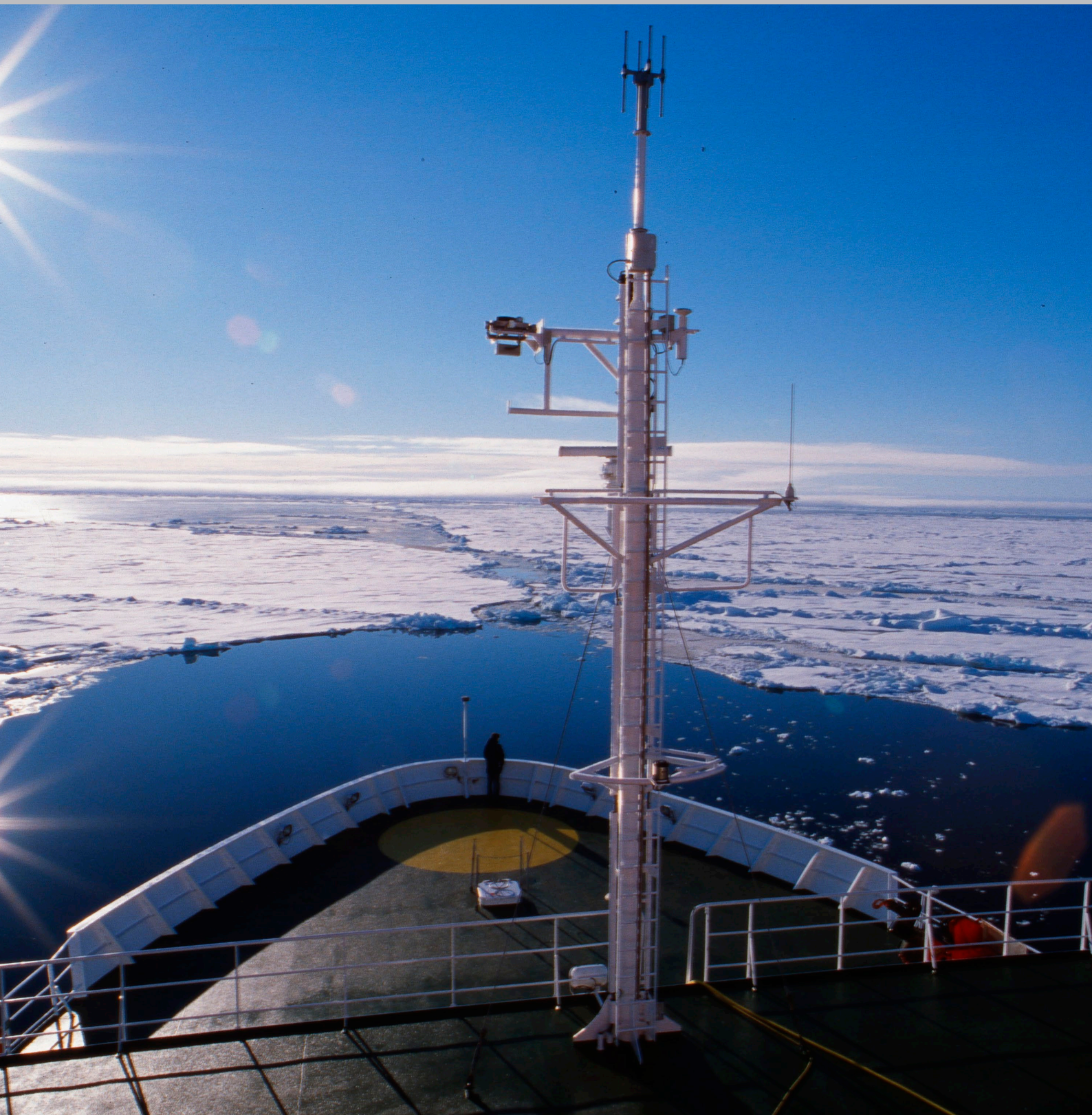


FORSCHUNGSAGENDA BLAUER OZEAN

Konzeptpapier des MARE:N Begleitkreises





INHALT

1. EINLEITUNG	4
2. FORSCHUNGSTHEMEN	7
2.1 Ozeandynamik im Wandel	7
2.2 Marine Ökosysteme unter Stress	13
2.3 Umgang mit marinen Naturgefahren	19
2.4 Nachhaltige Nutzung mariner Ressourcen	25
2.5 Ozean-Governance und gesellschaftlicher Wandel	33
3. FORSCHUNGSUMFELD	40
3.1 Beobachtungssysteme	40
3.2 Modellsysteme	42
3.3 Datensysteme	43
3.4 Wissensaustausch	45
3.5 Nachwuchsförderung und Internationale Zusammenarbeit	46
4. BETEILIGTE AUTORINNEN UND AUTOREN	48

1. Einleitung

Der Ozean hat eine große Bedeutung als Lebens-, Natur- und Wirtschaftsraum. Er bedeckt zwei Drittel der Erdoberfläche und beherbergt das größte zusammenhängende Ökosystem der Erde mit einem insbesondere in der Tiefsee noch unbekanntem Reichtum an biologischer Vielfalt. Er steuert den globalen Wasserkreislauf und stabilisiert und beeinflusst unser Klima maßgeblich. Dabei wirkt er nicht nur durch seine thermische Trägheit auf das Klima ein, sondern auch biogeochemisch über den Austausch von Gasen mit der Atmosphäre. Als größte Wärme- und CO₂-Senke nimmt der Ozean eine Schlüsselrolle im vom menschlichen Handeln beeinflussten Klimageschehen ein. Besondere Herausforderungen sind dabei durch den wachsenden Nutzungsdruck einer rasant zunehmenden Weltbevölkerung und den vom Menschen verursachten Umweltwandel gegeben. Die Erhaltung der Leistungen der marinen Ökosysteme und der Wandel hin zu einer mehr nachhaltigen Mensch-Ozean-Beziehung sind von gesamtstaatlicher Bedeutung. Hierzu bietet die Meeresforschung die Wissensgrundlagen, erarbeitet zusammen mit Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft Handlungsoptionen und leistet so einen grundlegenden Beitrag.

Die Bundesregierung trägt mit dem Forschungsprogramm „MARE:N – Küsten-, Meeres- und Polarforschung für Nachhaltigkeit“ zum Erreichen der „Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“ der UN bei. Das Kernstück der Agenda 2030 bilden die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goal, SDGs). MARE:N leistet einen entscheidenden Beitrag zum SDG 14 „Leben unter Wasser“, das zudem Querverbindungen zum SDG 13 „Maßnahmen zum Klimaschutz“ und zum SDG 15 „Leben an Land“ aufweist.

Da MARE:N als offener, lernender Handlungsrahmen angelegt ist, werden zukunftsrelevante Forschungsthemen gemeinsam mit Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Politik und Gesellschaft in zielgerichteten Agendaprozessen entwickelt. Für die Umsetzung des MARE:N-Agendaprozesses „Blauer Ozean“ wurden 16 Expertinnen und Experten in den wissenschaftlichen Begleitkreis berufen. Der Begleitkreis entwickelte unter der Leitung von Prof. Dr. Martin Visbeck (Geomar – Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Kiel) die hier vorgelegte Forschungsagenda, suchte dazu den Dialog mit den entsprechenden Strategiegruppen des Konsortiums Deutsche Meeresforschung (KDM), führte das MARE:N Forum durch und bezog auch die Ideen von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern ein. Das MARE:N Forum „Blauer Ozean“ fand in Bonn im November 2017 zeitgleich zur Weltklimakonferenz statt und wurde von 50 Ozean-Expertinnen und Experten besucht. Sie diskutierten die zukünftigen Schwerpunkte der

Meeresforschung aus Sicht der Wissenschaft, Zivilgesellschaft und Wirtschaft. Der Workshop „Future and Emerging Topics in Marine Science“ bei der Kieler Youmares-Konferenz 2017 identifizierte frei zugängliche Forschungsdaten sowie ein einheitliches Datenmanagement und die gezielte und intensiviertere Wissenschaftskommunikation mit Politik und Gesellschaft als zukunftsrelevante Querschnittsthemen der Meeresforschung.



Teilnehmer des Forums „Blauer Ozean“ in Bonn

Der wissenschaftliche Begleitkreis, bestehend aus Expertinnen und Experten der Meeresbiologie, Meereschemie, Ozeanographie und der marinen Geowissenschaften sowie der Sozial- und Politikwissenschaften, fasste die Resultate des Konsultationsprozesses zusammen und entwickelte unter Mitarbeit von weiteren Ozeanexpertinnen und -experten das vorliegende Konzeptpapier, das den künftigen Forschungsbedarf in fünf Forschungsfelder und fünf Querschnittsthemen gliedert. Die vorgeschlagene Forschungsagenda ermöglicht es der Bundesregierung, zentrale Beiträge der Wissenschaft für die anstehenden politischen Prozesse bereitzustellen. Die Ozeanforschung ist in vielen Bereichen international gut vernetzt und in den meisten Fällen fördern sowohl die Intergovernmental Oceanographic Commission der UNESCO (IOC-UNESCO) als auch der International Science Council (ISC, früher ICSU) diese Aktivitäten. Im Bereich der Klimaforschung werden sichtbare Beiträge zum Weltklimaforschungsprogramm (WCRP), insbesondere im Rahmen des CLIVAR Projektes, geleistet. Die Erforschung der marinen Biodiversität wird

international im Rahmen der Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) koordiniert, während die biogeochemische und gesellschaftliche Dimension der Ozeanforschung bei spezifischen Projekten (IMBER, SOLAS, Global Carbon Project) unter Future Earth gebündelt werden. Die Fischereiforschung ist international über die FAO, aber auch den ICES (International Council for the Exploration of the Sea) organisiert. Auf europäischer Ebene organisiert sich die Meeresforschung im MarineBoard, und eine Vielzahl von Projekten wird durch JPI-Oceans (Joint Programming Initiative) und die Forschungskommission (im Moment Horizon 2020 und bald Horizon Europe) durchgeführt. Die internationale Zusammenarbeit im Atlantik wird seit 2013 durch das Galway Statement on Atlantic Ocean Cooperation zwischen der EU, Kanada und den USA und durch das Belem Statement für den Südatlantik zwischen der EU, Brasilien und Südafrika mit Erweiterungen auf Argentinien und die Kapverden geregelt. Ozeanbeobachtungen werden vom Global Ocean Observing System (GOOS) und dessen Vielzahl von Programmen koordiniert, die hochauflösende Meeresbodenkartierung wird im Rahmen von SeaBed 2030 international zusammengefasst und die Geophysik leistet Beiträge zum European Plate Observing System (EPOS). Die Daten werden in internationalen Archiven (z. B. Pangaea, EMODNet) hinterlegt, operationelle Produkte werden vom Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) geliefert.

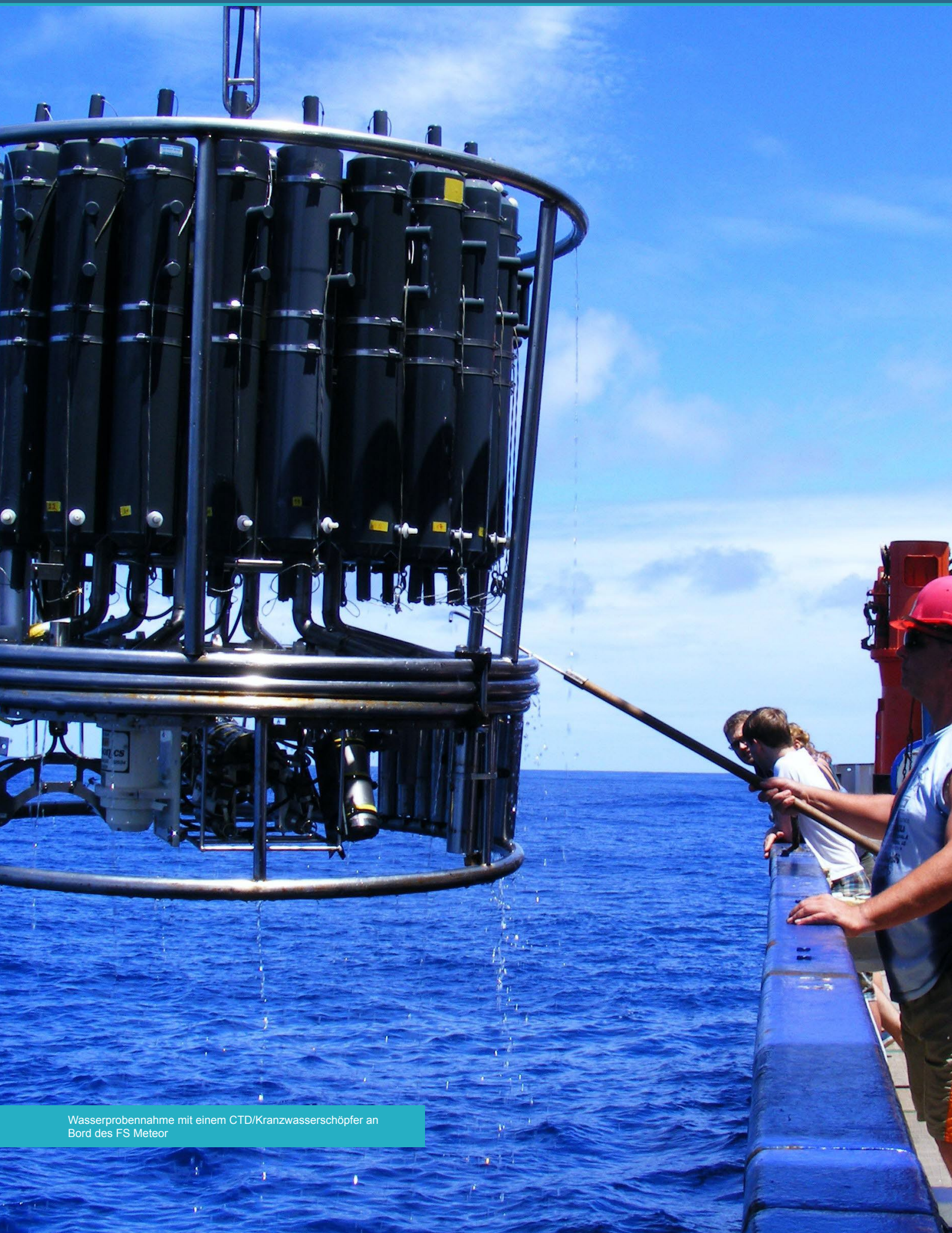
Klimarelevante Ergebnisse werden im IPCC Prozess für politische Entscheidungsträgerinnen und -träger zusammengefasst und bewertet. Der Zustand des Ozeans im Allgemeinen wird im United Nations World Ocean Assessment zusammengefasst. Die Ozeandimension der „Agenda 2030“ und deren nationale Umsetzung in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie werden auch durch die Forschungsarbeiten von MARE:N mit Basis- und Handlungswissen unterstützt. Schlussendlich hat MARE:N die Aufgabe, international sichtbare Beiträge zur Ozeandekade für Nachhaltige Entwicklung in dem Jahrzehnt 2021–2030 zu leisten.

Das vorliegende Papier des MARE:N Begleitkreises wird im Januar 2019 dem BMBF und weiteren mit der Meeresforschung befassten Ressorts zur Konsultation übergeben. Die vorgeschlagene Agenda ist auch die Basis für weiterführende Initiativen der Mitglieder des Konsortiums Deutsche Meeresforschung (KDM) und aller anderen Akteure der Meeresforschung, Zivilgesellschaft und Wirtschaft. Das MARE: N-Konzeptpapier „Blauer Ozean“ soll die Grundlage für künftige Förderbekanntmachungen in der Ozeanforschung sein. Es kann weiterhin Impulse geben für den Europäischen Forschungsraum (JPI Oceans und Horizon Europe) sowie zur thematischen Ausgestaltung der sich in Entwicklung befindlichen Deutschen Allianz für Meeresforschung.

FORSCHUNGSTHEMEN				
Ozeandynamik im Wandel	Ökosysteme unter Stress	Umgang mit marinen Naturgefahren	Nachhaltige Nutzung mariner Ressourcen	Governance und gesellschaftlicher Wandel
Zirkulationsänderung <ul style="list-style-type: none"> • Klimamoden • Wärmetransport • Sauerstoff- und CO₂-Transport 	Folgen des Klimawandels <ul style="list-style-type: none"> • Multistressoren • Versauerung • Ökosystem Resilienz 	Gefahrenketten <ul style="list-style-type: none"> • Hangrutschung • Erdbeben • Tsunami 	Geologische Ressourcen <ul style="list-style-type: none"> • Mineralische Rohstoffe • Fossile Energierohstoffe • Süßwasser 	Staat und Meer <ul style="list-style-type: none"> • Regulierungssysteme • Meeresvölkerrecht • Internationale Schutzgebiete
Biogeochemische Kreisläufe <ul style="list-style-type: none"> • CO₂-Aufnahme • Nährstoffe • Spurengase 	Verschmutzung <ul style="list-style-type: none"> • Nährstoffe • Plastik • Lärm 	Biologische Gefahren <ul style="list-style-type: none"> • Viren • Bakterien • Quallen 	Biologische Ressourcen <ul style="list-style-type: none"> • Fischerei und Aquakultur • Naturstoffe 	Gesellschaft, Markt und Meer <ul style="list-style-type: none"> • Blue Economy • Benefit Sharing • Zertifizierung
Regionale Auswirkungen <ul style="list-style-type: none"> • Golfstrom-Zirkulation • Meeresspiegel 	Habitatveränderung <ul style="list-style-type: none"> • Biodiversität • Überfischung • Invasive Arten 	Warnsysteme <ul style="list-style-type: none"> • Tsunami • Algenblüten 	Erneuerbare Energien <ul style="list-style-type: none"> • Windenergie • Wellenenergie 	Mitigations- und Anpassungsforschung <ul style="list-style-type: none"> • Leben mit Umweltwandel • Anpassung • Gesellschaftliche Transformation
FORSCHUNGSUMFELD				
Beobachtungssysteme (Forschungsschiffe, Global Ocean Observing System, Sensoren) Modellsysteme (Ozeanzirkulationsmodelle, Erdsystemmodelle, Datenassimilation) Datensysteme (Datenmanagement, offene Daten-Archive, Big Data Analysis) Wissensaustausch (Kommunikation, Transdisziplinarität, Gesellschaft) Nachwuchsförderung (Karrierewege, Kapazitätsentwicklung, Internationaler Austausch)				

Struktur des Konzeptpapiers – Forschungsthemen MARE:N - „Blauer Ozean“

FORSCHUNGSTHEMEN



Wasserprobennahme mit einem CTD/Kranzwasserschöpfer an Bord des FS Meteor

2. Forschungsthemen

2.1 OZEANDYNAMIK IM WANDEL

Leitfragen:

- Wie wirken sich natürliche und anthropogene Umweltveränderungen auf die Ozeandynamik aus und beeinflussen dadurch u. a. Zirkulationsmuster und Meeresspiegelanstieg?
- Was sind die (regional unterschiedlichen) Auswirkungen einer geänderten Ozeandynamik auf biogeochemische Prozesse und Stoffkreisläufe im Ozean (inklusive Auswirkungen auf biologische Produktivität, Versauerung und Sauerstoffminimumzonen)?
- Welche kurz- und langfristigen Einflüsse hat ein sich wandelnder offener Ozean auf die Prozesse in der Atmosphäre, im Sediment und in den angrenzenden Schelfgebieten?
- Auf welchen Raum- und Zeitskalen lassen sich die veränderliche Ozeanzirkulation und -zustand mit welcher Genauigkeit vorhersagen?

Gesellschaftliche Relevanz

Der Ozean ist einer der wichtigsten Komponenten des Klimasystems unserer Erde und ist damit von fundamentaler Bedeutung für das Wohlergehen der menschlichen Gesellschaft. Steigende Treibhausgas-Konzentrationen in der Atmosphäre treiben den Klimawandel voran und sind in den Klimaprojektionen verantwortlich für signifikante Änderungen der Meeresströmungen. Der offene Ozean reagiert nicht passiv nur auf Veränderungen des Klimas, sondern beeinflusst dieses auch aktiv über Änderungen der Ozeandynamik und biogeochemischer Prozesse. In einigen Regionen der Welt ist es möglich, natürliche Klimaveränderungen im gekoppelten Ozean-Atmosphärensystem über mehrere Monate bis hin zu mehreren Jahren vorherzusagen. Weiterhin lassen sich Zirkulationsveränderungen und die ozeanische Erwärmung oder CO₂-Aufnahme für unterschiedliche Menschheitsentwicklungen bestimmen. Insbesondere stehen die regionalen Unterschiede in Trends von physikalischen Parametern und biogeochemischen Prozessen wie z. B. der Anstieg des Meeresspiegels oder die Abnahme von Sauerstoff als Folgen veränderlicher Ozeandynamik im Fokus. Diese Trends sind von großer gesellschaftlicher, ökologischer und ökonomischer Relevanz für die Lebensbedingungen an Land.

Ein prominentes Beispiel dafür sind Änderungen in der Atlantischen Meridionalen Umwälzbewegung (AMOC), die zum relativ milden Klima in West- und Nordeuropa

beitragen und erhebliche Auswirkungen auf den Meeresspiegel auf dem westeuropäischen Schelf haben. Schwankungen der Ozeanzirkulation und deren Wechselwirkungen mit der Atmosphäre können gravierende Auswirkungen auf die Niederschlagsvariabilität über dem Ozean und den angrenzenden Kontinenten haben. Präzises Wissen über diese Prozesse ist daher unabdingbar, um sich an das ändernde Klima anzupassen, und erfordert die Fortsetzung der erfolgreichen deutschen Forschung für nachhaltige Entwicklungen. Die veränderliche Ozeanzirkulation wird ebenfalls Auswirkungen auf die ozeanischen Ökosysteme haben mit weitreichenden Folgen für Fischerei, Aquakultur und allgemein für Rohstoffquellen im Meer mit hoher sozio-ökonomischer Bedeutung für die menschliche Gesellschaft.

Sachstand

Der offene (blaue) Ozean bedeckt 65 Prozent der Erdoberfläche und nimmt durch seine Speicherkapazität für Wärme, Süßwasser und Kohlenstoff, durch die Umverteilung von Wärme und gelösten Stoffen sowie durch seine zentrale Rolle im globalen Wasserkreislauf eine Schlüsselfunktion im Erdsystem ein. Die gegenseitigen Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre – angetrieben durch den Austausch von Impuls, Wärme, Wasser und Spurengasen – bestimmen nicht nur unser Klima, sondern sie sind auch für die Selbstreinigungskraft der Erdatmosphäre wichtig. Die Verteilung von Wärme und Wassermassen im Ozean ist verbunden mit globalen Meeresströmungen, die je nach ihrer Anregung windgetrieben sind oder, wie die meridionale Umwälzpumpe, durch Dichteänderungen an der Oberfläche in Konvektionsgebieten entstehen. Direkte Beobachtungen der Meeresströmungen über die letzten Jahrzehnte dokumentieren deren enorme natürliche Schwankungsbreite in Schlüsselregionen wie im Nordatlantik mit seinen Tiefenwasserbildungsgebieten, in den Tropen sowie auch in den mittleren und höheren Breiten. Die große Variabilität resultiert aus dem direkten Wind-Antrieb und natürlichen Klimamoden und erschwert das Erkennen überlagerter anthropogener Signale wie etwa die erwartete Abschwächung der Golfstromzirkulation infolge einer zunehmenden Erderwärmung.

Die physikalischen und biogeochemischen Prozesse im Ozean, die durch dynamische Zirkulationsprozesse komplex verzahnt sind, sind in den letzten Dekaden durch menschengemachte (anthropogene) Umweltveränderungen (wie z. B. globale Erwärmung, Eutrophierung und Versauerung) einem fundamentalen Wandel unterworfen, deren zukünftige

Konsequenzen wir noch nicht richtig abschätzen können, weil die dafür notwendigen Grundlagen bis heute nur unzureichend erforscht sind.

