosystems
<p>McCall und Pennings (2012) haben in einer kleinen Feldstudie entlang des Atlantiks und der amerikanischen Golfküste festgestellt, dass selbst bei einem einzelnen Salzwiesenhabitat geographische Variationen in den abiotischen Bedingungen und der Pflanzenstruktur zu finden sind. Extrapolationen von einer geographischen Region auf eine andere sind daher problematisch.</p> <p>McOwen et al. (2017) haben einen Datensatz von 99 Ländern bezüglich des Vorkommens von Salzwiesen ausgewertet und dabei ein Vorkommen von knapp 5,5 Millionen Hektar in 43</p>

^f Ein Ökoton (auch "Saumbiotop" oder "Randbiotop") ist in der Ökologie ein Übergangsbereich zwischen zwei verschiedenen Ökosystemen.

^g Einheit: Gramm Kohlenstoff pro Quadratmeter pro Jahr

Ländern berechnet. Die größten Salzwiesen wurden außerhalb der Tropen festgestellt, insbesondere entlang der Küsten des Nordatlantiks. Salzwiesen wurden am meisten in den USA (1,7 Millionen Hektar), Australien (1,3 Millionen Hektar) und Russland (0,7 Millionen Hektar) erfasst. Gut 23.000 ha des deutschen Wattenmeer Gebiets und etwa 4.000 ha der deutschen Ostseeküste sind Salzwiesen (Acosta et al. 2016a; Esselink et al. 2017). Bei beiden Gebieten ist der langfristige Trend rückläufig (Acosta et al. 2016a, 2016b).

Parallele Nutzen / Co-Benefits

- **Stabilisierung der Küstenlinie und Schutz vor Überflutungen:** Salzwiesen haben einen signifikant positiven Effekt auf die Wellendämpfung in Küstenregionen und können somit vor Erosion, Sturmfluten und Überschwemmungen schützen (Shepard et al. 2011; Giuliani und Bellucci 2019). Bei Überschwemmungen lagern sich Sedimente ab, die anschließend von der Vegetation der Salzwiesen gebunden werden. Dieser Prozess führt zu einem langsamen Aufwuchs der Salzwiesen (Gedan et al. 2009; Esselink et al. 2017)
- **Filtrierung toxischer Substanzen:** Salzwiesenpflanzen sind je nach Art in der Lage, durch „Rhizofiltration“^h, Phytostabilisierung (Verringerung der Mobilität und Bioverfügbarkeit von Metallen im Boden durch Pflanzenwurzeln - Komplexbildung) oder Phytoakkumulation (Anreicherung von Metallen in der Pflanzenbiomasse) zur Filtrierung von Schwermetallen wie Quecksilber aus dem Meerwasser beizutragen (Marques, Lillebo, et al. 2011).
- **Regulierung des Nährstoffkreislaufs:** Die Aufnahme von Stickstoff und Phosphor aus den Sedimenten und ihre Einbindung in die pflanzliche Biomasse bedeuten eine Sequestrierung und Retention von Nährstoffen, wodurch ihre Verfügbarkeit in der Wassersäule verringert und die Eutrophierung potenziell reduziert wird (Sousa et al. 2010).
- **Öko-Tourismus:** Die große Artenvielfalt von Salzwiesen macht diese Regionen attraktiv für Öko-Tourismus. Insbesondere für Vogelbeobachtungen sind Salzwiesen geeignet (Burger et al. 1995; Friess et al. 2020).
- **Wichtiger Lebensraum (Biodiversität):** Salzwiesen sind ein wichtiger Lebensraum für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten. Dazu gehören viele Vogelarten, aber auch zahlreiche wirbellose Tierarten. Für Jungfische und Krustentieren bieten Salzwiesen außerdem einen wichtigen Ort zur Regeneration der Bestände, was wichtig für die Küstenfischerei ist (Boorman 2003; Gedan et al. 2009; Friess et al. 2020). Salzwiesen werden häufig als Weideflächen genutzt. Solche Flächen weisen eine geringere Artenvielfalt auf als nicht beweidete Gebiete (Boorman 2003). Die Biodiversität der Salzwiesen ist aktuell vom Klimawandel und menschlichen Einflüssen bedroht (Boorman 2003).

Potentielle Konflikte / Trade-Offs

Salzwiesen sind für die lokale Bevölkerung in vielerlei Hinsicht von wirtschaftlichem Nutzen, u.a. für die Fischerei, als Tierfutter- oder Brennstofflieferant und sogar für die Versorgung mit medizinischen Heilmitteln (Friess et al. 2020). Auch beim Küstenschutz kann es zu potentiellen Konflikten kommen, da natürliche statt traditionelle Küstenschutzansätze gewählt werden sollten, um Salzwiesen optimal zu unterstützen (Narayan et al. 2016). Bei der Unterschutzstellung oder Wiederherstellung von Salzwiesen als Blue-Carbon-Ökosysteme sollten diese und andere Trade-offs bei der Projektplanung und mit Blick auf langfristige Zusammenarbeit mit der lokalen Bevölkerung berücksichtigt werden.

^h Anreicherung von Metallen in der Rhizosphäre durch Pflanzenabsorption, -konzentration und -ausfällung von Schadstoffen aus verschmutzten wässrigen Quellen

IV. Makroalgen



©The Global Environment Facility

Übersicht

- Es ist nicht abschließend geklärt, ob Makroalgen zu den Blue-Carbon-Ökosystemen gezählt werden können, da der Kohlenstoff bei den meisten Makroalgen-Arten nur in der Biomasse eingelagert wird und nicht wie bei den anderen Blue-Carbon-Ökosystemen in Sedimenten.
- Makroalgen weisen ein besonders großes Potential als Kohlenstoffsенке auf. Sie binden jährlich so viel CO₂ wie alle anderen Blue Carbon Ökosystemen zusammen.
- Es gibt bisher noch keine Kostenanalyse für den Anbau von Makroalgen zur Kohlenstoffspeicherung, welches die Abschätzung der wirtschaftlichen Durchführbarkeit der Methode erschwert.

Einführung

Marine Makroalgen werden grob in rote (*Rhodophyta*), grüne (*Chlorophyta*) und braune (*Heterokontophyta*) Algen unterteilt. Makroalgen sind primitive Pflanzen die zwar Photosynthese betreiben, doch im Gegensatz zu anderen Blue-Carbon-Ökosystemen wie Seegraswiesen oder Mangroven keine Wurzeln, Blattriebe oder Blüten haben. Makroalgen ziehen Nährstoffe über ihr Gewebe direkt aus den umgebenen Meereswasser, wobei ihre Haftfasern nur zur physischen Verankerung am Meeresboden dienen. Makroalgen sind (mit wenigen Ausnahmen) benthische Pflanzen und sind daher mit dem Meeresboden oder anderen festen Oberflächen (z.B. Riffe, Felse, Muscheln, Mangrovenwurzeln, Boote) verbunden und haben als freischwimmende Algen nur eine geringe Überlebenszeit. Makroalgen werden von Mikroalgen (z.B. Phytoplankton) unterschieden, welche nur unter einem Mikroskop sichtbar sind. Hochwachsende Makroalgen die dicht an den Uferzonen von Meeren als Unterwasserwald wachsen (z.B. Kelpwald) sind besonders anfällig für die Folgen anthropogener Eingriffe in die Meereswelt, u.a. Küstenbebauung, Verschlechterung der Wasserqualität, invasive Arten, Meereseerwärmung und Fischfang (Filbee-Dexter und Wernberg 2018). Es gibt in der Literatur erhebliche Meinungsverschiedenheiten darüber, ob Makroalgen die Kriterien erfüllen um als Blue-Carbon-Ökosystem berücksichtigt zu werden (Howard, Sutton-Grier, et al. 2017; Smale et al. 2018).

CO₂-Sequestrierungspotential

Makroalgen sequestrieren einen wesentlichen Anteil des im Ozean gebundenen Kohlenstoffs (Barrón und Duarte 2015). Makroalgen können jährlich circa **173 Tg C a⁻¹** Kohlenstoff sequestrieren, wovon 88% in der Tiefsee sequestriert wird (Krause-Jensen und Duarte 2016). Dies entspricht der Menge Kohlenstoff, die von den anderen Blue-Carbon-Ökosystemen (Mangroven, Seegraswiesen und Salzwiesen) zusammensequestriert werden (Duarte et al. 2013). Krause-Jensen et al. (2018) kommen daher in ihrer Studie zu dem Schluss, dass eine potenzielle Kohlenstoffbindung dieser Größenordnung nicht im Diskurs über Blue Carbon ignoriert werden sollte.

Besonderheiten des Ökosystems

Während die meisten Makroalgen an felsigen Küsten wachsen, wo keine Sedimentakkretion stattfindet, wird ein signifikanter Anteil der Produktion von organischem Kohlenstoff durch

¹ Einheit: Terragram Kohlenstoff pro Jahr

Makroalgen in Schelfsedimente und die Tiefsee exportiert (Duarte und Cebrián 1996; Barrón und Duarte 2015), wo der Kohlenstoff über signifikante Zeitskalen gespeichert werden kann (Krause-Jensen und Duarte 2016). Daher tragen Makroalgen zwar zur Kohlenstoffsequestrierung bei, aber dies geschieht größtenteils in Ablagerungsgebieten außerhalb ihrer Habitats (Hill et al. 2015; Krause-Jensen und Duarte 2016).

