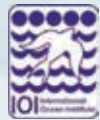




Im Future-Ocean-Netzwerk bündeln Forschende aus den Meeres- und Wirtschaftswissenschaften, der Medizin, Mathematik, Informatik sowie den Rechts-, Sozial- und Gesellschaftswissenschaften ihre Expertise und untersuchen den Ozean- und Klimawandel. Insgesamt haben sich mehr als 250 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), dem GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, dem Institut für Weltwirtschaft (IfW) und der Muthesius Kunsthochschule zusammengeschlossen, um Handlungsoptionen für einen nachhaltigen Schutz und Nutzen des Ozeans zu entwickeln.



Das International Ocean Institute wurde 1972 als gemeinnützige Nichtregierungsorganisation von Elisabeth Mann Borgese gegründet. Es besteht aus einem Netzwerk von verschiedenen Niederlassungen, die über die ganze Welt verteilt sind, und hat seinen Hauptsitz in Malta. Das IOI setzt sich für eine friedliche und nachhaltige Nutzung des Ozeans ein.

mare

Die Zeitschrift der Meere wurde 1997 von Nikolaus Gelpke in Hamburg gegründet und erscheint alle zwei Monate in deutscher Sprache. Mare rückt den Stellenwert, den das Meer als Lebens-, Wirtschafts- und Kulturraum für den Menschen bietet, in das Bewusstsein der Öffentlichkeit. Neben dem Magazin bringt der mareverlag zweimal im Jahr ein Buchprogramm heraus.



Das Konsortium Deutsche Meeresforschung bündelt die Expertise der deutschen Meeresforschung. Seine Mitglieder setzen sich aus allen Forschungseinrichtungen zusammen, die in Meeres-, Polar- und Küstenforschung aktiv sind. Ein Hauptanliegen des KDM ist, die Interessen der Meeresforschung gegenüber nationalen Entscheidungsträgern und der EU sowie gegenüber der Öffentlichkeit gemeinsam zu vertreten.

7

Lebensgarant Ozean – nachhaltig nutzen, wirksam schützen

Herausgegeben von
maribus in Kooperation mit



future ocean
KIEL MARINE SCIENCES



mare

7

**Lebensgarant Ozean –
nachhaltig nutzen,
wirksam schützen**

Vorwort

Vor 14 Jahren begann ich mit der Konzeption des „World Ocean Review“. Vor etwas mehr als zehn Jahren erschien die erste umfassende Ausgabe zum Zustand der Weltmeere. Nun ist es an der Zeit – nach Ausgaben zu Themen wie Fischerei, Rohstoffe, Nachhaltigkeit, Küsten und Arktis/Antarktis –, wieder einen „World Ocean Review“, den WOR No. 7, zu veröffentlichen, der sich mit der Gesamtsituation der Meere und Ozeane auseinandersetzt. Eine Dekade – Anlass für einen Rückblick.

Die vier Grundpfeiler, die in ihrer Kombination die WORs einzigartig machen, haben sich nicht verändert:

- wissenschaftliche Relevanz (die Partnerschaft mit dem Exzellenzcluster Ozean der Zukunft und dem Konsortium Deutsche Meeresforschung [KDM]);
- Unabhängigkeit (die maribus gGmbH verfolgt weder eine Agenda noch finanzielle Absichten, sondern sie ist unabhängig und gemeinnützig);
- kostenlose Verbreitung (dank der Stiftung OSRF, die vor 20 Jahren von Elisabeth Mann Borgese gegründet wurde, sind unter anderem die Druck-, Versand- oder auch Personalkosten gesichert);
- inhaltliche Zugänglichkeit (durch die journalistische Aufarbeitung in Text, Bild und Gestaltung des mareverlags ist der Inhalt leicht verständlich und zum Beispiel für Schulen, Journalisten oder Entscheider zugänglich).

Dieses Konzept hat sich außerordentlich bewährt. Die Berichte werden innerhalb eines Monats im Schnitt 65 000-mal auf der Website abgerufen, mehr als 12 000 gedruckte Exemplare wurden allein 2020 auf Anfrage kostenlos verschickt. Der „World Ocean Review“ erscheint nicht nur auf Deutsch und Englisch, sondern inzwischen auch auf Chinesisch, Thailändisch und Japanisch. Parlamentarier der EU oder deutsche Politikerinnen orientieren sich an ihm, Schulen verwenden ihn für ihren Unterricht – oder Journalisten und Journalistinnen dient er als zuverlässige und unverzichtbare Quelle für ihre Arbeit.

Ein wissenschaftsbasierter, dennoch leicht verständlicher und zudem kostenloser Meeresreport, der die komplexe Gefährdung der Meere und Lösungswege aufzeigt, schien vor über zehn Jahren eine überfällige Notwendigkeit zu sein, wurden die Ozeane doch vorwiegend als Verkehrs- und Urlaubsmedium wahrgenommen. Durch die Plastikmüll-Problematik richtete sich das Augenmerk einer breiteren Gesellschaftsschicht erstmals auf den Zustand der Meere und verhalf zu einer Sensibilisierung unseres Verhaltens. Erst die Klimadebatte jedoch rückte – nicht zuletzt aufgrund der Initiative einer einzelnen Schülerin – die Ozeane in den erweiterten Blick der Öffentlichkeit und somit auch der Politik. Wir beobachten dabei aber immer, dass die Komplexität zum Beispiel des Kohlenstoffhaushalts, der Erwärmung oder Überfischung zunehmend faktenbasierter Erklärung bedarf.

Somit ist der WOR nach einem Jahrzehnt wichtiger geworden denn je.



Nikolaus Gelpke

Geschäftsführer maribus gGmbH, Verleger des mareverlags und Präsident des IOI

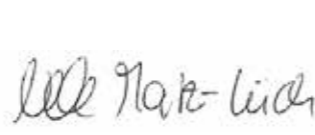
Meeresforschung über Fächergrenzen hinweg, verstärkte Zusammenarbeit zwischen Natur- und Gesellschaftswissenschaften für einen verantwortungsvoll genutzten Ozean – mit diesen Zielen sind vor mehr als zehn Jahren die Kieler Meereswissenschaftlerinnen und Meereswissenschaftler angetreten. Was zu dieser Zeit fast exotisch anmutete, ist heute in vielen Projekten der Meeresforschung selbstverständlich verankert. Längst hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass es Basis- und Handlungswissen von mehr als einer Disziplin braucht, um den gesellschaftlichen Herausforderungen wirksam zu begegnen. Und so braucht es heute wie vor mehr als zehn Jahren auch eine interdisziplinär konzipierte Publikation als Grundlage für den Wissensaustausch mit der Gesellschaft.

Im Jahr 2021 oder im Jahr eins der UN-Dekade der Ozeanforschung für nachhaltige Entwicklung ist aber noch eine weitere Einsicht von Bedeutung: Nur über die aktive Einbindung aller gesellschaftlichen Akteure weltweit in meereswissenschaftlichen Erkenntnisgewinn – von Regierungen, lokalen Entscheidern über Unternehmen bis hin zu jedem Einzelnen – lässt sich die Meereskrise lösen. Die Basis für transformatives Handeln weg von Übernutzung und hin zum nachhaltigen Umgang mit dem Meer sind wissenschaftlich fundierte, leicht verständliche und umfassende Wissensgrundlagen. Und diese bietet der „World Ocean Review“ No. 7. Er gibt einen breit angelegten Überblick über etwa die Rolle der Meere für unser Klima, unsere Ernährung, den globalen Handel, als Energielieferant oder für neue medizinische Produkte. Der neue Band zeigt auf, in welche Richtung künftig die entscheidenden Weichen hin zu einem nachhaltigeren Schutz und Nutzen des Ozeans einschließlich der Wechselwirkungen mit Einträgen von Land, Biodiversitätsverlust und Klimawandel gestellt werden müssen – eine Mammutaufgabe. Verschmutzung, Erwärmung, Meeresspiegelanstieg, Übernutzung der Küsten, extreme Wetterereignisse – die Schlagzeilen lassen vermuten, der Kipppunkt könnte längst erreicht sein und die internationalen Ziele, etwa die CO₂-Emissionen zu reduzieren, seien nur noch schwer zu realisieren.