Einige Beispiele für aktuelle oder zu erwartende Veränderungen sind:

- Veränderungen der Ozeanzirkulation und Ozeaneigenschaften (Wärme, Salz, Sauerstoff, Nährstoffe) über weite Bereiche des Weltozeans.
- Die prognostizierte Abschwächung der „Atlantic meridional overturning circulation“ (der Wärmepumpe Europas) um 30 Prozent bis zum Ende des 20. Jahrhunderts wird zu veränderten Wärmetransporten in Richtung Europa führen und Auswirkungen auf den regionalen Meeresspiegelanstieg haben.
- Veränderungen in der atmosphärischen Zirkulation ändern den Antrieb an der Meeresoberfläche. Dazu gehören z. B. Änderungen der bodennahen atmosphärischen Temperaturen in polaren Regionen oder die Erwärmung der oberen Troposphäre in den Tropen und daraus resultierende Verschiebungen der Windsysteme.
- Anstieg des Meeresspiegels auf globalem Niveau und mit regional unterschiedlicher Ausprägung. Gründe für die regionalen Unterschiede im Meeresspiegelanstieg sind in der Ozeanzirkulation und atmosphärischen Klimamoden wie El Niño zu finden.
- Die Erhöhung des Eintrags von Süßwasser in die polaren und subpolaren Ozeane durch atmosphärisch und ozeanisch bedingtes Abschmelzen der Inlandeis führt zum globalen Meeresspiegelanstieg und ändert den Antrieb der Ozeanzirkulation inklusive der „Atlantic meridional overturning circulation“
- Die Sauerstoff (O_2)-Konzentrationen im offenen Ozean (und in den Küstengebieten) nehmen seit 50 Jahren kontinuierlich ab. Dabei haben sich die sogenannten Sauerstoffminimumzonen im offenen Ozean um mehrere Millionen Quadratkilometer vergrößert, was hauptsächlich auf die zunehmende Erwärmung der Ozeane zurückzuführen ist.
- Die Menge des vom Ozean aufgenommenen Kohlendioxid (CO_2) als Folge des Anstiegs von CO_2 in der Atmosphäre nimmt seit einigen Jahrzehnten deutlich zu, und die damit verbundene Versauerung des Ozeans hat Folgen für die verschiedenen Ökosysteme im Ozean. Gleichzeitig gibt es Hinweise, dass die Aufnahmekapazität des

Ozeans für CO_2 gesunken ist, mit Folgen für die zukünftige Entwicklung atmosphärischer CO_2 -Konzentrationen.

- Die Intensität von Starkwindereignissen (Wirbelstürmen) hat durch Erwärmung in den letzten Jahren in allen tropischen Ozeanen deutlich zugenommen.
- Die Anzahl von extremen Monsunregenfällen (die durch die Erwärmung im nördlichen Indischen Ozean angetrieben werden) haben sich in den letzten 60 Jahren verdreifacht.

Forschungsbedarf

Schwerpunkt Zirkulationsänderungen

Um natürliche Schwankungen der Ozeanzirkulation, deren Zusammenhang mit dem Klimawandel und deren Auswirkungen auf biogeochemische Prozesse und Ökosysteme verstehen zu können, sind Langzeitstudien erforderlich. Diese müssen sowohl kontinuierliche Ozeanbeobachtungen und Wiederholungsmessungen in Schlüsselregionen und die Aufbereitung von historischen Ozean- und Klimarchiven umfassen als auch komplexe Modellstudien, um Änderungen, die über die instrumentelle Datenerhebung hinausgehen, zu dokumentieren, zugrundeliegende Prozesse zu verstehen und somit langzeitige Entwicklungen studieren und vorhersagen zu können. Es fehlt bislang ein vollständiges Systemverständnis für die Mechanismen und den Antrieb mehrjähriger bis multi-dekadischer, z. T. gekoppelter Schwankungen und der Verbindung dieser Variabilität zwischen verschiedenen Regionen. Ebenso ungeklärt ist das Vorhersagepotenzial, das mit Klimamodi (z. B. Nordatlantische Oszillation, El Niño, Tropische Atlantische Variabilität) einhergeht. Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Bestimmung und Quantifizierung der Wechselwirkungen der einzelnen Komponenten Atmosphäre, Ozean, Meereis und Inlandeis auf diesen Zeitskalen, und es ist unklar, wie robust die in den Beobachtungen identifizierten Zeitskalen und räumlichen Muster sind. Um natürliche Schwankungen und die Rolle der Ozeanzirkulation im Klimageschehen der Erde zu verstehen und von anthropogen getriebenen Änderungen trennen zu können, bieten sich Analysen historischer Ozean- und Klimadaten ebenso an wie zeitlich hochauflösende paläoozeanographische Studien. Hier sollten Änderungen im Ozean und der Atmosphären in den letzten Eis- und Warmzeiten untersucht werden, um massive Umwälzungen und damit einhergehende/eingebundene Prozesse zu verstehen sowie die Empfindlichkeit des Ozean- und Klimasystems gegenüber internen und externen Faktoren erfassen zu können, die für Zukunftsprognosen von essenzieller Bedeutung sind.

Zentrale Themenkomplexe, die in den Forschungsprogrammen aufgegriffen werden sollen, sind:

- Verbessertes Systemverständnis für Prozesse, die auf jährlichen bis dekadischen Zeitskalen für Zirkulationsveränderungen verantwortlich sind, einschließlich paläo-ozeanographischer Studien für die Trennung natürlicher und anthropogener Faktoren der Zirkulationsvariabilität. Verständnis der Änderungen von Klimamoden und Ozeanprozessen in einer sich erwärmenden Welt.
- Modell-/Datenvergleiche mit realitätsnahen Ozeanmodellen zur Identifizierung der Antriebsprozesse und raumzeitlicher Muster der beobachteten Trends und Studien zur Vorhersagbarkeit und Projektion (in Abhängigkeit der menschlichen Entwicklung) von Zirkulationsänderungen und ihrer Auswirkungen auf das Klimasystem über die nächsten Dekaden bis Jahrhunderte.
- Eine wichtige Komponente zum tieferen Verständnis und zur möglichen Vorhersage der Klimaschwankungen ist die Bedeutung der einzelnen Kommunikationswege zwischen den verschiedenen Klimasystemkomponenten (Atmosphäre, Ozean, Meereis, Inlandeis) und zwischen den verschiedenen Meeresregionen des Nordatlantiks. Die Kommunikation kann auf den verschiedenen Zeitskalen sehr unterschiedlich erfolgen.
- Identifizierung der entscheidenden Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre im Kontext der unterschiedlichen Monsunsysteme im Indischen Ozean.
- Auswirkungen von Zirkulationsänderungen im offenen Ozean auf den Schelfbereich und den Meeresspiegelanstieg und auf das europäische Klima.

Schwerpunkt Biogeochemische Kreisläufe

Variationen in der Ozeanzirkulation verändern die Verteilung von essenziellen Mikro- und Makronährstoffen und O₂ und beeinflussen damit biogeochemische Prozesse und Ökosysteme im Ozean. Dabei schwanken die Wechselwirkungen an den Schnittstellen offener Ozean/Küste, Ozean/Atmosphäre und Ozean/Sediment sowohl räumlich als auch zeitlich. Um diese Veränderungen und deren mögliche Rückkopplungen mit dem Erdsystem zu erfassen, sind sowohl Bestandsaufnahmen und langfristige Zeitserienmessungen biogeochemischer Parameter als auch Prozessstudien zu biogeochemischen Stoffflüssen und -kreisläufen nötig. Relevante Prozesszeitskalen sind deutlich länger als der instrumentelle Beobachtungszeitraum und können über paläo-ozeanographische Archive entschlüsselt werden. Für das Verständnis und die

Vorhersage der (langzeitigen) Auswirkungen dieser auf regional bis zu globalen Skalen ablaufenden Veränderungen auf biogeochemische Stoffkreisläufe und das Erdsystem müssen innovative Kopplungen zwischen Zirkulationsmodellen und biogeochemischen Ozeanmodellen entwickelt werden.

Folgende zentrale Themenkomplexe sollten deshalb in zukünftigen Projekten zur Biogeochemie aufgegriffen werden:

- Bestimmung der Prozesse, welche die natürliche Variabilität der biogeochemischen Kreisläufe und Ökosysteme in bisher vernachlässigten oder schwer zugänglichen Schlüsselregionen des offenen Ozeans (wie z. B. dem nördlichen Indischen Ozean, Südozean, Arktischen Ozean) antreiben. In welchem Ausmaß beeinflussen die Wechselwirkungen von Ozeanzirkulation, (mikro)biologischen und biogeochemischen Prozessen und atmosphärischen Einträgen die Verteilung von Nährstoffen und O₂ und damit die biologische Produktivität und Bildung von klimarelevanten Verbindungen (wie z. B. Spurengase, Aerosole)?
- Identifizierung und Quantifizierung der physikalischen und biogeochemischen Prozesse, die die Dynamik und Zusammensetzung der Ozeanoberflächengrenzschicht (engl. surface microlayer) bestimmen. Diese Schnittstelle zwischen Ozean und Atmosphäre ist von entscheidender Bedeutung für die Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre, die aber bisher nur unzureichend untersucht worden ist. Dies erfordert einen interdisziplinären Forschungsansatz, der auch die Entwicklung neuer Messtechniken und Modellansätze zur Untersuchung der Oberflächengrenzschicht mit einschließt.
- Identifizierung und Quantifizierung der Auswirkungen von anthropogenen Umweltveränderungen (Erwärmung, Versauerung, Eutrophierung, Verschmutzung des Ozeans und der Atmosphäre) auf biogeochemische Prozesse und Ökosysteme in Schlüsselregionen des offenen Ozeans (Nordatlantik, nördlicher Indischer Ozean, Südozean, Arktischer Ozean, oligotrophe Wirbel). Ein umfassendes Verständnis der zukünftigen Entwicklung des Ozeans erfordert ein grundlegendes Wissen darüber, wie die ozeanischen Schlüsselregionen sich in der Vergangenheit verändert haben und wie sie sich zur Zeit verändern. Welche Rückkopplungen haben sich verändernde biogeochemische Prozesse (z. B. CO₂-Aufnahme/ biologische Pumpe, N₂-Fixierung/ Denitrifizierung, Emissionen von klimarelevanten Spurengasen) auf die zukünftige Chemie der Atmosphäre und das Klima der Erde?

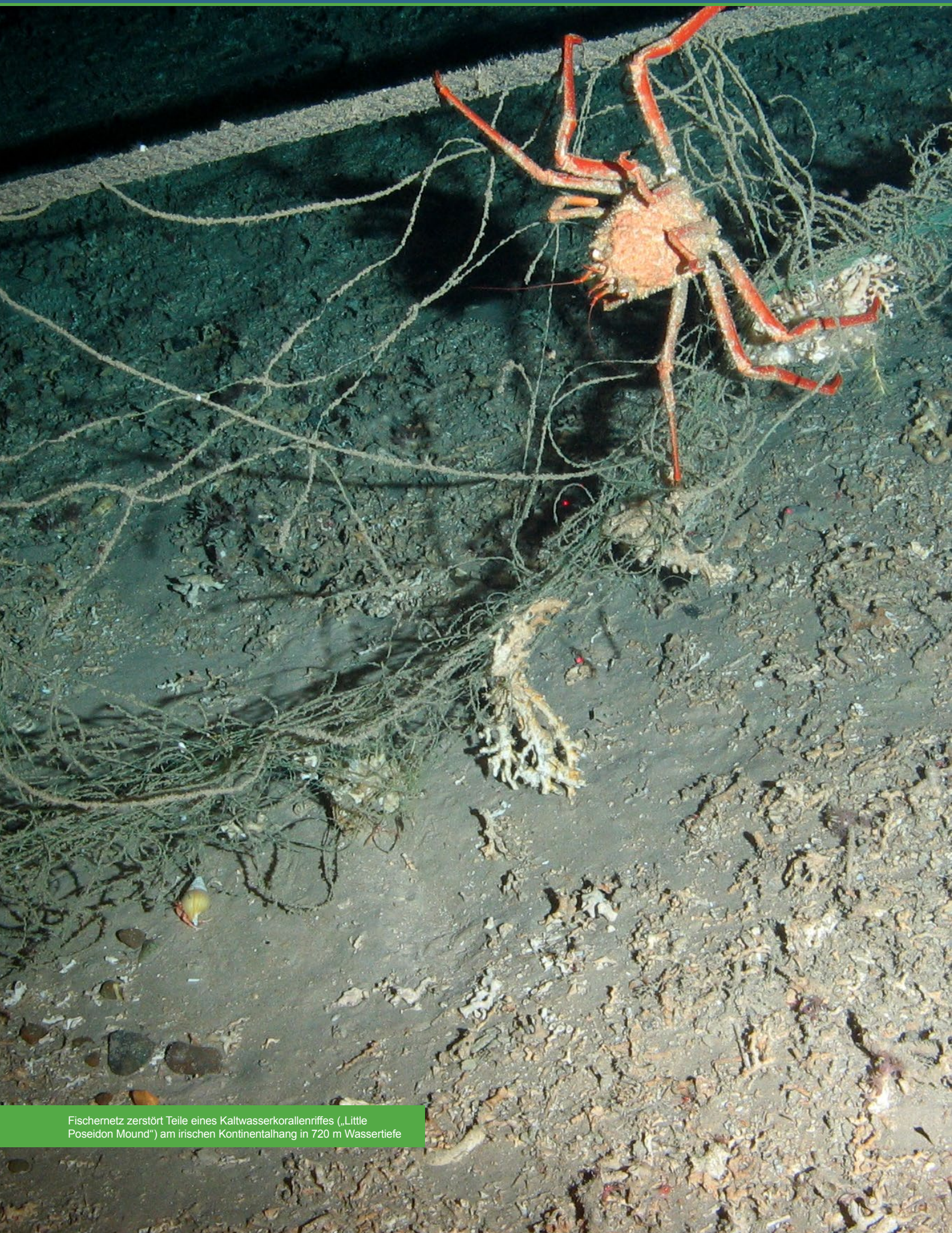
Ausblick

Zirkulation und Zustand des offenen Ozeans müssen kontinuierlich beobachtet und modelliert werden, um mögliche weitreichende Änderungen durch äußere (anthropogen-induzierte) Einflüsse und deren Auswirkungen frühzeitig erfassen zu können. Eine Auswahl an klimarelevanten ozeanischen Schlüsselregionen, in denen sich diese Auswirkungen eindeutig und auf kurzen Zeitskalen zeigen, bietet sich für diese Fragestellungen an. Um natürliche Änderungen von anthropogenen unterscheiden zu können, sind neben Langzeitbeobachtungen auch realitätsnahe Ozean- und Klimamodelle und die Verbindung von Modell-/Datenstudien notwendig. Die mit den Änderungen der Meeresströmungen verbundenen veränderten Stofftransporte sorgen für regional-unterschiedliche Auswirkungen auf biogeochemische Prozesse. Regionale Trends des Temperaturanstiegs, der Versauerung, der Nährstoffzunahme und der Sauerstoffabnahme, die als Stressoren die marinen Ökosysteme beeinflussen, müssen in Verbindung mit den Zirkulationsänderungen in ausgewählten Schlüsselregionen (wie dem Nordatlantik und nördlichen Indischen Ozean) untersucht werden.

Daraus leitet sich folgender Forschungs- und Entwicklungsbedarf ab:

- Kontinuierliche Erfassung, verbessertes Verständnis und Vorhersage von Prozessen, die auf jährlichen bis dekadischen Zeitskalen für Zirkulationsänderungen verantwortlich sind (unter Berücksichtigung paläoozeanographischer Studien für die Trennung natürlicher und anthropogener Faktoren).
- Modell-Datenvergleiche mit realitätsnahen Ozeanmodellen zur Identifizierung der Antriebsprozesse und der raumzeitlichen Muster der Variabilität. Studien zu Vorhersagbarkeit und Projektion von hydrographischen und Zirkulationsänderungen und ihrer Auswirkungen auf das Klimasystem über die nächsten Dekaden bis Jahrhunderte.
- Abschätzungen der Auswirkungen von Zirkulationsänderungen im offenen Ozean auf den Schelfbereich und den Meeresspiegelanstieg sowie das europäische Klima.
- Bestimmung der Prozesse, welche die natürliche Variabilität der biogeochemischen Kreisläufe und Stoffkreisläufe in bisher vernachlässigten oder schwer zugänglichen Schlüsselregionen des offenen Ozeans antreiben.
- Identifizierung und Quantifizierung der Auswirkungen von anthropogenen Umweltveränderungen auf biogeochemische Prozesse und Stoffkreisläufe (z. B. Kohlenstoffaufnahme) in Schlüsselregionen des offenen Ozeans (z. B. Nordatlantik, nördlicher Indischer Ozean, Südozean, Arktischer Ozean, Wirbel in den Subtropen).

FORSCHUNGSTHEMEN



Fischernetz zerstört Teile eines Kaltwasserkorallenriffes („Little Poseidon Mound“) am irischen Kontinentalhang in 720 m Wassertiefe

2.2 MARINE ÖKOSYSTEME UNTER STRESS

Leitfragen:

- Wie beeinflussen Folgen des fortschreitenden Klimawandels den Ozean, vor allem Erwärmung, Versauerung und Sauerstoffabnahme, einzeln und im Zusammenspiel mariner Ökosysteme?
- Wie wirken Einträge unterschiedlichster Schadstoffe (Chemikalien, Müll etc.) auf strukturbildende Schlüsselarten und somit die Leistung mariner Ökosysteme?
- Wie reagieren marine Ökosysteme auf direkte menschliche Eingriffe wie z. B. Habitatzerstörung, Einschleppung invasiver Arten und Überfischung?

Gesellschaftliche Relevanz

Die Meere sind für die Menschheit von enormer, sozio-ökonomischer Bedeutung. Die zentralen Ziele der Agenda 2030 der Vereinten Nationen – Armutsbekämpfung, Ernährungssicherheit und menschliches Wohlbefinden – sind ohne intakte Meeresökosysteme (Sustainable Development Goal 14 „Life below water“) nicht zu erreichen. Die Versorgung mit Nahrungsmitteln und Rohstoffen zählt zu den wichtigsten Gütern und Dienstleistungen mariner Ökosysteme, aber auch in den Bereichen natürliche Wirkstoffe, Materialentwicklung und Tourismus profitiert der Mensch von einer hohen natürlichen Biodiversität und Integrität der marinen Ökosysteme. Darüber hinaus können einige Ökosysteme (z. B. Korallenriffe, Mangroven) eine existenzielle Relevanz in ihrer Funktion als natürlicher Küstenschutz haben. Marine Ökosysteme sind jedoch immer stärker einer Vielzahl anthropogener Stressfaktoren ausgesetzt. Global spielen dabei die Folgen des Klimawandels eine dominante Rolle, während regional bis lokal die zunehmende Verschmutzung der Meere und die intensive Nutzung mariner Ressourcen als weitere Stressoren wirken. Viele Eingriffe des Menschen führen kurz- bis langfristig zu signifikanten Habitatveränderungen, die die Biodiversität und Struktur sensibler Ökosysteme entscheidend verändern werden. Dennoch entwickelt sich erst langsam ein Verständnis dafür, welche Auswirkungen menschliche Aktivitäten direkt (z. B. Verschmutzung, Verbauung) und indirekt (z. B. Klimawandel) auf marine Ökosysteme und deren Leistungen haben. Unklar ist aber auch, wie sich die Nachfrage der Gesellschaft nach verschiedenen Ökosystemleistungen zukünftig darstellen wird. Die Bedeutung (multipler) anthropogener Stressoren für die zukünftige Entwicklung mariner Ökosysteme spiegelt sich auch in der Beachtung wider, die diese in der internationalen Governance finden. Das gilt zum einen für management-orientierte Organisationen wie

z. B. HELCOM, ICES oder OSPAR sowie insbesondere auch im Rahmen der EU Marine Strategy Framework Directive. Gleiches gilt für die marine Biodiversität, mit der sich sowohl die Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services als auch die Convention on Biological Diversity befassen. Es gibt daher einen großen Forschungsbedarf, um im Rahmen einer internationalen Meeres-Governance auf einer wissenschaftlichen Basis effektive und nachhaltige Strategien zur Regulierung menschlicher Eingriffe und zur Einrichtung von Schutzgebieten zu entwickeln und somit intakte Ökosystemfunktionen für kommende Generationen zu erhalten.

Sachstand

Der Ozean beherbergt eine große Artenvielfalt, die mit einer großen funktionellen Diversität einhergeht. Mehr als 230.000 Arten sind bereits in den Weltmeeren erfasst worden, und man schätzt, dass mehr als zwei Millionen Arten noch auf ihre Entdeckung und Beschreibung warten, insbesondere, wenn man die mikrobielle Vielfalt, aber auch schwer zugängliche Tiefseehabitats (z. B. hydrothermale Quellen, Canyons, Seeberge) berücksichtigt. Die durch den Menschen ausgelösten Veränderungen im Erdsystem haben einen starken Einfluss auf das Leben und die Vielfalt im Ozean. Schon heute kann man eine rapide Veränderung der marinen Biodiversität sowie einen dramatischen Wandel in der Struktur und Funktionsweise mariner Ökosysteme auf lokaler, regionaler und globaler Ebene feststellen. Zu den natürlichen Veränderungen im Erdsystem, die auf unterschiedlichsten Zeitskalen (Jahreszeiten bis Eiszeitzyklen) stattfinden, kommen aktuell weitere durch den anthropogenen Treibhausgas-Ausstoß angetriebene klimabedingte Veränderungen im Ozean (Erwärmung, Meeresspiegelanstieg, Meereisschwund, Veränderungen der Meeresströmungen, Versauerung, Sauerstoffabnahme etc.) hinzu. Zusätzlich wird die Stresswirkung durch direkte anthropogene Eingriffe (Verschmutzung, Eutrophierung, Lärmemission, Überfischung, Nutzung mariner Ressourcen) noch verstärkt, die zunehmend auch bislang kaum erforschte Bereiche in der Tiefsee betreffen. Alle direkten und indirekten Eingriffe des Menschen führen unmittelbar bis langfristig zur Veränderung von Habitaten im marinen Bereich, an die sich Ökosysteme und ihre Organismen nur bedingt anpassen können. So können z. B. die Migration einzelner Arten, das Einschleppen fremder Arten (Neobiota) oder eine starke Befischung die Struktur und Biodiversität von Ökosystemen nachhaltig verändern. Schon jeder einzelne anthropogen induzierte Stressor hat das Potenzial, die Leistungen und Ressourcen von Ökosystemen zu

beeinflussen, dennoch sind genaue Auswirkungen bestenfalls für einzelne Arten bekannt. Ungleich komplexer und kaum erforscht sind die gleichzeitigen Effekte von mehreren (multiplen) Stressfaktoren. Unstrittig ist, dass negative Einflüsse auf einzelne Arten unter Umständen Kettenreaktionen auslösen können (z. B. auf Nahrungsketten, symbiotische Lebensgemeinschaften) und somit auf die gesamte Ökosystemstruktur und davon abhängende Ökosystemleistungen wirken. Darüber hinaus kann es zu einem Umkippen (*regime shift*) einzelner Systeme kommen, wenn ein bestimmter Schwellenwert (*tipping point*) erreicht wird.

Im Folgenden sind einige prägnante Beispiele für die Auswirkung anthropogen induzierter Stressfaktoren auf marine Ökosysteme aufgelistet:

- Die Erwärmung der Meere führt zu einer Veränderung der Primärproduktion mit entsprechenden Auswirkungen auf die gesamte Nahrungskette, biogeographischen Verschiebungen, die in neuen Ökosystemstrukturen resultieren, einer Zunahme der Häufigkeit, geographischer Ausdehnung und Intensität von Korallenbleichen, und einer zunehmenden Stratifizierung aufgrund derer sich die Sauerstoffversorgung für Ökosysteme in tieferen Wasserschichten verringert.
- Die fortschreitende Ozeanversauerung hat weitreichende Effekte auf kalkifizierende Organismen (v. a. kalkschaliges Plankton, tropische und Kaltwasserkorallen und Mollusken), die im sauren Ozeanwasser nur noch bedingt Kalkschalen/-skelette aufbauen können. Aber auch die Vermehrung von nicht-kalkbildenden Organismen (z. B. Fische) werden durch die Versauerung beeinflusst.
- Durch den zunehmenden vor allem industriellen Fischfang werden Bestände vielfach an den Rand der Nachwachsrates (58 Prozent der globalen Fischbestände) oder weit darüber hinaus (31 Prozent sind überfischt) gebracht. Der Rückgang regionaler Schlüsselarten wirkt sich vielfach kaskadenartig auf Ökosystemstrukturen und Nahrungsnetze aus.
- Fremd- und Schadstoffe werden kontinuierlich über Flüsse und Atmosphäre oder durch kurzzeitige Großemissionen (z. B. Öllunfälle) in die Meere eingetragen. Neben vielen neuartigen Schadstoffen (z. B. Medikamente, UV-Filter-Substanzen aus Sonnenschutzmitteln oder Weichmachern im Plastik, natürliche oder synthetisch hergestellte Hormone) zählt hierzu auch Plastikabfall (inklusive Mikroplastik aus z. B. Reifenabrieb und Kleidung), der mittlerweile in den marinen Nahrungsnetzen und im menschlichen Organismus nachgewiesen worden ist.
- Die verstärkte Zufuhr von Nährstoffen aus der Landwirtschaft kann zu einer lokalen bis regionalen Erhöhung der Produktivität führen (Eutrophierung) und damit kombiniert mit Erwärmung und Überfischung trophische Kaskaden und teils toxisch wirkende Algenblüten auslösen.
- Invasive Arten (Neozoen/Neophyten), die durch menschliche Aktivitäten (z. B. Schiffsverkehr, Aquakultur) eingeschleppt werden, können die Struktur von Ökosystemen nachhaltig verändern. So führte z. B. die massenhafte Ausbreitung der ostamerikanischen Rippenqualle *Mnemiopsis leidyi* zum Kollaps der Sardellenbestände im Schwarzen Meer und im Kaspischen Meer, wodurch die regionale Fischindustrie ihre wirtschaftliche Grundlage verlor.
- Viele marine Arten (v. a. Meeressäuger und Fische) nutzen zur Kommunikation, Orientierung und Ortung von Beute bzw. Fressfeinden akustische Signale (Schall). Sie sind durch zunehmende Lärmemissionen (v. a. im niederfrequenten Bereich) aufgrund von militärischen Aktivitäten, industriellen Bautätigkeiten (z. B. Windparks) und globalem Schiffsverkehr stark beeinträchtigt.

