

Nexus von Klimaanpassung und Meeresschutz

Resilienz in Meeres- und Küstenökosystemen

Online Vortrag vom 04.07.2024 für den Workshop:

„Meerschut, Küstenschutz und nachhaltiger Tourismus im und am Wattenmeer“

Gregory Fuchs, Ecologic Institute

Researcher, Ko-Koodinator Meere und Küsten



Was Sie in den nächsten Minuten erwartet...

Herausforderungen und Notwendigkeit zum Handeln

- Gefährdung der Biodiversität und Ökosysteme
- Gefährdung von Küstengemeinden
- Klimafolgen im Wattenmeer (z.B. Meeresspiegelanstieg, Erosion, Temperaturanstieg)

Handlungsansätze zur Milderung der Klimafolgen

- Nexus zwischen Meeresschutz und Klimawandelanpassung
- Naturbasierte Klimaanpassung und Küstenschutz
- Ökosystembasierte Ansätze zur Förderung der Resilienz
- Sozioökonomische (Co-)Vorteile
- Lokale Herausforderungen und Einflussmechanismen
- Effektives Management von Küstenrisiken

Ausblick

Herausforderungen und Notwendigkeit zum Handeln

Der Klimawandel ist weltweit eines der dringendsten Umweltprobleme. Seine Folgen sind eine enorme Bedrohung für Mensch und Natur.

Die Auswirkungen sind schon seit längerem auch in der Nordsee und an ihren Küsten spürbar. Der nachhaltige Schutz der Menschen vor dem Hintergrund der Klimawandelfolgen ist eine Generationsaufgabe.

- **Wie wirkt sich der Klimawandel an deutschen Küsten aus?**
- **Wie passen wir uns nachhaltig an? Welche Rolle spielt der Meeresschutz hierbei?**
- **Wie wollen wir in Zukunft mit Klimaauswirkungen und Naturkatastrophen umgehen?**

Gefährdung von Küstengemeinden

- **Überflutungsgefährdung in Deutschland:** 3,2 Mio. Menschen in Küstengebieten; Steigende Extremwasserstände, mehr Überschwemmungen, Sturmfluten, stärkere Küstenerosion
- **Bedrohung Küstenschutzsysteme:**
 - Schäden an Küstensiedlungen, Infrastruktur (Straßen, Brücken, Gebäude)
 - Verlust von Eigentum, Vertreibung der Bevölkerung
 - Gefährdung der menschlichen Sicherheit, Infrastrukturschäden
- **Wasserqualität:**
 - Salzwassereintritt erhöht Grundwasserversalzung, gefährdet Trinkwasserversorgung, Ackerland wird unfruchtbar
 - Überlastung von Entwässerungssystemen
- **Küstenerosion:** Negative Sedimentbilanz führt zu Strand- Sand- und Dünenverlust, unterspülte Wege – negative Folgen für Tourismus
- **Anpassungsbedarf:** Küstengemeinden brauchen verstärkte Vorsorgemaßnahmen, erhöhte finanzielle Ressourcen
- **Kulturerbe:** Wattenmeer einzigartiges Ökosystem, fragil, gleichzeitig Ziel für Millionen von Menschen
- **Trend:** **Anwendung sanfterer, naturbasierter Lösungen und Hybridstrategien** ersetzen/ergänzen harten Maßnahmen **für Küstenschutz und als Anpassungsmaßnahmen**

Menschliche Aktivitäten beeinflussen Küstenökosysteme negativ:

- **Übernutzung:** Fischerei, Verschmutzung, Eutrophierung, invasive Arten, nicht nachhaltige Küsten- und Meeresnutzung (Bebauung, Grundwasserabsenkung) und Klimawandel - wirken zusammen, stören natürliche Prozesse, senken Resilienz
- **Verlust von Wattenmeerflächen** da historisch Küstenschutzmaßnahmen oft ohne Rücksicht auf Naturwerte durchgeführt; Infrastruktur wie Deiche und Siedlungen trennen Binnen- und Außendeichgebiete, was **natürliche Vernetzung** der Lebensräume negativ beeinträchtigt.
- **Dringender Handlungsbedarf** trotz Fortschritten