Doch wir möchten ausdrücklich dafür werben, zuversichtlich zu bleiben und sich innovativ, transformativ und gemeinschaftlich für einen gesunden Ozean zu engagieren. Warum es sich lohnt? Auf internationaler Ebene erhält das größte zusammenhängende Ökosystem der Erde eine bisher nie dagewesene Aufmerksamkeit. Mit der UN-Ozeandekade werden eine Vielzahl an Menschen, Organisationen und Staaten miteinander vernetzt. Es werden Themen diskutiert, wie etwa ein uneingeschränkter Zugang aller zu innovativen Technologien, Ressourcen, Daten oder Bildung gelingen kann. Die Bereitschaft großer Teile der Gesellschaft, Wissenschaft und Politik, interdisziplinär an nachhaltigen Lösungen zu arbeiten und diese national, regional und lokal umzusetzen, ist hoch wie selten zuvor. Mit dem neuen Band des „World Ocean Review“ ist ein wertvoller Beitrag im Rahmen der UN-Dekade für Ozeanforschung gelungen. Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre!



Prof. Dr. Martin Visbeck
GEOMAR Helmholtz-Zentrum
für Ozeanforschung Kiel
Co-Sprecher Future Ocean



Prof. Dr. Nele Matz-Lück
Christian-Albrechts-
Universität zu Kiel
Co-Sprecherin Future Ocean



Prof. Dr. Ralph Schneider
Christian-Albrechts-
Universität zu Kiel
Co-Sprecher Future Ocean

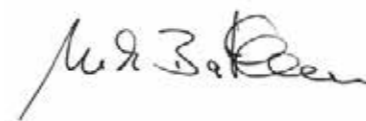
Meere sind die Wiege des Lebens unseres Planeten. Der Artenreichtum mariner Organismen, ihre Anpassungsfähigkeit an wechselnde Umweltbedingungen und ihre Fähigkeit, immer neue Wege der Energiegewinnung zu erschließen, erstaunen immer wieder. Die Leistungen mariner Biota im System Erde durch den Stoffumsatz der Organismen wird uns Menschen erst nach und nach bewusst. Lange schon ist bekannt, dass die Produktion von Sauerstoff mittels Fotosynthese die Erdatmosphäre für höheres Leben bereitete. Das Veratmen von Sulfid im Anoxischen, die Energiegewinnung durch Verbrennen von Methan sind Leistungen von Mikroorganismen, ohne die die chemische Balance im Ökosystem Meer nicht möglich wäre. Komplexe chemische Verbindungen werden als Schutz- oder Kommunikationssubstanzen produziert. Langsam erst erschließt sich ihr Nutzen für Menschen in pharmakologischen und medizinischen Anwendungen.

Die ozeanischen Ökosysteme haben sich den Klimaphasen der Erdgeschichte angepasst, teilweise diese mitbestimmt. So bin ich zuversichtlich, dass sich das ozeanische Leben auch an den derzeitigen Klimawandel anpassen wird. Beispiele der Veränderungen aus den Polarregionen und den tropischen Meeren werden im WOR 7 anschaulich dargestellt. Diese Änderungen werden nicht nur die Küsten zu spüren bekommen. Globale Kreisläufe wie das Wettergeschehen, die Verteilung von Regenwasser und Temperatur auf dem Planeten werden maßgeblich durch die Ozeane bestimmt. Dies wird die gesamte Erde erfassen. Es ist zu erwarten, dass dabei die Ökosysteme nicht so bleiben, wie wir sie kennen.

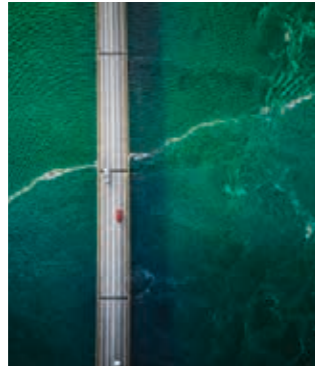
Gesunde Nahrung aus dem Meer wird immer bedeutender für eine ausgewogene Ernährung der Weltbevölkerung. Die Herausforderungen, diese auch künftig zu sichern, werden umso größer, je umfangreicher sich andere Nutzungen der Meere entwickeln. Schiffstransporte und Rohstoffförderung sind nur einige der im WOR aufgeführten Beispiele, welche Gefahren durch unbedachten Umgang für die Ozeane drohen. Es ist günstiger, jetzt Vorsorge zu treffen, als später Schäden wieder zu kompensieren. In manchen Bereichen wie beim Mikroplastik ist es fraglich, ob eine Reparatur überhaupt möglich sein wird.

Die dynamische Meeresforschung in Deutschland stellt sich den Herausforderungen, Zusammenhänge im System Ozean aufzudecken und zu verstehen. In dem Thinktank Zukunftsforum Ozean, das durch das Konsortium Deutsche Meeresforschung, in dem alle meeresforschenden Einrichtungen vertreten sind, organisiert wird, werden die entscheidenden Herausforderungen identifiziert. Die großen Fragen zu beantworten und hierfür Lösungsansätze zu entwickeln, hat sich die Deutsche Allianz Meeresforschung mit ihren Forschungsmissionen zum Ziel gesetzt.

Dem Management der Meere obliegt die große Verantwortung, Erkenntnisse aus der Wissenschaft so umzusetzen, dass die Vielzahl der Ansprüche aus Gesellschaft, Wirtschaft und Naturschutz an die Meeresnutzung so aufeinander abgestimmt wird, dass langfristig der größte Naturschatz der Erde – unsere Ozeane – erhalten bleibt.



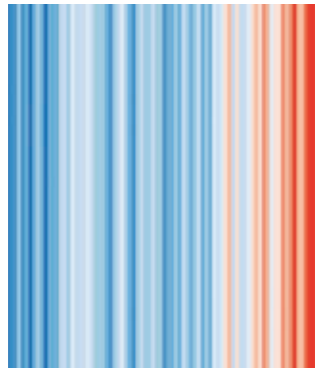
Prof. Dr. Ulrich Bathmann
Direktor des Leibniz-Instituts für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) und
Vorsitzender des Konsortiums Deutsche Meeresforschung (KDM)



Vorwort 5

Unsere Ozeane – Quelle des Lebens Kapitel 1

Von der Bedeutung und der Endlichkeit der Meere 12
 CONCLUSIO: Abschied von der Unendlichkeitsillusion 27



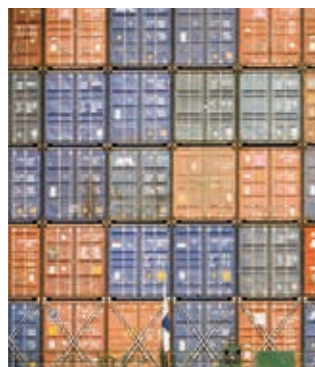
Der Ozean im Klimawandel Kapitel 2

Die fatalen Folgen der Wärme 30
 Ein Angriff auf die Artenvielfalt 54
 CONCLUSIO: Gradmesser Ozean 71



Nahrung aus dem Meer Kapitel 3

Problemzone Fischerei 74
 Wachstumssektor Aquakultur 100
 CONCLUSIO: Ein Nahrungslieferant am Limit 113

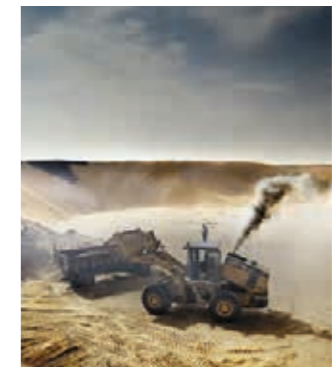


Transporte über das Meer Kapitel 4

Die Schifffahrt am Scheideweg 116
 CONCLUSIO: Eine Schlüsselbranche unter Druck 147

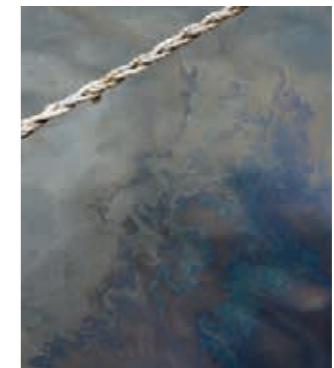
Energie und Rohstoffe aus dem Meer Kapitel 5

Tiefseebergbau: Die Pläne nehmen Gestalt an 150
 Energiequelle Meer: Potenzial und Erwartungen 174
 CONCLUSIO: Unsere Ozeane: voller Energie 193



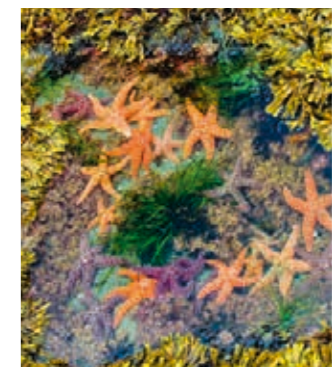
Die Verschmutzung der Meere Kapitel 6

Ein Problem gigantischen Ausmaßes 196
 CONCLUSIO: Meere voller Müll und Schadstoffe 227