FORSCHUNGSBEDARF

Schwerpunkt: Folgen des Klimawandels

Es ist zu erwarten, dass durch den anthropogen induzierten globalen Wandel ausgelöste negative ökologische und ökonomische Konsequenzen weiter zunehmen werden. Dennoch sind Vorhersagen über die (komplexen) Effekte von (multiplen) Stressoren auf marine Ökosysteme, die im Zuge des Klimawandels verstärkt auftreten, zurzeit mit großen Unsicherheiten behaftet. Zu den wichtigsten klimarelevanten Stressoren gehören die Erwärmung der oberen Wasserschichten verbunden mit einer Vielzahl von Sekundäreffekten (verstärkte Wassermassen-Stratifizierung, veränderte Zirkulationsmuster, verringerte Primärproduktion), die in der Summe die geographische Verbreitung und Funktion von Ökosystemen modifizieren werden, die Ozeanversauerung mit ihren Auswirkungen auf Kalkifizierungsprozesse, die dramatische Konsequenzen v. a. für kalkbildende Organismen haben können, und die Verringerung der Sauerstoffkonzentration in den Meeren, die den Stoffwechsel vor allem vieler mesopelagischer und benthischer Organismen signifikant beeinflussen werden. Bereits jeder einzelne dieser Stressfaktoren hat das Potenzial, marine Ökosysteme in vielfältiger Weise zu beeinflussen und ihre Funktionsweise nachhaltig zu gefährden. Der gleichzeitigen Wirkung multipler Stressoren muss darüber hinaus ein ungleich größeres Gefährdungspotenzial unterstellt werden.

Grundlage für eine zuverlässige Folgenabschätzung der kumulativen Wirkung klimarelevanter Stressoren muss ein tiefgehendes Verständnis der natürlichen Variabilität mariner Ökosysteme auf prozessrelevanten Raum- (lokal bis global) und Zeitskalen (saisonal bis dekadisch) sein. Um die natürliche Variabilität besser zu verstehen und von anthropogen gesteuerten Entwicklungen im Zuge des globalen Wandels unterscheiden zu können, bedarf es detaillierter Kenntnisse über die heutige Verbreitung, Struktur und Funktion der diversen marinen Ökosysteme, sowie einer genauen Untersuchung von Populationsdynamiken und ökosystemaren Zusammenhängen. Wo diese bereits durch den Klimawandel verändert sind, gilt es die natürliche Variabilität aus der vorindustriellen Zeit soweit möglich zu rekonstruieren. Die Abschätzung des zunehmenden Einflusses (kumulativ wirkender) klimarelevanter Stressoren stellt eine besondere Herausforderung dar, v. a. da Umweltveränderungen vergleichbaren Ausmaßes noch niemals direkt untersucht werden konnten. Einen Forschungsansatz bietet hier die Analyse der Entwicklung mariner Ökosysteme unter dem Einfluss drastischer Klimaveränderungen in der geologischen Vergangenheit anhand von sedimentären Archiven, mit denen auch für die Ökosystementwicklung kritische Parameter und relevante Kippunkte herausgefiltert werden können.

Zentrale Themenkomplexe, die zukünftig in Forschungsprogrammen aufgegriffen werden sollten, sind:

- Erfassung, Verständnis und Vorhersage der gegenwärtigen und zukünftigen Verbreitungsgrenzen, Strukturen und Funktionen mariner Ökosysteme.
- Abschätzung der natürlichen räumlichen und zeitlichen Variabilität mariner Ökosysteme und ihrer Resilienz gegenüber Störungen.
- Analyse der Adaptationsfähigkeit der Schlüsselkomponenten mariner Ökosysteme unter Berücksichtigung der Wirkung multipler Stressoren.
- Erforschung der Sensitivität mariner Ökosysteme gegenüber großskaligen Umweltveränderungen in der geologischen Vergangenheit (z. B. Glazial-Interglazial-Zyklen) und Identifizierung von ökosystemrelevanten Kippunkten.

Schwerpunkt: Verschmutzung

Marine Ökosysteme sind heutzutage vermehrt direkten anthropogen induzierten Stressoren ausgesetzt, wie z. B. der Verschmutzung der Ozeane mit Müll (z. B. Plastik), chemische Substanzen (z. B. Medikamente, UV-Filter, Hormone), Nährstoffe aus der Landwirtschaft sowie die

Zunahme von Lärmemissionen durch Militärationen, Baumaßnahmen und den globalen Schiffsverkehr. Die Bandbreite an Stoffen, die in den Meeren zu finden ist, hat in den letzten Jahren massiv zugenommen. In Einzelfällen sind die Auswirkungen dieser Stressoren gut untersucht, aber für viele (gerade auch neuartige) Stoffe liegen kaum Erkenntnisse vor. Dementsprechend gibt es gerade über die kumulative Wirkung solcher Stressoren noch immense Wissenslücken. In Zukunft muss daher ein Fokus darauf liegen, solche direkten anthropogenen Einflüsse auf einzelne Organismen, Nahrungsnetze und Ökosysteme zu untersuchen und bessere analytische Verfahren und Langzeit-Monitoringkonzepte zu entwickeln. Dabei sollten für die Bewertung der Wirkung von einzelnen oder multiplen Stressoren auf ein Ökosystem vor allem die (strukturbildenden) Schlüsselarten, aber auch die jeweils empfindlichsten Arten im Fokus stehen. Durch neue Forschungserkenntnisse können politische Aktionspläne und Selbstverpflichtungen, beispielsweise im Rahmen des G20 Aktionsplans zu Meeremüll, unterstützt und Beiträge zur Weiterentwicklung geliefert werden.

Zentrale Themenkomplexe, die zukünftig in Forschungsprogrammen aufgegriffen werden sollten, sind:

- Entwicklung und Anwendung von sensitiven Methoden zur Erfassung und Bewertung von spezifischen Verschmutzungs- oder Lärmauswirkungen auf marine Organismen.
- Untersuchung der Wirkung von verschiedenen Verschmutzungsformen insbesondere auf strukturbildende Schlüsselarten (inklusive deren empfindlichste Entwicklungsstadien) mit Hilfe von mobilen und stationären Beobachtungsplattformen und in Laborversuchen.
- Analyse der Zusammensetzung von Schadstoffen, ihrer Ausbreitungswege, Verweildauer im Ökosystem und Verteilungsmuster auf der regionalen/globalen Skala sowie deren Aufnahme in die Nahrungskette mit den daraus resultierenden Folgen für marine Ökosysteme.
- Verständnis und Modellierung der Zusammenhänge zwischen Verschmutzung und Wirkung auf Ökosystemkomponenten zur Entwicklung verbesserter Risikoabschätzungen und Monitoringkonzepte.

Schwerpunkt: Habitatveränderungen

Eingriffe des Menschen resultieren bereits heute in signifikanten (lokalen bis globalen und kurzzeitigen bis langfristigen) Veränderungen der Lebensräume in den Ozeanen und werden dies auch zukünftig in verstärktem Maße tun. Neben der klimabedingten Migration von Arten

führt auch die Einschleppung invasiver Arten (Neozoen/ Neophyten) zu einer Verdrängung von heimischen Arten. Diese Veränderungen haben Auswirkungen auf die Zusammensetzung von Artengemeinschaften und damit auf die Funktionalität der Ökosysteme. Dies kann letztendlich zu einem Zusammenbruch ganzer Populationen (und Nahrungsketten) führen und betrifft z. B. auch kommerziell genutzte Fischarten in erheblichem Maße. Die industrielle Fischerei selbst wirkt sich durch Überfischung nachhaltig negativ aus, da Fische über Nahrungsbeziehungen in einer komplexen Weise in Zusammenhang mit anderen Organismen stehen.

Solche Entwicklungen können durch die Zerstörung von Lebensräumen (Habitaten) durch Rohstoffgewinnung (von Grundschleppnetzfangerei bis Meeresbergbau) weiter massiv verstärkt werden. Es bleibt unklar, auf welcher zeitlichen Skala die Abnahme der biologischen Vielfalt und der Ausfall einzelner Schlüsselarten zu Veränderungen in der Gesamtstruktur eines Ökosystems führen. Diese Abnahme kann zur Folge haben, dass die Fähigkeit eines Ökosystems zur Anpassung an zukünftige Umweltveränderungen empfindlich herabgesetzt wird und dass es entscheidende Teile seiner Ökosystemleistungen verliert.

Interessanterweise scheint es eine große Variabilität in Bezug auf Toleranz und Anpassungsfähigkeit von einzelnen Arten, Populationen und ganzen Systemen an sich verändernde Umweltbedingungen zu geben, seien sie natürlichen oder anthropogenen Ursprungs. Während sich in zahlreichen marinen Ökosystemen bereits Einflüsse menschlicher Aktivitäten nachweisen lassen, scheinen andere entweder weniger davon betroffen zu sein oder eine größere Widerstandsfähigkeit zu besitzen. Durch die unterschiedlichen Anpassungsstrategien einzelner Arten, aber manchmal auch einzelner Populationen einer Art, werden neue geographische Verteilungsmuster mit neuen Ökosystemstrukturen entstehen. Hier wird dringend ein profundes Prozessverständnis benötigt, um Risiken aber auch Chancen zukünftiger Entwicklungen abschätzen und – im Idealfall – minimieren (optimieren) zu können.

Zentrale Themenkomplexe, die zukünftig in Forschungsprogrammen aufgegriffen werden sollten, sind:

- Veränderungen in der geographischen Verbreitung endemischer oder einheimischer Arten (range shifts) mit Auswirkungen auf Biodiversität, Produktivität, Nahrungsnetze und Ökosystemfunktionen.
- Analyse der Verbreitung invasiver Arten (inklusive Krankheitserregern, Parasiten etc.) und deren Einfluss auf heimische Arten bzw. Ökosystemfunktionen.

- Abschätzung des Einflusses verschiedener Stressoren bzw. Stressor-Komplexe auf die physiologischen Leistungen von Schlüsselarten.
- Erfassung der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit von Gemeinschaften und Ökosystemen auf sich verändernde Habitate auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen.

Ausblick

Marine Ökosysteme haben vor allem in ihrer Funktion als wichtige Nahrungs- und Rohstoffquellen eine immense sozio-ökonomische Relevanz für die menschliche Gesellschaft. Dennoch sehen sie sich heute aufgrund menschlicher Aktivitäten einer Vielzahl von Stressfaktoren ausgesetzt, die bereits zu signifikanten Veränderungen des marinen Lebensraumes und der natürlichen Biodiversität geführt haben. Ursächlich dafür sind vor allem der Klimawandel, die Verschmutzung der Meere, die intensive Nutzung mariner Ressourcen und die Veränderung von Habitaten, deren Auswirkungen sich in Zukunft noch verstärken werden. Die Abschätzung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Folgen der vielfältigen anthropogenen Einflüsse ist daher eine der großen Herausforderungen der modernen Meeresforschung.

Daraus leitet sich folgender Forschungs- und Entwicklungsbedarf ab:

- Erfassung, Verständnis und Vorhersage der gegenwärtigen und zukünftigen Verbreitungsgrenzen, Strukturen und Funktionen mariner Ökosysteme (auch unter Berücksichtigung des Einflusses invasiver Arten).
- Abschätzung der natürlichen räumlichen und zeitlichen Variabilität mariner Ökosysteme und ihrer Anpassungsfähigkeit und Identifizierung ökosystem-relevanter Kippunkte auf Zeitskalen von Jahreszeiten (z. B. anhand von mobilen und stationären Beobachtungsplattformen) bis Glazial-Interglazial-Zyklen (z. B. anhand von Sedimentkernbohrungen).
- Abschätzung des Einflusses verschiedener Stressoren bzw. Stressor-Komplexe auf die physiologischen Leistungen mariner Schlüsselarten basierend auf der Entwicklung und Anwendung sensitiver Methoden zur Erfassung und Bewertung der Wirkung dieser Stressoren.
- Verständnis und Modellierung der Zusammenhänge zwischen (multiplen) Stressoren und deren Wirkung auf Ökosystemkomponenten zur Entwicklung verbesserter Risikoabschätzungen und Monitoringkonzepte.

FORSCHUNGSTHEMEN



Einsatz eines Wellenleiters im Rahmen einer marinen Geodäsie-Messung vor Nordchile. Der Wellenleiter transferiert Daten von Messgeräten am Meeresboden an die Wasseroberfläche und von dort per Satellit ins Labor nach Deutschland. Der Einsatz erfolgte vom FS SONNE im Rahmen der Ausfahrt SO244 GEOSEA

2.3 UMGANG MIT MARINEN NATURGEFAHREN

Leitfragen:

- Welche Prozesse lösen geologische Großereignisse mit besonderem Gefährdungspotenzial (insbesondere submarine Hangrutschungen oder Starkbeben) aus?
- Wie entwickeln sich Gefahrenketten aus einem Einzelereignis (Erdbeben – Massenumlagerung – Tsunami) und welche Gefahren entstehen dadurch für die global vernetzte Gesellschaft?
- Wie wirken Habitatänderungen auf die Zunahme potenziell humanpathogener Bakterien?
- Welchen Einfluss hat die Zunahme von giftigen Algenblüten auf die Nahrungskette und auf Nahrungsmittel aus dem Meer?

Gesellschaftliche Relevanz

Ozeane stellen die Quellregionen für Gefahren aus dem Meer dar, deren globale Auswirkungen auf die engen sozio-ökonomischen Vernetzungen der Gesellschaften über Landes- und Kontinentgrenzen hinweg reichen. Während die Opferzahlen durch Naturkatastrophen seit drei Dekaden generell rückläufig sind, so zeigt der Tsunami des Jahres 2004 im Indischen Ozean (ca. 220.000 Todesopfer), dass Einzelereignisse mit einer besonderen Ereignisstärke diesem Trend nicht folgen. Der wirtschaftliche Schaden durch Gefahren aus dem Meer nimmt tendenziell zu. Auch führen katastrophale Einzelereignisse zu großen Peaks in der Schadensbilanz, wie das bisher schadenträchtigste Jahr 2011 als Folge des Tōhoku-Oki Erdbebens in Japan belegt. Während Entwicklungs- und Schwellenländer aufgrund mangelnder Widerstandsfähigkeit gegenüber Naturkatastrophen große Folgen in ihrer Wohlstandsentwicklung auch schon bei geringerer Ereignisstärke erfahren (z. B. Haiti-Erdbeben von 2010 mit einer Magnitude von 7.0 und über 315.000 Todesopfern), können kaskadierende Ereignisse schwerwiegende Einbußen auch für hochentwickelte Nationen nach sich ziehen (z. B. Fukushima-Daiichi Katastrophe von 2011). Die Analyse dieser Erfahrungen insbesondere aus den letzten 15 Jahren liefert eine wertvolle Grundlage, um die Vulnerabilität der Gesellschaft gegenüber zukünftigen Gefahren zu minimieren. Insbesondere die Verwundbarkeit gegenüber Extremereignissen, die aufgrund des seltenen/unregelmäßigen Auftretens kaum vorhersehbar sind, verdeutlicht die Notwendigkeit einer verbesserten Quantifizierung der Auslöseprozesse von Gefahren aus dem Meer sowie der gesellschaftlichen Kapazitäten mit diesen umzugehen, um unsere Vorhersagefähigkeiten, Frühwarnkapazitäten und den institutionalisierten Katastrophenschutz zu optimieren.

Sachstand

Gefahren aus dem Meer sind vielfältig zum Beispiel im Zusammenhang mit Extremwetterereignissen und klimatischem Meeresspiegelanstieg. Hier werden die geologisch und biologisch ausgelösten Ereignisse, die ihren Ursprung im ozeanischen Bereich haben und deren Auswirkungen sich auf besiedelte Gebiete erstrecken, behandelt. Da es sich um fundamentale geologische oder biologische Prozesse handelt, die selbst nicht gelenkt oder gesteuert werden können, stehen Mitigationsmaßnahmen sowie die Entwicklung von gesellschaftlich verankerten, institutionalisierten Frühwarn- und Katastrophenschutzsystemen zur Schadensbegrenzung im Fokus der Forschung. Hierbei stellt insbesondere die Gefährdungsabschätzung in Abhängigkeit der individuellen Gegebenheiten eines Ereignisses einen zentralen Faktor dar. Besonders schwierig ist eine Gefährdungsabschätzung für Phänomene, deren Auslösemechanismen wir bisher nicht umfassend erkannt haben. Dazu zählen folgende Ereignisse:

Geologische Ereignisse und Gefahrenketten

- Kaskadierende Ereignisse oder Gefahrenketten, in denen ein Prozess weitere Ereignisse nach sich zieht.
- Submarine Massenumlagerungen an instabilen Kontinentalsockeln, insbesondere an passiven Kontinentabhängen.
- Flankenkollapse an aktiven oder inaktiven untermeerischen Vulkanhängen.
- Starkbeben, die sich über mehrere Segmentgrenzen einer Verwerfung erstrecken und basierend auf der großen Bruchfläche sehr hohe Magnituden erreichen.
- Erdbeben mit langen Wiederkehrzeiten deren Quellregion und Ursprung unklar bleibt, da der Verlauf der Verwerfung im Untergrund unbekannt ist.

Biologische Gefahren

- Zunahme potenziell humanpathogener Bakterien (z. B. genus *Vibrio*) durch Aussüßung, Erwärmung sowie Degradation von Habitaten.
- Zunahme von giftigen Algenblüten und Weitergabe ihrer Toxine über die Nahrungskette bis hin zu Nahrungsmitteln aus dem Meer (Muschelkulturen).
- Auftreten giftiger bis tödlicher Quallenschwärme.

Eine gezielte Verbesserung der Gefährdungsabschätzung erfordert eine verbesserte Kenntnis der gefährdenden Ereignisse und deren Charakteristika, um lokale und

regionale Gegebenheiten berücksichtigen zu können und entsprechende Frühwarn- und Katastrophenschutzsysteme gesellschaftlich zu verankern. Insbesondere die technologischen Entwicklungen der vergangenen Jahre in der Tiefseeinstrumentierung sowie in Bezug auf Kapazitäten zur Meeresbodenkartierung haben zu einem fundamentalen Erkenntniszugewinn geführt.

Darüber hinaus stellt die Etablierung und institutionelle Verankerung von entsprechenden Frühwarnsystemen weiterhin eine Herausforderung dar. Frühwarnsysteme etwa für Tsunamiwellen sind technisch realisierbar, allerdings stellt die Sicherstellung, dass die entsprechenden Informationen auch die Bevölkerung, in Teils sehr abgelegenen Regionen, erreichen, eine weiterhin zentrale Aufgabe dar.

Forschungsbedarf

Geologische Gefahren und Gefahrenketten

Unsere Kenntnis der Abläufe und damit des Ausmaßes geologischer Naturgefahren mit ozeanischer Quellregion hängt maßgeblich von Beobachtungen und Messungen ab, auf deren Grundlage wir unterschiedliche Modelle und Simulationen anpassen und evaluieren können. Um aus Einzelbeobachtungen zu einem Systemverständnis zu gelangen sind Zeitreihen notwendig, die die Entwicklung der Prozesse und deren Zusammenhänge und Interaktion dokumentieren. Neue marine Messtechnologien ermöglichen mittlerweile längere Messreihen am Meeresboden vergleichbar mit landgestützten Applikationen. Dazu zählen neben geophysikalischen und geodätischen Ansätzen auch wiederholte hochauflösende bathymetrische Kartierungen, deren Äquivalent sich an Land in der Photogrammetrie und Fernerkundung findet. Die Kombination aus diesen und weiteren Ansätzen ermöglicht es, die räumliche und zeitliche Dimension abzudecken, die Einzelbeobachtungen nicht berücksichtigen. Die zeitliche Entwicklung transienter Signale muss schließlich mit statischen Beobachtungen und Modellierungen rückgekoppelt werden, um ein umfangreiches Systemverständnis zu entwickeln. Dafür sollen folgende Themenkomplexe in den Forschungsprogrammen untersucht werden:

- Zeitliche und räumliche Evolution von Prozessen im Vorlauf eines Ereignisses zur Identifizierung potenzieller Vorläufersignale sowie Einblicke in die physikalischen Vorbedingungen, die zu einem Gefährdungsereignis führen.
- Quantifizierung des Deformationsverhaltens der ozeanischen Kruste durch geodätische Ansätze sowie neue Messkonzepte (Distributed Acoustic Sensing, DAS) zum

Verständnis aseismischen Kriechens und seismischer Deformation.

- Untersuchung der Lagerungsbedingungen potenziell instabiler Hänge (preconditioning factors) sowie zum Verständnis der Dynamik einer Rutschung, die entscheidend für das tsunamogene Potenzial ist.
- Verbessertes Verständnis von Prozessabhängigkeiten in Geosystemen, um kaskadierende Ereignisse (Erdbeben, Massenumlagerung, Tsunami) quantifizieren zu können.
- Transformation der Beobachtungen und Integration der Messdaten in Simulationen für ein umfassendes Modell, das die zeitlichen Veränderungen als auch räumlichen Variationen physikalischer und hydrologischer Parameter berücksichtigt.

Biologische Gefahren

Neueste Daten aus Zeitreihen aber auch mechanistische Studien und Experimente legen nahe, dass sich die Gefahr für Menschen durch Mikroorganismen (coliforme und humanpathogene Bakterien, multiresistente Keime, Viren) zukünftig deutlich erhöhen wird. Mögliche Infektionswege können z. B. durch Baden im Meer, Arbeiten im Fischfang oder Aquakultur, durch den Verzehr von Meeresfrüchten, sowie auch durch Kontakt mit infizierten Tieren entstehen. Vor allem humanpathogene, häufig multiresistente Bakterien z. B. der Gattung *Vibrio* werden durch mehrere, gleichzeitig ablaufende Umweltveränderungen bevorzugt, zu denen die Ozeanerwärmung, die Aussüßung durch erhöhte Niederschläge (auch Extremereignisse) sowie Habitat-Degradation gehört. Um ein kausales Verständnis der marinen Infektionskrankheiten zu erlangen ist ein systematischer Überblick über besonders gefährdete Meeresregionen sowohl regional (Nord- und Ostsee) als auch weltweit erforderlich. Nach wie vor ist zudem umstritten, ob und in welchem Ausmaß gelatinöses Zooplankton (Quallen) zugenommen hat. Unbestritten ist allerdings, dass zahlreiche Regionen, die sehr vom Tourismus abhängen, in den letzten Jahren deutliche Einbußen erleiden mussten durch das Auftreten schmerzhaft giftiger Medusen zum Beispiel der Genera *Physalia* und *Pelagia*, was der lokalen Wirtschaft große Schäden verursacht hat.

Ein Forschungsprogramm sollte daher folgende Aspekte untersuchen:

- Entwicklung eines Prozessverständnisses, wie genau bestimmte Mikrobengruppen von veränderten Umweltbedingungen und zunehmenden Umweltstressoren profitieren können.