Bedrohung der Biodiversität:

- 1/3 der Arten in der deutschen Nord- und Ostsee bedroht; viele Arten und ihre Lebensräume zu hohen Belastungen ausgesetzt
- Anstieg des Meeresspiegels bedroht Wattflächen, Salzwiesen und Dünen dar und gefährdet Lebensräume für Millionen von Wat- und Wasservögeln sowie brütende Küstenvögel.
- Veränderung der natürlichen Dynamik (Nahrungsketten/Artenzusammensetzung), Annäherung an kritischen Kipppunkte

Schlüsselstrategie: Schutz der Biodiversität und ökologischen Funktionen mariner Ökosysteme, Aufbau von Resilienz gegenüber Veränderungen; kumulative Stressoren effektiv reduzieren

Klimabedingte Belastungen und ihre Auswirkungen

Phänomen	Marine Ökosysteme	Gesellschaft
Ozeanerwärmung	Verlust der Biodiversität, Veränderung der Nahrungsketten; Artenverschiebung & Ausbreitung invasiver Arten; verringerte CO ₂ -Aufnahme	zunehmende Algenblüten, Aufkommen von Krankheitserregern
Anstieg des Meeresspiegels	Verlust von Gezeitenzonen und Ökosystemen	Küstenerosion, Salzwasserintrusion, Sturmfluten
Ozeanversauerung (Absinken des pH-Wertes)	Störung des Wachstums und Fortpflanzung mariner Lebewesen (geringere Kalkbildung; Auswirk. auf Phytoplankton), verringerte CO ₂ -Aufnahme	Einbußen in der Schalentierfischerei
Veränderungen der Ozeansalinität	Beeinträchtigung der marinen Lebensräume	Einfluss auf Fischerei
Sauerstoffverlust im Ozean	Entstehung von sauerstoffarmen „toten“ Zonen	Verlust von Fischereiressourcen
Zunahme von Sturmintensität und -häufigkeit	Veränderung der Meeresströmungen, Stürme und Sturmfluten beeinträchtigen Ökosysteme	Verstärkte Küstenerosion und Infrastrukturschäden
Schmelzen von Meereis	Habitatveränderungen, invasive Arten	Veränderung von Schifffahrtsrouten

Eine heißere Welt = eine sich verändernde Nordsee

Steigende Temperaturen: Die mittlere Erwärmung der Nordsee beläuft sich auf 0,26 °C pro Dekade. In Jahren mit lang anhaltenden Hitzewellen steigen die Wassertemperaturen deutlich.