Der Wettstreit um die genetische Vielfalt der Meere Kapitel 7

Wirkstoffe aus dem Meer 230
 CONCLUSIO: Der Beginn einer goldenen Ära 249

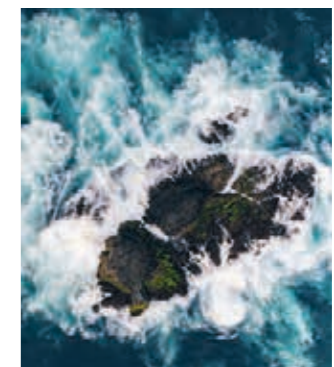


Anspruch und Wirklichkeit des Meeresmanagements Kapitel 8

Die Rechtsordnung der Ozeane 252
 Neue Ansätze des Meeresmanagements 268
 Der Ozean: Krisenschauplatz und Teil der Lösung 280
 CONCLUSIO: Nachhaltiges Meeresmanagement – eine Herkulesaufgabe 293

Gesamt-Conclusio 294

Glossar 301
 Abkürzungen 302
 Quellenverzeichnis 305
 Mitwirkende 318
 Index 324
 Partner und Danksagung 333
 Abbildungsverzeichnis 334
 Impressum 336



1 Unsere Ozeane – Quelle des Lebens

> Die Ozeane und Meere liefern Sauerstoff zum Atmen und Nahrung für mehr als ein Drittel der Menschheit. Sie bieten Abermillionen Menschen Arbeit und werden von ebenso vielen als Sehnsuchtsort, spirituelle Heimat, Sport- oder Abenteuerspielplatz geliebt. Gleichzeitig regulieren die Meere das Wetter und das Klima und bremsen die menschengemachte Erwärmung der Erde. Die Zukunft der Menschheit ist somit unmittelbar mit dem Schicksal der Ozeane verknüpft.



Von der Bedeutung und der Endlichkeit der Meere

> Mit und von den Meeren leben, das hieß für die Menschheit Jahrtausende lang, die Ozeane als grenzenlos zu betrachten – unerschöpflich in ihrer Fähigkeit, Nahrung und Rohstoffe zu liefern; unverwundbar dahingehend, alle Eingriffe des Menschen schadlos zu überstehen. Die Folgen dieses Irrtums sind heute offensichtlicher denn je: Riffe sterben, Küsten zerfallen, Fischer blicken vielerorts in leere Netze. Wer das Gute der Meere will, so viel ist mittlerweile klar, muss die Ozeane schonend behandeln und erkennen, dass auch der größte Lebensraum unseres Planeten an seine Grenzen kommen kann.

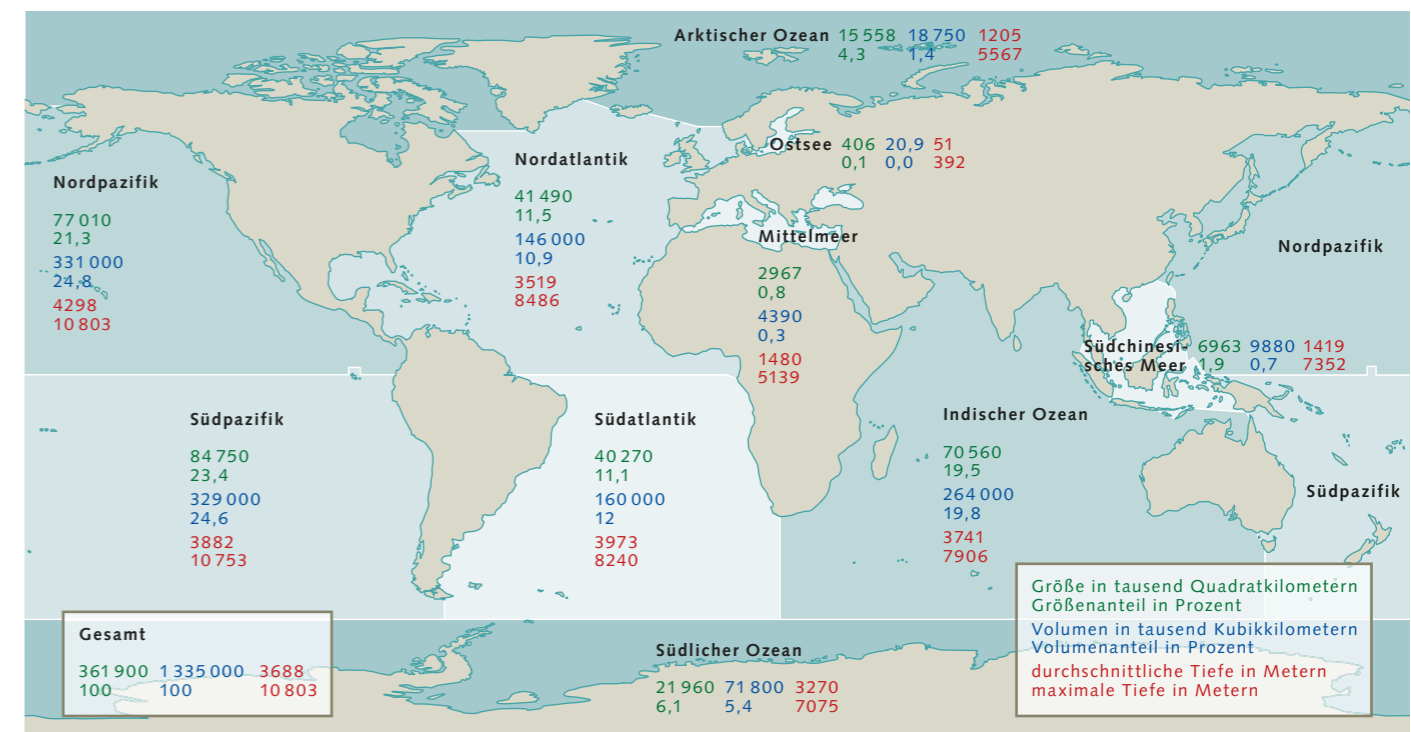
Wasser – das dominierende Elixier

Die Erde ist ein Planet des Wassers. Ozeane und Meere erstrecken sich über eine Fläche von 362 Millionen Quadratkilometern und bedecken damit 71 Prozent der Erdoberfläche. Wenn diese Zahlen allein wenig beeindrucken, der sollte sich vor Augen führen, dass allein die Fläche des Pazifischen Ozeans ausreichen würde, um alle Kontinente und Inseln der Erde darin aufzunehmen. Doch damit nicht genug: Die vier großen Ozeanbecken der Welt sind im Durchschnitt rund 3700 Meter tief und bieten gemeinsam Raum für mehr als 1,3 Milliarden Kubikkilometer Wasser. Rein rechnerisch würde diese Menge ausreichen, um

Deutschlands größten Binnensee, den Bodensee (Volumen: 48 Kubikkilometer Wasser), mehr als 27 Millionen Mal bis zum Rand zu füllen. Faktisch betrachtet zirkulieren 97 Prozent allen flüssigen Wassers der Erde in den Weltmeeren.

Diese Menge mag zunächst unvorstellbar groß klingen. Teilt man diese 1,3 Milliarden Kubikkilometer jedoch durch die rund 7,9 Milliarden Menschen auf der Erde (Stand: 2021), verbleibt für jeden von uns gerade einmal rund ein Sechstel Kubikkilometer Wasser. Eine verschwindend kleine Menge, wenn man bedenkt, dass diese umgerechnet rund 160 Millionen Kubikmeter Meerwasser jeden von uns mit all den Leistungen versorgen müssen, die wir Menschen vom Meer beziehen. Sie produziert

1.1 > Sehnsuchtsort Meer: Immer wieder zieht es den Menschen an das Meer – um abzuschalten und die eigenen Sorgen zu vergessen, aber auch um Gedanken und Ideen freien Lauf zu lassen.



zum Beispiel die Hälfte des Sauerstoffes, den wir einatmen, und ist Kinderstube und Lebensraum für alle Meeresfische und -früchte, die wir als Individuen verspeisen. Jeder Tropfen Wasser, den wir im Lauf unseres Lebens trinken, entspringt den Weltmeeren, weil an ihrer Oberfläche ein Großteil jenes Wassers verdunstet, das anderorts als Regen oder Schnee wieder vom Himmel fällt.