- Weiterentwicklung effektiver Detektions- und Monitoring-Systeme in situ sowie ein Verständnis für die Konkurrenzprozesse im Experiment, welche humanpathogenen Mikroben unter den neuen Umweltbedingungen Vorteile verschaffen.
- Untersuchung des möglicherweise gefährlichen Zusammenwirkens virulenter Bakterien in Kombination mit multiplen Antibiotika-Resistenzen und mittelfristige Entwicklung von Lösungskonzepten für die Gesellschaft.
- Verbesserung des Prozessverständnisses dieser Arten im marinen Nahrungsnetz und des Zusammenhanges zwischen Fischerei und der Zunahme von Quallen, weil durch Überfischung die Konkurrenzsituation zugunsten der Quallen verschoben wird sowie der Rolle möglicher Fressfeinde auf Quallen wie Meeresschildkröten, die ihrerseits hochbedroht und selten geworden sind.
- Initiierung eines langfristigen Erfassungssystems mittels moderner Detektionsmethoden wie (environmental) DNA, welches die Populationsdynamiken auch vor Ausbruch von Massenvermehrungen erfasst. Ein solches Monitoring sollte mittelfristig semi-automatisch und kontinuierlich sein (also schiffsunabhängig).

Warn- und Schutzsysteme

Die Erforschung der Ursachen gefährdender Ereignisse aus dem Meer wird begleitet durch die Notwendigkeit existierende, gesellschaftlich-verankerte Mitigations- und Katastrophenschutzsysteme in betroffenen Gesellschaften empirisch zu erheben und auf institutionelle Schwachstellen zu untersuchen. Ereignisse wie das Sumatra-Erdbeben 2004 oder das Tōhoku-Oki Erdbeben 2011, mit den entsprechend darauffolgenden Tsunamis, verdeutlichen die Notwendigkeit, institutionalisierte Kommunikationsabläufe innerhalb lokaler Gesellschaften empirisch-basiert, und mit Modellcharakter für andere Regionen, zu entwickeln, inklusive der Konzepte für ihre strukturelle Verankerung. Mit dem Ziel die sogenannte „letzte Meile“ der existierenden und begrenzt leistungsfähigen Frühwarnsysteme hin zu den eigentlich Betroffenen, zeitnah – und somit rechtzeitig – zu überbrücken, bedarf es folgender Forschungskomponenten in den wissenschaftlichen Grundlagenprogrammen:

- Analyse de jure und de facto existierender Warn- und Schutzsysteme; Prüfung auf Schwachstellen und Brüche in der Schutzsicherstellung.
- Empirische Erhebung der exponierten Bevölkerungsgruppen, Vulnerabilitätsgrade, Siedlungsmuster und

Sozialstrukturen potenziell betroffener Bevölkerungsgruppen unter Berücksichtigung ihrer zeitlichen und räumlichen Variabilität, die etwa durch Tourismus, (saisonale) Migration oder Pendeln beeinflusst werden. Dies ist notwendig, um die Effektivität der Warn- und Schutzsysteme durch zielgenaue Kommunikationswege und -methoden zu erhöhen.

- Analyse lokaler Wissenssysteme (inklusive katastrophbezogener Erinnerungskulturen) und darauf aufbauend proof-of-concept Forschung und Entwicklung lokal institutionalisierter und entsprechend der Bildungssituationen und Erfahrungswerte lokaler Bevölkerungen, eingebetteter Kommunikations- und Informationsabläufe.

Ausblick

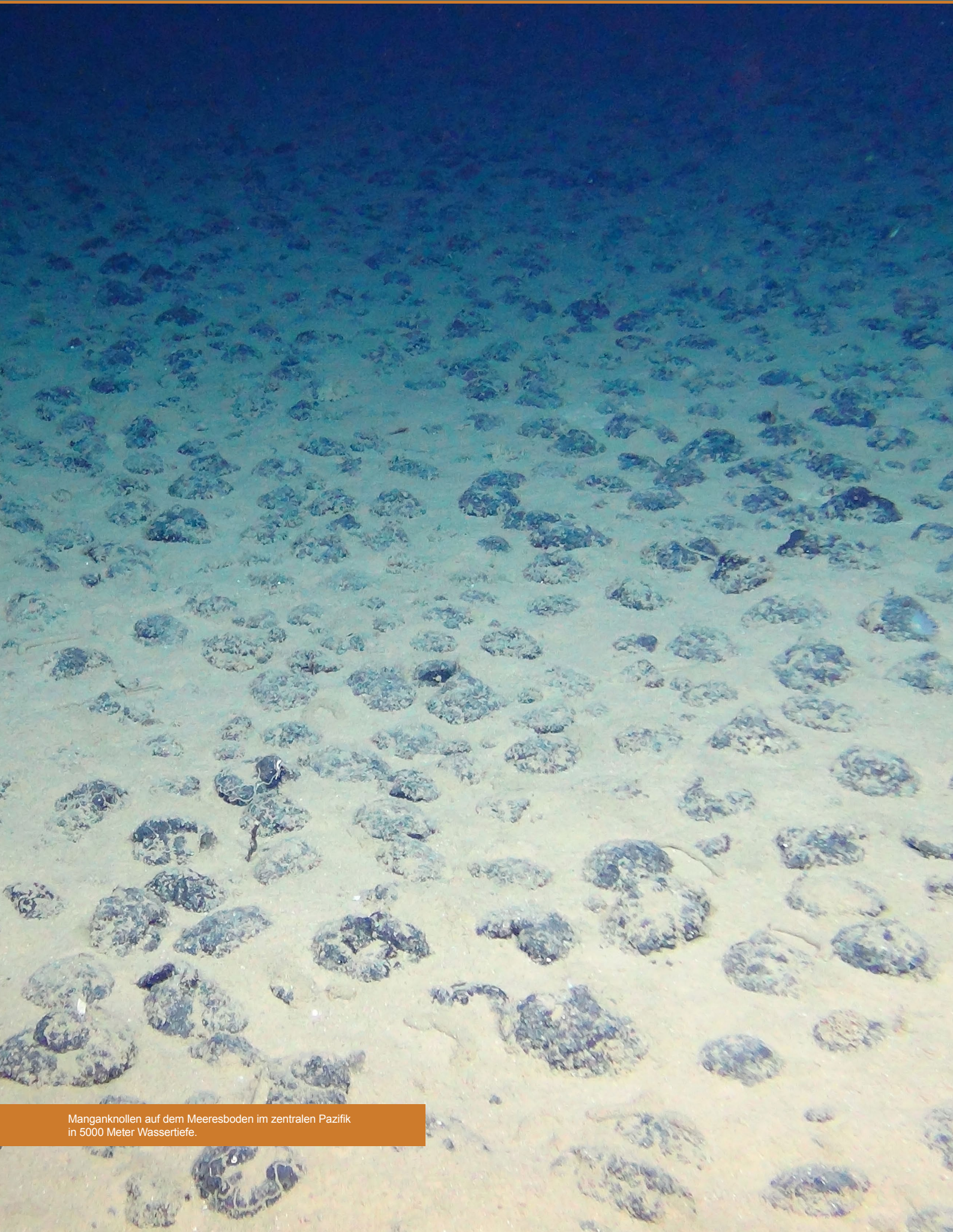
Die Auswirkungen mariner geologischer und biologischer Naturgefahren auf die menschliche Gesellschaft haben in den letzten Jahrzehnten eine globale Dimension erreicht, der mit Hilfe von Mitigations- und Schutzsystemen entgegengewirkt werden muss. Ursächlich dafür sind fundamentale biologische oder geologische Prozesse, deren Auslösemechanismen noch nicht vollumfänglich verstanden sind. Insbesondere kaskadierende Ereignisketten oder extreme Einzelereignisse erhöhen die Exposition und Vulnerabilität der Gesellschaft gegenüber den damit verbundenen Gefahren und verdeutlichen dadurch die Notwendigkeit einer verbesserten Quantifizierung der Auslöseprozesse und systeminternen Abhängigkeiten sowie der gesellschaftlichen Kapazitäten, mit diesen umzugehen.

Der größte Forschungsbedarf besteht daher in Bezug auf die Ursachen und Auslösemechanismen gefährdender Ereignisse, um eine verbesserte Gefährdungsabschätzung zu erlangen und Frühwarn- und Katastrophenschutzsysteme auf regionale und lokale Gegebenheiten anpassen zu können. Insbesondere die technologischen Entwicklungen der vergangenen Jahre in der Tiefseeinstrumentierung sowie in Bezug auf Kapazitäten zur Meeresbodenkartierung haben zu einem fundamentalen Erkenntniszugewinn geführt, der durch gezielte Beobachtungs- und Monitoringansätze ausgebaut werden muss. In Zukunft werden Sensoren verstärkt multifunktional gleichzeitig für Forschungsexperimente als auch zur Frühwarnung bzw. Vorhersage eingesetzt werden können und somit zu einer Beschleunigung der wissenschaftlichen Erkenntnisse parallel zu einer Optimierung von Frühwarnsystemen und umgekehrt führen.

Daraus leitet sich folgender Forschungs- und Entwicklungsbedarf ab:

- Erfassung und Quantifizierung der zeitlichen und räumlichen Evolution von Prozessen und physikalischen Vorbedingungen im Vorlauf eines Ereignisses durch verbesserte und optimierte Beobachtungssysteme und Observatorien.
- Transformation der Beobachtungen und Integration der Messdaten in Simulationen für ein umfassendes Modell, das die zeitlichen Veränderungen und räumlichen Variationen physikalischer, biologischer und hydrologischer Parameter berücksichtigt.
- Entwicklung eines langfristigen Erfassungssystems basierend auf modernen biologischen Detektionsmethoden wie e(environmental) DNA, welches die Populationsdynamiken vor Ausbruch von Massenvermehrungen erfasst.
- Identifizierung von zielgenauen Kommunikationsmethoden und -wegen, um die Effektivität von Warn- und Schutzsystemen in Abhängigkeit der regionalen gesellschaftlichen Gegebenheiten zu erhöhen und die Systeme zu institutionalisieren.
- Verständnis und Quantifizierung von Prozessabhängigkeiten in geologischen und biologischen Systemen u. a. in Bezug auf das Zusammenwirken virulenter Bakterien in Kombination mit multiplen Antibiotika-Resistenzen bzw. auf das Auftreten transienter Signale oder Meeresbodendeformation als Indikatoren für Auslöseprozesse geologischer Ereignisse.

FORSCHUNGSTHEMEN



Manganknollen auf dem Meeresboden im zentralen Pazifik
in 5000 Meter Wassertiefe.

2.4 NACHHALTIGE NUTZUNG MARINER RESSOURCEN

Leitfragen:

- Können die Gewinnung von Rohstoffen und die Erzeugung erneuerbarer Energien aus dem Meer Beiträge zur Deckung der weltweiten Nachfrage leisten, und welche Maßnahmen müssen getroffen werden, um diese umweltverträglich zu gestalten?
- Wie können die Nutzung küstenferner Bereiche für Aquakultur oder die Befischung von bisher kaum verwerteten Organismen zur Sicherung der globalen Ernährung beitragen?
- Wie können Ressourcen, die bisher kaum genutzt werden, wie etwa Süßwasservorkommen im Meeresboden oder Naturstoffe, umweltschonend erschlossen und nachhaltig genutzt werden?

Gesellschaftliche Relevanz

Die gesellschaftlichen Nutzungen der Meeresressourcen werden an Umfang und Intensität weiter zunehmen. Damit gehen stets massive Eingriffe in marine Lebensräume einher. Trotz großer Wissensgewinne über die Funktionsweise mariner Ökosysteme und ihrer Reaktionen auf veränderte Einflüsse reichen die bisherigen Kenntnisse aber nicht aus, um das Ausmaß der Veränderungen in zuverlässigen Zukunftsszenarien darzustellen.

Der Meeresboden und sein Untergrund enthalten mineralische Rohstoffe und Kohlenwasserstoffe, denen langfristig eine erhebliche Bedeutung für die Ressourcensicherung zugesprochen wird. Für die Umsetzung der Energiewende zeichnet sich ein global steigender Bedarf an Metallrohstoffen ab, der anteilig durch Vorkommen von Manganknollen und -krusten sowie Massivsulfiden aus der Tiefsee gedeckt werden könnte. Gashydratvorkommen an den Kontinenträndern haben das Potenzial, als emissionsärmerer fossiler Energieträger zur Verminderung der Treibhausgasemissionen beizutragen. Marine Phosphoritvorkommen können durch ihre weite Verbreitung den steigenden Bedarf an Phosphor für die Düngemittelherstellung ergänzen. An den Kontinenträndern werden Öl- und Gasvorkommen aus zunehmend größeren Wassertiefen zur Deckung des Energiebedarfs exploriert und erschlossen. Im Zuge eines sich verändernden Klimas nimmt die Herausforderung der Versorgung mit Trinkwasser in vielen Gebieten der Welt zu. Daher rücken Grundwasservorkommen im Offshore-Bereich in letzter Zeit in den Fokus für eine zukünftige Nutzung zur Trinkwasserversorgung an Land.

Der Abbau von mineralischen Rohstoffen in der Tiefsee wird mit Störungen der Tiefseeökosysteme und einem

Verlust an Biodiversität verbunden sein, dessen Auswirkungen auf die Ökosystemfunktionen bisher nicht vorhergesagt werden können. Die United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS) erklärt 1982 den Tiefseeboden und seine mineralischen Ressourcen zum „gemeinsamen Erbe der Menschheit“, dessen Erforschung und Nutzen der gesamten Menschheit einschließlich der zukünftigen Generationen dienen sollen. Gleichzeitig sind nach UNCLOS Maßnahmen für einen effektiven Schutz der Meeresumwelt bei der Gewinnung mineralischer Ressourcen vom Meeresboden zu ergreifen.

Die Bedeutung von Fisch und anderen Meeresorganismen für die globale Ernährungssicherung wird in den kommenden Dekaden weiter steigen. Die Food and Agriculture Organisation (FAO) der Vereinten Nationen konstatiert für das Jahr 2030 ein Defizit von etwa 100 Millionen Tonnen aquatischer Lebensmittel, welches durch die Beendigung der Überfischung, ein effektiveres Fischereimanagement sowie eine deutliche Steigerung der Aquakulturproduktion kompensiert werden muss. Schon heute ist der Aquakulturbereich mit einer jährlichen Wachstumsrate von 7,3 Prozent der am schnellsten wachsende Nahrungsmittelsektor. Der überwiegende Teil der marinen Fischerei und Aquakulturproduktion erfolgt in Küsten- und Schelfregionen, wobei Nutzungskonflikte ebenso wie ökologische Faktoren wie Algen- und Quallen-Blüten auch bei nachhaltiger Bewirtschaftung zunehmend produktionslimitierend wirken. Für die Ernährungssicherung auch künftiger Generationen werden deshalb weltweit Möglichkeiten einer zusätzlichen Nutzung auch küstenferner Systeme betrachtet, etwa im Sinne von Offshore-Aquakultur oder der Befischung bisher kaum genutzter Organismen der Ozeane (z. B. Krill oder mesopelagische Fische). Die mit einer verantwortungsvollen und nachhaltigen Aquakultur und Fischerei zusammenhängenden Herausforderungen in häufig extrem sensiblen Ökosystemen können nur im Kreise der internationalen Gemeinschaft gelöst werden, hier aber einen nennenswerten Beitrag zur Armutsbekämpfung und globalen Ernährungssicherung leisten.

Viele marine Organismen produzieren biologisch wirksame Naturstoffe, die große Bedeutungen für die Isolierung und Beschreibung neuer Stoffe für die Anwendung in Medizin, Pharmazie, Lebensmittel- und Werkstofftechnologien besitzen. Hier liegt ein großes und bisher kaum untersuchtes Potenzial einer bisher vergleichsweise wenig genutzten Ressource.

Energiesysteme der Zukunft hängen maßgeblich mit einem umweltschonenden Ausbau sowie einem

zuverlässigen und dauerhaften Betrieb in der Nutzung von erneuerbaren Energieressourcen zusammen. Die Bereitstellung und Ausschöpfung mariner erneuerbarer Energieressourcen tragen zur Versorgungssicherheit und Verringerung der Treibhausgasemissionen bei. Sowohl die Offshore-Windenergie als auch maritime Energietechnologien, z. B. Wellen- oder Tidenströmungskraftwerke, gelten als tragende Pfeiler der zukünftigen Stromerzeugung. Ihr Potenzial wird auf 7400 Exajoule jährlich geschätzt. Dies übersteigt den derzeitigen und auch zukünftig zu erwartenden globalen Primärenergieverbrauch der Menschheit von jährlichen 492 Exajoule um ein Vielfaches.

Sachstand

Geologische Ressourcen

Erste Abbautests mariner mineralischer Rohstoffe im Pilotmaßstab wurden innerhalb von ausschließlichen Wirtschaftszonen bereits durchgeführt (Massivsulfide: Japan; Gashydrate: Japan, China) bzw. stehen unmittelbar bevor (Phosphorite: Namibia, Mexiko). Abbauregularien für internationale Gewässer werden derzeit durch die Internationale Meeresbodenbehörde erarbeitet. Die gesellschaftspolitische Diskussion zur Erschließung dieser Rohstoffvorkommen ist äußerst kontrovers, da mögliche Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft sowie Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz, wissenschaftlich noch nicht ausreichend untersucht und beantwortet worden sind. Ob und wie eine nachhaltige Nutzung dieser marinen Rohstoffe ökonomisch, ökologisch und sozialverträglich erfolgen kann, welche sozio-ökologischen Szenarien zu erwarten sind, wie diese im Vergleich mit Szenarien im Landbergbau zu bewerten sind, und wie Konzepte für den ökologisch, sozial und ökonomisch verträglichen Umgang mit diesen aussehen, gehört daher zu den drängenden Forschungsfragen, an denen auch die Wirtschafts- und Rechtswissenschaften mitwirken müssen.

Der Tiefseeboden ist ein energiearmes Ökosystem, das empfindlich gegenüber mechanischen Störungen der Oberflächensedimente ist. Beim Abbau von z. B. polymetallischen Erzen wird das stabile geochemische und ökologische Milieu der Meeresbodenoberfläche in großen Flächen beeinträchtigt. Über die genetische Konnektivität der sehr artendiversen und zudem räumlich und zeitlich sehr variablen Tiefseefauna ist nur wenig bekannt. Dies gilt ebenso für die Ökosysteme der abysalen Becken, wie für die Inselhabitats der speziellen Lebensgemeinschaften in hydrothermal aktiven Massivsulfidgebieten. Mögliche Konsequenzen von Störungen sind starke Reduzierungen benthischer Populationen und Verluste an Artenvielfalt bis hin zur Gefahr des Aussterbens von Arten. Experimentelle Untersuchungen zur dynamischen Stabilität von

Tiefseelebensgemeinschaften im Zusammenhang mit einem Manganknollenabbau konnten industrielle Skalen der Eingriffe in die Ökosysteme nicht simulieren. Deshalb sind Vorhersagen über die Resilienz dieser Ökosysteme gegenüber Langzeiteffekten noch nicht möglich.

Durch neue Forschungsansätze müssen Grundlagen für Risikoabschätzungen eines marinen Bergbaus gelegt werden. Langfristige und kumulative Effekte für die marine Umwelt müssen identifiziert und die Entwicklung multifaktorieller Managementkonzepte vorangetrieben werden. Bis zum Beginn der wirtschaftlichen Nutzung mariner mineralischer Rohstoffe der Tiefsee kann die Forschung Grundlagen für Risikoabschätzungen, akzeptable Handlungsszenarien und für die Ausarbeitung von rechtlich verbindlichen Vorschriften zum Umweltschutz im Einklang mit sozialer und wirtschaftlicher Nachhaltigkeit erarbeiten.

Marine Sedimentbecken der Kontinentränder erlangen zunehmende Bedeutung für die Versorgung mit fossilen Energierohstoffen, und die Exploration und Gewinnung von Öl und Gas dringt zunehmend in die Tiefsee sowie in abgelegene Regionen, wie der Arktis, vor. Auswirkungen auf die Ökosysteme der Tiefsee durch Havarien mit unkontrolliertem Austritt von Kohlenwasserstoffen sind bisher wenig erforscht. Der Deepwater-Horizon-Unfall 2010 im Golf von Mexiko hat gezeigt, dass solche Ölaustritte eine Vielzahl von zusätzlichen schädlichen Auswirkungen für die Tiefenwasserökosysteme mit sich bringen, die von früheren Unfällen in Flachwassergebieten nicht bekannt waren (z. B. Exxon Valdez). Der Beitrag von Methanemissionen aus aktiven Bohrungen sowie aus Altbohrungen wird zur Zeit kontrovers diskutiert. Studien weisen darauf hin, dass die Methanemissionen deutlich größer sind als bisher angenommen. Für das Erreichen der Reduktionsziele der COP 21 bedarf es einer belastbaren Quantifizierung von Treibhausgasemissionen, aber Daten von Emissionen aus Offshore-(Alt)Bohrungen fehlen und erlauben derzeit keine sichere Einschätzung ihres Beitrags zum Klimawandel.

Süßwasser ist in vielen Gegenden der Welt eine kostbare Ressource, die immer knapper wird. Als jüngstes Beispiel kann hierfür der Fall von Kapstadt gelten, einer Millionenstadt, die im Frühjahr 2018 komplett von ihrer Trinkwasserversorgung abgeschnitten zu werden drohte. In vielen Entwicklungsländern in ariden Klimazonen ist Süßwassermangel noch akuter. Daher gibt es im gesamten Mittelmeerraum Bestrebungen, auch Grundwasservorkommen auf hoher See zu nutzen, die teilweise während der letzten Eiszeiten entstanden sind, teilweise aber auch noch von der Küste gespeist werden. Jüngste Studien legen nahe,

dass es bis zu 4,5 Millionen Kubikkilometer Süßwasser im Offshore-Bereich gibt.

Biologische Ressourcen

Der Klimawandel wird in Zukunft verstärkt die physikalischen und chemischen Eigenschaften in den Ozeanen verändern und damit auch die Lebensbedingungen der nutzbaren Arten. Einzelne Arten werden sich aufgrund physiologischer Grenzen nur eingeschränkt an die neuen Bedingungen anpassen können. Andere Arten werden dagegen profitieren. Die Folge wird möglicherweise eine weitgehende Reorganisation der marinen ökologischen Gemeinschaften und damit eine bisher unvorhersehbare Änderung der Produktionsbasis der Fischerei- und Aquakultursysteme sein.

Fischerei- und Aquakulturforschung muss sicherstellen, dass neues Wissen über die Funktionen und Leistungen mariner Ökosysteme, zur Dynamik der lebenden Meeresressourcen sowie über Produktionssysteme für aquatische Lebensmittel in die politische Umsetzung nachhaltiger Bewirtschaftungsstrategien einfließt und die ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Auswirkungen der Ressourcennutzung bewertet werden können. Vor allem im Hinblick auf die Produktion aquatischer Lebensmittel in küstenfernen Aquakulturen ist unser Verständnis und derzeitiges Wissen über komplexe Verfahren und Technologien unvollständig und wirft immer noch eine Reihe von Fragen auf. Während für landbasierte geschlossene und halb-geschlossene Anlagen insbesondere die Entwicklung des Markt- und Produktionspotenzials unter anspruchsvollen Umweltauflagen im Fokus steht, stehen für Anlagenkonzepte, die im Offshore-Bereich betrieben werden, konzeptionelle Entwicklungen im Vordergrund.

Der offene und tiefe Ozean birgt eine große Diversität an Mikro- und Makroorganismen, die an verschiedenste extreme Lebensräume in bis zu 11.000 m tiefen Gräben, an heißen Tiefseequellen, kohlenwasserstoffreichen Öl-, Gas- und Asphalt-Austritten oder in schwermetallhaltigen Krusten angepasst sind. Extremophile Pilze, Bakterien und Archaeen sowie Evertebraten wie Schwämme, Weichkorallen, Manteltiere, Stachelhäuter und symbiotische Bakterien dieser Tiere produzieren bio- oder chemoaktive Naturstoffe für die Abwehr von Schadorganismen, die Detoxifizierung von natürlichen Umweltgiften oder die Anpassung an extremen Druck, Hitze oder Kälte. Neuartige Enzyme, sekundäre Metabolite, Biomaterialien und Biomimetika haben großes Potenzial für Nutzungen in technischen Anwendungen und ganz besonders in der medizinisch-pharmakologischen Forschung, so zum Beispiel für die Entwicklung von neuen Antibiotika oder

Medikamenten zur Krebsbehandlung. Viele marine Naturstoffe befinden sich zur Zeit in der klinischen Testung als Medikamentenwirkstoffe, und einige sind von der Europäischen Arzneimittelagentur (EMA) als Arzneistoffe zugelassen oder haben bereits Marktreife erreicht. Beispiele hierfür sind u. a. der auf Konusschnecken zurückgehende Wirkstoff Ziconotid im Schmerzmittel Prialt® und das von Tunikaten stammende Trabectedin im Krebstherapeutikum Yondelis®.