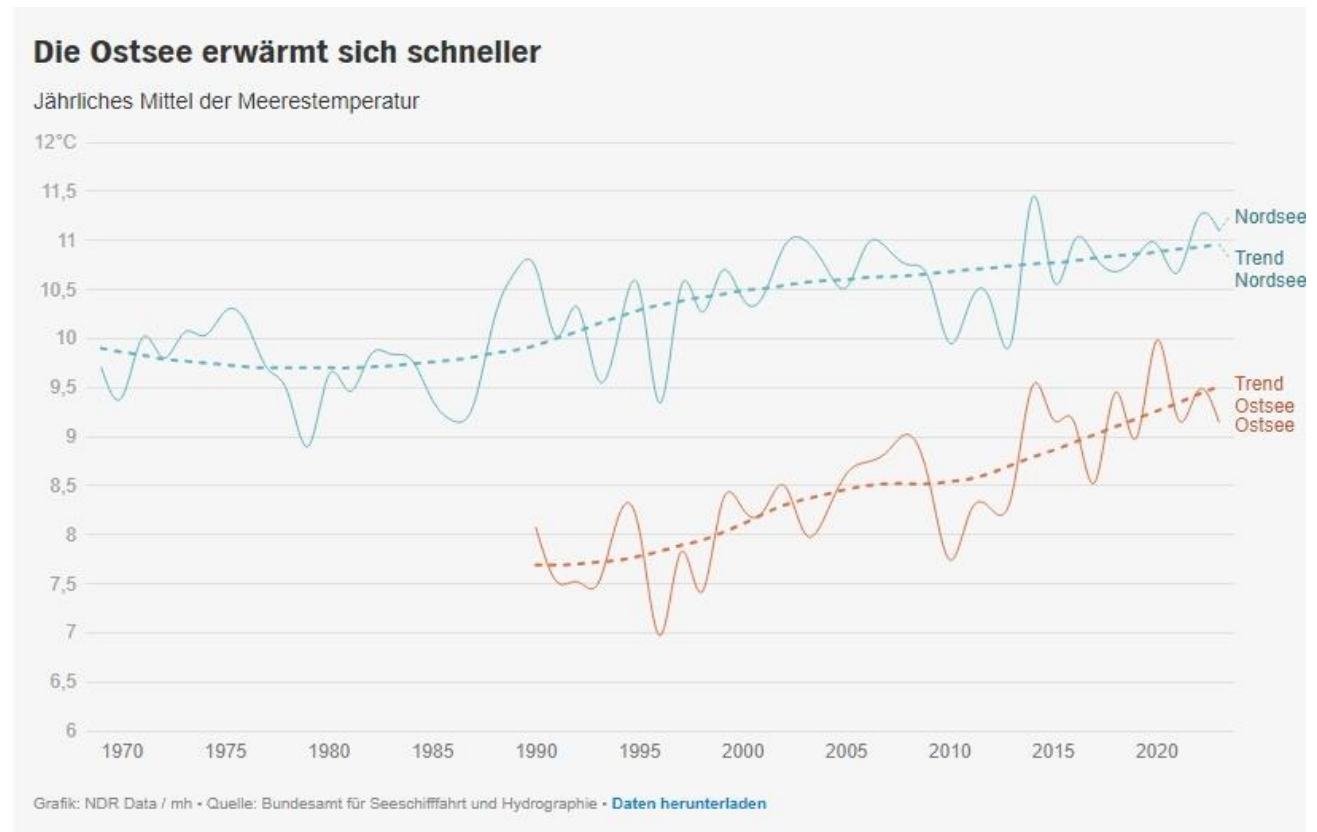
Veränderungen des Wasserqualität:

Sauerstoffmangel nimmt zu (insbesondere für die Ostsee, aber auch in Ästuaren der Nordsee relevant)

Übersäuerung: Absinken des pH-Wertes
(Nordsee = bereits um 0,1 Einheiten gesunken)

Abnehmender Salzgehalt (vor allem für Ostsee relevant)