Das Meer bremst den Klimawandel, indem es Wärme und das Treibhausgas Kohlendioxid aufnimmt und in seinen Tiefen für Jahrhunderte wegschließt. Es dient als Transportweg für unsere Waren und verbindet Kontinente über Tausende Kilometer hinweg. Es lagert Rohstoffe auf oder in seinem Boden, die wir schon jetzt nutzen oder aber erst in Zukunft nutzen werden; es ist Produzent für erneuerbare Energien – und zu alledem auch ein Ort, an dem wir uns entspannen und erholen, unter besonderen Umständen selbst auf digitalem Weg. Zum Höhepunkt der Coronapandemie im Jahr 2020 beispielsweise posteten Menschen aus aller Welt in den sozialen Netzwerken Meeresbilder, um ihrem Wunsch Ausdruck zu verleihen, einmal kurz abzuschalten und den Pandemiestress vergessen zu wollen.

Die Ozeane und Meere sind zudem der größte zusammenhängende Lebensraum unseres Planeten. 99 Prozent des von Organismen bewohnbaren Raumes finden sich in den Weltmeeren. Ihre beeindruckende Artenvielfalt reicht von mikroskopisch kleinen einzelligen Algen und Tiefseemikroben bis zum riesigen Blauwal (*Balaenoptera musculus*), dem mit bis zu 30 Metern Körperlänge größten Säugetier der Welt.

Einige dieser Meeresorganismen nutzen wir Menschen direkt, von anderen wiederum profitieren wir auf indirekte Weise, so zum Beispiel vom Phytoplankton. Die ein- bis mehrzelligen Algen nehmen nicht nur das Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) auf und produzieren etwa die Hälfte des Sauerstoffes in der Erdatmosphäre; sie dienen auch vielen jener Zooplankton- und Fischarten als Nahrungsgrundlage, von denen wir Menschen uns am Ende ernähren.

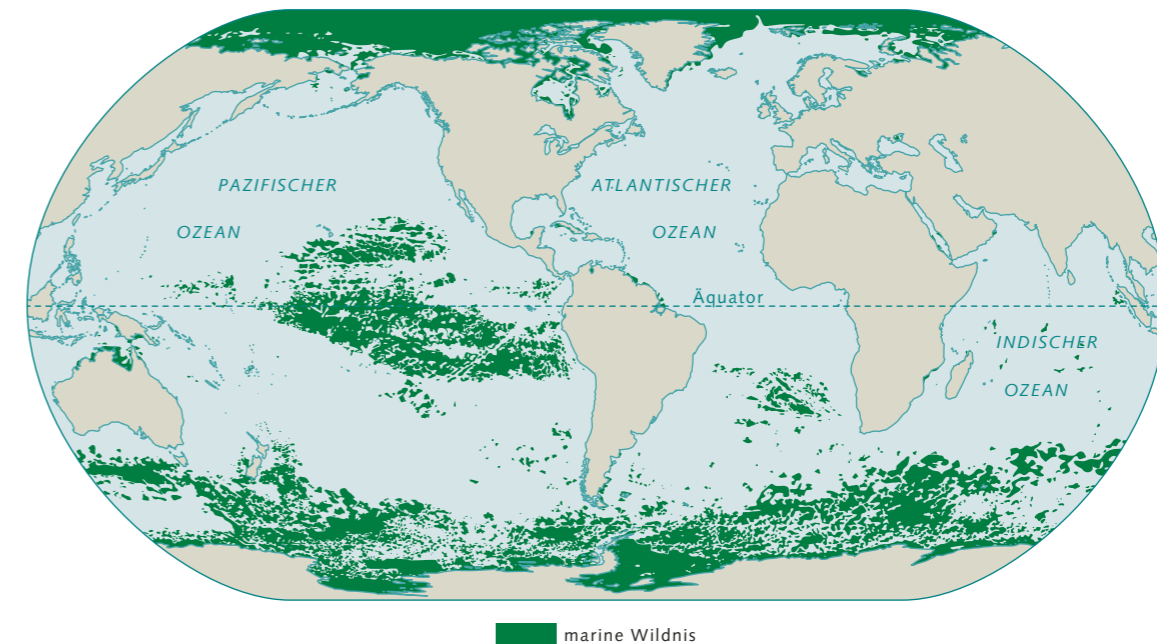
Diese wenigen einleitenden Beispiele zeigen: Das Schicksal der Menschheit ist auf vielfältige Weise an die Weltmeere geknüpft. Sie sind die Wiege und der Motor des Lebens auf dem Planeten Erde und gewinnen in dieser Rolle mit jedem neuen Tag und jedem neuen Erdenbürger

1.2 > Der Weltozean bedeckt rund 71 Prozent der Erdoberfläche. Er wird in die hier dargestellten Meeresgebiete unterteilt. Die Flächen- und Volumenangaben basieren auf Berechnungen der US-amerikanischen Meeresbehörde NOAA.

Ozean
Als „Ozean“ werden jene großen Salzwasserkörper oder -volumen bezeichnet, welche die riesigen Tiefseebecken der Erde füllen. Dazu gehören der Arktische Ozean, der Atlantische Ozean, der Indische Ozean, der Pazifische Ozean sowie der Südliche Ozean.



1.3 > Giganten der Meere: Geschätzte 25 Meter beträgt die Körperlänge dieses Blauwals, der vor der Küste Kaliforniens auf Futtersuche geht. Erst kürzlich haben Forscher herausgefunden, dass das Herz der Riesen beim Fressen in großer Tiefe nur vier- bis achtmal pro Minute schlägt. Beim Auftauchen beschleunigt es auf bis zu 37 Schläge pro Minute.



1.4 > Als „marine Wildnis“ werden Meeresgebiete definiert, deren Lebensgemeinschaften bislang gar nicht oder aber nur in sehr geringem Maß unter menschlichen Eingriffen leiden. Im Jahr 2017 galt dies für lediglich 13,2 Prozent des Ozeans (rund 55 Millionen Quadratkilometer). Ein Großteil dieser ökologisch intakten Gebiete lag auf hoher See – weit entfernt von den übernutzten Küstenräumen.

an Bedeutung. Prognosen zufolge wird die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2050 auf rund neun Milliarden Menschen angewachsen sein. Das heißt, der Anteil eines jeden Menschen an den Weltmeeren und seinen Leistungen wie Sauerstoff, Nahrung und Wasser wird in dieser Zeit auf rund ein Siebtel Kubikkilometer Meerwasser schrumpfen.

Wachsende Ansprüche an die Weltmeere

Zeitgleich aber, das lässt sich heute schon sagen, werden unsere Ansprüche an das Meer wachsen – vor allem in Hinblick auf die Nahrungsmittelproduktion. An Land nämlich sind unsere Möglichkeiten, auf herkömmliche Art und Weise ausreichend Lebensmittel zu produzieren, begrenzt. Die Konkurrenz um fruchtbare Flächen nimmt zu; Wasser und Dünger sind in vielen Teilen der Welt nur eingeschränkt verfügbar; im Zuge des Klimawandels häufiger auftretende Extremereignisse wie Hitzewellen, Dürreperioden, Starkregen oder Schädlingsplagen schmälern vielerorts die Ernteerträge.

Um den Hunger der stetig wachsenden Weltbevölkerung langfristig stillen zu können, bedarf es zum einen neuer Konzepte zur nachhaltigen Landnutzung und ressourcenschonenden Lebensmittelproduktion – eine Rück-

kehr zur vornehmlich pflanzenbasierten Ernährung eingeschlossen. Zum anderen, so argumentieren einige Wissenschaftler, müssten die Weltmeere einen noch größeren Beitrag zur Versorgung leisten und seien dazu auch durchaus in der Lage – vorausgesetzt, die intensivere Nutzung basiere auf einem nachhaltigen und naturnahen Ausbau der marinen Aquakultur sowie einem verbesserten Schutz und Management der natürlichen Bestände und Lebensräume.

Andere Wissenschaftler bezweifeln, dass die Ozeane diesem Anspruch genügen können. Sie verweisen darauf, dass nach Angaben der FAO schon im Jahr 2017 rund 34,2 Prozent aller natürlichen Fischbestände im Meer überfischt waren. Weitere 59,6 Prozent der Bestände wurden zu diesem Zeitpunkt bereits bis zur Grenze des biologisch Machbaren befischt. Kritisch bewerten die Experten auch Pläne, die Aquakultur in Küstennähe auszubauen. Eine solche Expansion sei ihrer Einschätzung nach vielerorts ökologisch unmöglich.