Erneuerbare Energien

Der Beitrag der auf dem bzw. im Meer gewonnenen erneuerbaren Energien zur globalen Energieversorgung ist heute nach wie vor vergleichsweise gering und weist oftmals prototypische Anlagen auf, obgleich die Meere ein erhebliches Potenzial und eine ausgefallene große Bandbreite möglicher technologischer Nutzungsformen zur Energiegewinnung bieten. Sie umfassen u. a. Technologien zur Nutzung der Wind- und Wellenenergie, des Tidehubs, der Tide- und Meeresströmung, der Ausnutzung von Gradienten der Meereswärme und des Salzgehalts sowie zur energetischen Nutzung von Algen.

Die Nutzung erneuerbarer Energien geschieht zurzeit noch vornehmlich in relativer Küstennähe, aber aus Gründen der Konkurrenz um den Platz werden die Anlagen zunehmend hinaus in die See, teilweise schwimmend und in immer größeren Wassertiefen installiert. Im Fokus zukünftiger Forschungsprogramme müssen das technische Potenzial und die Standortbedingungen der auf der hohen See gewonnenen erneuerbaren Energien stehen sowie die damit verbundenen Wechselwirkungen mit der marinen Umwelt.

Forschungsbedarf

Schwerpunkt mineralische Rohstoffe

Eine globale Bestandsaufnahme von marinen Rohstoffvorkommen und -mengen ist erforderlich. Ein ganzheitliches/systemisches Verständnis der Entstehungsprozesse und Bildungsbedingungen ist Grundvoraussetzung zur Bewertung der Potenziale und der möglichen Auswirkungen einer Nutzung. Dazu bietet sich die Erstellung von Ozean-System-Modellen an, welche die Wassersäule über den Meeresboden bis zur ozeanischen Kruste abbilden und mit denen Stoff- und Energieflüsse und damit Anreicherungsprozesse simuliert und Prognosen erstellt werden können. Forschungsbedarf besteht zu:

- Erstellung von Ozean-System-Modellen für verschiedene Typprovinzen (z. B. Tiefseeebenen, Rückensysteme, Kontinentränder), die Anreicherungen verschiedener Elemente und damit Rohstofftypen abbilden.

- Aufbereitung von Informationen aus bereits gut untersuchten Gebieten und Hochskalierung (remote predictive mapping).
- Identifizierung treibender physikalischer, chemischer und biologischer Prozesse zur Bildung mariner Rohstoffvorkommen.
- Bestimmung von Material- und Energieflüssen (z. B. von Spurenmetallen in der benthischen Zone) und den zugrundeliegenden biogeochemischen Prozessen, die zu lagerstättenrelevanten Anreicherungen führen sowie ggfs. zu Umweltauswirkungen bei einem Abbau.
- Bilanzierung und Quantifizierung der (globalen) Vorkommen mariner mineralischer Rohstoffe.
- Vorhersagen zu Entstehung und Vorkommen von Rohstoffen auf Basis der erarbeiteten Ozean-System-Modelle (Beispiel Clarion-Clipperton Fracture Zone).

Eine Nutzung der hier genannten marinen mineralischen Rohstoffe steht ganz am Anfang. Daher sind folgende wissenschaftliche Studien von nutzungsbedingten Auswirkungen auf die Umwelt erforderlich:

- Untersuchungen zu den Grundlagen der Biodiversität von Fauna und Mikroorganismen inklusive der Ausdehnungen der Verbreitungsareale einzelner Arten, Verteilung von Mikroorganismen und den von ihnen gesteuerten biogeochemischen Prozessen, Verständnis der Rückkopplungen zwischen biogeochemischen Prozessen und Faunenzusammensetzung (Foodweb- und Tiefseeökosystem-Modellierung), Erforschung der daraus resultierenden Ökosystemfunktionen.
- Untersuchungen zur Wiederbesiedlung von Abbauflächen durch Tiefseelebewesen und der anschließenden langfristigen Dynamiken von benthischen Lebensgemeinschaften, Verständnis der Abhängigkeit der Wiederbesiedlung von biogeochemischen Stoffflüssen und physikalischen Variablen (z. B. Bodenmechanik).
- Untersuchungen zur Aufrechterhaltung von ausreichend großen Genpools und genetischer Konnektivität zwischen durch Tiefseebergbau räumlich getrennten benthischen Populationen, die notwendig sind, um das Aussterben von Arten zu verhindern. Dies schließt Untersuchungen der Verbreitungsmodi und Genflüsse benthischer Tiefseearten ein. Ziel muss sein, Mindestgrößen für ungestörte Flächen sowie maximale Distanzen für einen ungehinderten Genfluss zwischen diesen Gebieten zu bestimmen.

- Untersuchung der Wechselwirkungen von Tiefseebergbau-bedingten Umweltauswirkungen mit Effekten von Klimawandel und Landnutzung, wie z. B. Wechselwirkungen von Eutrophierung durch Phosphoritabbau mit sich ausdehnenden Sauerstoff-Minimum-Zonen.
- Erfassung kumulativer Effekte durch Rohstoffabbau zusammen mit weiteren Stressoren wie z. B. Tiefseefischerei und Klimawandel.
- Untersuchung der Wechselwirkungen thermisch, hydraulisch, chemisch und mechanisch gekoppelter Prozesse am Beispiel der hochdynamischen natürlichen Gashydratsysteme in marinen Sedimenten in Hinblick auf natürliche und anthropogen getriebene Änderungen, wie z. B. Hangrutschungen, Meeresbodenerwärmung (z. B. Permafrosthydrate), Meeresbodenanhebung (z. B. glacial rebound vor Spitzbergen), Risiken von Öl-/Gas-Tiefwasserbohrungen, Untergrundnutzung, Tiefwasserinstallationen (z. B. Pipelines, Windkraftanlagen).
- Vergleich Tiefseebergbau mit Landbergbau: kurz- und langfristige Auswirkungen auf Umwelt und Mensch; Bedeutung für eine zukünftige Rohstoffversorgung; Leistungen der betroffenen Ökosysteme („Ecosystem service“) für die Menschheit, deren Widerstandsfähigkeit und Regenerationszeiten.
- Langzeitstudien, die berücksichtigen, dass Regenerationsprozesse extrem langsam verlaufen und Vorhersagen auf Basis kurzfristiger Untersuchungen nur schwer möglich sind.

Schwerpunkt fossile Energierohstoffe

Forschungsarbeiten zu fossilen Energierohstoffen werden im Zusammenhang mit ihren Nutzungspotenzialen unter MARE:N nicht behandelt, sondern Auswirkungen und Folgen der Energierohstoffnutzung adressiert. Forschungsbedarf, der auch Experimente unter realistischen Bedingungen des offenen Ozeans einschließt, besteht zu:

- Grundlagendaten zur Ausbreitung von Öl und dessen Aufspaltung in leichte und schwere Komponenten sowie deren spezifische Schicksale, wie z. B. Dispersion, Lösung, Einschichtung in unterschiedlichen Wasserkörpern, Sorption an Partikeln, Verdriftung, Ablagerung.
- Untersuchungen zu Veränderungen der Organismengemeinschaften, z. B. durch Kohlenwasserstoffrespiration, Sauerstoffzehrung, toxische Wirkungen auf Lebensformen in Wassersäule und Sedimenten.

- Remediationskapazitäten in Wassersäule und Sedimenten. Eine zentrale Rolle kommt der Oxidation von Kohlenwasserstoffen durch mikrobielle Gemeinschaften unter in-situ-Bedingungen in aerobem wie auch suboxischem (Wassersäule) und anaerobem Milieu zu (Meeresboden).
- Geeignete Maßnahmen zur Bekämpfung der schädlichen Auswirkung von Tiefenwasserölaustritten.
- Untersuchungen zu den natürlichen Emissionen klimawirksamen Methans sowie den potenziellen Emissionen im Bereich von (Alt)Bohrungen.

Schwerpunkt marine Süßwasserressourcen

Die Nutzung mariner Süßwasservorkommen erfordert es, sie zu detektieren, festzustellen, ob sie weiterhin von Land aus gespeist werden und bei einer Nutzung sicherzustellen, dass diese nachhaltig erfolgt. Forschungsbedarf besteht daher in erster Linie zu:

- Entwicklung von Methoden zur Detektion und zum Monitoring von Süßwasservorkommen unter dem Meeresboden, hier insbesondere Joint Inversion von verschiedenen geophysikalischen Datensätzen und Entwicklung von 3D Seismiksystemen mit hoher (<1 m) Auflösung.
- Entwicklung von Kriterien zur Unterscheidung von fossilen Süßwasservorkommen mit endlicher Kapazität und jungen Vorkommen, die mit meteorischem Wasser in Verbindung stehenden, und deren Nutzung Nachhaltigkeitsmaßnahmen erfordert.
- Capacity Building durch Ansiedlung von Expertisezentren in Regionen mit akutem Süßwassermangel.
- Wirtschaftswissenschaftliche und wirtschaftsgeographische Untersuchungen, um eine Analyse des gesamten Einzugsbereichs sicher zu stellen.

Schwerpunkt Fischerei und Aquakultur

Für eine nachhaltige Nutzung der Meere durch Fischerei und Aquakultur, die in der Zukunft zur Sicherung der Welternährung beiträgt, bestehen folgende Forschungsbedarfe:

- Von zentraler Bedeutung ist ein verbessertes Verständnis der Verhaltensbiologie von Meerestieren, sowohl als Grundlage für eine erfolgreiche Zucht in Aquakulturen als auch für die Entwicklung alternativer Fang- bzw. Erntemethoden, wie etwa einer neuen Generation von smarten Netzen in der Fischerei, die

sich Unterschiede im Fluchtverhalten von Fischarten zunutze machen, um ungewollte Beifänge zu verhindern.

- Damit im Offshore-Bereich betriebene Aquakulturanlagen als zusätzlicher Produktionssektor der steigenden Nachfrage nach aquatischen Produkten nachkommen können, müssen technische Verbesserungen und Innovationen vorangetrieben werden sowie weitere Ressourcen für eine ökologisch-nachhaltige Produktion identifiziert werden.
- Die Entwicklung von Strategien zur Anpassung der Nutzungssysteme an den Klimawandel benötigt weitergehendes Grundlagenwissen über die Bedeutung der Veränderungen in der unbelebten Umwelt für Populationen, Gemeinschaften und Nahrungsnetze. Insbesondere sind Studien zur zukünftigen Fortpflanzungsfähigkeit der genutzten Arten unter neuartigen Bedingungen sowie Untersuchungen zu Wanderungs-, Wachstums- und Sterblichkeitsprozessen nötig. Dabei kommt der Nutzung neuer Monitoring-Methoden, wie eDNA-Surveys, eine herausragende Bedeutung zu.
- Die Verschiebungen in der Produktion von Nahrungsmitteln aus dem Meer werden durch Veränderungen in den Esskulturen der Konsumenten begleitet werden müssen. Verhaltensökonomische und qualitativ ethnographische Untersuchungen zu Konsumverhalten bieten hier die empirischen Grundlagen für großskalige Verhaltensänderungen auf gesellschaftlicher Ebene.

Schwerpunkt Naturstoffe

Marine Naturstoffforschung beschränkt sich bisher weitgehend auf relativ leicht zugängliche Küstenregionen, während der tiefe Ozean erst rudimentär für die Entdeckung und Entwicklung von neuartigen Biomolekülen erforscht ist. Eine Erschließung dieser Ressource kann umweltschonend erfolgen, und es ergibt sich folgender Forschungsbedarf:

- Der Zugang zu neuartigen Mikro- und Makroorganismen aus extremen Lebensräumen wie heißen Tiefseequellen, Standorten mit extremen chemischen Umweltbedingungen und in besonders großen Tiefen muss verbessert werden.
- Es besteht dringender Bedarf an der Entwicklung von Techniken und Einrichtungen für das Bergen von druck- und sauerstoffsensiblen Mikro- und Makroorganismen aus der Tiefsee sowie deren Kultivierung und Hälterung unter kontinuierlichen physikochemischen in-situ-Bedingungen.

- Neue effiziente metabolomische Techniken und der Ausbau und Zugang von Datenbanken sind nötig zur Charakterisierung gemessener Metabolite. Weiterer Bedarf besteht in der Entwicklung und Verbesserung von Systemen für die heterologe Expression von Biomolekülen aus nicht-kultivierbaren Organismen.

Schwerpunkt Erneuerbare Energien

Die Anforderungen an die Zuverlässigkeit von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien auf der hohen See im Hinblick auf störungsfreie und kosteneffiziente Strom-gestehung bilden große technische Herausforderungen. Das technische Potenzial, die Hochsee-Standortbedingungen und die von diesen Bedingungen herrührenden Wechselwirkungen mit der marinen Umwelt müssen im Fokus zukünftiger Forschungsprogramme stehen. Neben der Fortführung der Entwicklung von bereits bestehenden maritimen Technologien besteht daher Forschungsbedarf besonders zu:

- Definition von Standortbedingungen und Potenzialanalysen von marinen Energieressourcen; auch im Zusammenhang mit möglichen Ko-Nutzungen wie Aquakulturen und in Abgrenzung zu Schutzregionen.
- Erforschung der Langzeitauswirkungen von Hochseebedingungen auf die Anlagen infolge hoher Beanspruchung und Belastungsänderungen durch variable meteorologische und hydrographische Bedingungen.
- Quantifizierungen von Wechselwirkungen anderer mariner Einflüsse auf die Energiegewinnung wie z. B. durch marinen Bewuchs oder Verdriftung von Sohlsubstraten durch veränderte Strömungsbedingungen.
- Verständnis der Umweltauswirkungen von Anlagen mithilfe von Monitoringprogrammen im Feld und großmaßstäbigen Laboruntersuchungen.

Ausblick

Die gesellschaftliche Nutzung von Ressourcen des Blauen Ozeans nimmt an Umfang und Intensität stetig zu und geht mit massiven Eingriffen in marine Lebensräume einher. Die bisherigen wissenschaftlichen Kenntnisse reichen aber nicht aus, um das Ausmaß der damit einhergehenden Ökosystemveränderungen in zuverlässigen Zukunftsszenarien darzustellen.

Mineralische Rohstoffe wie Manganknollen, Massivsulfide und Phosphorite können in Zukunft zur Deckung des wachsenden Rohstoffbedarfs beitragen. Das Ökosystem

Tiefseeboden reagiert allerdings empfindlich auf Störungen, und die möglichen Folgen reichen bis hin zur Gefahr des Aussterbens von Arten. Für eine Bewertung des Nutzens von Tiefseebergbau in Abwägung mit den Auswirkungen auf die Umwelt ist ein ganzheitliches Verständnis der Entstehungsprozesse der Rohstoffe ebenso erforderlich wie Kenntnisse über die Biodiversität von Tiefseeorganismen und ein Verständnis der von ihnen geleisteten Ökosystemfunktionen.

Die Auswirkungen von unkontrolliert austretenden Kohlenwasserstoffen auf die Ökosysteme der Tiefsee aus natürlichen Quellen und aus technischen Anlagen sind bisher wenig erforscht. Die Ziele der COP 21 zur Reduktion von Treibhausgasemissionen können aber nur erreicht werden, wenn auch ihr Beitrag zum Klimawandel abgeschätzt werden kann. Die Meere bieten vielfache Möglichkeiten für die Gewinnung erneuerbarer Energien. Das Potenzial solcher Technologien auf hoher See wie auch die Wechselwirkungen mit der marinen Umwelt müssen erschlossen werden. Angesichts eines sich verändernden Klimas können Offshore-Grundwasservorkommen in Zukunft einen wertvollen Beitrag zur Trinkwasserversorgung in ariden küstennahen Gebieten leisten. Über die Kapazitäten und Eignungen solcher Offshore-Grundwasservorkommen ist bisher wenig bekannt, und Methoden einer nachhaltigen Nutzung fehlen.

Die Bedeutung von Nahrungsmitteln aus dem Meer für die globale Ernährungssicherung wird weiter steigen, und wegen zunehmender Überfischung weltweiter Bestände ist effektiveres Fischereimanagement und eine deutliche Steigerung der Aquakulturproduktion nötig. Küstenferne Aquakulturanlagen oder die Nutzung von bisher kaum-befischten Organismen wie etwa Krill oder mesopelagischen Fischen können für eine nachhaltige Versorgung mit aquatischen Lebensmitteln geeignet sein. Viele marine Organismen produzieren biologisch wirksame Naturstoffe, die sehr wertvoll für die Entwicklung von Antibiotika, neuen Medikamenten, etwa zur Krebsbehandlung, oder technischen Anwendungen sind. Der gesellschaftliche Bedarf an solchen Biomolekülen ist groß, und extreme Lebensräume der Tiefsee können für ihre Gewinnung bedeutsam sein.

Daraus leitet sich folgender Forschungs- und Entwicklungsbedarf ab:

- Untersuchungen und Modellrechnungen zu Entstehungsprozessen und Bildungsbedingungen mariner mineralischer Rohstoffe, die die Anreicherungen verschiedener Elemente und somit der Rohstofftypen abbilden, damit Bewertungen der Rohstoffpotenziale und Vulnerabilitäten der Ökosysteme möglich sind.
- Erforschung der Biodiversität und der großräumigen genetischen Verbundenheit von Fauna und Mikroorganismen; Untersuchungen der Resilienz von Arten und Populationen gegenüber Störungen, sowie der Rückkopplungen zwischen biogeochemischen Prozessen und Organismenzusammensetzungen .
- Untersuchungen der Auswirkungen von Öl- und Gasaustritten auf Tiefseeökosysteme, sowohl bei Havarien von technischen Anlagen, als auch an natürlichen Quellen; Bilanzierung und Abschätzung der Klimawirksamkeit von Kohlenwasserstoffemissionen aus natürlichen Quellen und aus Altbohrungen.
- Exploration von nutzbaren Süßwasservorkommen im Meeresboden; Entwicklung von Detektionsmethoden und von Klassifizierungskriterien für die Nutzungsfähigkeit der Vorkommen.
- Erforschung der Verhaltensbiologie von Meerestieren, sowohl als Grundlage für eine erfolgreiche Zucht in Aquakulturen als auch für die Entwicklung alternativer und nachhaltiger Fang-, Kultur- und Erntemethoden auf hoher See.
- Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf Populationen und deren Dynamiken sowie auf Gemeinschaften und Nahrungsnetze.
- Verbesserung des Zugangs zu Organismen aus extremen Lebensräumen wie heißen Tiefseequellen, Standorten mit extremen chemischen Umweltbedingungen und in besonders großen Tiefen sowie Forschung und Entwicklung zur Bergung und Kultivierung dieser Organismen unter in-situ-Bedingungen
- Untersuchungen zu Potenzialen und Standortbedingungen für erneuerbare Energien aus dem Meer sowie der grundlegenden Wechselwirkungen von technischen Anlagen mit der belebten und unbelebten marinen Umwelt.



2.5 OZEAN-GOVERNANCE UND GESELLSCHAFTLICHER WANDEL

Leitfragen:

- Wie leiten bestehende Regulierungs- und Anreizsysteme menschliches Verhalten im Umgang mit dem offenen Ozean, dessen Ressourcen und von ihm ausgehenden Gefahren?
- In welchem Verhältnis stehen de jure und de facto Governance-Praktiken im nachhaltigen Umgang mit dem Ozean? Inwiefern bestimmen Akteurspositionen oder die institutionellen Strukturen, in denen sie agieren, die Gestaltung von Entscheidungs- und Aushandlungsprozessen?
- Wie lassen sich Verteilungs- und Zielkonflikte zwischen Staaten, sozialen Gruppen, Regionen und Generationen vermeiden und gesellschaftlich akzeptierte Modelle zum Umgang mit Gewinnen und Verlusten im Umgang mit dem Meer, seinen Ressourcen und Gefahren entwickeln?

Gesellschaftliche Relevanz

Der Ozean leistet wichtige ökosystemare Dienstleistungen für die Menschen weltweit. Gleichzeitig übt eine stark anwachsende und sich entwickelnde Gesellschaft zunehmenden Druck auf den Ozean und seine Küsten aus. Vom Klimawandel, der Meeresverschmutzung, dem Verlust der biologischen Diversität bis hin zum Umgang mit Naturgefahren und der nachhaltigen Nutzung von Meeresressourcen gilt es, einen breiten und zunehmend komplexen Katalog von Anforderungen in der Ozean Governance abzubilden. Die Umgestaltung unserer Management- und Nutzungssysteme hin zu einer nachhaltigeren Mensch-Meer-Beziehung zählt zu den größten gesellschaftlichen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Ihre Bewältigung benötigt exzellente interdisziplinäre Wissenschaft zu den Prozessen selbst, aber auch zu den Handlungslogiken, Management- und Nutzungssystemen sowie den Regulierungs- und Anreizmechanismen, die die Folgen menschlichen Tuns auf das Meer und seine Ökosysteme maßgeblich bestimmen. Die dazu notwendige Forschung muss ökonomische, rechtswissenschaftliche, sozialwissenschaftliche, politikwissenschaftliche, raumanalytische, kulturvergleichende und andere relevante Disziplinen beinhalten, um die komplexen Problemlagen zu adressieren. Sie sollte im engen interdisziplinären Austausch mit der naturwissenschaftlichen Meeresforschung sowie im Dialog mit Politik und Gesellschaft stattfinden. Sie hat den Auftrag, beispielsweise existierende Regulierungs- und Anreizsysteme, Institutionen sowie Standardsetzungs- und Zertifizierungsverfahren, Wertesysteme und Geschmackskulturen in Bezug auf Effizienz,

Transformationspotenzial und soziale, ökonomische und ökologische Auswirkungen zu untersuchen, Verteilungs- und Zielkonflikte zu analysieren und Lösungsansätze für einen nachhaltigen Umgang mit dem Meer gemeinsam mit den Akteuren zu entwickeln. Unter Einbezug der jeweils betroffenen gesellschaftlichen Interessensgruppen ist das Ziel, Governance-Ansätze, Anreiz- und Regulierungssysteme zu erforschen und zu entwickeln, die einen nachhaltigen, die Möglichkeiten zukünftiger Generationen aufrechterhaltenden Umgang mit dem Meer und seinen Ressourcen sicherstellen. Die folgenden Themenfelder stellen den sozial- und kulturwissenschaftlichen Sachstand und Forschungsbedarf für eine Beantwortung der zentralen Herausforderungen im Umgang mit dem offenen Ozean dar.

Sachstand und Forschungsbedarf

Der Ozean als das größte Gemeinschaftsgut der Menschheit stellt uns vor besondere Herausforderungen kollektiven Handelns, die über internationale und staatliche Regulierungen gesteuert, aber auch durch marktwirtschaftliche Mechanismen sowie individuelle und kollektive Handlungsansätze mitbestimmt werden. Die hierzu erforderlichen wissenschaftlichen Grundlagen umfassen die empirische Untersuchung der Steuerungskapazitäten, institutionelle Strukturen, politische Rahmenbedingungen und Langzeitauswirkungen existierender staatlicher und marktwirtschaftlicher Regulierungs- und Anreizmechanismen sowie die Entwicklung, Einrichtung und Aufrechterhaltung von Steuerungsmechanismen, die den heutigen Herausforderungen bezüglich eines nachhaltigen Umgangs mit dem Meer und seinen Ressourcen gerecht werden. Des Weiteren müssen derartige Governance-Mechanismen in Bezug auf Effizienz sowie soziale, ökonomische und ökologische Auswirkungen empirisch überprüft und für eine Sicherstellung des nachhaltigen Ressourcenmanagements und des Erhalts der Meeresumwelt weiterentwickelt werden. In diesem Zusammenhang müssen auch Verteilungs- und Zielkonflikte und Aushandlungsprozesse untersucht und gesellschaftlich akzeptierte Modelle zum Umgang mit Gewinnen und Verlusten entwickelt werden. Neben den herkömmlichen, in der Wissenschaft selbst verankerten Forschungs- und Entwicklungsansätzen, umfasst dies Forschungsprozesse, die über die Einbindung staatlicher, zivilgesellschaftlicher und marktwirtschaftlicher Interessensvertreter Forschung für gesellschaftlichen Wandel an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis betreiben. Ansätze des Co-Managements zur Einbindung gesellschaftlich verankerter Wissensbestände und Expertisen, Public-Private-Partnerships aber auch freiwillige Selbstverpflichtungen gesellschaftlicher Akteure dienen hier als Ausgangspunkt zur Entwicklung

innovativer Ansätze zur Einbindung gesellschaftlicher Gruppen in die sukzessive Umgestaltung der vielfältigen Governancesysteme, die unseren Umgang mit dem Meer und seinen Ressourcen bestimmen.