Die Wissenschaft ist sich nicht einig, ob Makroalgen als Blue-Carbon-Ökosystem gelten. Zum einen tragen Makroalgen wesentlich zur globalen Kohlenstoffspeicherung bei, doch im Gegensatz zu anderen küstennahen Blue-Carbon-Ökosystemen wie Seegras, Salzwiesen und Mangroven wurzeln sie nicht in Sedimenten, in denen sie den Kohlenstoff über lange Zeit speichern können. Makroalgen wachsen meist auf felsigem Untergrund und nur wenige Arten siedeln auf sandigen Sedimenten (Hill et al. 2015; Krause-Jensen und Duarte 2016). Makroalgen exportieren ca. 43 % des aufgenommenen Kohlenstoffs als partikulärem organischen Kohlenstoff und als gelöstem organischen Kohlenstoff (Krause-Jensen und Duarte 2016). Dieser wird dann über Strömungen transportiert und andernorts abgelagert oder in Sedimenten gespeichert. Makroalgen fungieren somit als eine Art "Kohlenstoffspender" und senden diesen an "Empfängerstellen" wie Bodensedimente oder andere Blue Carbon-Ökosysteme, an denen sich organisches Material bzw. gelöster organischer Kohlenstoff ansammelt bzw. aufgenommen wird (Hill et al. 2015; Krause-Jensen und Duarte 2016). Das Potenzial für die Speicherung dieses gespendeten Kohlenstoffs ist jedoch abhängig von der Zerfallsrate während des Transports und der Festlegungseffizienz an den Empfängerstellen (Hill et al. 2015). Deswegen waren Makroalgen ursprünglich nicht Teil des Diskurses über Blue Carbon, doch dies hat sich in den letzten Jahren geändert (Krause-Jensen et al. 2018; Raven 2018). Zum Beispiel könnte die Nutzung von geernteten Makroalgen signifikante Beiträge zur Kohlenstoffspeicherung und zum Ausgleich von Treibhausgasemissionen ermöglichen (Chung et al. 2011). Um den Emissionshandel mit Makroalgen zu ermöglichen, müsste dann jedoch der gespeicherte Kohlenstoff über Empfängerstellen nachgewiesen und dem Makroalgen-Ökosystem zugerechnet werden (Krause-Jensen et al. 2018). Die eigentliche Kohlenstoffsenke läge faktisch nicht innerhalb des Gebietes in dem Makroalgen angesiedelt wurden, was unklare Zuständigkeiten mit sich bringen würde, insbesondere wenn das Ökosystem über die AWZ-Zone hinaus gelegen ist (Krause-Jensen et al. 2018).

Regionale Verbreitung des Ökosystems

Makroalgen bilden die ausgedehntesten und produktivsten vegetativen Küstenhabitats im globalen Küstenozean, mit einer Fläche von 3,4 Millionen km² und einer globalen Nettoprimärproduktion von etwa 1,5 Pg C a⁻¹ (Krause-Jensen et al. 2018).

Kelp (*Laminariales*) ist in der gesamten gemäßigten Zone weit verbreitet, während große braune Makroalgen (z.B. *Turbinaria* und *Sargassum*) entlang der meisten tropischen Küsten weit verbreitet sind.

Parallele Nutzen / Co-Benefits

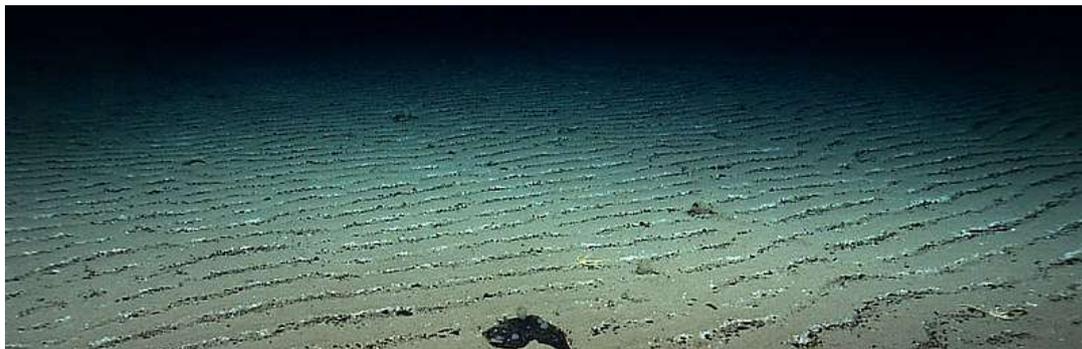
Duarte et al. (2017) schlagen vor, Blue-Carbon-Strategien auf Makroalgen zu erweitern und den wirtschaftlichen Nutzen dieser hervorzuheben bzw. auszubauen. Die Restbestände der Algenproduktion, sei es aus Aquakultur oder aus der Ernte von Wildbeständen, könnten genutzt werden, um globale CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen zu reduzieren. Dies kann z. B. durch die Verwendung von Algenbiomasse als Biokraftstoff erreicht werden (z.B. Kraan 2013; Chen et al. 2015) und/oder durch das Ersetzen von Nahrungs- oder Futtermittelproduktionssystemen mit hohem CO₂-Emissions-Fußabdruck durch auf Algen basierende Systeme, die viel geringere Lebenszyklus-CO₂-Emissionen haben (Duarte et al. 2009). In der Tat wurde in Korea ein algenbasiertes Blue-Carbon-Programm entwickelt (Chung et al. 2013; Sondak und Chung 2015), das einen ersten Schritt in diese Richtung darstellt.

Potentielle Konflikte / Trade-Offs

Manche Arten von Makroalgen sind mit negativen Eigenschaften für Menschen (unangenehmer Geruch, hohes Vorkommen an touristischen Stränden) und Natur (Konkurrenz zu anderen Arten, wie z.B. Korallen) assoziiert (Ceccarelli et al. 2018). Eine erhöhte Ansiedlung von Makroalgen in bewohnten Küstengebieten könnte zur Verstärkung solcher Konflikte führen.

¹ Petagram Kohlenstoff pro Jahr

V. Marine Sedimente



©NOAA OKEANOS EXPLORER Program; Our Deepwater Backyard: Exploring Atlantic Canyons and Seamounts 2014

Übersicht

- Die Blue-Carbon-Ökosysteme Mangrovenwälder, Salzwiesen und Seegraswiesen speichern 50-99 % des sequestrierten CO₂ in ihren Sedimenten.
- Solange marine Sedimente ungestört bleiben, erfolgt die Festlegung von Kohlenstoff in diesen Sedimenten äußerst langfristig (bis zu Millionen von Jahren). Zudem können weitere für den Klimawandel relevante Nährstoffe wie z.B. Methan im Meeresboden gespeichert werden.
- Der in marinen Sedimenten gespeicherte Kohlenstoff kann durch Aktivitäten und Sektoren der Meeresbodennutzung wie Fischerei, Meeresbergbau, Förderung und Lieferung von Erdöl und Erdgas sowie Verlegen von Seekabeln wieder freigesetzt werden.

Einführung

Zum einen wird über Blue-Carbon-Ökosysteme (Mangroven, Seegraswiesen, Salzwiesen) Kohlenstoff in marinen Sedimenten im Küstenbereich eingelagert. Das Speichern des Kohlenstoffs über die Pflanzenwurzeln in Sedimente ermöglicht eine stetige Kohlenstoffakkumulation, selbst wenn das Ökosystem sein Reifestadium erreicht hat. Darüber hinaus sind auch marine Sedimente im offenen Ozean als CO₂-Senke von großer Bedeutung, da obwohl sie insgesamt deutlich weniger CO₂ als küstennahe Sedimente speichern, marine Sedimente hier meist ungestört von anthropogenen Einflüssen bleiben und somit organischen Kohlenstoff über mehrere Millionen Jahre speichern können (Estes et al. 2019). Da jedoch benthische Lebensräume auf hoher See derzeit kaum reguliert werden und 48 % von Kohlenstoffbeständen in marinen Sedimenten außerhalb der AWZ gelagert sind, könnte bei zunehmenden anthropogenen Aktivitäten wie Tiefseebergbau und unzureichender Governance zukünftig diese Kohlenstoffbestände freigesetzt werden (Atwood et al. 2020).

CO₂-Sequestrierungspotential

Blue-Carbon-Ökosysteme (Mangroven, Salzwiesen, Seegraswiesen) speichern 50-99 % des durch sie sequestrierten Kohlenstoffs unterirdisch in marinen Sedimenten in bis zu 6 Metern Tiefe (Pendleton et al. 2012). Aktuelle Studien schätzen die Kohlenstoffspeicherung im obersten Meter des Meeresbodens auf etwa 280 Mg C ha⁻¹ ^k für Mangroven (Donato et al. 2011), 250 Mg C ha⁻¹ für Salzwiesen (Chmura et al. 2003) und 140 Mg C ha⁻¹ für Seegraswiesen (Fourqurean et al. 2012).

Besonderheiten des Ökosystems

Marine Sedimente lagern in ihrem ersten Meter Tiefe doppelt so viel CO₂ wie terrestrische Böden (Atwood et al. 2020). Organischer, in marinen Sedimenten festgelegter Kohlenstoff kann für Tausende bis Millionen von Jahren gespeichert werden, sofern die Sedimente ungestört bleiben (McLeod et al. 2011).

Regionale Verbreitung des Ökosystems

^k Einheit: Megagramm Kohlenstoff pro Hektar

Marine Sedimente schichten sich an Kontinentalgrenzen am höchsten, mit Ablagerungen von bis zu 10 km. In der Nähe Mittelozeanischer-Rückensysteme, wo sich neue ozeanische Kruste bildet, ist der Sedimentstreifen dünner, da das Sediment weniger Zeit zum Ablagern hatte (Webb 2019) (Webb 2019).