Keimverbreitung wird durch ungewöhnliches warmes Meerwasser gefördert



Nexus von Klimaanpassung und Meeresschutz

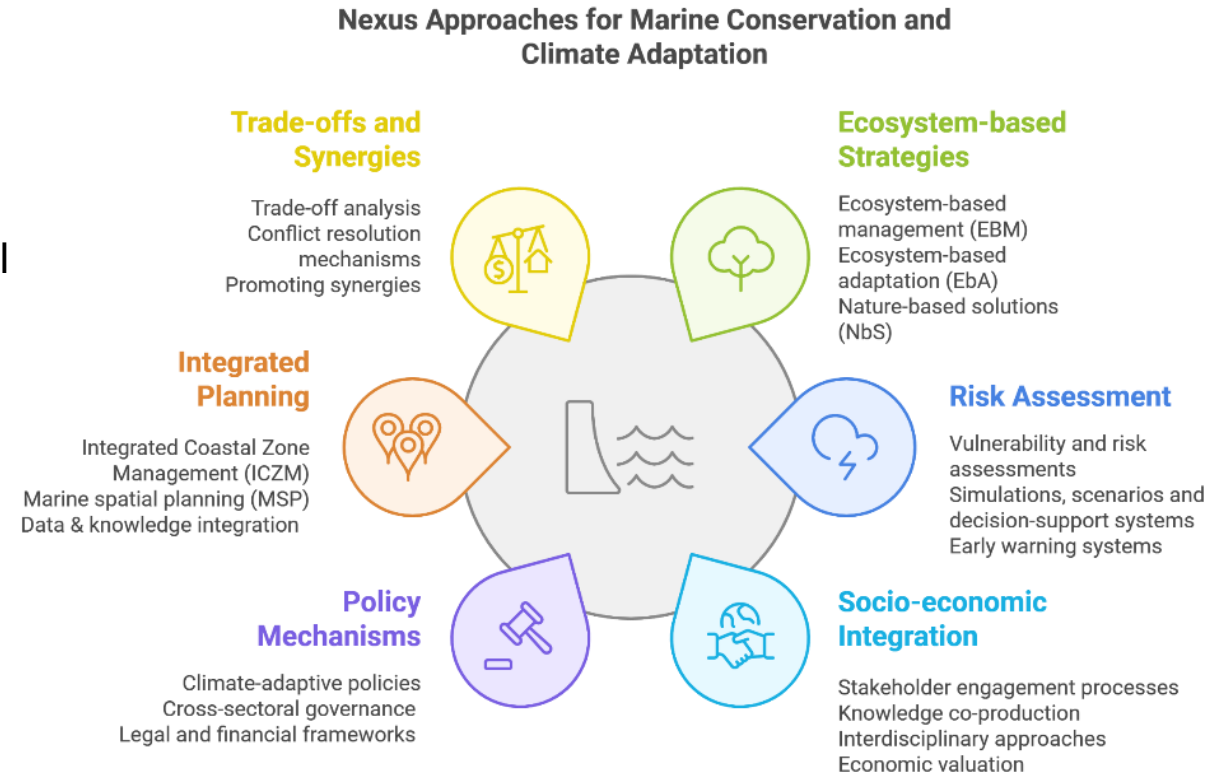
Definition: Die ganzheitliche Betrachtung und integrierte Handlungsansätze zum Schutz der Meere und zur Anpassung an den Klimawandel.

Bedeutung des Nexus-Konzepts

- ▶ Der Schutz der Meere ist auch ein essentieller Bestandteil der Klimaanpassung.
- ▶ **Küsten- und Naturschutz zusammenführen:** Wichtigkeit von ganzheitlichen Forschungs- und Politikansätzen, die Meeresschutz und Klimaanpassung verzahnen.

Aktuelle Forschungserkenntnisse und Trends

- ▶ Literaturrecherche nach Studien, die die Notwendigkeit einer nahtlosen Integration von Meeresschutz und Klimaanpassung hervorheben.



Schutz von
Menschen und
Eigentum



Senkung der ökologischen Auswirkungen
und wirtschaftlichen Kosten
Verbesserung der biologischen Vielfalt und
der Ökosystemleistungen

- **Küstenschutz und Katastrophenrisikominderung durch Ökosystemprozesse:** Naturbasierte Anpassungsmaßnahmen sind oft kostengünstiger, ressourcenschonender und verbessern die Ökosystemfunktionen und fördern sozial-ökologische Resilienz
- **Essentielle Leistungen** durch gesunde, resiliente Meeresökosysteme: Sauerstoffproduktion, Nahrungs- und Wasserversorgung, CO₂-Speicher und Klimapuffer
- **Wellenabschwächung:** Reduzierte Wellenhöhe und -energie, mindert Sturmschäden.
- **Hochwasser- und Sturmflutabschwächung:** Küstenlebensräume verringern Höhe oder Dauer von Hochwasser, Überschwemmungen durch Meeresspiegelanstieg
- **Verringerung von Erosion & Landverlusten:** Dünenhabitats, Salzwiesen, Seegraswiesen und Riffen

Naturbasierte Klimaanpassung und Küstenschutz

- ▶ **Schutz der Ökosysteme und ihrer Funktionen & Leistungen:** Insb. Algenwälder, Seegraswiesen, Riffe und Salzmarschen bilden essenzielle Strukturen und fördern die Biodiversität in Meeres- und Küstenökosystemen.
- ▶ **Naturnaher Küstenschutz:** Weicher Küstenschutz, wie Sandvorspülungen und Restaurierung wird verstärkt harten Maßnahmen vorgezogen, um Naturzerstörung zu vermeiden und Synergien zu nutzen.