Empirische sozial- und geisteswissenschaftliche Forschung zum Umgang mit marinen Ressourcen ermöglicht wissenschaftlich fundierte Politikgestaltung bei der Umsetzung der Agenda 2030 der Vereinten Nationen, bei beispielsweise der Entwicklung eines zukünftigen Regimes für den Umgang mit mineralischen Ressourcen der Tiefsee und bei der Verhandlung des Abkommens zum Schutz der biologischen Vielfalt in Gebieten jenseits nationaler Zuständigkeit. Im Zusammenspiel mit den natur- und ingenieurwissenschaftlichen meereskundlichen Disziplinen erweitern die marinen Sozial- und Kulturwissenschaften die wissenschaftliche Basis der Politikgestaltung. Über systematisch generiertes System-, Orientierungs- und Anwendungswissen in Bezug auf marine Ressourcennutzung wird so die Gestaltung gesellschaftlicher Veränderungsprozesse hin zu einem nachhaltigen und gesellschaftlich akzeptierten Umgang mit den Ressourcen und Gefahren aus dem offenen Ozean angestoßen und systematisch wissenschaftlich begleitet. Neben der eigentlichen empirischen Grundlagenforschung umfasst dies somit auch gesellschaftliche Transformationsprozesse anstoßende Begleitforschung, die Gestaltung transdisziplinärer Dialogplattformen und Austausch- und Kapazitätsentwicklungsprozesse auf individueller, organisatorischer und gesamtgesellschaftlicher Ebene.

In der Untersuchung von institutionellen Regulierungs- und Steuerungsmechanismen in Bezug auf den menschlichen Umgang mit dem Ozean, seinen Ressourcen und von ihm ausgehenden Gefahren bedingen sich staatliche, zivilgesellschaftliche und vom Markt getragene und implementierte Steuerungsmechanismen gegenseitig. Gleichzeitig unterscheiden sie sich aber in Bezug auf die ihnen zugrundeliegenden Zielvorstellungen und Rationalitäten, adressierte Steuerungs- und Akteursebenen, sie implementierende Interessensgruppen, Umsetzungsmechanismen und adressierte gesellschaftliche Gruppen. Um diesen gleichermaßen Rechnung zu tragen, geht der folgende Abschnitt zunächst auf staatliche und im Folgenden auf gesellschaftliche und vom Markt getragene Governance-Bemühungen in Bezug auf das Meer ein, bevor abschließend der gesellschaftliche Umgang mit Meeresveränderungen und vom Meer ausgehenden Gefahren adressiert wird.

Staat und Meer

Bis heute stellt das internationale Seerechtsübereinkommen (United Nations Convention of the Law of the Sea – UNCLOS) die rechtliche Grundlage und den politischen Rahmen für

jegliche staatliche Bemühungen, den Umgang mit dem Ozean und seinen Ressourcen nachhaltig zu regulieren, dar. Der territoriale Regulierungsansatz des Übereinkommens basiert, neben dem Grundprinzip der „Freiheit der Meere“, auf dem Konzept des Nationalstaates als Analyse- und Akteurseinheit. Innerhalb dieser, sowie in der Kooperation über nationalstaatliche Grenzen hinweg, wird dies weiter ergänzt durch eine sektorbezogene Institutionenarchitektur. Gleichzeitig weist bereits die Präambel des internationalen Seerechtsübereinkommens darauf hin, dass die Herausforderungen im Umgang mit dem Ozean nicht fragmentiert von einzelnen Ländern adressiert werden können, sondern eng miteinander verbunden sind und nur mittels grenzüberschreitender Kooperation angegangen werden können. Seit des Inkrafttretens des Seerechtsübereinkommens haben sich die Herausforderungen im Umgang mit dem Ozean weiter verschärft: Verschmutzungs- und Versauerungsgrade (Wirkungen multipler Stressoren) haben massiv zugenommen. Aber auch die technologischen Möglichkeiten des Menschen, Ressourcen aus dem Meer abzubauen (z. B. Tiefseebergbau, Meeresenergie, Meeres-Aquakultur), stellen heute mehr denn je, ernstzunehmende Gefahren für das Meer dar. Ökologischer Status und wachsendes Interesse an den Meeres-Ressourcen verlangen nach gezielt regulierendem Eingreifen der Politik. Dieses jedoch stellt aufgrund des hohen Aufwands im Überwachen nationalstaatlicher Gewässer, und insbesondere von Aktivitäten auf hoher See (Area Beyond National Jurisdiction – ABNJ), für viele Länder mit Kapazitätsproblemen nicht erfüllbare Herausforderungen dar. Hohe Informalitäts- und Illegalitätsgrade unterwandern formale Regulierungsbemühungen in zahlreichen Regionen, mit den entsprechenden Auswirkungen in benachbarte Küstenbereiche. Um diesen Entwicklungen wissenschaftlich fundiert entgegen zu wirken, bedarf es der Bearbeitung folgender Forschungsfelder:

Staatliche Anreiz- und Regulierungssysteme:

Zu welchem Umgang mit biologischen, mineralischen und energetischen Ressourcen verleiten sie? Welche rechtlichen Lücken müssen wie geschlossen werden, um bestehende Defizite im Seerechtsübereinkommen zu schließen? Wie können die bestehenden sektorbezogenen Regulierungs- und Managementsysteme stärker integriert werden und übergreifende ökosystem-basierte Ansätze zur Anwendung gebracht werden? Was sind die beobachtbaren und zu erwartenden ökologischen, ökonomischen und sozialen Auswirkungen?

Beispiel „Ozean als Senke“: Der Ozean dient zunehmend als Halde für Müll und Emissionen unserer nicht-nachhaltigen Lebens- und Wirtschaftsstile. Plastikmüll und andere Formen der Verschmutzung wie übermäßige

Nährstoffeinträge und Versauerung durch erhöhte CO₂-Konzentrationen spielen eine zunehmend schädigende Rolle im offenen Ozean. Um der Verschmutzung des Ozeans entgegenzuwirken, ist exzellente empirische Forschung zur gesellschaftlich eingebetteten Gestaltung von Müll- und Abwassersystemen bzw. Kreislaufwirtschaft notwendig. Dies bedingt beispielsweise Forschungsfragen in Bezug auf Verhaltensänderungen unserer Wegwerfmentalität sowie zum besseren Verständnis von Interdependenzen im Sinne der 2030 Agenda für nachhaltige Entwicklung und den darin enthaltenen globalen Nachhaltigkeitszielen („SDGs“), z. B. dem hohen Fleischkonsum, den damit einhergehenden Nitratbelastungen des Grund- und Oberflächenwassers und der Eutrophierung von Meeresgebieten.

Verknüpfung unterschiedlicher Governance-Ebenen – national, regional, global:

Für den Schutz und die nachhaltige Nutzung der Meere bedarf es effektiver Zusammenarbeit zwischen Ländern und Akteuren auf globaler Ebene sowie innerhalb von Meeresregionen und auf nationalstaatlicher Ebene. Neue Formen globaler Zusammenarbeit zwischen Staaten und zivilgesellschaftlichen Akteuren, beispielsweise zur Umsetzung der Agenda 2030, sowie effektivere sektorübergreifende Partnerschaften und Kooperationsmechanismen auf der Ebene von Meeresregionen und deren Verknüpfung mit nationalen Akteuren sind dafür notwendig und bedürfen grundlegender wissenschaftlicher Analyse.

Beispiel „Ozean als regionales Gemeinschaftsgut“:

Das derzeit bestehende Governance-System für die Meere bewegt sich im Spannungsfeld zwischen globalen Übereinkommen und nationalstaatlicher Umsetzung, ist überwiegend sektoral aufgestellt und auch von den räumlichen Bezugsebenen stark fragmentiert. Da weder Meeresverschmutzung noch Fischbestände sich an menschgemachte Grenzen halten, sind unilaterale Maßnahmen von Staaten wenig effektiv. Im Kontext komplexer Problemlagen, z. B. der Schutz der Artenvielfalt durch die Ausweisung von Schutzgebieten, stellt die regionale Ebene, z. B. bei der Entwicklung von kohärenten Schutzgebiets-Netzwerken, eine wichtige Skalenebene in der Meeres-Governance dar. In diesem Zusammenhang ergeben sich neue Forschungsfragen zum Verständnis von Umgang mit Zielkonflikten, effektiven und integrativen Kooperations-Mechanismen, Machtstrukturen und Handlungslogiken, Akteurs- und Struktur-dynamiken, aber auch zur Einbindung regionaler Ansätze in globale Regulierungssysteme und deren Rückkopplung auf die nationale und sub-nationale Ebene.

De jure/de facto Governance:

In welchem Verhältnis stehen de-jure-Governance-Strukturen bezüglich der Erkundung und Nutzung

mariner Ressourcen zur de facto festzustellenden Regulierungskapazität? Regulierungsinstrumente, die Verteilungskonflikten vorbeugen, müssen unter Einbindung aller Stakeholder entwickelt und auf gesellschaftliche Akzeptanz und Umsetzungsfähigkeit geprüft werden.

Beispiel „Ozean als Schutzgut“: Im Rahmen von UNCLOS wird über verbesserte, rechtswirksame Strukturen zum Schutz der Biodiversität auf Hoher See verhandelt. Bestehende rechtliche Schutzverpflichtungen und politische Agenden sind häufig schwer umzusetzen und lückenhaft, insbesondere für die Gebiete jenseits nationaler Hoheitsgrenzen. Als Basis für ein Um- und Neudenken der Meeresgovernance bedarf es hier der Analyse von Governanceprozessen, z. B. hinsichtlich des Zusammenwirkens unterschiedlicher Governance-Ebenen (lokal, national, regional und global) und der Interaktion unterschiedlicher Sektoren (Fischerei, Schifffahrt, Tiefseebergbau, Meeresschutz etc.). Auch bedarf es hierfür eines besseren Verständnisses unterschiedlicher politischer Kulturen und Handlungslogiken diverser Akteure und ihrer historischen Entwicklung sowie der Erprobung und kritischen Hinterfragung neuer Ansätze. In diesem Zusammenhang sind auch Zielkonflikte, z. B. zwischen Schutz und Nutzen, im Rahmen gesellschaftlicher und politischer Aushandlungsprozesse zu analysieren, und es ist zu verstehen, welche Möglichkeiten von Co-Design und Co-Implementation es gibt, um eine nachhaltige und gerechte Meeres-Governance und Ressourcennutzung zu etablieren.

Gesellschaft, Markt und Meer

Neben staatlichen und auf politischer Ebene verhandelter zwischenstaatlicher Bemühungen einen nachhaltigen Umgang mit dem Ozean und seinen Ressourcen sicherzustellen, prägen auch gesellschaftliche und vom Markt getragene und implementierte Anreiz- und Regulierungsmechanismen menschliches Verhalten in Bezug auf das Meer. Konsum- und Produktionsverhalten, Produktionsstandards und Zertifizierungsprozesse (z. B. in der Fischerei) gestalten Ressourcennutzung und -management in privatwirtschaftlich organisierten, multinationalen, regionalen und nationalen Handels- und Akteurs-Netzwerken. Zielkonflikte stehen hier nicht selten im Zentrum der Aushandlungsprozesse und bedürfen wissenschaftlich informierter Entscheidungshilfen. Die folgenden Forschungsbereiche benötigen somit konzentrierter Bearbeitung:

Akteur-Struktur-Dynamiken:

Welche Akteursgruppen, eingebettet in was für institutionelle Kontexte (Normen, Werte = Struktur) und ermöglicht durch den Zugang zu ökonomischen, kulturellen Ressourcen,

entfalten welche Handlungsmuster in Bezug auf marine Ressourcen? Empirische Untersuchung der Entscheidungsprozesse (inklusive der unterschiedlichen Verhandlungsmacht der Verhandlungspartner) die zur Ressourcennutzung führen.

Beispiel „Ozean als Wirtschaftsraum (Blue Economy)“: Unter Stichworten wie ‚Blue Economy‘ können global einflussreiche Diskurse und Trends zu einer Verstärkung nicht-nachhaltiger Praktiken im Umgang mit dem Meer beitragen. Um jedoch auf eine Umgestaltung unserer Meeressteuerungssysteme hin zu arbeiten und somit die Chancen einer nachhaltigen Nutzung der Meeres-Ressourcen für die Reduktion sozialer Ungleichheiten, nachhaltige Entwicklung im globalen Süden sicherzustellen und zu sozialer Kohäsion, statt Migration, beizutragen, bedarf es für die öffentliche Meinungsbildung für nachhaltiges Meeresmanagement eines besseren Verständnisses der diversen Narrative und Verhaltensweisen, die sich auf das Meer beziehen. Es ist somit notwendig, die einflussreiche Rolle von meeresbezogenen Diskursen auf verschiedenen Ebenen (unter Analyse der Narrative der Sender und der Rezipienten) empirisch auf ihre Auswirkungen im Gestalten rechtlicher Regelwerke und ihrer implizierten Normsetzungen zu untersuchen.

Access and Benefit Sharing:

Wie werden Gewinne/Verluste verteilt – zwischen unterschiedlichen Akteursgruppen, regional und Generationen übergreifend? Entwicklung von gesellschaftlich akzeptablen Konzepten des Access and Benefit Sharing, sowie möglicher Ausgleichszahlungen in verschiedenen mittelbar und unmittelbar betroffenen Gesellschaften und Kulturen weltweit.

Beispiel „Ozean als Rohstofflager“: Das Interesse an den marinen und mineralischen Ressourcen unseres Ozeans steigt. Hier gilt es, bereits vor dem Zuspitzen von Nutzungs- und Verteilungskonflikten mögliche Konfliktlinien, ihre Hintergründe, historische Pfadabhängigkeiten und Verstrickungen in andere Interessensbereiche zu untersuchen. Erst diese empirische Einsicht kann auch Grundlage für die Entwicklung effektiver integrierter Governance-Mechanismen und global angemessener Konzepte für faires Access and Benefit Sharing ermöglichen. Insbesondere bei noch nicht erprobten und riskanten Ressourcennutzungen wie dem Meeresbergbau ist es angesichts der zu erwartenden Umweltschäden und damit verbundenen Unsicherheiten unerlässlich, Ansätze einer umwelt-ökonomischen Gesamtrechnung von Nutzungen sowie politisch-gesellschaftliche wie ethisch-moralische Aspekte bezüglich der Risiken und Auswirkungen zu untersuchen, um nachhaltige und akzeptable Praktiken zu bestimmen

oder Leitlinien festzulegen. Auch stellt sich die Frage, wie die globale Governance von Gemeingütern, z. B. den Tiefseemineralien, transparent und partizipativ gestaltet werden kann und welche Rolle dabei Meta-Narrative auf der Ebene globaler Regierungen spielen.

Standardsetzungen & Zertifizierungsprozesse:

Weiterentwicklung von auf soziale, ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit achtende Zertifizierungsverfahren für marine Ressourcen verarbeitende Produktionsprozesse. Die bislang vor allem auf globaler Ebene existierenden Zertifizierungssysteme fokussieren ausschließlich auf ökologische Nachhaltigkeit (z. B. MSC) und sind zum Teil umstritten. Marine Märkte, z. B. die Fischerei oder der Tourismus, sind im Vergleich zu anderen Sektoren maximal globalisiert, kombiniert mit einer stark poly-politischen Struktur impliziert dies einen außergewöhnlich hohen Wettbewerbsdruck, der offensichtlich zu einer Abwärtsspirale in Bezug auf soziale Nachhaltigkeit führt.

Beispiel „Ozean als Quelle für Ernährungssicherheit“: Mit wachsender Weltbevölkerung nimmt auch das Interesse am Einsatz mariner Substanzen und Produkte in menschlichen Nahrungsmitteln zu. Unter dem Stichwort „Blue Revolution“ wird die Expansion von Aquakultur, auch auf der Hohen See, angestrebt. Die historische Erfahrung der „Green Revolution“ verdeutlicht jedoch die Notwendigkeit der Entwicklung ökologisch, gesellschaftlich und politisch tragbarer Konzepte für Arbeitsorganisation, Qualitätssicherung und Vermarktung. Für gesellschaftliche Nutzungsformen natürlich nachwachsender mariner Ressourcen wie Tang und Algen stehen umfangreiche Analysen noch aus, bilden sie doch einen wichtigen Bestandteil der marinen Bioökonomie.

Mitigation und Anpassung: Umgang mit

Meeresveränderungen und Gefahren aus dem Meer

Umfangreiche Veränderungsprozesse im Ozean selbst (z. B. Ozeanversauerung, Plastikmüll, die Wirkung multipler Stressoren), sowie neue Entwicklungen der marinen Ressourcennutzung (z. B. Meeresbergbau, Meeresenergie, Meeres-Aquakultur) und Gefährdungen wie Sturmfluten und Tsunamis stellen die Menschheit vor zunehmend schwer abschätzbare Risiken im Umgang mit dem Ozean. Die wissenschaftlich-informierte Entwicklung von Mitigations-, Anpassungs- und Managementmaßnahmen, von Frühwarnsystemen und gut ausgeprägter Ocean Literacy, also der gesellschaftlichen Fähigkeit den Ozean und die ihn treibenden Veränderungsprozesse verstehen zu können, sind somit zunehmend von direkter Bedeutung für gesellschaftliches Wohlbefinden. Die Erforschung der Ursachen und Auswirkungen gefährdender Ereignisse aus dem Meer bedarf somit der Begleitung durch gesellschaftlich

verankerte Mitigations-, Anpassungs- und Transformationsforschung. Existierende Warn- und Schutzsysteme sowie Handlungslogiken müssen in betroffenen Gesellschaften empirisch erhoben, auf institutionelle und sozio-kulturelle Schwachstellen untersucht und den Veränderungs- und Gefährdungsprozessen im Ozean entsprechend weiterentwickelt werden. Hierbei bedarf es folgender Forschungskomponenten in den wissenschaftlichen Grundlagenprogrammen:

Sozialer Wandel und Lebenssicherung in vom offenen Ozean lebenden Gemeinschaften:

Welche Bewältigungs- und Anpassungsstrategien und -praktiken entwickeln Küstengemeinschaften, deren Lebenssicherungssysteme vornehmlich vom offenen Ozean und seinen Ressourcen abhängen, der Zugang zu diesen jedoch immer begrenzter gegeben ist? Welche alternativen Lebenssicherungsstrategien entwickeln die Gemeinschaften und in welchem Verhältnis stehen die Veränderungen im offenen Ozean und gesellschaftliche Transformationsprozesse (inklusive Migrationsprozesse) entlang der Küste?

Beispiel „Veränderungen in den Fischbeständen und Verschiebungen des Artenvorkommens bei gleichzeitig zunehmendem Wettbewerb zwischen Hochsee- und Küstenfischerei“: Wie gehen Fischer mit überfischten Beständen und sich verschiebendem Artenvorkommen um? Wie können Governance-Systeme ökologische und ökonomische Interdependenzen zwischen lokalen bzw. nationalen Fischereien mit der Ressourcennutzung auf der Hohen See abbilden? Inwiefern verlangen diese Veränderungen nach Anpassungen von überregionalen Fischereiabkommen und fangquoten-basierten Regulierungsversuchen? Und wie reagieren die unterschiedlichen Märkte auf bisher wenig konsumierte Arten?

Entwicklung von Warn- und Schutzsystemen; Überbrückung der „letzten Meile“:

Existierende Frühwarnsysteme müssen auf Schwachstellen und Brüche in der Schutzsicherstellung untersucht werden. Gleichzeitig müssen besonders exponierten Bevölkerungsgruppen, sowie Vulnerabilitätsgrade, Siedlungsmuster und Sozialstrukturen potenziell betroffener Bevölkerungsgruppen unter Berücksichtigung ihrer zeitlichen und räumlichen Variabilität, die etwa durch Tourismus, (saisonale) Migration oder Pendeln beeinflusst werden, empirisch erhoben und eingespeist werden. Dies bedarf auch der Erhebung lokaler Formen der Gefahrenkommunikation, lokaler Wissenssysteme (inklusive katastrophenbezogener Erinnerungskulturen), mittels dieser über proof-of-concept Forschung und Entwicklung lokal institutionalisierter und entsprechend der Bildungssituationen und

Erfahrungswerte lokaler Bevölkerungen, eingebetteter Kommunikations- und Informationsabläufe die Effektivität der Warn- und Schutzsysteme durch zielgenaue Kommunikationswege und -methoden erhöht werden.

Beispiel „Tsunami Frühwarnung“: Ereignisse wie das Sumatra-Erdbeben 2004 oder das Tōhoku-Oki Erdbeben 2011, mit den entsprechend darauffolgenden Tsunamis, verdeutlichen die Notwendigkeit, institutionalisierte Kommunikationsabläufe innerhalb lokaler Gesellschaften empirisch-basiert, und mit Modellcharakter für andere Regionen, zu entwickeln, inklusive der Konzepte für ihre strukturelle Verankerung. Ziel ist es, mittels entsprechender sozial- und kulturwissenschaftlicher Forschung in die gesellschaftlichen Kommunikationssysteme vor Ort, die sogenannte „letzte Meile“ der existierenden und begrenzt leistungsfähigen Frühwarnsysteme hin zu den eigentlich Betroffenen, zeitnah – und somit rechtzeitig – zu überbrücken.

Ausblick

Die langfristige – im Sinne der Nachhaltigen Entwicklungsziele – Umgestaltung gesellschaftlichen Produktions- und Konsumverhaltens in Bezug auf den offenen Ozean und seiner Ressourcen ist nur mittels einer Weiterentwicklung der Instrumente, Anreiz- und Regulierungsmechanismen von Meeres-Governance möglich. Diese Weiterentwicklung der Institutionen und rechtlichen Rahmenwerke, die menschliches Verhalten in Bezug auf den offenen Ozean und seine Ressourcen leiten, sollte nicht ausschließlich von politischen Interessen oder vom Markt bestimmt werden, ohne wissenschaftliche Grundlage und gesellschaftliche Reflexion.

Stattdessen ist es notwendig, dass die Entwicklungen der institutionellen Rahmenwerke im Umgang mit dem offenen Ozean wissenschaftlich begleitet und substantiiert werden. Dies bedeutet die systematische Erhebung und Analyse sozialer Prozesse und Akteure, deren Werte, Rationalitäten und Verhaltensmuster sowie der Auswirkungen unterschiedlicher Institutionen, Normen und Regelwerke auf den Umgang mit dem offenen Ozean in verschiedenen gesellschaftlichen Kontexten und Kulturen. Es bedarf hierfür der qualitativen und quantitativen Erhebung menschlichen Verhaltens in Gemeinschaften sowie der institutionellen Anreiz- und Regulierungsmechanismen und Diskurse, die dieses Verhalten in Bezug auf das Meer in ausgewählten, besonders bevölkerungsstarken Regionen leiten. Aufgrund der hohen politischen Relevanz und Dynamik internationaler Meerespolitik ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse im engen Dialog mit politischen und gesellschaftlichen Akteuren zur Anwendung gebracht werden können und dadurch eine Transformation zur Nachhaltigkeit befördern.