Parallele Nutzen / Co-Benefits

- **Abbau von Schadstoffen und Abfällen:** Die Tiefsee speichert sinkende Schadstoffe und Abfallprodukte, welche durch biotische und abiotische Prozesse abgebaut und festgelegt oder eingelagert werden. Hierunter fallen organische Schadstoffe, Schwermetalle, Makro- und Mikroplastik, Abwässer und Öl (Woodall et al. 2014).

Potentielle Konflikte / Trade-Offs

Durch Störungen können Meeressedimente aufgemischt und resuspendiert werden, wodurch sie mit gelöstem Sauerstoff in Verbindung gebracht und damit einem heterotrophen Stoffwechsel ausgesetzt werden, wodurch der festgelegte Kohlenstoff zu CO₂ remineralisiert werden kann (Bianchi et al. 2016). Der Klimawandel, die Erschließung von Küstengebieten und der technologische Fortschritt, der die Fischerei (z. B. Tiefsee-Grundscheppnetzfisherei), den Meeresbergbau sowie die Öl- und Gasexploration und -bohrungen im Ozean ausgeweitet hat (Davies et al. 2007; Cordes et al. 2016), stellen eine potenzielle Bedrohung für die in marinen Sedimenten eingelagerten Kohlenstoffbestände dar. Diese Aktivitäten und Entwicklungen könnten zu einer erheblichen Freisetzung von Kohlenstoff durch Remineralisierung führen. Der Schutz von wichtigen Kohlenstoffbeständen sollte daher bei der Entwicklung von marinen Raumnutzungs- und Managementplänen, einschließlich Meeresschutzgebieten, berücksichtigt werden (Howard, McLeod, et al. 2017; Roberts et al. 2017).

Annex B: Blue-Carbon-Projekte

Wiederherstellung von Mangrovenwälder im Golf von Morrosquillo, Kolumbien

<p>Übersicht</p> <p>Blue-Carbon-Art: Mangrovenwälder</p> <p>Region / Land: Norden Kolumbiens (7.645,7 ha)</p> <p>Projektdauer: 2015 – 2045</p> <p>Projektpartner: Conservation International Foundation, South Pole</p>	
<p>Thema / Projektziel(e)</p>	<p>Das Blue-Carbon-Projekt „Gulf of Morrosquillo“ ist ein überregionales Projekt, dessen Expansionsgebiet alle Mangrovenwälder des Golfs von Morrosquillo in der kolumbianischen Karibik umfasst. In dieser Region befinden sich einige der wichtigsten Mangroven- und Meeresschutzgebiete der Karibikküste. Das Hauptziel des Projekts ist die Reduzierung der Treibhausgasemissionen durch Maßnahmen zur Wiederherstellung von Mangroven, und die gleichzeitige Förderung einer nachhaltigen regionalen Entwicklung, die Stärkung der lokalen Regierungsführung und die Förderung alternativer Wirtschaftsaktivitäten welche gleichzeitig zum Schutz der biologischen Vielfalt beitragen.</p>
<p>Maßnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung der Regierungsführung: Schulungen werden zu Themen wie der Umsetzung der nationalen REDD+ Strategie, der nachhaltigen Waldbewirtschaftung sowie der nationalen Gesetzgebung und internationalen Abkommen in Bezug auf den Klimawandel durchgeführt. Werkzeuge für das Monitoring aller Projektaktivitäten und deren Rechenschaftslegung werden ebenfalls enthalten sein. Die Schaffung effektiver Kommunikations- und Verbreitungskanäle mit den Gemeinden und anderen interessierten Parteien wird ebenfalls angestrebt, ebenso wie die Bildung strategischer Allianzen- • Alternative Aktivitäten: Den Gemeinden sollen alternative Aktivitäten nahegebracht werden, um bessere Einkommensbedingungen erschaffen und somit die Erhaltung des Ökosystems zu fördern. Es werden Schulungen zu nachhaltigen Wirtschaftsaktivitäten durchgeführt, wie z. B. Ökotourismus, Bienezucht mit einheimischen Bienen und die Einrichtung und Verwaltung von Gemeinschaftsgärten. • Wiederherstellung und Rehabilitierung von Mangrovegebieten: Die Wiederherstellung der ökologischen Dynamik der Mangrove in Bezug auf Fauna und Flora in Gebieten, die durch natürliche oder anthropogene Einflüsse degradiert wurden, wird als Maßnahme zur Anpassung an den Klimawandel durchgeführt. • Monitoring: Diese Aktivitäten sollen ein Gleichgewicht zwischen Kontroll- und Überwachungsaktivitäten etablieren, eine Diagnose des aktuellen Zustands des Ökosystems ermöglichen und neues Wissen für zukünftige Managementstrategien generieren.
<p>Stakeholder-Einbindung</p>	<p>Das Projekt zielt auf die ständige Einbindung in Konsultationsprozesse und Aktivitäten von lokalen Stakeholdergruppen ab. Zum Start des Projekts im Jahr 2015 wurden 14 verschiedene Treffen mit lokalen Stakeholder-Gruppen durchgeführt, um das Projekt vorzustellen und offene Fragen und Zweifel zu klären. 2016 wurden Trainings zur nachhaltigen Nutzung und Umweltthemen des Gebietes mit Vertretern von Gemeindeverbänden durchgeführt. 2017 wurden Workshops durchgeführt, um die freiwillige Beteiligung im Projekt teilnehmenden Organisationen zu erklären. Im Jahr 2019 wurden drei verschiedene Workshops mit lokalen Behörden, Fischern, touristischen Dienstleistern, Viehzüchtern und der allgemeinen Öffentlichkeit von verschiedenen, an das Projektgebiet angrenzender, Gemeinden durchgeführt.</p>

Wiederherstellung von Mangrovenwälder im Golf von Morrosquillo, Kolumbien	
(Zwischen-) Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung von lokaler Verwaltung und Management von regional geschützten Meeres- und Küstengebieten • nachhaltige Bewirtschaftung der Mangrovenwälder • wahrgenommene Wertschätzung der Ökosysteme erhöht • wirtschaftliche Stärkung von lokalen Stakeholdern • Förderung von neuen Arbeitsplätzen • Erhalt der Ökosysteme und der Artenvielfalt der Mangroven • Aufrechterhaltung der hydrobiologischen Konnektivität zwischen Küste und Meer
Kosten und Finanzierung	Die private Firma Apple finanziert das Projekt für Conservation International und lokale Stakeholder. Der Betrag der Finanzierung ist unbekannt (nicht öffentlich).
Kohlenstoffspeicherung	Über 30.000 tCO ₂ e pro Jahr sollen durch die Projektaktivitäten gespeichert werden. Dies beläuft sich auf 1.221.717 tCO ₂ e innerhalb von 30 Jahren Projektdauer.
Referenzen	(Conservation International 2021a) (Conservation International 2021b) (Verra 2021a) (Verra 2021b) (Verra 2021c) (Yale Environment 360 2021)

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon-Projekts im Golf von Morrosquillo, Kolumbien

LIFE Blue-Natura-Projekt in Andalusien, Spanien	
Übersicht	<p>Blue-Carbon-Art: Seegraswiesen, Salzwiesen</p> <p>Region / Land: Andalusien (Spanien)</p> <p>Projektdauer: 2015 – 2019</p> <p>Projektpartner: LIFE Programm der Europäischen Union</p>
Thema / Projektziel(e)	<p>Das Blue-Natura-Projekt in Andalusien ist Teil des LIFE Programms der EU. Das Projekt führte wissenschaftliche Untersuchungen von Salzwiesen in der Bucht von Cádiz und der Mündung des Flusses Odiel und Seegraswiesen entlang der andalusischen Küste durch, um ihre Rolle als Kohlenstoffspeicher zu bewerten. Das Ausmaß und die Verteilung der Blue-Carbon-Ökosysteme sowie ihr Potential zur dauerhaften Kohlenstoffeinlagerung und ihre Kosten wurden ermittelt.</p>
Maßnahmen	<p>Wissenschaftliche Untersuchungen</p>
Stakeholder-Einbindung	<p>Relevanten Akteure wie Experten, lokale Unternehmen, Lehrkräfte und Medien, wurden über Formate wie Workshops, Vorträge, Publikationen, Veranstaltungen, einen Newsletter und die offizielle Projekt-Website eingebunden.</p>
(Zwischen-) Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Es wurde ein Leitfaden für zukünftige Blue-Carbon-Projekte im Mittelmeerraum erstellt • In Andalusien wurde die Seegrasart <i>Posidonia oceanica</i> als am effektivsten für den Zweck der CO₂-Speicherung eingestuft (97,4% des eingelagerten Kohlenstoffs wird in den Sedimenten gehalten) • Salzwiesen wurden als kosteneffektiv und leicht zugänglich für diese Region bewertet. • Die Sequestrierungsraten der Salzwiesen und Seegraswiesen können abhängig von Pflanzenart, Wasserqualität, stark variieren • Insbesondere bereits langfristig bestehende Salzwiesen sollten geschützt und restauriert werden, da diese am stabilsten sind und bereits viel Kohlenstoff gespeichert haben
Kosten und Finanzierung	<p>Das Projekt wird mit 2.513.792 € durch das LIFE Programm der Europäischen Union und durch das spanische Unternehmen CEPESA finanziert.</p>
Kohlenstoffspeicherung	<p>Bei den Salzwiesen lag die Kohlenstoffspeicherung zwischen 177,5 ± 86,1 tCO₂/ha und 498,8 ± 42,96 tCO₂/ha mit einer durchschnittlichen CO₂-Sequestrierungsrate von 0,9 ± 0,2 tCO₂/ha pro Jahr. Der gesamte durch Salzwiesen gespeicherte Kohlenstoff wird in der andalusischen Küstenregion auf 18,4 Mt CO₂ geschätzt mit einer Kohlenstoffeinlagerungsrate von durchschnittlich 47 Kt CO₂ pro Jahr¹⁶.</p> <p>Bei den Seegraswiesen lag die Kohlenstoffspeicherung durchschnittlich bei 1509,2 ± 1388,3 tCO₂/ha. Das ist deutlich mehr als bei den Salzwiesen, aber die Variabilität ist bei den Seegraswiesen dafür höher.</p>
Referenzen	<p>(Díaz-Almela et al. 2019) (LIFE Blue Natura o. D.-a) (LIFE Blue Natura o. D.-b) (LIFE Blue Natura o. D.-c) (Mateo-Mínguez et al. 2018)</p>

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon Projekts in Andalusien, Spanien

¹⁶ Die Zahlen beziehen sich auf den ersten Meter der Sedimente, da Kohlenstoff in tieferliegenden Sedimenten ebenfalls eingelagert wird, ist die tatsächliche Kohlenstoffspeicherung wahrscheinlich höher.