- ▶ **Mögliche Trade-Offs** bei der Implementierung von Maßnahmen zum Erhalt und zur Wiederherstellung der Ökosysteme (u.a. lokale Nutzungseinschränkungen) nicht außer Acht lassen

Sozioökonomische (Co-)Vorteile:

Kosten-Nutzen-Verhältnis:

- Vorteile der Wiederherstellung von Meeresökosystemen übersteigen die Kosten deutlich (Studienlage nimmt zu)
- Kurzfristige Verluste in einigen Branchen werden durch langfristige Gewinne ausgeglichen

Wirtschaftlicher Nutzen der Wiederherstellung:

- Seegraswiesen: 284–514 €/ha/Jahr
- Muschel- und Austerbänke: 5.000–90.000 €/ha/Jahr

Wirtschaftliche Vorteile:

- Beschäftigung in Fischerei, erneuerbaren Energien und (nachhaltigem) Tourismus
- Aufenthaltsqualität für Urlauber sollte auch in Anbetracht der klimatischen Veränderungen aufrechterhalten werden; dies nur im Einklang mit Naturschutz und intakten Ökosystemen möglich

Weiterer Forschungsbedarf:

- Notwendig für präzisere Ermittlung von Kosten und Nutzen

Maßnahmentyp	Stärken	Schwächen
Harte Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Sofortige Wirksamkeit • Geeignet für begrenzten Raum • ökonomische Vorteile 	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelnde Anpassungsfähigkeit durch starre Strukturen • Hohe Umweltauswirkungen • Sicherheitswahrnehmung irreführend
Natürliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassungsfähig an Klimaänderungen • Multifunktionalität = viele Zusatznutzen (Biodiversität, menschl. Wohlergehen, Klimaschutz, sozial-ökologische Resilienz) • Keine Investitionskosten dafür hohe ökonomische Vorteile • Flexibilität = dynamischer Küstenschutz 	<ul style="list-style-type: none"> • Regeneration braucht Zeit, z.B. nach Stürmen oder durch menschliche Degradierung • Anfälligkeit angesichts hoher Belastungen • Hoher Platzbedarf
Weiche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Multifunktionalität • Kosteneffektivität • Verbesserte Wirksamkeit über Zeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Für Hochrisikozonen alleine unzureichend • Erhöhter Platzbedarf • Dauer bis zur vollen Wirksamkeit • Effektivität abhängig vom Ökosystemtyp und umgebenden Umweltfaktoren
Hybride Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Kombination von Stärken aus hart und weich • Flexibilität im Kontext – Anpassung an verschiedene Risikoniveaus • Ökonomische Vorteile 	<ul style="list-style-type: none"> • Komplexität im Design und hoher Planungsaufwand • Wenig globale Umsetzung bislang, Tendenz steigt • Umweltbelastung durch graue Komponenten

Herausforderungen

- ▶ Teure Infrastrukturen schädigen Ökosysteme, fördern invasive Arten und reduzieren die Biodiversität.
- ▶ Verlust mariner Lebensräume bedroht essenzielle Ökosystemfunktionen und den natürlichen Küstenschutz.
- ▶ Traditionelle und naturbasierte Anpassungsmaßnahmen sind unter gleichen Umweltbedingungen schwer vergleichbar.
- ▶ Weiche Maßnahmen alleine ggf. unzureichend für langfristiges Hochwasserrisiko