Daraus leitet sich folgender Forschungs- und Entwicklungsbedarf ab:

- Systematische Untersuchung des Zusammenwirkens unterschiedlicher staatlicher und nicht-staatlicher Governance-Ebenen (lokal, national, regional und global) und der Interaktion unterschiedlicher Sektoren (Fischerei, Schifffahrt, Tiefseebergbau, Meeresschutz etc.); Identifikation von Akteursstrukturen und -dynamiken, die einer Kohärenz entgegenwirken können.
- Systematische Erhebung der Auswirkungen existierender staatlicher, überstaatlicher und marktbasierter Regulierungs- und Anreizsysteme, Diskurse und Formen öffentlicher Meinungsbildung auf gesellschaftliches Verhalten im Umgang mit dem Ozean als Nutz- und Schutzgut.
- Untersuchung existierender Governance-Mechanismen in Bezug auf die Verteilung von Gewinnen und Verlusten sowie Zielkonflikten im Umgang mit dem Meer, seinen Ressourcen und von ihm ausgehenden Gefahren; Identifikation möglicher, teilweise historisch bedingter, Konfliktlinien zwischen gesellschaftlichen Gruppierungen, Regionen und Generationen und Entwicklung von Access-and-Benefit-Sharing-Modellen, die einen nachhaltigen Umgang unter der Wahrung gesellschaftlichen Zusammenhalts ermöglichen.
- Analyse existierender umweltbezogener Standards und Zertifizierungsmodelle für Ressourcennutzung, sowie politischer, gesellschaftlicher und marktwirtschaftlicher Zielformulierungen im Bereich der nachhaltigen Nutzung mariner Ressourcen.

3. Forschungsumfeld

Die erfolgreiche und effiziente Umsetzung der Forschungsagenda für MARE:N ist nur möglich, wenn gleichzeitig auch das Forschungsumfeld hinreichend leistungsstark aufgestellt ist. Beobachtungen für den Ozean werden zum einen von flexiblen und multidisziplinär einsetzbaren Forschungsschiffen gewonnen. Weiterhin wächst die Anzahl der autonom operierenden Beobachtungsplattformen und die Leistungsfähigkeit und Vielzahl der verwendbaren Sensorik. Die Fernerkundung und Daten, die von Handelsschiffen und anderen Akteuren gewonnen werden, nehmen laufend zu. Ozean-Modellsysteme werden immer leistungsstärker und erlauben immer realistischere Simulationen des Ozeansystems. Beobachtungs- und Modellsysteme erzeugen viele Daten, die möglichst schnell, flexibel und auffindbar verwaltet werden müssen. Auch künstliche Intelligenz und Maschinenlernen eröffnen neue Möglichkeiten in der Ozeanforschung. Der Wissensaustausch mit der Gesellschaft nimmt an Bedeutung zu und innovative Formate und Möglichkeiten der Kommunikation erleichtern zielgerichteten Transfer von neuem Wissen, Innovationen und Handlungsoptionen für die Zukunft im Mensch-Ozean-Kontext. Aus- und Weiterbildung sichern die Kompetenz der jetzigen und zukünftigen Generation der Ozeanforscher in Deutschland, Europa und weltweit. Die folgenden Kapitel beleuchten die Möglichkeiten und Herausforderungen für das Forschungsumfeld entlang von fünf Themen.

3.1 BEOBACHTUNGSSYSTEME

Autonome und interaktiv betriebene, ortsfeste und mobile Messplattformen gewinnen bei der Erfassung physikalischer, biogeochemischer und biologischer Parameter immer mehr an Bedeutung. In Kombination mit der ständig modernisierten Forschungsschiff-Flotte können solche Plattformen entscheidend dazu beitragen, die für die sich ständig erweiternden wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Anforderungen notwendigen Beobachtungsdaten zu erfassen. In einem internationalen Kontext tragen technologische Fortschritte für die Ozeanbeobachtung entscheidend dazu bei, einen direkten, international sichtbaren Beitrag Deutschlands zu globalen Ozeanbeobachtungsinitiativen zu leisten (z. B. Global Ocean Observing System (GOOS), Partnership for Observation of the Global Oceans (POGO), G7 Action „Future of Seas and Oceans“).

Der rasante technologische Fortschritt ermöglicht die Entwicklung neuer Generationen von Plattformen, Sensoren, sowie Mess- und Probenahme-Systemen. Um das Potenzial neuer Entwicklungen zu nutzen, muss ein langfristiger, operationeller Betrieb und eine internationale

Vergleichbarkeit von Daten aus den verschiedensten Messsystemen gewährleistet werden. Insbesondere müssen zukünftige marine Beobachtungstechnologien den stetig wachsenden Ansprüchen an Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Standfestigkeit und immer höhere Datendichten Rechnung tragen. Daneben besteht, um eine hohe, zeitlich-räumliche Auflösung der Beobachtungen zu erreichen, ein großer Bedarf für kostengünstige und einfach zu betreibende Sensoren und Instrumente, die auch weniger industrialisierten Staaten eine regelmäßige Meeresbeobachtung erlauben.

Die Bereitstellung der Erkenntnisse aus vielfältigen Beobachtungen für gesellschaftliche Entscheidungsprozesse erfordert ferner die Entwicklung von Verfahren für die plattform- und disziplinübergreifende Integration neuer und bestehender Daten basierend auf adäquaten Datenaustausch-Protokollen, die die Erstellung aussagekräftiger Datenprodukte ermöglichen. In den folgenden Themenfeldern können diese Ziele exemplarisch und in enger Verzahnung mit den thematischen Säulen in MARE:N und den Anforderungen internationaler Initiativen erreicht werden.

Der gesamte Bereich der Beobachtungssysteme steht vor großen Herausforderungen durch die Notwendigkeit langfristiger, multidisziplinärer und international abgestimmter Beobachtungen auch schwer zugänglicher Bereiche des globalen Ozeans. Drängende wissenschaftliche und gesellschaftliche Erfordernisse verlangen nach der Entwicklung von Sensoren sowie autonomen Probennehmern und in-Situ-Analysesystemen und der Optimierung ihrer Einsatzstrategien. Primäres Ziel der Entwicklungen ist es, die Voraussetzungen für eine Erfassung der benötigten physikalischen, biogeochemischen und biologischen Variablen zu schaffen – etwa für die „Essential Ocean Variables“, die vom Global Ocean Observation System (GOOS) spezifiziert worden sind. Die in Deutschland übliche, enge Einbindung wissenschaftlicher Institutionen in Langzeituntersuchungen der Ozeane erleichtert eine fundierte Validierung neu entwickelter Systeme im Rahmen von Prozessstudien.

Die deutschen Institutionen besitzen das erforderliche Know-how für die Entwicklung von Sensoren, Probennehmern und in-situ-Analysesystemen. Ein Schwerpunkt ist hier auf Technologien zu legen, die biologische und biogeochemische Variablen erfassen können, wie sie für die Weiterentwicklung internationaler GOOS-Beobachtungsnetzwerke (z. B. Biogeochemical-Argo, OceanSITES, kommerzielle „Ships-of-Opportunity“) dringend gebraucht werden. Daneben müssen Verfahren für eine Überprüfung der Leistungsfähigkeit (Performanz) der Instrumente und der

generierten Daten entwickelt werden, wie man sie bisher v. a. aus der Luft- und Raumfahrt kennt. Eine entsprechende Prüfung (Qualifizierung) der marinen Messsysteme ist notwendig, um die Zuverlässigkeit und Datenqualität sicherzustellen, die zur Bewertung der durch Stressoren wie Klimawandel und den Einfluss von Offshore-Aktivitäten beeinflussten Meeresumwelt erforderlich ist.

Um den wissenschaftlichen Anforderungen an die Ozeanbeobachtung in Deutschland entsprechen zu können und eine technologische Vorreiterrolle in internationalen Beobachtungsnetzwerken einzunehmen, sollten sich die Entwicklungen auf besonders vielversprechende Bereiche und nationale Stärken fokussieren, z. B.:

- Biogeochemische und biologische Sensoren, v. a. auf Basis optischer, bildgebender und molekularer/genomischer Verfahren, sowie Probennehmer und in-Situ-Probenanalysesysteme.
- Zuverlässige „low-cost“ Sensoren für eine verbesserte räumliche Abdeckung.
- Sensor-Validierung im Rahmen von Prozessstudien, z. B. an etablierten Langzeit-Messstationen.

Zu einer Integration und Qualifizierung von Sensordaten innerhalb von Langzeituntersuchungen und zur Verwendung für optimal abgesicherter Datenprodukte sollten nachfolgende Strategien Berücksichtigung finden und bewertet werden:

- Leistungsfähige und generische Daten- und Metadatenformate sowie Übertragungsprotokolle im Einklang mit internationalen Initiativen und Standards (z. B. Open Geospatial Consortium, OGC).
- Sensor Selbstdiagnostik und Selbstreferenzierung unter Einbeziehung redundanter Parameterinformationen.
- Quantifizierung der Performanz und Langzeitstabilität von Sensorsystemen anhand spezifischer Indikatoren.

Weiterhin sollten Messsystementwicklungen eine effiziente Datenprozessierung mit einbeziehen. Neben einer raschen und operationellen Bereitstellung von Datenprodukten wird damit auch eine optimierte Integration der Messsysteme in stationäre und mobile Beobachtungsplattformen sowie eine Entwicklung vernetzter, modularer Observatorien-Komponenten gefördert:

- Echtzeit-Datenverarbeitung innerhalb der Messsysteme.

- Assimilierung für autonome, adaptive und event-gesteuerte in-Situ-Beobachtungsstrategien.

Weitreichende Veränderungen in den globalen marinen Systemen – z. B. Ozeanerwärmung, Ozeanversauerung, Sauerstoffabnahme, Eutrophierung, Mikroplastikbelastung, Rückgang von Meereseis – erfordern umfangreiche Beobachtungen auch des offenen, tiefen und schwer zugänglichen Ozeans. Eine Vielzahl von Plattformen stehen für Untersuchungen in der Deckschicht des Ozeans zur Verfügung (z. B. Satelliten, Oberflächen-Drifter, Continuous Plankton Recorder, „Ships-of-Opportunity“, Wellengleiter), Systeme zur kontinuierlichen Beobachtung im Ozeaninneren sind in der Regel komplexer und aufwendiger im Betrieb. Existierende, stationäre Plattformen wie Verankerungen und Freifallgeräte („Lander“) erfüllen diese Anforderungen teilweise. Diese Systeme können für zeitlich hochauflösende Messungen genutzt werden, die jedoch auf einen Ort beschränkt sind. In der oberen Wassersäule (< 1000–2000 m) etablieren sich alternativ auch mobile und driftende Plattformen, mit denen räumlich und zeitlich hochauflösende Beobachtungen, hauptsächlich physikalischer, aber in zunehmendem Maße auch chemischer und biologischer Variablen, über Monate oder sogar Jahre hinweg, möglich sind. Beispiele sind segelnde Gleiter oder Propeller getriebene autonome Fahrzeuge (AUVs), eisverankerte Messplattformen und profilierende Drifter (profiling floats). Die Entwicklung solcher mobilen Plattformen war nur möglich, durch den Zugriff auf die satellitenbasierte Navigations- und Kommunikationsinfrastruktur während des Verweilens an der Meeresoberfläche. Für mobile Systeme im tiefen oder eisbedeckten Ozean ist eine direkte Übertragung von Navigations-, Mess- und Steuerdaten über Satelliten bisher kaum möglich, was erhöhte Ansprüche an die Autonomie nach sich zieht und zu großen Positionsgenauigkeiten am Meeresboden führt.

Um mobile Plattformen für Gebiete mit keinem oder sehr limitiertem Infrastrukturzugang, wie z. B. unter Eis oder in größerer Tiefe, zu entwickeln und gleichzeitig das Anwendungsspektrum existierender Plattformen zu erweitern, müssen innovative Lösungen gefunden werden. Diese müssen einen uneingeschränkten Zugang zu den unterschiedlichen Ökosysteme erlauben – der unabhängig von äußeren Einflüssen (z. B. Wetter, Seegang, Eisbedeckung) ist – etwa durch langfristig ausgebrachte Plattformen oder Systeme, die schnell (z. B. bei Extremereignissen) mobilisiert werden können. Dazu können, neben Driftern mit verbesserter Positionsbestimmung, die passiv in einer definierten Tiefe treiben, auch Plattformen gehören, die aktiv navigieren und reagieren (z. B. autonome Unterwasser-Gleiter, Autonome Unterwasser-Fahrzeuge (AUV) für langfristige Einsätze und „Crawler“, für Langzeit-Beobachtungen

und wiederholte Probenahmen am Tiefsee-Meeresboden. Die Integration der verschiedenen Systeme erfordert die Entwicklung komplementärer Vernetzungsstrategien und eröffnet neue Möglichkeiten zur Entwicklung vernetzter Navigations- und Kommunikationslösungen für heterogene, modulare, und hochspezialisierte Plattformen.

Die Realisierung dieser neuen Generation vernetzter Plattformen muss die besonderen Voraussetzungen für eine Anwendung in schlecht zugänglichen und tiefen Gebieten des offenen Ozeans berücksichtigen:

- Mobilität und Vernetzbarkeit.
- Robustheit und Zuverlässigkeit.
- Präzise und langfristige Unterwasser-Navigation ohne direkten Satellitenzugang.
- Online-Zugang für interaktive Gestaltung der Missionen und die Durchführung von Experimenten.
- Energieeffizienz, in-Situ-Energieübertragung (z. B. Dockingstationen), und die Erschließung alternativer Energiequellen für langfristigen Betrieb und große Reichweite.

Die Entwicklung und der Einsatz neuer, integrierter Systeme muss eine komplementäre und zielorientierte Optimierung von Einsatzstrategien beinhalten. Dazu gehört eine enge Verknüpfung von Beobachtungen mit neuen, autonomen Beobachtungsplattformen mit denen bestehender Komponenten wie z. B. Forschungsschiffen. Dabei sind alle verfügbaren Informationen zu berücksichtigen, etwa zu den Stärken der einzelnen Systeme und zur Aussagekraft der jeweiligen Beobachtungen – in ständiger Abstimmung mit den Erkenntnissen aus den Meeres- und Ingenieurwissenschaften und im Austausch mit internationalen Ozeanbeobachtungsinitiativen. Dazu gibt es einen schnellwachsen Bedarf an der Simulation von existierenden und zukünftigen Beobachtungssystemen im Kontext von Ozeansystemmodellen. Dadurch lassen sich wichtige Informationen über mögliche Effizienzsteigerungen durch kluge Kombination aller Beobachtungssysteme simulieren und Aussagen über optimalere Beobachtungssysteme der Zukunft treffen. Dafür bedarf es:

- Modell-basierter Analyse und Simulationssysteme für jedes Beobachtungsnetzwerk.
- Expertenrunden für die optimale Weiterentwicklung der globalen Beobachtungssysteme.

- Etablieren von „Best-Practice-Standards“ in der Erfassung, Kalibrierung, Verbreitung und Vernetzung der Daten-systeme.

Satellitengestützte Fernerkundung ist in der letzten Dekade signifikant ausgebaut worden. Wir verfügen in Europa mit dem Copernicus-System ergänzt durch wissenschaftliche Missionen der DLR, ESA und anderen Raumfahrtagenturen über ein enorm leistungsfähiges und auf Langezeitbedarfe ausgerichtetes System. Neu dazu kommen Möglichkeiten, mit Drohnen und Kleinflugzeugen auch ozeanische Forschung zu unterstützen. Die Rolle von Kleinstsatelliten und hochfliegenden Beobachtungsplattformen wird sehr wahrscheinlich in der Zukunft auch für die Ozeanforschung zunehmen.

3.2 MODELLSYSTEME

Ozean-System-Modelle haben sich zu einer wichtigen nicht mehr wegzudenkenden Basis für die Ozeanforschung und Klimaforschung entwickelt. Wegen der Breite der Fragestellungen im Bereich der Disziplinen (Physik, Chemie, Ökologie und Geologie) aber auch Raumskalen (Global, Ozeanbeckenskala, Randmeere) und Zeitskalen (Stunden, Jahre, Dekaden und Jahrhunderte) wird eine Hierarchie von unterschiedlichen Modellsystemen benötigt. Ozean-System-Modelle sind in unterschiedlicher Weise mit Modellen der Atmosphäre (als Klimamodell), des marinen Ökosystems bis hin zum Fisch, im Küstenbereich mit aktiver Morphologie und Landmodellen oder dem Meeresboden gekoppelt. Andere Varianten erlauben das explizite Einbeziehen („Assimilieren“) von Beobachtungsdaten mit dem Ziel einer verbesserten Simulation des realen Ozeans („ocean state estimation“). Ergebnisse werden für eine breite Palette an wissenschaftlichen Studien, aber auch für die Initialisierung von Klimavorhersagen bzw. operationellen Ozeanvorhersagen eingesetzt. Weiterhin werden Ozeanmodelle auch benutzt, um die Verdriftung von Partikeln oder Schadstoffen im Ozean zu simulieren („tracer advection“).

Ozeanzirkulationsmodelle, sogenannte „Ocean General Circulation Models“ (OGCM), die inzwischen üblicherweise mit Meereismodellen gekoppelt sind, fokussieren dabei auf die Ozeandynamik mit vorgegebener Anfangsschichtung und Atmosphärenantrieb aus Beobachtungen oder Reanalyseprodukten. Solche Modellsysteme ermöglichen unter oft hoher räumlicher Auflösung realitätsnahe Simulationen der vergangenen Dekaden, die direkt mit Beobachtungen verglichen werden können. Diese Simulationen sind fundamental wichtig für die Erzeugung von Prozessverständnis und werden dadurch auch zur Interpretation

von beobachteten Signalen eingesetzt. Sie dienen weiterhin zum Design von optimierten Beobachtungssystemen.

Ozeanzirkulationsmodelle die mit biogeochemischen Modulen gekoppelt sind, erlauben es auch, biogeochemische Aspekte des Ozeans unter sich ändernden Umweltbedingungen zu simulieren, zum Beispiel Sauerstoff, Kohlenstoff oder vereinfachte marine Ökosysteme bis hin zur Verteilung von Fischpopulationen.

In gekoppelten Klima- und Erdsystemmodellen (Atmosphäre, Ozean, Land, Biogeochemie) können entsprechende Simulationen auf längere Zeiträume und andere klimatische Randbedingungen erweitert werden, sowohl für die paläo-klimatologische Ozean-Vergangenheit als auch für die Zukunft des ganzen Klimasystems. Diese Ausbaustufen hin zu vollständigen Erdsystemmodellen beinhalten neben der Physik eine Vielzahl biologischer und biogeochemischer Komponenten und globaler Kreisläufe, einschließlich deren Wechselwirkung mit dem Meeresboden und der Atmosphäre. Diese Erdsystemmodelle werden benutzt, um Szenarienrechnungen (etwa veränderte Erdbahnparameter und atmosphärische Konzentrationen von Treibhausgasen) zu ermöglichen. Sie befassen sich beispielsweise mit den Konsequenzen von anthropogenen Eingriffen und können Klimaveränderungen, aber auch die Folgen von Überdüngung oder massiver Übernutzung untersuchen.

Eine hohe Auflösung auf globaler Skala ist oft zu rechenzeitintensiv. Es werden daher regionale Verfeinerungen eingesetzt, entweder durch Nesten von Modellen mit hoher Auflösung in globale Modelle gröberer Auflösung oder durch die lokale Anpassung der Gittermaschenweite mit Hilfe unstrukturierter Gitter. Eine wichtige Herausforderung bleibt die Erweiterung multiskaliger Kapazitäten der Modelle (variable Gitter- und Zeitschrittweiten), um die Forschung zwischen dem offenen Ozean, den Randmeeren auf räumlich unterschiedlichen sowie zwischen verschiedenen Zeitskalen von Stunden bis zu Dekaden und Jahrhunderten abzubilden. Für wissenschaftliche Fragen nach längeren Zeitskalen oder des anthropogenen Klimawandels ist es oft von Vorteil, Erdsystemmodelle zu verwenden.

Vor allem die Bereiche der Ökosystem- und Schadstoffmodellierung haben immer noch deutliche Defizite bei den Prozessbeschreibungen und der Interaktion der Modellkomponenten untereinander. Auch der Austausch zwischen Sediment und Wassersäule sowie die Kopplung mit Meereis, Eisschelf und Landmodellen bleiben durch Kenntnislücken der zugrundeliegenden Prozesse mit großen Unsicherheiten behaftet. Fortschritte in der

Modellierung erfordern auch die Weiterentwicklung von Methoden zur Modellbewertung sowie einer verbesserten Quantifizierung und Kommunikation von Modellunsicherheiten. Für die gesamte Breite der Ozeanforschung werden flexible Modellsysteme benötigt, die speziell für unterschiedliche Fragen aufgesetzt und optimiert werden können. Die Weiterentwicklung von numerischen Modellen unter dem Dach von MARE:N kann dabei vom Prozess zur Entwicklung einer Nationalen Strategie zur Erdsystemmodellierung profitieren.

Trotz aller Anstrengungen zur Entwicklung effektiverer Modellarchitekturen und Algorithmen sind die benötigten Rechnerkapazitäten von Ozean- und Erdsystemmodellen enorm. Es werden dazu nationale und europäische Lösungen gebraucht, die Zugang zu Höchstleistungsrechnern ermöglichen. Dabei ist es entscheidend, die verwendeten Modelle fit zu machen für die Verwendung von massiv parallelen Rechnerstrukturen. Auch die Speicherung der großvolumigen Modellergebnisse und deren Analysen stellen neue Herausforderungen an die Datenverfügbarkeit und modernste cloud-basierte Auswertesoftware. Neue Methoden der künstlichen Intelligenz und das Maschinlernen von Algorithmen sind auch für die Ozean-System-Modellierung wichtige Zukunftsbereiche.

3.3 DATENSYSTEME

Daten- und Informationsinfrastrukturen werden in der Zukunft immer wichtiger und müssen eine zunehmend komplexe Landschaft in der Forschung und Gesellschaft bedienen. Bereits bestehende Strukturen gilt es auszubauen und im Sinne einer nationalen Daten- und Kommunikationsinfrastruktur langfristig und nachhaltig abzusichern. Dadurch soll auch erreicht werden, dass diese Daten langfristig für kommende gesellschaftliche, politische und wirtschaftliche Aufgaben zur Verfügung stehen. Gleichzeitig soll die Forschungsförderung sowohl die europäische Datenpolitik als auch die Open-Data-Politik weiter durchsetzen. Die folgenden Themenfelder sind sehr gut geeignet, um diese Ziele exemplarisch und in enger Verzahnung mit den thematischen Säulen in MARE:N auf eine neue Ebene zu heben.

Im Bereich Datensystem gibt es eine Reihe von Handlungsfelder, die im Folgenden exemplarisch erläutert werden. Grundsätzlich gilt es, Regeln der „Best-Practice-Standards“ zu etablieren und diese auch international zu befördern (z. B. www.oceanbestpractices.net). Während die Datensysteme der satelliten-gestützten Ozeanforschung und der operationellen Ozeandienste recht gut organisiert sind (z. B. CMEMS, EmodNet) sind insbesondere die

Mult-Parameter-in-situ-Systeme noch nicht so gut organisiert.

System- bzw. sensornahe Datenströme schiffsbasierter Messsysteme, Observatorien und autonomer Plattformen sollen vereinheitlicht werden. Voraussetzung ist die Erfassung und eindeutige Kennzeichnung (persistent identifier) von Messsystemen und Sensoren in einem nationalem Sensor-Katalog und die einheitliche Integration und Speicherung von Echtzeit(roh)daten in einem geeigneten Repository. Zur Qualitätswahrung soll der Aufbau von gemeinsamen Protokollen und Diensten zur Qualitätskontrolle von Echtzeitdaten erfolgen. Ein einheitlicher, maschinenlesbarer Zugang zu Echtzeitdaten soll mit Hilfe standardkonformer Schnittstellen ermöglicht werden. Daneben sollen Konzepte zur Überführung von qualitätskontrollierten Echtzeitdaten in die Langzeitarchivierung entwickelt werden.

Strategien zum ressourcenschonenden, nachhaltigen Umgang mit Energie und Netzwerkkapazitäten für das Big Data Management sind erforderlich. Dazu sollen skalierbare und portierbare Datenanalyseysteme entwickelt werden und am Ort der Datenhaltung bereitgestellt werden. Neue Verfahren zur Datenanalyse wie etwa Machine Learning oder Big-Data-Ansätze sollen als Serviceleistung der Wissenschaftsinfrastrukturen angeboten werden. Benötigt wird die direkte Kopplung von Datenanalyseumgebungen (insbesondere interaktive Notebooks wie Jupyter und virtuelle Forschungsumgebungen im weiten Sinne) mit verteilten Datenrepositorien, insbesondere Repositorien, welche Primärdaten aus Messsystemen publizieren und Repositorien, die Sekundärdaten aus der Datenanalyse akquirieren, kuratieren und publizieren, wie z. B. PANGAEA oder EMODNET. Beides, sowohl die aus der Analyse gewonnenen Informationen (die Bedeutung von Daten) als auch die dazugehörige Provenance Information sollen maschinenlesbar zur Verfügung gestellt werden. Insgesamt sollen so neue wissenschaftliche Ansätze der Küsten-, Meeres- und Polarforschung für Nachhaltigkeit wie z. B. etwa der systematischen Erfassung anthropogener Umwelteinflüsse (z. B. Plastik) optimal unterstützt werden.