Kaum ein Flecken ohne Spuren des Menschen

Fakt ist, dass der Mensch seit Jahrzehnten maßgeblich die Gesundheit und das Wohlergehen der Meere und Ozeane

Meer
Der Begriff „Meer“ wird in der deutschen Sprache auf zweierlei Weise verwendet. Erstens synonym zu Weltmeer: In diesem Fall bezeichnet er die sich weithin ausdehnende, das Festland umgebende Wassermasse, die einen großen Teil der Erdoberfläche bedeckt. In Kombination mit dem Wort „Ozean“ meint die Bezeichnung „Meer“ meist deren Nebenmeere. Diese Wasserflächen sind kleiner als die Ozeane, liegen an deren Rändern oder aber werden durch Inselketten, Tiefseerinnen, Meeresrücken oder Meerengen vom Ozean getrennt.



1.5 > Ein scharfkantiges Steinwerkzeug, entdeckt in einer Höhle an der Küste Portugals. Ebenfalls dort gefundene Muschelschalen, Krabbenpanzer, Fischüberreste und versteinerte Seevogelknochen belegen, dass auch Neandertaler ihren Hunger mit Nahrung aus dem Meer stillten.

beeinflusst. Der **Weltbiodiversitätsrat** kommt in seinem 2019 veröffentlichten Bericht zum Zustand der globalen Artenvielfalt zu dem Schluss, dass Meeresökosysteme auf der ganzen Welt – von der Küste bis hin zur Tiefsee – Spuren menschlichen Handelns zeigen. 66 Prozent der marinen Lebensräume hat der Mensch demnach in einem bedeutenden Maß verändert. Das heißt im Klartext, ihr Zustand hat sich nachweislich verschlechtert. Besonders drastisch sind die Zustände in den Küstengebieten, von denen die meisten auch weiterhin zerstört werden.

Die Abnahme der marinen Artenvielfalt und die Verschlechterung der Lebensbedingungen seien in erster Linie auf die zunehmende Fischerei sowie auf die intensive Nutzung der Küstenräume (unter anderem Verbauung der Küstenzonen, Wachstum der Küstenstädte, Inbetrieb-

nahme von Erdöl- und Erdgasförderanlagen, Eintrag von Schadstoffen und Nährstoffen durch Flüsse) zurückzuführen, berichten die Forscher. Beide Entwicklungen haben in den zurückliegenden fünf Jahrzehnten mehr als 50 Prozent der beobachteten Veränderungen ausgemacht. Auf den weiteren Rängen folgen der Klimawandel, die Verschmutzung der Meere sowie die Einwanderung ortsfremder Arten, wobei die Experten des Weltbiodiversitätsrates betonen, dass der Einfluss dieser drei Triebkräfte stetig zunehme.

Unverfälschte marine Wildnis, das heißt biologisch und ökologisch intakte Meereslebensräume, in denen der Mensch bislang so gut wie keine Spuren hinterlassen hat, gibt es nach Angaben von Meeresforschern noch in einigen südlichen Gebieten der Hohen See sowie in den noch immer schwer zugänglichen Polarregionen. Die Gesamtfläche dieser naturbelassenen Meeresgebiete beläuft sich auf rund 55 Millionen Quadratkilometer. Sie ist damit zwar in etwa dreimal so groß wie Russland, entspricht aber lediglich einem Anteil von 13,2 Prozent der globalen Meeresfläche.

In den vom Menschen stark frequentierten Naturräumen der Erde ist der Druck auf die natürlichen Lebensgemeinschaften mittlerweile so groß geworden, dass einige Arten derzeit eine beschleunigte Evolution durchlaufen – so auch im Meer. Stark befischte Speisefischarten beispielsweise werden mittlerweile früher geschlechtsreif. Steigende Luft- und Wassertemperaturen wiederum führen dazu, dass sich bestimmte Arten neuerdings zu einem früheren Zeitpunkt im Jahr paaren und gewohnte Muster des Lebens im Meer an vielen Stellen aus den Fugen geraten. Die Folgen einer solchen rapiden Evolution für die Artenvielfalt und die Lebensgemeinschaften des Meeres können einerseits positiv, andererseits aber auch negativ sein, schreiben die Experten des Weltbiodiversitätsrates. Auf jeden Fall aber müssen sie in allen relevanten Planungen zum Meeresschutz und zur Meeresnutzung berücksichtigt werden.

Fasst man alle vom Weltbiodiversitätsrat gelisteten Beobachtungen zusammen, so kristallisiert sich schnell heraus, dass der Mensch zur größten Gefahr der Weltmeere geworden ist und er sich durch die vielerorts ungebremste Ausbeutung der Ozeane Stück für Stück seiner eigenen Zukunft beraubt.

Wie profitiert der Mensch vom Meer?

Der einzige Ausweg aus dieser Abwärtsspirale führt über eine nachhaltige Nutzung des Lebensraumes Meer und den Schutz wichtiger Ökosysteme mit Schlüsselfunktionen. Letzteres setzt jedoch voraus, dass klar definiert wird, was eigentlich als schützenswert zu erachten ist. Die Wissenschaft diskutiert die Frage nach dem Wert der Natur und ihrer Leistungen für den Menschen seit den 1970er-Jahren. Damals begannen die Forscher zum einen besser zu verstehen, wie die Natur und ihre natürlichen Lebensgemeinschaften, die sogenannten Ökosysteme, funktionieren. Zum anderen wurde in jener Zeit immer sichtbarer, in welchem Ausmaß der Mensch die Natur zerstört und dadurch auch viele ihrer sogenannten Leistungen verliert.

Um beurteilen zu können, welchen Nutzen der Mensch durch die Natur erfährt und welche Schäden im Zuge ihrer Zerstörung entstehen, entwickelten Wirtschaftswissenschaftler und Ökologen in den 1990er-Jahren ein Konzept der sogenannten Ökosystemleistungen (Ecosystem Services). Darunter werden jene Funktionen und Prozesse eines Ökosystems verstanden, die auf direkte oder indirekte Weise zum Wohlergehen des Menschen beitragen. Dazu gehören zum Beispiel das Bereitstellen von Trinkwasser, frischer Luft oder Nahrung in Form von Fischen oder Meeresfrüchten.

Zerstörerische oder Schaden bringende Eigenschaften der Natur wie Stürme, Krankheiten, Erdbeben, Überschwemmungen oder Dürren werden als „Disservices“ bezeichnet und wurden lange nicht zu den Ökosystemleistungen gezählt. Unter anderem der Weltbiodiversitätsrat nahm diese konzeptionelle Schwachstelle fast 20 Jahre später zum Anlass, den Analyseansatz zu überdenken und zu erweitern. Geleitet von der Erkenntnis, dass der Mensch der belebten Natur auch ein Stück weit ausgeliefert ist und sie nicht nur dominiert, schließt sein Analysekonzept vom sogenannten Beitrag der Natur für die Menschheit („nature’s contributions to people“) auch die für den Menschen schädlichen Seiten der belebten Natur mit ein. Dazu gehören Schädlingsplagen und Parasiten ebenso wie Krankheiten, welche durch Viren oder Bakterien übertragen werden.

Das Konzept der Ökosystemleistungen wurde im Jahr 1997 erstmals in einem wissenschaftlichen Fachartikel

vorgestellt und anschließend von den Vereinten Nationen als Grundgerüst für ihre im Jahr 2005 veröffentlichte Millennium-Ecosystem-Assessment-Studie verwendet. Deren Vorbild folgend werden die Ökosystemleistungen der Natur und damit auch jene des Meeres bis heute in folgende vier Kategorien eingeteilt:

Bereitstellende Dienstleistungen

Dazu gehören jene Funktionen und Prozesse des Meeres, auf deren Basis sich der Mensch zum einen mithilfe von Arbeit und technischen Hilfsmitteln mit Produkten wie Nahrungsmitteln und Rohstoffen versorgt. Zum anderen aber zählen auch Räume und Flächen dazu, die das Meer zum Beispiel für den Schifftransport oder aber die Gewinnung erneuerbarer Energien zur Verfügung stellt. Der Nutzen oder die Erträge der bereitstellenden Dienstleistungen lassen sich häufig direkt messen und werden auf Märkten gehandelt. Das heißt, sie haben in der Regel einen Marktwert, der sich exakt beziffern lässt. So belief sich zum Beispiel nach Angaben der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) der Marktwert aller Speisefische, Schalentiere, Krebstiere und Wasserpflanzen, die im Jahr 2018 weltweit in Meeren, Seen und Flüssen gefangen oder aber in Aquakultur erzeugt wurden, auf eine Gesamtsumme von schätzungsweise 401 Milliarden US-Dollar.

Fisch und Meeresfrüchte liefern rund 20 Prozent des tierischen Eiweißes für 3,3 Milliarden Menschen auf der Welt, doch nicht überall wird gleich viel Fisch gegessen. Nicht wegzudenken ist das Meer als Nahrungs- und Einkommensquelle zum Beispiel für die Bewohner der Küstenregionen vieler Entwicklungsländer. In Indonesien, Sri Lanka und vielen kleineren Inselstaaten beispielsweise beziehen die Menschen mehr als die Hälfte ihrer tierischen Nahrung aus der Fischerei.