Chancen

- ▶ **Verstärkung natürlicher Barrieren**, mit den Herausforderungen „mitwachsen“
- ▶ **Kontrolliertes Rückverlegen** reduziert die Gefährdung durch Überschwemmungen effektiver als höhere Deiche.
- ▶ **Natürlicher Schutz** mit dynamischen Vorteilen gegenüber künstlichen Strukturen
- ▶ **Anpassungsstrategien** für Küstenabschnitte essenziell
- ▶ **Nachhaltiger Tourismus** = wichtige Stellschraube für mehr Klimaschutz und Klimaanpassung

Managementstrategien:

Küsten- und Naturschutz zusammenführen:

- Effektiver Küstenschutz sollte naturverträglich und flexibel gestaltet sein, um sowohl die Menschen vor Sturmfluten als auch die Natur vor Zerstörung zu schützen.
- Ökosystemleistungen von natürlichen Lebensräumen wie Salzwiesen und Dünen tragen wesentlich zum Küstenschutz bei und sollten in Planungen berücksichtigt werden.
- "Weiche" Küstenschutzmaßnahmen wie Dünenpflege und Sandaufspülungen sollten "harten" Maßnahmen aus Beton und Stein vorgezogen werden.

Natürliche Küstenstrukturen erhalten und widerstandsfähig machen:

- Erhalt und Wiederherstellung widerstandsfähiger Küstenniederungen und Salzwiesen
- Maßnahmen sollten dazu beitragen, dass das Wattenmeer mit dem steigenden Meeresspiegel „mitwachsen“ kann

Aktive Maßnahmen zur Wiederherstellung und Pflege notwendig:

- In Bereichen, wo natürliche Prozesse gestört sind, müssen aktive Managementmaßnahmen ergriffen werden, z.B. Kontrolle invasiver Arten.
- Extensive Beweidung kann als nachhaltige Pflegemethode dienen, um natürliche Dynamik zu simulieren (offene Sandflächen)

Bedeutung der Zusammenarbeit und Vernetzung:

- Erfolgreicher Meeresschutz und effektive Klimaanpassung erfordern die Kooperation verschiedener Akteure: Gemeinden, Bürger, Tourismusbranche, Naturschutzorganisationen und Behörden.
- Eine ganzheitliche Betrachtung und Management der Küstenregionen ist notwendig, um Nutzungskonflikte zu minimieren.
- Räumliche Vernetzung von Lebensräumen ist wichtig, um genetischen Austausch zu ermöglichen und die Resilienz von Arten und Ökosystemen zu erhöhen.
- Erfahrungsaustausch und Teilen von Wissen aus lokalen Projekten können regionale und internationale Schutzbemühungen stärken.
- Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und zum Erhalt der Biodiversität erfordern langfristiges Engagement und kontinuierliche Anstrengungen.

Wissenschaftliche Forschung und Monitoring als Grundlage:

- Fundiertes Verständnis der natürlichen Prozesse und potenzieller Maßnahmen ist essentiell für effektive Meeresschutz- und Klimaanpassungsstrategien.
- Pilotprojekte und Modellierungen helfen, die Auswirkungen von Maßnahmen zu bewerten und erfolgreiche Ansätze zu identifizieren.

Schlüsselkomponenten eines Resilienz-basierten adaptiven Managements

A) Integrierte Ansätze:	<ul style="list-style-type: none">• Klimaanpassung und Meeresschutz zusammendenken: Schutz der Artenvielfalt und ökologischen Funktionen• Ökosystem-basiertes Management zur Reduzierung von Belastungen und deren Interaktionen• Nachhaltige Praktiken, Übergang zu umweltschonenden Technologien (z.B. ökosystembasiertes Fischereimanagement, Beschränkungen bei Ernte/Fanggeräten)
B) Räumliche Planung optimieren:	<ul style="list-style-type: none">• Wirksamer Schutz von Schlüsselgebieten/Refugien mit hoher ökologischer Bedeutung - effektive Meeresschutzgebiete und marine Raumplanung auf Biodiversität und Resilienzfaktoren ausrichten• Adaptive Schutzmaßnahmen/ flexibles Management (z.B. zeitliche/örtliche Schließungen)
C) Resilienzpoteziale identifizieren:	<ul style="list-style-type: none">• Fokus auf Gebiete mit hoher Regenerationsfähigkeit nach Umweltbelastungen
D) Restaurierung beschädigter Ökosysteme:	<ul style="list-style-type: none">• Insbesondere dort, wo natürliche Regenerationsprozesse behindert/verhindert sind