Für interdisziplinäre Datenanalyse ist die Bereitstellung fachübergreifender Ontologie-Dienste (Biodiversität, Omics, Umwelt etc.) zur Harmonisierung verwendeter Terminologien nötig. Sie sollen die automatisierte Erkennung und Ontologiezuordnung wissenschaftlichen Wortguts aus vorhandenen Metadatenbeständen von marinen Fachrepositorien erleichtern. Ziel ist die semantische Verknüpfung interdisziplinärer, heterogener Informationsquellen (Daten-, Proben-, Sensor- und Publikationskataloge) in einem gemeinsamen Datenportal mit semantischen Suchmöglichkeiten.

Zur langfristigen Sicherung mariner Daten gemäß der FAIR-Prinzipien soll der Ausbau eines vertrauenswürdigen, zertifizierten Langzeitarchivs (z. B. PANGAEA) weitergeführt werden. Zur institutsübergreifenden Nutzung dieses Archivs müssen Rahmenbedingungen wie Dienstleistungsvereinbarungen oder Memorandum of Understanding (MoUs) bereitgestellt werden. Für eine einheitliche Pflege von marinen Daten soll ein Trainings- und Ausbildungskonzept für marine Datenkuratoren innerhalb einer „Qualitätsinitiative marine Datenkuration“ entwickelt werden. Bislang nicht archivierte oder unstrukturiert vorliegende Daten (sogenannte „Legacy Daten“) sollen mobilisiert und in strukturierter Form ins Langzeitarchiv überführt werden. Daneben soll eine Strategie zur Anbindung lokaler, institutioneller Datenbestände bzw. Repositorien an das zentrale Langzeitarchiv erarbeitet und umgesetzt werden.

Es entstehen neue offene Datenarchitekturen für die Verteilung von Daten und Informationen in sogenannten „Open Data Science Clouds“. Pilotsysteme entstehen gerade für die Daten, die durch die Europäischen Copernicus-Dienste entstehen. Es wird ein rasanter Zuwachs in diesem Bereich erwartet und die Deutsche Meeresforschung sollte zu dem Thema eine nationale Strategie, Kapazitäten und Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen fördern.

Zwei disziplinspezifische Beispiele sind:

Der Zugang zu Bathymetriedaten soll vereinfacht werden. Dazu sollen Speicherkapazitäten für eine einheitliche Bathymetrie-rohdatenablage geschaffen werden. Eine Zentralstelle zur Kuration und Aufbereitung von Bathymetriedaten soll für eine einheitliche Pflege dieser Daten sorgen. Zur Unterstützung sollen zentrale Dienste zur Prozessierung und Qualitätskontrolle von Bathymetriedaten bereitgestellt werden. Als Ergebnis sollen der marinen Forschung vorprozessierte, hochauflösende Meeresboden-Geländemodelle in gängigen Rasterdatenformaten bereitgestellt werden.

Marine seismische Daten liefern zentrale Informationen über den Untergrund des Meeresbodens. Die rasche Entwicklung der Mess- und Registriertechnik erhöht die akquirierten Datenvolumen immens. Um die Daten nachhaltig zu archivieren und sie z. B. für spätere Wiederaufbereitung vorzuhalten, soll ein einheitliches Datenformat für die seismischen Daten und die dazugehörigen Metadaten erstellt werden. Damit wird die Voraussetzung geschaffen, moderne Bearbeitungsmethoden auf ältere Daten anzuwenden, wodurch sich kostenaufwändige Neuvermessungen vermeiden lassen. Bestehende Datenportale bzw. -archive sollten in einem ersten Schritt überprüft werden, ob sie den gemeinsamen, noch zu erarbeitenden

Formaten genügen. In einem weiteren Schritt können die bereits angepassten Datenarchive vernetzt werden und einen Zugriff auf die Daten über eine gemeinsame web-basierte Datenbank ermöglichen.

3.4 WISSENSAUSTAUSCH

Der aktive Wissensaustausch zwischen wissenschaftlicher Meeresforschung und Akteuren aus Gesellschaft, Politik und Wirtschaft ist essenziell, um gemeinsam gesellschaftlich und wissenschaftlich relevante Forschung zu entwerfen, durchzuführen und identifizierte Handlungsmaßnahmen umzusetzen. Diese wissenschaftliche und gesellschaftliche Wissensgrundlage ist nötig für eine nachhaltige Nutzung und Sicherung ökosystemarer Leistungen des Ozeans. Inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit und die Integration unterschiedlicher Wissensbestände sind hier wichtige Bausteine, damit meereswissenschaftliche Forschung zu einer gesellschaftlichen Transformation beitragen kann.

Das Programm „MARE:N“ beinhaltet sowohl exzellente disziplinäre Forschung als auch interdisziplinäre Forschungsansätze. Für einige Themen ist darüber hinaus ein transdisziplinärer Forschungsansatz wichtig, bei dem nicht-akademische Akteure in die Entwicklung von Forschungsfragen und in die Wissensgenerierung einbezogen werden müssen, um gemeinsam eine Forschungsagenda für die Erforschung, Kommunikation und Umsetzung von Lösungswegen zur nachhaltigen Ozeannutzung zu entwickeln. Durch wechselseitigen Austausch von Wissenschaft, Politik und Zivilgesellschaft wird neues Wissen generiert, das dann gesellschaftliches Engagement und Transformation bewirken kann, oder es werden neue Forschungsfragen generiert. Das Ziel ist es, langfristigen und umfassenden transdisziplinären Austausch als Grundlage wissenschaftsbasierter Empfehlungen, Entscheidungen und Handlungen zu ermöglichen.

Daraus ergeben sich Bedarfe in unterschiedlichen Bereichen des Wissensaustausches von einseitiger und asymmetrischer Kommunikation, hin zu Dialog und Ko-Produktion. Die Formen des Wissenstransfers unterscheiden sich je nach Zielgruppe. Damit Ideen zu Innovationen, Talente zu Leistungsträgern und Forschungserkenntnisse zu politischen Handlungsempfehlungen werden, braucht es allerdings in jedem Fall eine wirkungsvolle und zielgerichtete Wissenschaftskommunikation.

Im Wissenschaftsjahr (2016*17) „Meere und Ozeane“ entwickelte die deutsche Meeresforschung eindrucksvolle Formate und Initiativen mit dem Ziel, die Themen der

Meeresforschung in der breiten Gesellschaft bekannter zu machen. Von Ausstellungen, Vortragsreihen und anderen medialen Angeboten haben viele unterschiedliche Zielgruppen profitiert. Auch Formate wie der World Ocean Review leisten Beiträge, um die Gesellschaft über aktuelle Fragen der Meeresforschung und deren Nutzen für die Gesellschaft zu informieren. Besondere Formate sind auch digitale Bildungsformate wie Massive Open Online Courses (MOOC) und digitale Poster. Das Feld der Wissenschaftskommunikation hat sich in den vergangenen Jahren zu einem eigenen Forschungsfeld entwickelt, in dem nicht nur die Theorie der Kommunikation und damit die Grundlage erfolgreichen Wissensaustausches untersucht wird, sondern auch neue Formate entwickelt werden. Die Kommunikation der im Rahmen von MARE:N geförderten Forschungsprojekte und -ergebnisse erfolgt in Einklang mit neuesten Ergebnissen aus der Wissenschaftskommunikationsforschung.

Neben der klassischen Wissenschaftskommunikation bieten Citizen Science Projekte die Möglichkeit, die Gesellschaft aktiv in die Meeresforschung einzubinden. Dazu gab es in den letzten Jahren sehr erfolgreiche Beispiele wie den Ocean Sampling Day.

In transdisziplinären Forschungsansätzen wird die Forschungsfrage gemeinsam von Forschenden und nicht-akademischen Beteiligten formuliert, und die gemeinsame Wissensgenerierung ist das zentrale Ziel. Produkte sind sowohl wissenschaftliche Veröffentlichungen als auch praktische Ergebnisse. In einem solchen Ansatz werden neben der Forschung, auch die Kapazitätsentwicklung und die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen in einer koordinierten Weise realisiert werden können. Entsprechende Forschung integriert verschiedene natur-, gesellschafts- und sozialwissenschaftliche Disziplinen und muss eine entsprechende Breite bei gleichzeitiger thematischer und lokaler Fokussierung sicherstellen, um umsetzbar zu sein. Ein Format zur Umsetzung könnte eine Dialogplattform sein, die Akteure zu einem bestimmten Thema zusammenbringt und konkrete Projektentwürfe als Ergebnis hat.

Reallabore bringen verschiedene Disziplinen der Forschung mit Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft (wie NGOs) zusammen. In Reallaboren können auch für meereswissenschaftliche Themen neue Lösungsansätze exploriert und deren Potenzial für ein späteres „upscaling“ bewertet werden. Es handelt sich dabei um eine neue Form der Kooperation zwischen Wissenschaft und Zivilgesellschaft, bei der das gegenseitige Lernen in einem experimentellen Umfeld im Vordergrund steht. Reallabore bieten ein einzigartiges Umfeld, in dem

Wissenschaft in enger Zusammenarbeit mit der Gesellschaft Experimente definiert, diese erforscht und auch umsetzt. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erforschen reale Veränderungsprozesse, dabei sind sowohl Stakeholder als auch Entscheidungsträger von Anfang an und während des gesamten Projektprozesses involviert. Entscheidungen darüber, was getestet und experimentiert wird, werden gemeinsam getroffen. Wissenschaftliche Analyse und soziales Handeln sollten eng koordiniert bleiben. Forschungsfragen können z. B. einem Umweltverband, einer Gemeinde, einer Fischereigenossenschaft oder einen Technologieunternehmen entstammen und genutzt werden. Ziel der Reallabore ist es, in einem offenen Prozess gemeinsames Wissen zu schaffen, das in der Praxis etwas bewirkt.

Nachhaltiges Ressourcenmanagement der Ozeane kann nur durch umfassende Kapazitätsentwicklung vor Ort erreicht werden. Unterstützung beim Aufbau der wissenschaftlichen Ausbildung und Infrastruktur erfolgt dabei über Forschungsk Kooperationen oder Ausbildungsprogramme (siehe Kapitel 4.5). Neben der wissenschaftlichen Ausbildung sollen auch nicht-wissenschaftliche Karrierepfade und entsprechende Ausbildungsangebote im Wissensaustausch etabliert werden.

Viele der MARE:N-Forschungsthemen sind international eingebettet und auch die deutschen Forschungsergebnisse finden Eingang in internationale Bewertungen, zum Beispiel in den Bericht des Weltklimarates (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), in die Biodiversitäts-Assessments der Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) und auch in den „Regular Process for Global Reporting and Assessment of the State of the Marine Environment, including Socioeconomic Aspects“ der Vereinten Nationen. Zu bestimmten Themen ist es sinnvoll auch deutschsprachige thematische Policy briefs – zu erstellen, die Politikern gezielt Handlungsempfehlungen geben. Diese Empfehlungen für Entscheidungsträger wurden der Zielgruppe in den vergangenen Jahren zum Beispiel im Rahmen von parlamentarischen Abenden in Berlin vorgestellt.

Damit Politik und Zivilgesellschaft auf aktuelle Umwelt- oder Sozialproblematiken aufmerksam gemacht werden und wiederum wissenschaftsbasierte Entscheidungen treffen können und die Möglichkeit erhalten, die Forschung zielgerichtet zu unterstützen, bedarf es Formaten zum direkten Informationsaustausch. Hier eignen sich Diskussionsforen, in denen Wissen und Erfordernisse ausgetauscht, Empfehlungen ausgesprochen und Forschungsthemen entwickelt und kommuniziert werden. So geschieht es zum Beispiel bei den „Potsdam Ocean Governance Workshops“, bei denen konkrete Empfehlungen zu relevanten

Themen der Ozeanforschung mit Entscheidungsträgern, Wissenschaftlerinnen, Wissenschaftlern und zivilgesellschaftlichen Akteuren gemeinsam erarbeitet werden und so in politisches Agendasetting einfließen. Diskussionsforen wie „Leibniz in der Bremischen Bürgerschaft“ ermöglichen die direkte Kommunikation zwischen Wissenschaft und lokaler Politik. Auch meereswissenschaftliche Themen mit hoher Aktualität werden dort jährlich platziert und so ins Bewusstsein von politischen Entscheidungsträgern gebracht.

Der Transfer von Forschungsergebnissen in die Wirtschaft ist in verschiedenen Disziplinen der Meereswissenschaften denkbar. Einige Bereiche der Ozeanforschung benötigen innovative Technologien, die in Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen und Unternehmen entwickelt werden. Biotechnologische und medizinische Forschung untersucht zum Beispiel sowohl die Nutzung von Meeresalgen in Kosmetik oder als Wirkstoff, als auch Möglichkeiten nachhaltiger Kultivierung und involviert dabei wissenschaftliche und wirtschaftliche Akteure sowohl aus Deutschland als auch aus Erzeugerländern. Diese Aktivitäten bieten die Möglichkeit, durch Ausgründungen neue kommerzielle Produkte zu entwickeln oder gemeinsam mit der Industrie bestehende Produkte zu verbessern. Ausgründungen und Firmenkooperationen leisten bereits wichtige Beiträge zur nachhaltigen Nutzung der Ozeane, indem die lokale Wirtschaft gestärkt und umweltfreundlich gestaltet wird.

3.5 NACHWUCHSFÖRDERUNG UND INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

In Anlehnung an Diskussionen auf Ebene der Vereinten Nationen zur Kapazitätsentwicklung im internationalen Kontext (UNDP spricht von „the process through which individuals, organisations and societies obtain, strengthen and maintain their capabilities to set and achieve their own development objectives over time“ (UNDP 2011: 3)) füllt auch die deutsche Meeresforschung diesen Bereich über gezielte Maßnahmen auf individueller, organisatorischer und gesellschaftlicher Ebene. Hierbei liegt der Fokus entsprechend des Mandats der entsprechenden Einrichtungen im Bereich der Spitzenforschung sowie Bildung und Ausbildung auf tertiärer Ebene. Diese Nachwuchsförderung auf Ebene von Individuen wird weiter durch die Zusammenarbeit mit und den Ausbau der Kapazitäten von Organisationen der internationalen Meeresforschung, von Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft begleitet. In diesem Zusammenspiel der Maßnahmen werden

individuelle, organisatorische und gesellschaftliche Kapazitäten für einen wissenschaftlich-basierten und nachhaltigen Umgang mit dem offenen Ozean aufgebaut. Wissenschaftliche Nachwuchsförderung auf Ebene von Individuen und Gruppen steht hierbei im Vordergrund: Ziel ist es, langfristig die Leistungsfähigkeit der Ozeanforschung in Deutschland über die Ausbildung zukünftiger ozean-affiner Entscheidungsträger sicherzustellen und die Zusammenarbeit in und über Europa hinaus wissenschaftlich fundiert zu gestalten.

Für die Ozeanforschung auf international höchstem Niveau ist die Qualität der grundständigen und weiterführenden universitären Ausbildung von fundamentaler Bedeutung, verbunden mit daraus resultierenden attraktiven Karrierestrukturen und beruflichen Perspektiven. Um diese hohe Qualität zu gewährleisten, bietet eine enge Kooperation zwischen Universitäten, die den überwiegenden Anteil der Lehre übernehmen, und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, die durch ihre moderne Ausstattung ein forschungsorientiertes Studium ermöglichen, vielfältige Möglichkeiten. Praktische Erfahrungen im Forschungslabor, auf Forschungsstationen und Forschungsschiffen erhöhen sowohl die Attraktivität der Studiengänge als auch den Bezug zur später erwarteten eigenständigen Forschung. Fortschritte in der Ozeanforschung werden in zunehmendem Maße durch die Weiterentwicklung von Hochtechnologie in der Tiefseerobotik und -sensorik, durch modernste Laboranalytik (z. B. Spektrometern und Omics) und durch neueste Methoden der Datenanalytik, künstlicher Intelligenz und Algorithmen erzielt. Dazu kommen neue Herausforderungen durch zunehmend komplexe Ozeansystemmodelle und multidisziplinäre Ozeanbeobachtungssysteme im Ozean und durch Fernerkundung. Es ist eine besondere Aufgabe, diese Expertisen mit der klassischen Ausbildung in der naturwissenschaftlichen Ozeanforschung (Physik, Chemie, Biologie und Geologie) zu verschneiden. Auch der Aufbau von Expertisen in den Bereichen Ozean-Governance, Meerespolitik sowie gesellschaftliche und ökonomische Anreizsysteme im Umgang mit dem Meer wird insbesondere für die Entwicklung von Lösungsstrategien hin zu einer nachhaltigen Mensch-Ozean-Beziehung zunehmend wichtig. Dazu gibt es interessante Pilotprojekte auf dem Masterniveau zur Einrichtung von Nachhaltigkeitsprogrammen, die über die Fakultäten hinweg neue Ausbildungsprogramme schaffen. Ein wichtiger Aspekt ist dabei auch Englisch als Lehrsprache. Ozeanforschung ist international. Es gibt keine deutschen Fachzeitschriften mehr und alle Konferenzvorträge und Publikationen müssen in englischer Sprache verfasst werden. Weiterhin erhöhen englische Masterprogramme die Attraktivität der deutschen Ozeanforschungsstandorte für internationale Studenten.

Auf der Ebene der Doktorandenausbildung haben sich an mehreren Standorten der deutschen Meeresforschung Doktorandenschulen gebildet, die sich eine strukturierte Qualifizierungsphase auf dem Weg zur Promotion zum Ziel gesetzt haben. Kurse und Seminare aus dem breiten Bereich der Ozeanforschung werden angeboten, wodurch Möglichkeiten gegeben werden, fächerübergreifende Kompetenzen in den Bereichen Publikation, Vorträge, professionelle Verhandlungen, Verwaltung, Umgang mit Daten und Mitarbeitenden sowie internationale Vernetzung aufzubauen. Einige dieser Graduiertenschulen haben enge Kooperationen mit anderen Einrichtungen im europäischen Forschungsraum und/oder weltweit aufgebaut. Weiterhin hat Deutschland hier auch die Möglichkeit bei dem Aufbau von internationalen Kapazitäten sichtbare und effektive Erfolge durch Doktorandenausbildung zu erzielen. Die Durchführung von „floating universities“ bei Transittfahrten der Forschungsschiffe, Sommerschulen und MOOCs (Massive Open Online Course) helfen dabei, wesentlich die internationale Sichtbarkeit zu stärken.

Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses insbesondere nach der Promotion und in den ersten Jahren der eigenständigen Forschung muss verbessert werden. Zum einen geht es darum, Karrierewege aufzuzeigen und zu begleiten. Es geht um Hilfestellung bei dem Umgang mit Zeitverträgen, internationalen Karrieren bis hin zur Unterstützung auf dem Weg zu Leitungspositionen. Die Karriereförderung gilt es allgemein zu verbessern, insbesondere für Frauen, gesellschaftliche Randgruppen und internationale Gäste, die in Leitungspositionen in der Wissenschaft nach wie vor unterrepräsentiert sind. Einige Standorte haben integrative Postdoktorandennetzwerke in den Meereswissenschaften geschaffen. International gibt es das Netzwerk YESS (Young Earth System Scientists), und Nachwuchskonferenzen wie die YOUMARES geben der Nachwuchswissenschaft vielfältige Möglichkeiten sich zu engagieren und vernetzen.

Neben der Förderung wissenschaftlichen Nachwuchses ist des Weiteren die Ausbildung und Förderung nicht-wissenschaftlichen Nachwuchses im Bereich der Meeresforschung zu erwähnen. Die qualifizierte Betreuung der Forschungsinfrastrukturen, Observatorien, Labore und Bibliotheken, die Durchführung von Wissenschaftstauchgängen und Schiffsexpeditionen sind von basaler Bedeutung für den Forschungsprozess und die Sicherstellung ihrer qualitativ hochwertigen Durchführung. Die spezielle Natur der hier anfallenden Aufgaben verlangt auch hier nach gezieltem Aufbau hochqualifizierter nicht-wissenschaftlicher Nachwuchskräfte.

4. Beteiligte Autorinnen und Autoren



Teilnehmer der konstituierenden Sitzung des wissenschaftlichen Begleitkreises MARE:N.

Wissenschaftlicher Begleitkreis MARE:N Blauer Ozean

Hermann W. Bange (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Christian Borowski (Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie in Bremen)

Reinhold Hanel (Thünen-Institut für Fischereiökologie)

Dierk Hebbeln (MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen)

Anna-Katharina Hornidge (Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung (ZMT) und Universität Bremen)

Birgit Klein (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie)

Heidrun Kopp (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Andrea Koschinsky (Jacobs University)

Christian Müller (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)

Katharina Pahnke-May (ICBM – Institut für Chemie und Biologie des Meeres)

Michael Schulz (MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen)

Detlef Stammer (Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN), Universität Hamburg)

Sebastian Unger (IASS Potsdam – Institute for Advanced Sustainability Studies e. V.)

Martin Visbeck (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel und Christian-Albrechts-Universität zu Kiel)

Anya Waite (ehemals Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung; nun Ocean Frontier Institute (OFI), Halifax, Canada)

Joanna Waniek (Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde – IOW)

Mit Beiträgen von:

Pedro Martinez Arbizu (DZMB/Senckenberg, Wilhelmshaven)
Holger Auel (Universität Bremen)
Udo Barckhausen (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)
Christian Berndt (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)
Arne Biastoch (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)
Martin Blumenberg (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)
Angelika Brandt (Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung und Naturmuseum)
Thorsten Dahm (Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ)
Werner Ekau (Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung (ZMT))
André Freiwald (Senckenberg am Meer)
Matthias Haeckel (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)
Wilhelm Hagen (Universität Bremen)
Helmut Hillebrand (ICBM – Institut für Chemie und Biologie des Meeres)/Universität Oldenburg)
Ulrike Kammann (Thünen-Institut für Fischereiökologie)
Silja Klepp (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel)
Marianne Kunkel (Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung (ZMT))
Andreas Kraemer (Ecologic Institut und Oceano Azul Foundation)
Sebastian Krastel (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel)
Martin Krüger (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)
Michal Kucera (MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen)
Grit Martinez (Ecologic Institut)
Birthe Matthiessen (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)
Aletta Mondré (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel)
Wiebke Müller-Lupp (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel)
Barbara Neumann (IASS Potsdam – Institute for Advanced Sustainability Studies e. V.)
Andreas Oschlies (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)
Dieter Piepenburg (Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung)
Claudio Richter (Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung)
Tim Rixen (Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung (ZMT))
Carsten Rühlemann (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)
Achim Schlüter (Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung, Bremen (ZMT))
Torsten Schlurmann (Leibniz Universität Hannover)
Jörn Schmidt (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel)
Volker Steinbach (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)
Deniz Tasdemir (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)
Claudia Wienberg (MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen)

Der Projektträger Jülich hat die Arbeit des Begleitkreises insbesondere durch Lydia Gustavs tatkräftig unterstützt. Sigrid Keiser vom GEOMAR hat bei der Endredaktion des Dokuments geholfen. Beiden sind wir zu großem Dank verpflichtet.

Die Entstehung des Dokuments wurde durch folgenden Prozess ermöglicht:

- September 2017 – Start des Agendaprozesses
- Oktober 2017 – Konstituierende Sitzung des Begleitkreises
- November 2017 – Forum „Blauer Ozean“ in Bonn
- März, Mai, August und November 2018 – Arbeitstreffen des Begleitkreises
- Januar 2019 – Übergabe des Konzeptpapiers an das BMBF und die meeresforschungsrelevanten Ressorts der Bundesregierung



Impressum

Herausgeber:

Wissenschaftlicher Begleitkreis MARE:N „Blauer Ozean“

Satz:

Projekträger Jülich, Forschungszentrum Jülich GmbH

Bildnachweis:

Titel: Prof. Dr. Marc Kochzius | S. 4, S. 48: Projekträger Jülich/Marie Heidenreich | S. 6: Martina Lohmann/GEOMAR | S. 12: ©MARUM, ROV Cherokee (2010) | S. 18: Jan Steffen/GEOMAR | S. 24: GEOMAR, ROV Kiel6000 | S. 32: Dr. Henryk Alff, ZMT Bremen, Mauretaniien 2018

Druck:

Grafische Medien | Forschungszentrum Jülich GmbH

Stand:

Dezember 2018