Regulierende Dienstleistungen

Diese Kategorie beschreibt Vorteile und Nutzen, die der Mensch aus der regulierenden Wirkung des Meeres bezieht. Sie umfasst daher Leistungen wie die Regulation des Klimas durch das Meer (Wärmetransport und -austausch); den Küstenschutz durch Mangrovenwälder, Dünen, Seegrasswiesen und Riffe; das Bereitstellen von

Übersicht der marinen Ökosystemleistungen

Die Vorteile und der Nutzen, die die Meere aus Sicht des Menschen erbringen, werden als Ökosystemleistungen bezeichnet. Ökosystemleistungen können sowohl materieller als auch immaterieller Art sein und werden in vier Kategorien eingeteilt.

UNTERSTÜTZENDE ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN

können als unabdingbare Basis für die übrigen Dienstleistungen angesehen werden



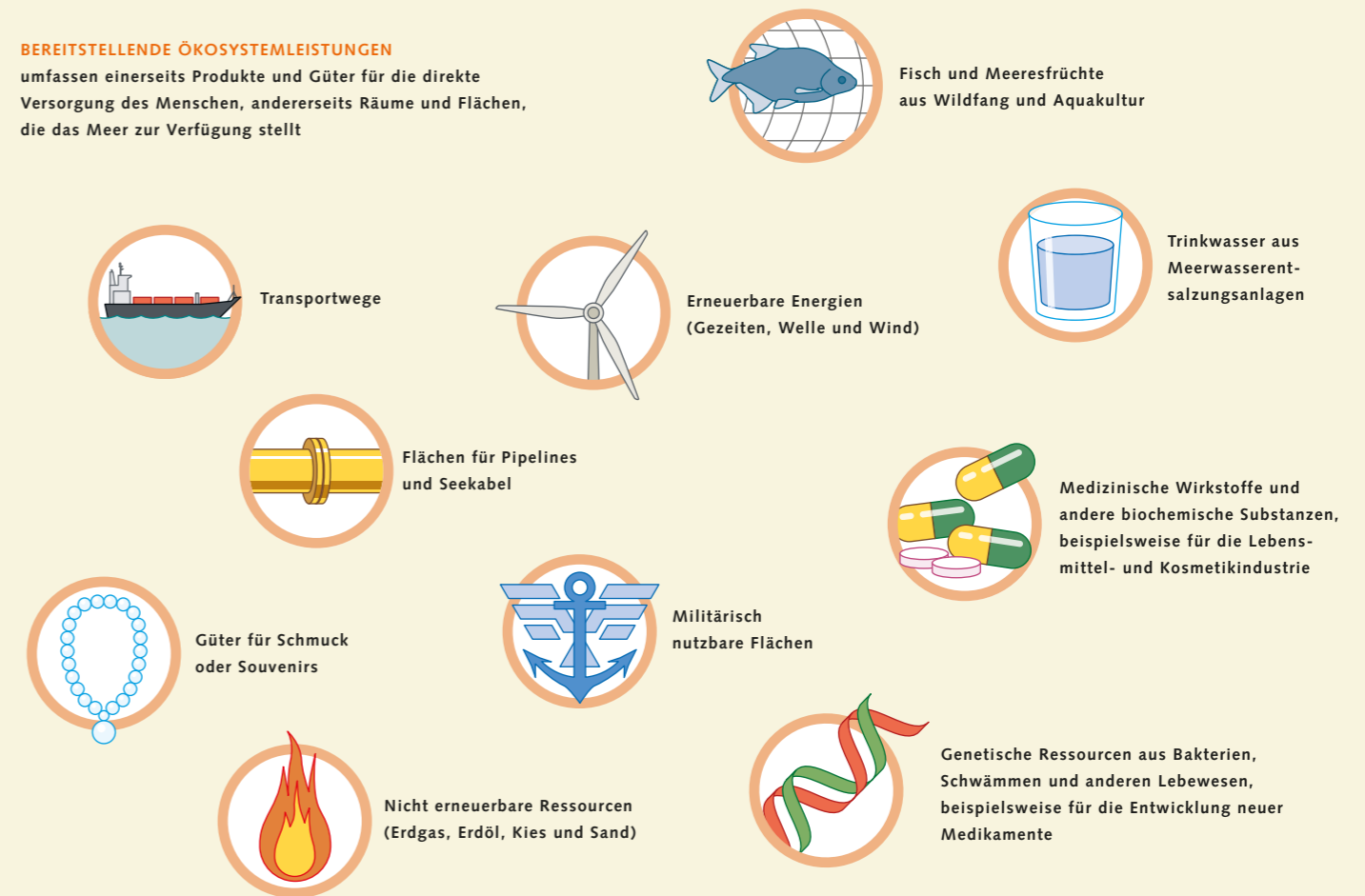
KULTURELLE ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN

beinhalten vielfältige Funktionen, die dem immateriellen Wohlbefinden des Menschen dienen



BEREITSTELLENDENDE ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN

umfassen einerseits Produkte und Güter für die direkte Versorgung des Menschen, andererseits Räume und Flächen, die das Meer zur Verfügung stellt



REGULIERENDE ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN

beschreiben Vorteile und Nutzen, die der Mensch aus der regulierenden Wirkung des Meeres und seiner Ökosysteme bezieht



Atemsaauerstoff durch das Phytoplankton und andere Meerespflanzen; die Reinhaltung des Wassers durch den Abbau eingetragener Nähr- und Schadstoffe. Diesen Dienstleistungen einen finanziellen Wert zuzuschreiben, ist bislang ausgesprochen schwierig, weil es für viele von ihnen keinen klassischen Markt gibt, auf dem sie gehandelt werden. Stellenweise wird versucht, ihren Wert durch Vergleichsrechnungen zu beziffern. Dabei wird dann zum Beispiel gefragt, welche Investitionen notwendig wären, wenn der Mensch dieselben Leistungen mithilfe technischer Lösungen vollbringen wollen würde. Oder aber die Wissenschaftler analysieren, welche wirtschaftlichen oder finanziellen Schäden entstünden, wenn es die Schutzfunktionen der Natur nicht gäbe.

In einer aktuellen Studie beispielsweise kommen US-amerikanische Forscher zu dem Schluss, dass die Mangrovenwälder, Salzmarschen, Seegraswiesen und Sumpfbereiche entlang der US-Atlantikküste und am Golf von Mexico allein im Zeitraum von 1996 bis 2016 Sturm- und Hochwasserschäden in Milliardenhöhe verhindert haben. Ihren Ergebnissen zufolge bewahrte ein Quadratkilometer Feuchtgebiet Grundstück- und Hausbesitzer im Durchschnitt vor Sturmschäden (Wind und Überschwemmung) in Höhe von 1,8 Millionen US-Dollar pro Jahr. In besonders dicht besiedelten Küstenregionen belief sich der Schutzeffekt der Küstenwälder und Sumpfbereiche pro Jahr sogar auf nahezu 100 Millionen US-Dollar pro Quadratkilometer Fläche.

Kulturelle Dienstleistungen

Hierzu zählen vielfältige Funktionen, die dem Wohlbefinden des Menschen auf immaterielle Weise dienen. Diese können eine besondere gesellschaftliche, religiöse oder spirituelle Bedeutung haben beziehungsweise zu den Traditionen eines Volkes gehören. Berücksichtigt werden hierbei Leistungen wie die reine Ästhetik einer Meereslandschaft, deren Erholungsfunktion und Freizeitwert oder die Inspiration, welche Künstler, Wissenschaftler, Architekten und viele andere Bevölkerungsgruppen durch das Meer erfahren.

Der Nutzen der kulturellen Dienstleistungen des Meeres ist ebenfalls schwer zu messen. Ihr Wert lässt sich daher kaum in monetären Größen beziffern. Bekannt sind jedoch die Umsatzzahlen der Meerestourismusbranche,

deren Geschäft zum Großteil auf den kulturellen Dienstleistungen der Meere fußt. Mit einer globalen Wertschöpfung von 390 Milliarden US-Dollar und rund sieben Millionen Vollzeitangestellten war sie bereits im Jahr 2010 der zweitwichtigste Zweig der Meeresindustrie, übertrafen nur von der Öl- und Erdgasförderung. Bis zum Jahr 2030, so Prognosen, wird sich der Tourismus zur weltweit führenden Meeresindustrie entwickeln. Ob diese Vorhersage aus dem Jahr 2016 jedoch eintreffen wird, ist angesichts der weltweiten Coronapandemie in den Jahren 2020/21 und dem damit verbundenen Zusammenbruch der Reisebranche fraglich.