Schlussfolgerungen und Ausblick

- ▶ **Integration von Klimaanpassung in den Meeresschutz** für langfristigen Erhalt der Ökosysteme und Lebensqualität der Küstengemeinden
- ▶ **Ganzheitlicher, koordinierter Ansatz:** überregionaler Austausch, Berücksichtigung aller Belastungen, Einbeziehung aller Akteure
- ▶ **Naturbasierte Lösungen und Resilienzförderung:** innovative Ansätze zur Stärkung der Ökosysteme, großflächige ökologische Wiederherstellung
- ▶ **Nachhaltige blaue Wirtschaft:** Potenzial, den Tourismus nachhaltiger zu gestalten und damit wichtige Stellschraube für mehr Natur- und Klimaschutz
- ▶ **Intensivierung des Meeresschutzes** durch Programme wie W-VVO, ANK, Meeresoffensive, NBS 2030, Wattenmeerstrategie 2100, etc.

Vielen Dank! Gibt es Fragen?

Gregory Fuchs
gregory.fuchs@ecologic.eu

Ecologic Institute

Pfalzburger Str. 43/44
10717 Berlin
Germany

Tel. +49 (30) 86880-0

ecologic.eu

Referenzen

- ▶ [Abelson, A., Reed, D. C., Edgar, G. J., Smith, C. S., Kendrick, G. A., Orth, R. J., ... & Nelson, P. \(2020\). Challenges for restoration of coastal marine ecosystems in the anthropocene. *Frontiers in Marine Science*, 7, 544105.](#)
- ▶ [Aronson, J., Goodwin, N., Orlando, L., Eisenberg, C. and Cross, A.T., 2020. A world of possibilities: six restoration strategies to support the United Nation's Decade on Ecosystem Restoration. *Restoration Ecology*, 28\(4\), pp.730-736.](#)
- ▶ [Day, J. W., & Rybczyk, J. M. \(2019\). Global change impacts on the future of coastal systems: perverse interactions among climate change, ecosystem degradation, energy scarcity, and population. In *Coasts and Estuaries* \(pp. 621-639\). Elsevier.](#)
- ▶ [Duarte, C. M., Losada, I. J., Hendriks, I. E., Mazarrasa, I., & Marbà, N. \(2013\). The role of coastal plant communities for climatechange mitigation and adaptation. *Nature Clim. Change*, 3, 961-968. <https://doi.org/10.1038/nclimate1970>](#)
- ▶ [European Commission \(2022\). IMPACT ASSESSMENT REPORT. ANNEX VI-b. Accompanying the proposal for a Regulation of theEuropean Parliament and of the Council on nature restoration. \[https://environment.ec.europa.eu/document/download/8ce9e5a2-503b-4bb8-b62b-7ffa5016598_en\]\(https://environment.ec.europa.eu/document/download/8ce9e5a2-503b-4bb8-b62b-7ffa5016598_en\)](#)
- ▶ [Filbee-Dexter, K., Wernberg, T., Barreiro, R., Coleman, M.A., de Bettignies, T., Feehan, C.J., Franco, J.N., Hasler, B., Louro, I., Norderhaug, K.M. and Staehr, P.A., 2022. Leveraging the blue economy to transform marine forest restoration. *Journal of phycology*, 58\(2\), pp.198-207.](#)
- ▶ [Gilby, B. L., Olds, A. D., Duncan, C. K., Ortodossi, N. L., Henderson, C. J., & Schlacher, T. A. \(2020\). Identifying restoration hotspots that deliver multiple ecological benefits. *Restoration Ecology*, 28\(1\), 222-232.](#)
- ▶ [HELCOM \(2023\): State of the Baltic Sea. Third HELCOM holistic assessment 2016-2021. *Baltic Sea Environment Proceedings* n°194. <https://stateofthebalticsea.helcom.fi/overview/>](#)
- ▶ [Huynh, L.T.M., Su, J., Wang, Q., Stringer, L.C., Switzer, A.D. and Gasparatos, A., 2024. Meta-analysis indicates better climate adaptation and mitigation performance of hybrid engineering-natural coastal defence measures. *Nature Communications*, 15\(1\), p.2870.](#)
- ▶ [Kiesel, J., Honsel, L.E., Lorenz, M., Gräwe, U. and Vafeidis, A.T., 2023. Raising dikes and managed realignment may be insufficient for maintaining current flood risk along the German Baltic Sea coast. *Communications Earth & Environment*, 4\(1\), p.433.](#)
- ▶ [Macreadie, P. I., Nielsen, D. A., Kelleway, J. J., Atwood, T. B., Seymour, J. R., Petrou, K., ... & Ralph, P. J. \(2017\). Can we manage coastal ecosystems to sequester more blue carbon?. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15\(4\), 206-213.](#)