Wiederherstellung von Mangrovenwäldern in Kaimana, Indonesien	
Übersicht	
Blue-Carbon-Art:	Mangrovenwälder
Region / Land:	Kaimana (auf der indonesischen Insel Papua)
Projektdauer:	2015 – 2017
Projektpartner:	Conservation International, University of Queensland, University of Texas Pan-American, The State University of Papua, The Ministry of Marine Affairs and Fisheries of Indonesia
Thema / Projektziel(e)	Etwa ein Fünftel des weltweiten Blue Carbons ist in den Seegrasswiesen und Mangrovenwäldern Indonesiens gespeichert. Allerdings sind diese Ökosysteme durch illegale Fischerei und Tourismus akut bedroht. Jährlich gehen so etwa zwei Prozent der indonesischen Mangrovenwälder verloren. Das Ziel des Projektes war es diese Küstenökosysteme – insbesondere Mangrovenwälder – zu schützen, um Kohlenstoff zu binden und bessere Lebensgrundlagen für die lokale Bevölkerung zu schaffen. Für das Gebiet wurde eine Analyse des Blue-Carbon-Potenzials, der CO ₂ -Einsparung und der Durchführbarkeit solcher Projekte gemacht.
Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Schutzgebiete: Über 500.000 ha Fläche wurden als Meeresschutzgebiet und Fischereifreie Zonen ausgewiesen. • Bildungsangebote: Aufklärung der lokalen Bevölkerung über die große Bedeutung von Naturschutz und die Rolle von Mangroven • Einschränkungen der Fischerei: bestimmte Gebiete dürfen nicht mehr befischt werden, Fischerei wird auf bestimmte Zeitfenster eingeschränkt, nur die lokale Bevölkerung darf fischen und Regularien werden durch Personen aus der Gemeinschaft überprüft • Beteiligungsprozesse: Einbindung der lokalen Bevölkerung in die Umsetzung der Maßnahmen, z.B. Patrouillen zur Überprüfung von Fischereigenehmigungen
Stakeholder-Einbindung	In dem Projekt wurde auf eine enge Zusammenarbeit mit der lokalen Bevölkerung und Regierung gesetzt. Anmerkungen und Ideen von der Bevölkerung wurden in die Projektumsetzung mit eingebunden. Insbesondere Kirchen und Religionsgemeinschaften waren involviert. Diese haben beispielsweise Aktionen wie das Pflanzen von Seegräsern und Mangroven oder Beach-Clean-Ups durchgeführt.
(Zwischen-) Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Ein großer Teil der ozeanischen Artenvielfalt wurde wiederhergestellt • Eine Karte des Mangrovengebietes wurde erstellt • Vorläufige Analyse des Mangrovenkohlenstoffs • Aufklärung der lokalen Bevölkerung über die wichtige Rolle von Mangroven • Partnerschaften zwischen lokalen Organisationen und Regierung wurden aufgebaut
Kosten und Finanzierung	Das Projekt erhielt eine Förderung der Walton Family Foundation über zwei Jahren. Die Fördersumme ist nicht veröffentlicht.
Kohlenstoffspeicherung	<i>Keine Angaben</i>
Referenzen	(Fox 2016) (Global Mangrove Alliance o.D.) (Howard 2016) (Nikijuluw 2017) (The Blue Carbon Initiative 2019)

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon Projekts in Kaimara, Indonesien

Wiederherstellung von Mangrovenwäldern in Sundarbans, Indien

<p>Übersicht</p> <p>Blue-Carbon-Art: Mangrovenwälder</p> <p>Region / Land: Sundarbans (im Nordosten Indiens)</p> <p>Projektdauer: 2011 – 2031</p> <p>Projektpartner: Nature Environment and Wildlife Society (NEWS) (indische NGO) & Livelihoods Venture</p>	
<p>Thema / Projektziel(e)</p>	<p>Der größte Mangrovenwald der Welt ist in Sundarbans - eine Inselgruppe im Ganges Delta in der indischen Region Westbengalen. Diese Region ist sehr stark vom Meeresspiegelanstieg betroffen. Über die letzten 40 Jahren sind mehr als 28 % der Landfläche verloren gegangen. Auch die Mangrovenwälder sind bedroht – zum einen durch den Klimawandel, aber auch durch menschliche Aktivitäten, da das Mangrovenholz beispielsweise als Brennmittel genutzt wird. In diesem Projekt sollen in Zusammenarbeit mit den lokalen Gemeinschaften die schrumpfenden Mangrovenwälder wiederhergestellt werden.</p>
<p>Maßnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Wiederherstellung der Mangrovegebiete: Degradierete Flächen sollen wieder bepflanzt werden. Bereits existierende Deiche werden mit Mangroven verstärkt, da diese besonders widerstandsfähig gegenüber Zyklonen und Orkanen sind. So wird auch die lokale Bevölkerung geschützt. • Beteiligung der Bevölkerung: Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit den lokalen Gemeinschaften geplant und an ihre Bedürfnisse angepasst. Die Finanzierung der Mangrovenpflanzung findet durch die NGO NEWS statt, die Bepflanzungen werden aber von der lokalen Bevölkerung ausgeführt, um sicherzustellen, dass diese auch anschließend von den Gemeinden gepflegt werden. • Bildungsangebote: Die lokalen Vorteile von Mangroven wurden an Erwachsene und Kinder vermittelt. Es wurden an 163 Standorten kostenlose Anpflanzungsprojekte angeboten, bei denen gezeigt wird, wie man erfolgreich Mangroven aufziehen kann. • Schaffung eines Gesamtverständnis: 2015 wurde von NEWS das Programm "Sustainable Integrated Crop Farming and Livestock Management" gegründet, in dem die neuen Mangrovenplantagen mit nachhaltiger Fischerei und Landwirtschaft verknüpft werden. Das Ziel ist hierbei den Schutz der Mangroven in den Alltag der Gemeinden zu integrieren. • Gründung einer Marke: Um die wirtschaftliche Situation der lokalen Bevölkerung zu fördern, wurde 2018 die Marke „Badabon Harvest“ gegründet, durch welche die landwirtschaftlichen Methoden verbessert werden, Bio-Produkte besser vermarktet werden und neue Märkte erschlossen werden. So kann Naturschutz mit ökonomischem Nutzen kombiniert werden. • Öko-Tourismus: die Etablierung von Öko-Tourismus ist ein nächster Schritt des Projekts
<p>Stakeholder-Einbindung</p>	<p>Ein großer Fokus des Projektes ist es, die lokalen Gemeinschaften zu stärken. Sie wurden von Anfang an am Projekt beteiligt und wurden bei der Planung, bei der Auswahl der zu restaurierenden Gebiete, bei der Wahl der Mangrovenarten und bei der finalen Pflanzung stark eingebunden. Insbesondere Frauen waren an der Anzucht und Pflege der Mangroven beteiligt. In der Pflanzungsphase haben etwa 18.000 Freiwillige mitgeholfen.</p>
<p>(Zwischen-) Ergebnisse</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2011-2014 wurden mehr als 16 Millionen Mangroven gepflanzt. So wurden 5011 ha als Mangrovegebiet wiederhergestellt. • Etwa 250.000 Menschen profitieren von den neuen Mangrovenwäldern. Sie bieten Lebensraum für zahlreiche Fische, Schalentiere und Weichtiere, welche Nahrungs- und Einkommensquelle für die lokale Bevölkerung sind. Außerdem schützen sie Häuser und Ackerflächen vor Überflutungen. Das hat sich beispielsweise bei der ausgesprochen starken Zyklone vom 20. Mai 2020 gezeigt, die kaum Zerstörung angerichtet hat • Die Artenvielfalt ist größer als zuvor, da viele Arten in die Region zurückgekehrt sind

Wiederherstellung von Mangrovenwäldern in Sundarbans, Indien	
	<ul style="list-style-type: none"> • Auch mehrere Jahre nach der abgeschlossenen Bepflanzung ist die Bevölkerung noch stark in den Mangrovenschutz involviert.
Kosten und Finanzierung	Das Projekt wurde durch den Livelihoods Carbon Fund und die NGO NEWS finanziert. Das Projekt erhält vorab die finanziellen Mittel zur Etablierung des Projekts. Später soll das investierte Geld durch den Verkauf von CO ₂ -Zertifikaten an Privatunternehmen wieder eingenommen werden. Die Fördersumme ist nicht veröffentlicht.
Kohlenstoffspeicherung	Geschätzte jährliche Speicherung von 82.085 t CO ₂ e. Es wird geschätzt, dass über den Projektzeitraum von 20 Jahren 700.000 t CO ₂ e gespeichert werden.
Referenzen	(Livelihoods 2016) (Livelihoods 2020a) (Livelihoods 2020b) (Livelihoods 2020c) (UNFCCC o. D.-a)