Unterstützende Dienstleistungen

Gemeint sind grundlegende biologische, chemische und physikalische Prozesse, die in der Umwelt auf natürliche Weise ablaufen und die Basis des Lebens auf dem Planeten Erde darstellen. Dazu gehören im Meer zum Beispiel die Biomasseproduktion durch Algen und Wasserpflanzen, die Nährstoffkreisläufe des Meeres, sein Beitrag zum globalen Wasserkreislauf, Räuber-Beute-Beziehungen sowie die Artenvielfalt und die verschiedenen Lebensräume an sich. Von all diesen unterstützenden Leistungen profitiert der Mensch in der Regel auf indirekte Weise, denn sie legen den Grundstein für die oben genannten kulturellen, regulierenden und bereitstellenden Dienstleistungen.

Wichtig dabei ist zu wissen, dass sich einzelne Dienstleistungen des Meeres durchaus mehr als einer Kategorie zuordnen lassen. Korallenriffe beispielsweise sind aufgrund ihrer reichen Fischbestände oftmals ein idealer Ort zur Nahrungsbeschaffung – eine Leistung aus der Kategorie der bereitstellenden Dienstleistungen. Gleichzeitig erbringen sie aber auch regulierende Dienstleistungen, indem sie beispielsweise Wellen brechen, und auf diese Weise die Küstenabschnitte in ihrem Windschatten vor Erosion schützen.

Eine große Stärke dieses Konzeptes der Ökosystemleistungen ist es bis heute, dass es Wissenschaftlern erlaubt, zu untersuchen und zu beschreiben, in welchem Maß unser menschliches Wohlergehen von der Natur abhängt. Einige Wissenschaftler betonen, das Konzept helfe, den Umweltschutzgedanken zu stärken, indem es herausstelle, welche entscheidende Rolle Ökosysteme und Artenvielfalt



1.6 > Wenn an der französischen Atlantikküste ein Wintersturm tobt, wohnt der Kraft des Meeres durchaus etwas Beängstigendes inne.



1.7 > Der Ozean hat Küstenmetropolen wie Hongkong groß und reich gemacht. Hafenzentren sind wichtige Fischerei- und Handelszentren, doch sind sie besonders stark durch den Anstieg des globalen Meeresspiegels bedroht.

in der Welt des Menschen wirklich einnehmen. Sie bilden unsere Lebensgrundlage, fördern unser Wohlergehen und seien ein elementarer Grundpfeiler unserer Wirtschaft. Andere Experten loben, dass der Ansatz der Ökosystemleistungen geholfen habe, den gesellschaftlichen Dialog zum Umwelt- und Meeresschutz zu fördern, so zum Beispiel auch die Kommunikation zwischen Interessengruppen wie Umweltschützern, Wissenschaftlern, Unternehmern und politischen Entscheidungsträgern.

Es gab und gibt allerdings auch Kritik, und diese bezog sich nicht allein auf die Missachtung von Erdbeben und anderen schädlichen Aspekten der Natur. Ein Vorwurf lautet, mithilfe des Konzeptes würden die Güter und Leistungen der Natur mit Preisschildern versehen und damit in Produkte oder Services verwandelt, die sich handeln

oder sogar privatisieren ließen. Umweltethiker bemängeln zudem, dass oftmals unklar sei, wer basierend auf welchen Wertmaßstäben die Güter und Leistungen der Natur beurteile. Wissenschaftler und Politiker dürften nicht die Einzigen sein, denen diese äußerst wichtige Aufgabe anvertraut werde, denn der Wert der Natur bemesse sich für jeden Menschen anders und lasse sich oft gar nicht monetär beziffern. Dies ist etwa der Fall, wenn es um den ästhetischen, kulturellen oder symbolischen Wert der Natur für jeden einzelnen Menschen geht oder aber darum, welchen persönlichen Wert ein Mensch einem Baum, einem Fluss oder aber einem Meeresgebiet zurechnet, dem er sich besonders verbunden fühlt. Ein indonesischer Küstenfischer, der seit Kindheitstagen täglich in das Korallenriff vor der Küste seines Dorfes taucht, um

dort mit dem Speer nach Fischen zu jagen, wird sich diesem Riff auf gänzlich andere Weise verbunden fühlen und dessen Wert anders einschätzen als ein Regierungsmitarbeiter, der in Indonesiens Hauptstadt Jakarta über die finanziellen Mittel zum Schutz dieses Riffes entscheidet. Nicht materielle Ökosystemleistungen, so kritisieren die Ethiker, würden zudem aus dem Fokus geraten, wenn man sich allein auf jene Güter und Services der Natur konzentriert, die sich quantifizieren und mit einem Preisschild versehen ließen.

Ein Jahrzehnt der Meeresforschung für eine nachhaltige Entwicklung

Trotz all dieser berechtigten Kritik war und ist das Konzept der Ökosystemleistungen ein viel genutzter Ansatz, mit dessen Hilfe Wissenschaftler darlegen, wie elementar und schutzbedürftig Naturräume wie die Weltmeere sind. Sachstandsberichte wie das „Second World Ocean Assessment“, veröffentlicht im Jahr 2021, oder der Sonderbericht des Weltklimarates über die Ozeane und die Kryosphäre im Klimawandel, erschienen im September 2019, zeigen klar und deutlich auf, dass die Meere unter den menschengemachten Einflüssen leiden, ihre Artenvielfalt abnimmt und ihre Funktionspalette kleiner und eintöniger wird. Vieles spricht dafür, dass sich dieser Abwärtstrend weiter verschärfen wird – insbesondere wegen des fortschreitenden Klimawandels und der wachsenden Weltbevölkerung.

Auf Basis dieser Erkenntnisse ist unter anderem die Idee der Vereinten Nationen entstanden, die Dekade der Meeresforschung für eine nachhaltige Entwicklung (Decade of Ocean Science for Sustainable Development) auszurufen. Sie beginnt im Jahr 2021 und endet 2030. Dem Projektplan zufolge sollen die Wissenschaft und andere gesellschaftliche Gruppen in diesem Zeitraum große Anstrengungen unternehmen, um das vielfältige, bereits existierende Meereswissen über Fach- und Ländergrenzen hinweg besser miteinander zu verknüpfen. Auf diese Weise soll es gelingen, wissenschaftliche Erkenntnisse über die Meere und Ozeane direkter in Entscheidungsprozesse einfließen zu lassen sowie Vorhersagen zu verbessern, um die Tragweite möglicher Entscheidungen besser abschätzen zu können.

Zum anderen verstehen es die Vereinten Nationen als Aufgabe der interdisziplinären Meeresforschung, die internationale Zusammenarbeit auszubauen und innovative Technologien zu entwickeln, mit denen zum Beispiel verschmutztes Meerwasser gereinigt, wertvolle Lebensräume wie Riffe oder Seegraswiesen kartiert und geschützt sowie Veränderungen der Weltmeere so genau vorhergesagt werden können, dass die Menschheit ausreichend Zeit hat, sich daran anzupassen.

Blue Economy: Wirtschaft und Meer im Einklang

Bestenfalls gelingt es den Forschenden sogar, Handlungsempfehlungen zu entwickeln, mit denen sich die Weltmeere nach den Leitsätzen der sogenannten Blue Economy (blaue Wirtschaft) nutzen lassen. Dieses Konzept, welches vielerorts auch als Ocean Economy (Meereswirtschaft) bezeichnet wird, wurde im Jahr 2012 erstmals auf der Nachhaltigkeitskonferenz der Vereinten Nationen



1.8 > Im Gegensatz zu Steinkorallen bilden Weichkorallen zwar keine festen Kalkskelette. Aber auch sie bieten vielen Riffbewohnern Schutz und Nahrung und sind für die Artenvielfalt der Korallenriffe daher unverzichtbar.

in Rio de Janeiro vorgestellt. Eine allgemeingültige Definition dessen, was genau mit dieser Bezeichnung gemeint ist, gibt es bis heute nicht. Die Zielstellung aber ist klar: Die Weltmeere sollen auf eine Art und Weise genutzt werden, bei der ein maximaler wirtschaftlicher und sozialer Nutzen erzielt wird, ohne die Gesundheit und Langlebigkeit der marinen Lebensräume und -gemeinschaften zu gefährden. Im Idealfall soll es sogar gelingen, bereits geschädigte Lebensräume wie Seegraswiesen, Riffe, Mangrovenwälder und andere zu restaurieren und ihre bereits verloren gegangenen Funktionen zurückzugewinnen.