Referenzen

- ▶ [Meier, H.M., Kniebusch, M., Dieterich, C., Gröger, M., Zorita, E., Elmgren, R., Myrberg, K., Ahola, M.P., Bartosova, A., Bonsdorff, E. and Börgel, F., 2022. Climate change in the Baltic Sea region: a summary. Earth System Dynamics, 13\(1\), pp.457-593.](#)
- ▶ [Muñoz, M., Reul, A., Guijarro, B., & Hidalgo, M. \(2023\). Carbon footprint, economic benefits and sustainable fishing: Lessons for the future from the Western Mediterranean. Science of the Total Environment, 865, 160783.](#)
- ▶ [Moraes, R. P., Reguero, B. G., Mazarrasa, I., Ricker, M., & Juanes, J. A. \(2022\). Nature-based solutions in coastal and estuarine areas of Europe. Frontiers in Environmental Science, 10, 829526.](#)
- ▶ [Morris, R.L., Bilkovic, D.M., Walles, B. and Strain, E.M., 2022. Nature-based coastal defence: Developing the knowledge needed for wider implementation of living shorelines. Ecological Engineering, 185, p.106798.](#)
- ▶ [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. and Burks-Copes, K.A., 2016. The effectiveness, costs and coastal protection benefits of natural and nature-based defences. PloS one, 11\(5\), p.e0154735.](#)
- ▶ [Possingham, H. P., Bode, M., & Klein, C. J. \(2015\). Optimal conservation outcomes require both restoration and protection. PLoS biology, 13\(1\), e1002052.](#)
- ▶ [Roberts, C. M., O'Leary, B. C., McCauley, D. J., Cury, P. M., Duarte, C. M., Lubchenco, J., ... & Castilla, J. C. \(2017\). Marine reserves can mitigate and promote adaptation to climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 114\(24\), 6167-6175.](#)
- ▶ [Shumway, N., Bell-James, J., Fitzsimons, J. A., Foster, R., Gillies, C., & Lovelock, C. E. \(2021\). Policy solutions to facilitate restoration in coastal marine environments. Marine Policy, 134, 104789.](#)
- ▶ [Spalding, M. D., Ruffo, S., Lacambra, C., Meliane, I., Hale, L. Z., Shepard, C. C., & Beck, M. W. \(2014\). The role of ecosystems in coastal protection: Adapting to climate change and coastal hazards. Ocean & Coastal Management, 90, 50-57](#)
- ▶ [Van der Meulen, F., IJff, S., & van Zetten, R. \(2023\). Nature-based solutions for coastal adaptation management, concepts and scope, an overview. Nordic Journal of Botany, 2023\(1\), e03290](#)
- ▶ [Waryszak, P., Gavaille, A., Whitt, A. A., Kelvin, J., & Macreadie, P. I. \(2021\). Combining gray and green infrastructure to improve coastal resilience: lessons learnt from hybrid flood defenses. Coastal Engineering Journal, 63\(3\), 335-350.](#)