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon Projekts in Sundarbans, Indien

Mikoko-Pamoia-Projekt: Wiederherstellung von Mangrovenwäldern in der Gazi Bay, Kenia

<p>Übersicht</p> <p>Blue-Carbon-Art: Mangrovenwälder (und zukünftig auch Seegraswiesen)</p> <p>Region / Land: Gazi Bay (im Südosten Kenias)</p> <p>Projektdauer: 2013 – 2033</p> <p>Projektpartner: Association for Coastal Ecosystem Services (ACES), (Mikoko Pamoja Community Organization (MPCO), Plan Vivo Foundation</p>	
<p>Thema / Projektziel(e)</p>	<p>Mikoko Pamoia (bedeutet so viel wie „Mangroven zusammen“ auf Kisuaheli) ist weltweit das erste Blue Carbon Projekt, das sich durch den Verkauf von Emissionszertifikaten finanziert. Das Ziel ist es durch die Beteiligung der lokalen Bevölkerung und der Vorteile, die für sie entstehen, langfristig für den Schutz und die Wiederherstellung von Mangrovenwäldern zu sorgen. Über den Zeitraum von 20 Jahren soll ein Gebiet von 107,4 ha Mangroven instandgehalten werden und neugepflanzt werden.</p>
<p>Maßnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz und Wiederaufforstung: Mangrovensetzlinge werden gepflanzt. Die Abholzung bestehender Mangrovenwälder soll durch den Einsatz von Community-Scouts und die Errichtung eines Überwachungsturms verhindert werden. Zukünftig sollen außerdem auch Seegraswiesen in der Region restauriert werden. • Beteiligung an den Gewinnen: Mindestens 70 % der Einnahmen über Ökosystemleistungen („Payments for Ecosystem Services“) gehen an die lokale Bevölkerung. Ein Teil davon wird für die Ausstattung und Instandhaltung von Bildungseinrichtungen eingesetzt. Etwa ein Drittel wird außerdem genutzt, um Trinkwasser zu reinigen und aufzubereiten. • Wirtschaftliche Vorteile: Emissionszertifikate, Öko-Tourismus und Bienenhaltung dienen als weitere potentielle Einnahmequellen der Projektaktivitäten. • Anderweitige Holzgewinnung: Andere Waldstücke ersetzen Mangrovenwälder bei der Brennholzgewinnung • Bildung und Aufklärung: Es wird über die wichtige Rolle von Mangroven und dem Klima aufgeklärt. Durch die Einnahmen des Projektes können außerdem Bildungsangebote für Kinder finanziert werden
<p>Stakeholder-Einbindung</p>	<p>Mikoko Pamoja ist ein gemeinschaftsorientiertes Projekt, bei dem NGOs, Forschungseinrichtungen und Regierungsbehörden zusammenarbeiten. Zwei lokale Organisationen, die die Bevölkerung repräsentieren, sind stark in das Projekt involviert. In dem Projekt wird eine Beteiligung von mindestens 40 % Frauen vorausgesetzt. Es wurde außerdem durchgesetzt, dass die lokale Bevölkerung Mitbewirtschaftungsrechte erhielt, sodass die gesamte Gemeinschaft vom Projekt profitiert.</p>
<p>(Zwischen-) Ergebnisse</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Es wird ein Gebiet von etwa 107 ha geschützt und wiederhergestellt. Die bestehenden Mangrovenbestände werden stetig verdichtet. Bisher wurden über 10.000 Mangrovensetzlinge eingepflanzt. • Insgesamt profitieren rund 5.400 Menschen der lokalen Bevölkerung. 200 direkte und indirekte Beschäftigungsmöglichkeiten sind entstanden. Durch die Einnahmen der Zertifikate erhielten etwa 3.500 Menschen Zugang zu sauberem Trinkwasser und etwa 700 Kinder die Möglichkeit zur Schule zu gehen. Es werden außerdem Lehrkräfte ausgebildet. • Pro Jahr werden rund 12.000 US \$ erwirtschaftet, die wieder in die Gemeinde zurückfließen
<p>Kosten und Finanzierung</p>	<p>Das Projekt finanziert sich über den Verkauf von Emissionszertifikaten. Seit 2014 wurden so 96.915 US \$ eingenommen.</p>
<p>Kohlenstoffspeicherung</p>	<p>Nach Angaben des Plan Vivo Zwischenberichts werden die Einsparungen auf 2.500 t CO₂ pro Jahr geschätzt. Seit 2014 liegen die Emissionsreduktionen bei insgesamt 13.966 t CO₂.</p>

Mikoko-Pamoia-Projekt: Wiederherstellung von Mangrovenwäldern in der Gazi Bay, Kenia

Referenzen

(ACES 2021)
(Plan Vivo 2020)
(Plan Vivo o. D.-a)
(Rashid et al. 2020)
(United Nations Development Programme 2020)

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon Projekts in der Gazi Bay, Kenia

Wiederherstellung von Mangrovenwäldern im Senegal	
Übersicht	<p>Blue-Carbon-Art: Mangrovenwälder</p> <p>Region / Land: Delta des Casamance und des Sine Saloum (Senegals)</p> <p>Projektdauer: 2009-2029</p> <p>Projektpartner: Océanium (Senegalesische NGO) & Livelihoods Venture</p>
Thema / Projektziel(e)	In den Regionen um den Casamance und den Sine Saloum gibt es etwa 185.000 ha Mangrovenwälder, doch seit den 1970ern ist bereits ein Viertel dieser Fläche durch Dürren und anthropogene Eingriffe verloren gegangen. Mithilfe der NGO Océanium, sollen die Mangrovenökosysteme wiederhergestellt werden, um das umliegende Ackerland zu schützen und Fischbestände zu regenerieren. Es ist das bisher größte Mangrovenrestaurationsprojekt der Welt.
Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Aufforstung der Mangrovenwälder: 2009 bis 2012 wurden zahlreiche Mangrovensetzlinge eingepflanzt und Abholzung wurde überwacht. • Bildungsangebote: Es wurde an Schulen und in Dörfern für Umweltschutz sensibilisiert. Es wurde außerdem ein Umweltbildungszentrum eingerichtet und Lernmaterial wie Filme, Plakate, Ausstellungen und Bücher zur Verfügung gestellt. Die Aktivitäten erreichten mehr als 45.000 Menschen .
Stakeholder-Einbindung	Das Projekt beteiligt sehr viele Menschen. Insgesamt wurden bisher 200.000 Menschen aus 450 Dörfern involviert. Das wurde durch die etablierte Kommunikationsstrategie von Océanium erreicht, welche Aufklärungskampagnen, Schulungen und Sensibilisierung über die Vorteile des Projekts beinhaltet.
(Zwischen-) Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • 2009-2012 wurde eine Fläche von über 10.000 ha der bestehenden 185.000 ha Mangroven wieder aufgeforstet. In dem Projekt wurden 79 Millionen Mangroven neu gepflanzt und es ist damit weltweit das bisher größte Mangrovenaufforstungsprojekt. Eine spätere Evaluation hat außerdem gezeigt, dass die Mangroven gut angewachsen sind. • Auch zehn Jahre später ist das Projekt der Bevölkerung noch sehr präsent. Für 95% der Bevölkerung haben die Mangroven positive Auswirkungen auf ihr Leben. In 70% der Dörfer erzielen die Fischer seit dem Projekt höhere Erträge, was Nahrungssicherheit und Einkommen erhöhte. Teile der Bevölkerung gaben außerdem an, dass sie ihre Heimat ohne das Projekt wahrscheinlich verlassen hätten. • 15 % der aufgegebenen Reisfelder konnten durch den Schutz der Mangroven vor Versalzung und Wellen wiederhergestellt werden • Fast alle Beteiligten empfanden die Aufforstungstechnik als einfach und reproduzierbar und ein Viertel der Dörfer setzten die Mangrovenaufforstung nach dem Ende des Projekts eigeninitiativ fort. 70% der Dörfer überwacht außerdem weiterhin die Mangrovenwälder bezüglich illegaler Abholzung.
Kosten und Finanzierung	Anfänglich wurde das Projekt vom Lebensmittelkonzern Danone unterstützt und später durch den Livelihoods Carbon Fund, der im Gegenzug CO ₂ -Zertifikate verkauft. Das Monitoring und die Evaluierung wird bis 2029 für eine Gesamtdauer von 20 Jahren weiterfinanziert. Die Fördersumme ist nicht bekannt.
Kohlenstoffspeicherung	Die geschätzte jährliche Speicherung liegt bei 2.704 t CO ₂ e. Es wird geschätzt, dass über den Projektzeitraum von 20 Jahren 500.000 t CO ₂ e gespeichert werden.
Referenzen	(Livelihoods 2020d) (Livelihoods 2020e) (Océanium o. D.-a) (Océanium o. D.-b) (UNFCCC o. D.-c)

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon Projekts am Casmance und Sine Saloum, Senegal

Mangroves & Markets (MAM) Projekt in Vietnam	
Übersicht	<p>Blue-Carbon-Art: Mangrovenwälder</p> <p>Region / Land: Ca Mau (im Süden Vietnams)</p> <p>Projektdauer: Seit 2013</p> <p>Projektpartner: International Union for Conservation of Nature (IUCN)</p>
Thema / Projektziel(e)	<p>In Vietnam sind über die letzten 30 Jahre etwa die Hälfte der Mangrovenwälder verlorengegangen, vor allem durch Rodung für die Garnelenzucht. Das Mangroves & Markets (MAM) Projekt soll Akteure der Garnelenindustrie in Ca Mau für eine nachhaltigere Anbaumethode sensibilisieren. Es soll ein besseres Verständnis für den Zusammenhang von Landwirtschaft und Umwelt geschaffen werden.</p>
Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Vorgaben zur Mangrovenbepflanzung: mindestens 50 % der Garnelenzucht muss mit Mangroven bedeckt sein. 60 % des Landes muss den Mangroven gewidmet werden, sodass lediglich 40 % der Fläche zur Zucht verwendet werden darf. Insbesondere in der Küstenschutzzone werden Mangrovegebiete wiederhergestellt, mit dem Fokus auf verlassenen Garnelenfarmen. Es ist geplant das Gebiet, um bis zu 6.000 ha zu erweitern. • Weiterbildungsangebot: MAM bietet Schulungen zur Zucht und Vermarktung von biologisch-zertifizierten Garnelen an. Es werden in erster Linie Gruppenleiter geschult, die ihr Wissen in ihre Gruppen weitertragen • Zugang zu CO₂-Märkten: Garnelenzüchtern wird der Zugang zu CO₂-Märkten und zur CO₂-Finanzierung durch das UN Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation Scheme (REDD+) ermöglicht • Ausarbeitung einer nationalen Richtlinie: Es soll eine nationale Richtlinie in Vietnam ausgearbeitet und eingeführt werden, die die rechtliche Grundlage für die Zahlung für Ökosystemleistungen von Mangroven liefert. Das wird die Replikation dieses Projektes für andere Regionen erleichtern.
Stakeholder-Einbindung	<p>Es wird mit europäischen Importeuren, Händlern und Landwirten zusammengearbeitet, um eine ökologisch Garnelenproduktion und deren Verkauf zu ermöglichen. Die Garnelenzüchter werden dabei unterstützt die bio-Zertifizierung zu erreichen. Es wird ausschließlich mit Garnelenzüchtern zusammengearbeitet, die eine Quote von 50% Mangroven erreichen. Aktuell sind über 5.000 Garnelenzüchter am Projekt beteiligt. 70% von ihnen produzieren nach biologischen Standards.</p>
(Zwischen-) Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • 15.600 ha Mangrovenwälder werden geschützt und 80 ha wurden wieder aufgeforstet • Mehr als 5.500 Garnelenzüchter haben Wissen zu biologischen Produktionsmethoden erhalten. • Die Produktivität der Garnelenproduktion hat sich erhöht, da sie unter anderem seltener von Krankheiten betroffen sind, und durch die bio-Zertifizierung können sie außerdem für mehr Geld verkauft werden. Außerdem hat sich der Marktzugang verbessert. • Dieses Projekt wird von anderen Organisationen und der vietnamesischen Regierung als Vorbild für weitere Projekte genommen
Kosten und Finanzierung	<p>Das Projekt wurde von 2016 bis 2020 durch das BMU mit 1.492.384 € gefördert.</p>
Kohlenstoffspeicherung	<p>Keine Angaben</p>
Referenzen	<p>(CSA o. D.) (Internationale Klimaschutzinitiative 2020) (Internationale Klimaschutzinitiative 2021) (Internationale Klimaschutzinitiative o. D.) (IUCN 2021)</p>

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon Projekts in Ca Mau, Vietnam

Wiederherstellung von Mangrovenwäldern in Belize	
Übersicht	<p>Blue-Carbon-Art: Mangroven</p> <p>Region / Land: Belize</p> <p>Projektdauer: In Planung</p> <p>Projektpartner: Die Regierung von Belize in Zusammenarbeit mit dem WWF, mit The Pew Charitable Trusts und mit der University of Belize's Environmental Research Institute</p>
Thema / Projektziel(e)	<p>Es wird geschätzt, dass Mangrovenwälder in Belize eine Ausdehnung von etwa 72.000 ha haben und es wird außerdem angenommen, dass es um Belize eine große Seegraswiesenausbreitung gibt. Die Regierung von Belize plant die Schutzmaßnahmen der Küstenökosysteme auszuweiten. Die Details des Projekts werden aktuell noch ausgearbeitet.</p>
Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluierung der Kohlenstoffspeicherung: Es soll durch verschiedene Methoden der Feldforschung, beispielsweise mit Hilfe von Bodenproben, ermittelt werden wie viel Kohlenstoff durch Mangroven und Seegraswiesen gespeichert wird. Außerdem sollen ihre Perspektiven für die Klimawandelanpassung diesbezüglich aufgezeigt werden. • Zielformulierung: Anhand dieser Informationen sollen messbare Ziele und Empfehlungen bezüglich des Schutzes und der Restauration der Küstenökosysteme identifiziert werden.
Stakeholder-Einbindung	<p>Das Wissen von vielen Stakeholdern soll für das Projekt eingeholt werden eingeholt werden, dazu gehören lokale Gemeinschaften, NGOs, private Landbesitzer und Forschungsteams.</p>
(Zwischen-) Ergebnisse	<p><i>Noch keine Angaben</i></p>
Kosten und Finanzierung	<p>Die Kosten für die Umsetzung des Küstenstutzplans werden auf jährlich 500.000 US\$ geschätzt. Dieser Plan wird allerdings über Maßnahmen im Zusammenhang mit Blue Carbon hinausgehen und auch weitere Projekte beinhalten.</p>
Kohlenstoffspeicherung	<p>Aktuell wird geschätzt, dass durch Restauration und Schutz der Mangrovenwälder jährlich 11,2 Gt CO₂ jährlich sequestriert werden könnten.</p>
Referenzen	<p>(Owen und Durham 2020) (UNFCCC o. D.-b) (WWF o. D.-a) (WWF o. D.-b)</p>

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon Projekts in Belize

Nordic-Blue-Carbon-Projekt zum Schutz von Seegraswiesen und Makroalgen in Norwegen	
Übersicht	
Blue-Carbon-Art:	Seegraswiesen und Makroalgen
Region / Land:	Norwegen
Projektdauer:	2017 – 2020
Projektpartner:	Norwegian Institute for Water Research, GRID-Arendal, the Institute of Marine Research, Aarhus University, Åbo Akademi University
Thema / Projektziel(e)	Im Norden Europas gibt es viele Seegraswiesen und Algenbestände, aber diese sind durch menschliche Einflüsse und klimawandelbedingte Lebensraumveränderungen gefährdet. Das Nordic-Blue-Carbon-Projekt hatte zum Ziel die Verbreitung dieser Ökosysteme im Norden Europas festzustellen, sowie die Hauptauswirkungen von Klimawandel und anthropogenen Einflüssen zu identifizieren. Außerdem sollten Wissenslücken geschlossen werden und wissenschaftsbasierte Empfehlungen zum Schutz dieser Gebiete gegeben werden.
Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Erarbeitung einer Verbreitungskarte: die Verteilung der Seegraswiesen und Braunalgen entlang der Küsten von Nordeuropa sollte erstellt werden • Untersuchungen der Gebiete: in Feldarbeit an verschiedenen Standorten wurden die Ökosysteme untersucht, um Kohlenstoffkreisläufe besser nachvollziehen zu können und um ökologische Zusammenhänge besser zu verstehen. Dabei wurden Kohlenstoffaufnahme und -bindung empirisch quantifiziert, sowie verschiedene Belastungen und Bewirtschaftungsmaßnahmen untersucht. • Kommunikation & Öffentlichkeitsarbeit: Die Ergebnisse des Projekts sollten an nationale sowie überregionale Organisationen und Managementgremien weitergeleitet werden.
Stakeholder-Einbindung	<i>Keine Angaben</i>
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Erstellung der ersten Karte in der Region zur Verteilung von Seegraswiesen und Braunalgen. Insgesamt ist eine Fläche von über 19.000 km² entlang der norwegischen, schwedischen und dänischen Küsten bedeckt. Den mit Abstand größten Anteil hat hierbei die Algenart <i>Laminariales</i>. • Die Nettoauswirkungen bei einer potenziellen Zerstörung aller Seegraswiesen der Region wurden quantifiziert. Ein solcher Verlust der Ökosysteme würde 33 Mio. t CO₂ freisetzen und jährlich würden 3,9 Mio. t weniger CO₂ gebunden werden. • Identifizierung der wichtigsten Auswirkungen des Klimawandels auf das Ökosystem der Seegraswiesen • Es wurden folgende Handlungsempfehlungen an politische Entscheidungsträger formuliert: der Schutz der Küstenökosysteme sollte verstärkt werden und Meeresschutzgebiete sollten ausgewiesen werden. Außerdem sollten die Bemühungen Nährstoffbelastung und Überfischung zu vermeiden gesteigert werden
Kosten und Finanzierung	Das Nordic Blue Carbon Projekt wurde durch das Nordic Council of Ministers finanziert.
Kohlenstoffspeicherung	Die jährliche CO ₂ -Einlagerung wird auf 3,9 Mio. CO ₂ e geschätzt.
Referenzen	(Frigstad et al. 2020) (Nordic Blue Carbon 2021) (Nordic Blue Carbon o. D.)

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon Projekts in Norwegen

SeaStore Projekt zur Wiederherstellung von Seegraswiesen an der Ostsee	
Übersicht	
Blue-Carbon-Art:	Seegraswiesen
Region / Land:	Ostsee (Deutschland)
Projektdauer:	Nov 2020 – Okt 2023
Projektpartner:	Leibniz Universität Hannover, Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR), Universität Greifswald, Technische Universität Braunschweig, Institut für Weltwirtschaft Kiel
Thema / Projektziel(e)	In den letzten Jahrzehnten sind schätzungsweise über 50% der Seegraswiesen an der deutschen Ostseeküste verloren gegangen. Viele der Zusammenhänge des Seegrasökosystems sind noch nicht abschließend geklärt, was zur Folge hat, dass die Wiederansiedlung von Seegras oft fehlschlägt. Deshalb ist das Ziel des SeaStore-Projekts in erster Linie die wissenschaftliche Basis für die langfristige Wiederansiedlung von Seegraswiesen in der Ostsee herzustellen. Standorte mit hohem Kohlenstoffspeicherpotential sollen identifiziert werden, um dort gezielt Seegraswiesen anzusiedeln.
Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Wissenschaftliche Untersuchungen: sowohl im Labor und im Feld sollen verschiedene Bepflanzungsmethoden und Anwuchshilfen getestet werden. Insbesondere die Rolle des Mikrobioms soll untersucht werden. • Bewertung der Wirtschaftlichkeit: potenzielle Einnahmen durch Ökosystemleistungen sollen mit den Kosten verrechnet werden, um einzuschätzen inwieweit solche Einnahmen ähnliche Projekte refinanzieren können.
Stakeholder-Einbindung	Es sollen Amateur-Taucher in die Pflanzung und Überwachung von Seegraswiesen involviert werden. Außerdem sollen Behörden, Gemeinden und die lokale Tourismusbranche miteingebunden werden, um mehr Bewusstsein für die Rolle von Seegraswiesen zu schaffen.
(Zwischen-) Ergebnisse	<i>Noch keine Angaben</i>
Finanzierung	Das SeaStore Projekt wird mit knapp 2 Mio. Euro durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt.
Kohlenstoffspeicherung	<i>Keine Angaben</i>
Referenzen	(GEOMAR 2021) (IfW Kiel o. D.) (Leibniz Universität Hannover 2020) (Leibniz Universität Hannover 2021)

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon Projekts an der Ostsee

Tahiry-Honko-Projekt zur Wiederherstellung von Mangrovenwäldern in der Bay of Assassins, Madagaskar

<p>Übersicht</p> <p>Blue-Carbon-Art: Mangrovenwälder</p> <p>Region / Land: Bay of Assassins (Madagaskar)</p> <p>Projektdauer: 2018 – 2037</p> <p>Projektpartner: Blue Ventures Conservation, Velondriake Association, Velondriake Locally Managed Marine Area (LMMA), Plan Vivo</p>	
<p>Thema / Projektziel(e)</p>	<p>Tahiry Honko ist das erste Projekt zur Kohlenstoffbindung in Madagaskar, das sich auf Mangroven spezialisiert. Das Ziel des Projektes ist die Degradierung der Mangrovenwäldern zu stoppen und der lokalen Bevölkerung durch den Verkauf von CO₂-Zertifikaten ein stabiles Einkommen zu verschaffen.</p>
<p>Maßnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erhalt der bestehenden Mangroven: Die aktuelle Ausdehnung der Mangrovenwälder wird durch die Ausweisung von Schutzgebieten sichergestellt. Außerdem wird ein Quotensystem etabliert, das die Abholzung regulieren soll. Lokale Baumplantagen an Land werden als alternative Holzquelle errichtet. • Wiederherstellung von Mangrovenwäldern: Pflanzaktionen durch lokale Gemeinschaften sollen abgeholzte Mangrovenwälder wiederherstellen. • Alternative Einkommensquellen: Alternative Einkommensquellen, wie Seegurken- und Algenanbau und Imkerei sollen geschaffen werden, um den wirtschaftlichen Druck auf die Abholzung von Mangrovenwäldern zu verringern. • Zusammenarbeit mit Behörden: es wird eng mit den lokalen und regionalen Behörden zusammengearbeitet, um sicherzustellen, dass die Rechte für die Mangrovenwälder bei den lokalen Gemeinschaften liegt.
<p>Stakeholder-Einbindung</p>	<p>Es sind zehn Dörfer mit insgesamt etwa 4.000 Einwohnern Teil des Projekts. Strategie und Ziele des Projekts wurden zusammen mit der lokalen Bevölkerung erarbeitet. Insbesondere Frauen und junge Menschen wurden miteinbezogen. Auch die Verteilung der Einnahmen durch die Zertifikate wurde gemeinschaftlich entschieden: 50 % gehen an die lokale Bevölkerung, die damit soziale Investitionsprojekte, wie sauberes Trinkwasser, finanziert, 23 % gehen an die Verwaltung und 27 % an die nationale Regierung.</p>
<p>(Zwischen-) Ergebnisse</p>	<p>Über 1.200 ha Mangrovenwälder werden geschützt</p>
<p>Kosten und Finanzierung</p>	<p>Das Projekt soll sich durch den CO₂-Zertifikate Verkauf langfristig selbst finanzieren. Das Projekt wird zusätzlich durch die britische Regierung über die Darwin Initiative, durch die Global Environment Facility und die MacArthur Foundation mitfinanziert.</p>
<p>Kohlenstoffspeicherung</p>	<p>Über den Projektzeitraum von 20 Jahren wird eine Einlagerung von 1.443 t CO₂ pro Jahr erwartet.</p>
<p>Referenzen</p>	<p>(Blue Ventures 2015) (Blue Ventures 2019a) (Blue Ventures 2019b) (Blue Ventures o. D.) (Commonwealth Secretariat 2020) (Plan Vivo o. D.-b)</p>

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon Projekts in der Bay of Assassins, Madagaskar

Seagrass-Ocean-Rescue-Projekt zu Seegraswiesen in Dale, Wales	
Übersicht	<p>Blue-Carbon-Art: Seegraswiesen</p> <p>Region / Land: Dale (Wales)</p> <p>Projektdauer: Seit 2019</p> <p>Projektpartner: Project Seagrass, Swansea University, Cardiff University, Pembrokeshire Coastal Forum, Sky Ocean Rescue, WWF</p>
Thema / Projektziel(e)	<p>Bis zu 92 % der britischen Seegraswiesen sind bereits verloren gegangen. Das Seagrass-Ocean-Rescue-Project plant im Küstengebiet vor Dale auf einer Versuchsfläche von 2 ha Seegras zu restaurieren. Das Gebiet hat zwar in der Vergangenheit Seegrasbestände verloren, verfügt jedoch über die Entsprechenden optimalen Standortbedingungen, wie ausreichend Licht und die richtige Wassertiefe. Wenn das Projekt erfolgreich ist, soll es als Modell für größer Projekte dienen. Die Methoden basieren auf den Forschungen der Swansea University in Wales.</p>
Maßnahmen	<p>Seegraspflanzung: Es sollen Samen von bestehenden Seegraswiesen um Großbritannien gesammelt werden. Diese werden dann im Labor der Swansea University sortiert und aufbereitet. Anschließend werden sie in kleinen biologisch abbaubaren Säckchen auf die Versuchsfläche gepflanzt, um sie am Standort zu fixieren.</p>
Stakeholder-Einbindung	<p>Es wird mit den Stakeholdern vor Ort zusammengearbeitet, um das Ökosystem der Versuchsfläche möglichst nicht zu beeinträchtigen. Es sollen zudem die Vorteile für die Gemeinde, wie beispielsweise erhöhte Wasserklarheit, herausgestellt werden, um die Gemeinde für Naturschutz zu sensibilisieren. Es wurde außerdem die Dale-Seagrass-Stakeholder-Group gegründet, die das Projekt mitgestaltet und Informationen und Projektfortschritte teilt. Für die Sammlung und Pflanzung der Samen sollen Freiwillige involviert werden.</p>
(Zwischen-) Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • 2019 wurden in einer ersten Phase 1 Mio. Samen gesammelt und an die Swansea University übergeben. • Im Februar 2020 wurden 750.000 dieser Samen bereits gepflanzt. Teile der Gebiete sind gut angewachsen, andere aber weniger gut, da zum Beispiel zu viele Pflanzen auf einem Fleck gewachsen sind. Das wird auf den Lock-down zurückgeführt, der im Zuge der Covid-19 Pandemie verhängt wurde. Dadurch konnte das Gebiet erst im darauffolgenden Sommer kontrolliert werden. • In einer zweiten Phase wurden im Herbst 2021 weitere 450.000 Samengeammelt und in das Gebiet gepflanzt.
Kosten und Finanzierung	<p><i>Keine Angaben</i></p>
Kohlenstoffspeicherung	<p><i>Keine Angaben</i></p>
Referenzen	<p>(Carbon Copy 2020) (Pembrokeshire Coastal Forum 2019) (Pembrokeshire Coastal Forum 2020) (Project Seagrass 2020) (WWF-UK 2020)</p>

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon Projekts in Dale, Wales

Wiederherstellung von Mangrovenwäldern in Phuket, Thailand	
Übersicht	
Blue-Carbon-Art:	Mangrovenwälder & Seegraswiesen
Region / Land:	Phuket (Thailand)
Projektdauer:	Seit 1993
Projektpartner:	Community Mangrove Forest Conservation
Thema / Projektziel(e)	Im Zeitraum von 1975 bis 1993 hat sich die Fläche der Mangrovenwälder in Thailand fast halbiert. Die Mangrovenwälder sind insbesondere durch die Ausweitung von Aquakulturen für Garnelen bedroht. 1993 wurde die „Community Mangrove Forest Conservation of Baan Bang La“ gegründet, um den lokalen Gemeinden die Verwaltung der Gebiete zu sichern und die Mangrovenwälder zu überwachen und zu schützen. 2017 hat das Projekt den Equator Prize gewonnen.
Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Ausweisung von Gebieten: 80 ha der Mangrovenwälder sind zu Naturschutzgebieten umgewandelt worden. 42 ha wurden der lokalen Versorgung (z.B. Lebensmittelversorgung, Brennholz, Baumaterial) zugeordnet. • Stärkung der Gemeinschaften: Es wurde ein Netzwerk von Vertretern aus verschiedenen Sektoren aufgebaut, das sich um den Schutz und das Management der Küstengebiete kümmert. Es wurden zusätzlich Gemeinschaftsfonds eingerichtet, um lokale Kleinunternehmen zu unterstützen. Es werden zudem Projekte durchgeführt, um insbesondere junge Menschen und Frauen am Schutz der Mangrovenwälder zu beteiligen.
Stakeholder-Einbindung	Es wurden verschiedene Management Ebenen eingerichtet, um sicherzustellen, dass alle Gruppen der Gemeinschaft in den Entscheidungsprozess mit eingebunden werden. Es finden außerdem viele Veranstaltungen zur Sensibilisierung und Umweltbildung statt. Insgesamt profitieren fast 4.000 Personen von dem Projekt.
(Zwischen-) Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Der Fischertrag hat sich innerhalb eines Jahrzehnts verdoppelt • Viele Arten sind in das Gebiet zurückgekehrt • Aktuell sind etwa 509 ha der Küste Mangrovenwälder, davon stehen 80 ha unter Schutz und insgesamt sind große Teile der Mangrovengebiete zusätzlich mit Seegras bedeckt.
Kosten und Finanzierung	<i>Keine Angaben</i>
Kohlenstoffspeicherung	Es wurden noch keine Hochrechnungen der CO ₂ -Speicherung durchgeführt, da das Projekt unter den Gesichtspunkten des Umwelt- und Küstenschutzes gestartet ist. Blue-Carbon-Berechnungen sollen in den nächsten Jahren ein aktiver Teil des Projekts werden.
Referenzen	(The Nation Thailand 2017) (UNDP Thailand 2017) (United Nations Development Programme 2019)

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon Projekts in Phuket, Thailand

Carbon Zero Seaweed Town (CØST) Projekt auf Wando, Südkorea	
Übersicht	<p>Blue-Carbon-Art: Makroalgen</p> <p>Region / Land: Wando, Südkorea</p> <p>Projektdauer: Seit 2017</p> <p>Projektpartner: Pusan National University</p>
Thema / Projektziel(e)	<p>Wie auch in weiten anderen Teilen der Welt gehen in Südkorea Blue-Carbon-Ökosysteme immer weiter verloren. Die südkoreanische Inselgruppe Wando ist sehr algenreich. In dem Projekt Wando Carbon Zero Seaweed Town (CØST) soll dort eine klimaneutrale Gemeinde entstehen, in der die verschiedenen Ökosystemleistungen von Algen optimal genutzt werden sollen.</p>
Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Aquakultur: Es sollen Algen-Aquakultur-Becken gebaut werden mit dem Potential auch Aquakultur von Fisch und Schalentieren zu integrieren. Die Algen sollen auch als Kohlenstoffsinken dienen. • Alternative Energiequellen: Es soll die Algen-Biokraftstoff-Technologie weiterentwickelt werden. Außerdem sollen Solar, Wind und Wellenenergie weiter ausgebaut werden. • Öffentlichkeitsarbeit: Es soll ein Besucherzentrum eingerichtet werden und außerdem ein Forschungszentrum, in dem kurzfristige Forschung auch von Externen durchgeführt werden kann.
Stakeholder-Einbindung	<i>Keine Angaben</i>
(Zwischen-) Ergebnisse	<i>Keine Angaben</i>
Kosten und Finanzierung	Das Projekt wird vom Asian Network of Using Algae as Mitigation and Adaptation Measure (ANAMAM) gefördert.
Kohlenstoffspeicherung	Eine erste Pilotstudie im südlichen Korea hat gezeigt, dass dort Braunalgen etwa 10 t CO _{2e} pro ha pro Jahr einlagern können.
Referenzen	<p>(Chung et al. 2013)</p> <p>(Chung 2017a)</p> <p>(Chung 2017b)</p> <p>(Sondak und Chung 2015)</p> <p>(The Fish Site 2020)</p> <p>(Voiland 2021)</p>

Tabellarische Übersicht eines Blue-Carbon Projektes in Wando, Südkorea

INTERFACE Projekt zu Salzwiesen im Wattenmeer, Deutschland

<p>Übersicht</p> <p>Blue-Carbon-Art: Salzwiesen</p> <p>Region / Land: Wattenmeer (Deutschland)</p> <p>Projektdauer: April 2014 – März 2017</p> <p>Projektpartner: Universität Hamburg, Verwaltungen der Wattenmeer Nationalparks in Niedersachsen, Hamburg und Schleswig-Holstein</p>	
<p>Thema / Projektziel(e)</p>	<p>Die meisten Festlandsalzwiesen in Deutschland befinden sich in den Nationalparks des Wattenmeers. Das Forschungsprojekt INTERFACE (INTERaktion von Fischen, PflAnzen, Kohlenstoff (C) und SEdiment) wurde 2014 mit dem Ziel gestartet, diese Salzwiesen wissenschaftlich zu untersuchen. Dabei sollten neue Erkenntnisse über die Kohlenstoffeinlagerung, über Einflüsse von Beweidung auf das Ökosystem und über die Rolle von Salzwiesen als Habitat für Fische erlangt werden. Die derzeitige Datenlage zum Kohlenstoffsequestrierungspotential von Salzwiesen basiert vor allem auf Studien aus Nordamerika. Dieses Projekt hatte zum Ziel das Wissen zu europäischen Salzwiesen zu erweitern.</p>
<p>Maßnahmen</p>	<p>Wissenschaftliche Untersuchungen: Die Salzwiesen wurden bezüglich Kohlenstoffspeicherung, Kohlenstoffdynamiken, Salzwiesen als Fischhabitat und die Auswirkungen von Entwässerungsgräben und Beweidung untersucht. Für die Untersuchungen der Kohlenstoffsequestrierung wurden an drei Festlandsümpfen Oberflächenuntersuchungen durchgeführt aber auch 1,3 m tiefe Proben entnommen und untersucht.</p>
<p>Stakeholder-Einbindung</p>	<p>Die Ergebnisse der Projektteile sollen in enger Zusammenarbeit mit den Nationalparkverwaltungen in ihr Management integriert werden.</p>
<p>(Zwischen-) Ergebnisse</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Daten werden außerhalb der Projektphase ausgewertet. Die Ergebnisse sollen in den nächsten Jahren in wissenschaftlichen Artikeln und Doktorarbeiten veröffentlicht werden. • Erste Ergebnisse zur Kohlenstoffeinlagerung sind bereits veröffentlicht. Darin wurde betont, dass tiefe Beprobungen der Gebiete wichtig sind und außerdem deren Ergebnisse mit der Entwicklung der Ökosysteme in Verbindung gesetzt werden sollten, um die CO₂-Sequestrierung nicht zu überschätzen.
<p>Kosten und Finanzierung</p>	<p>Das Projekt wurde durch die Bauer-Hollmann-Stiftung finanziert.</p>
<p>Kohlenstoffspeicherung</p>	<p>Die lang- und mittelfristige Kohlenstoffeinlagerung wird auf 1,12-1,49 t Kohlenstoff pro ha pro Jahr geschätzt.</p>
<p>Referenzen</p>	<p>(LKN-SH Nationalparkverwaltung 2015) (LKN-SH Nationalparkverwaltung 2018) (LKN-SH Nationalparkverwaltung 2020) (Müller 2017) (Müller 2018) (Nolte 2018) (Universität Hamburg 2018)</p>

Tabellarische Übersicht eines Blue Carbon Projekts im Wattenmeer, Deutschland |



Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS)

Das IASS forscht mit dem Ziel, Transformationsprozesse hin zu einer nachhaltigen Gesellschaft aufzuzeigen, zu befördern und zu gestalten, in Deutschland wie global. Der Forschungsansatz des Instituts ist transdisziplinär, transformativ und ko-kreativ: Die Entwicklung des Problemverständnisses und der Lösungsoptionen erfolgen in Kooperationen zwischen den Wissenschaften, der Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft. Ein starkes nationales und internationales Partnernetzwerk unterstützt die Arbeit des Instituts. Zentrale Forschungsthemen sind u.a. die Energiewende, aufkommende Technologien, Klimawandel, Luftqualität, systemische Risiken, Governance und Partizipation sowie Kulturen der Transformation. Gefördert wird das Institut von den Forschungsministerien des Bundes und des Landes Brandenburg.

IASS STUDY

Februar 2022

Kontakt:

lina.roeschel@iass-potsdam.de

Adresse:

Berliner Straße 130
14467 Potsdam

Tel: +49 (0) 331-28822-340

Fax: +49 (0) 331-28822-310

E-Mail: media@iass-potsdam.de

www.iass-potsdam.de

ViSdP:

Prof. Dr. Mark G. Lawrence,
Geschäftsführender Wissenschaftlicher Direktor

DOI: 10.48481/iass.2022.010