Zur Meereswirtschaft werden mittlerweile alle mit dem Meer verbundenen menschlichen Aktivitäten gezählt, bei denen Umsätze generiert und Menschen beschäftigt werden oder anderweitiger Nutzen finanzieller oder nicht finanzieller Art erzeugt wird. Dazu gehören demnach Fischfang und marine Aquakultur, der Abbau von Rohstoffen und Ressourcen, die Nutzung des Meeres für erneuerbare Energien, aber auch die Schifffahrt und der Schiffbau, der Meerestourismus, das Geschäft mit Sicherheitstechnik und sich neu entwickelnde Geschäftsfelder wie marine Biotechnologien, die Verwaltung großer Meeresschutzgebiete sowie die sogenannten CCS- und Blue-Carbon-Märkte.

Die Abkürzung CCS steht für Carbon Capture and Storage und umfasst Verfahren, mit denen das in Kraftwerken oder aber in Industrieprozessen entstehende Treibhausgas Kohlendioxid abgeschieden wird, bevor es in die Atmosphäre gelangen kann, und anschließend im Untergrund gespeichert oder aber zu synthetischen Kraftstoffen und anderen Produkten weiterverarbeitet wird. Unter Blue Carbon versteht man die Menge des Treibhausgases Kohlendioxid, welche Küstenökosysteme wie Seegraswiesen, Mangrovenwälder, Salzwiesen und -marschen der Atmosphäre auf natürliche Weise entziehen und in ihren Pflanzenbestandteilen sowie im Erdboden speichern.

Die Meereswirtschaft bot im Jahr 2010 rund 31 Millionen Menschen einen Vollzeit Arbeitsplatz. Die größten Arbeitgeber waren damals der industrielle Fischfang und die Tourismusbranche. Schätzungen zufolge beläuft sich der finanzielle Gesamtwert der im, am oder auf dem Meer erzeugten handelbaren Produkte und Leistungen pro Jahr auf 2,5 Billionen US-Dollar. Damit stünden die Meere im

Vergleich der stärksten Wirtschaftsnationen der Welt theoretisch auf Platz sieben. Würde man jedoch ihre nicht marktbasieren Leistungen wie zum Beispiel die regulierenden und kulturellen Dienstleistungen hinzuzählen, wären die Ozeane die unangefochtene Nummer eins. Denn auch wenn in der Wissenschaft viel über die richtigen Methoden zur Bewertung der nicht marktbasieren Leistungen der Weltmeere diskutiert wird, so sind sich die Experten in ihrem Urteil häufig ziemlich einig: Der Gesamtwert der regulierenden und kulturellen Leistungen der Meere übersteigt den Wert ihrer marktbasieren Produkte und Leistungen um ein Vielfaches.

Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) geht in ihrem 2016 veröffentlichten Bericht zur Meereswirtschaft im Jahr 2030 davon aus, dass diese bis zum Jahr 2030 weiter wachsen werden – und zwar mindestens so schnell wie die globale Wirtschaft insgesamt. Neue Industriezweige würden entstehen und die Nutzung der Ozeane weiter zunehmen, prognostizieren die Wirtschaftsexperten.

Als Ursachen dafür benennen sie das globale Bevölkerungswachstum, den zunehmenden Handel, den weltweiten Ressourcenverbrauch, neue technologische Entwicklungen sowie den Klimawandel. Gleichzeitig aber verweist die OECD darauf, dass mit der zunehmenden Nutzung eine Vielzahl komplexer Risiken einhergingen. Diese gelte es zu minimieren, denn mit dem Zustand der Meere verschlechterten sich auch die Aussichten für die Meereswirtschaft.

Um finanzielle Verluste zu vermeiden und sowohl der Meereswirtschaft als auch den Ozeanen selbst eine gesunde, nachhaltige Zukunft zu garantieren, schlägt die OECD eine Reihe von Maßnahmen vor, von denen sich einige auch in den Zielen der UN-Ozeanforschungsdekade für nachhaltige Entwicklung wiederfinden. Zu nennen sind an dieser Stelle:

- weitreichende Innovationen sowie der Ausbau von Expertennetzwerken infolge einer größeren, internationalen Kooperation in der Meeresforschung und -entwicklung;
- ein verstärktes integriertes Meeresmanagement, einschließlich verbesserter Regulierungsstrukturen, einer

besseren Einbindung von Entscheidungsträgern aus Gesellschaft und Wirtschaft sowie effizienterer Management- und Entscheidungsprozesse;

- verbesserte Messverfahren für die wichtigsten Kennzahlen der Meereswirtschaft sowie optimierte Vorhersagemethoden zur Zukunft dieses Wirtschaftszweiges.

Der Ansatz, die vielen Leistungen des Meeres zu analysieren und ihren materiellen oder nicht materiellen Wert zu beurteilen, hat dazu geführt, dass ein Verschwinden einzelner Ökosystemleistungen mittlerweile als wahrhaftiger Verlust wahrgenommen wird – und das nicht nur von Meeresschützern oder betroffenen Menschen vor Ort. Gleichzeitig hat sich vielerorts die Erkenntnis durchgesetzt, dass es eines großen Umdenkens in der Politik und der Meereswirtschaft bedarf, wenn eines Tages nur noch so viele Meeresprodukte und -services vom Menschen konsumiert oder aber gezielt in Anspruch genommen werden sollen, wie die Meere tatsächlich langfristig zu leisten in der Lage sind.

Damit dieses Vorhaben gelingt, bedarf es eines neuen, ökologischen Wirtschaftsparadigmas, in dessen Mittelpunkt die Natur stehe, schreiben die Vordenker des Konzeptes der Ökosystemleistungen. Der Weg bis dahin aber sei lang, weil in den meisten Staaten der Welt noch immer alte Wirtschaftskonzepte die politischen Diskussionen und Entscheidungsprozesse dominieren würden. Ein wichtiger Fortschritt sei allerdings die Erkenntnis, dass das Bruttoinlandsprodukt eines Landes allein nicht ausreiche, um Reichtum und Wohlstand der Nation richtig zu erfassen. Stattdessen müssten sowohl verschiedene Umweltindikatoren als auch Kennzahlen zur Gesundheit und zum sozialen Wohlstand einer Nation in die Rechnung mit einfließen.

Vorschläge, wie eine solche Neubewertung des Wohlstandes gelingen könnte, haben sowohl die Weltbank als auch die Vereinten Nationen und die OECD vorgelegt. Doch auch diese Messverfahren schafften es nicht zu erfassen, in welchem Maß wirtschaftliche Prozesse auf die Natur und die Gesellschaft einwirken würden, krisisie-

Bruttoinlandsprodukt
Das Bruttoinlandsprodukt ist ein Maß für die wirtschaftliche Leistung einer Volkswirtschaft in einem bestimmten Zeitraum. Es misst den Wert der im Inland hergestellten Waren und Dienstleistungen (Wertschöpfung), soweit diese nicht als Vorleistungen für die Produktion anderer Waren und Dienstleistungen verwendet werden.



1.9 > Mangrovenwälder wie die Sundarbans im Grenzgebiet Indiens und Bangladeschs sind Lebensraum und Kinderstube für viele Fischarten. Das machen sich auch die einheimischen Fischer zunutze. Sie setzen ihre Netze bei Ebbe in den Schlick und warten darauf, dass ihnen die Flut die Beute direkt in die Maschen spült.

Perspektivwechsel: Aus fünf mach eins

Wie viele Ozeane gibt es auf der Welt? Diese Frage lässt sich mittlerweile auf zweierlei Weise beantworten. Die erste Option lautet fünf und findet sich in Lexika und auf Wissensplattformen. Direkt daneben wird in der Regel eine Weltkarte abgebildet, wie sie ein Großteil der Weltbevölkerung aus dem Schulunterricht kennt. Darauf zu sehen sind die Kontinente als große Landmassen, welche vier der fünf Ozeane voneinander trennen. Am linken und rechten Rand der Karte liegt der riesige Pazifik, in der Mitte der Atlantik. Der Indische Ozean wird östlich Afrikas verortet, der Südliche Ozean umgibt die Antarktis. Fehlt nur noch der Arktische Ozean. Ihn findet man eingeklemmt am oberen Kartenrand.

Diese geografische Grundordnung der Erde lässt sich aber auch ganz anders denken – etwa so, wie sie der US-amerikanische Geophysiker und Ozeanograf Athelstan F. Spilhaus bereits im November 1979 in einem Artikel für das „Smithsonian Magazine“ beschrieb. Darin veröffentlichte er eine quadratische Weltkarte, welche die ursprünglich fünf Ozeane und ihre Randmeere als ein zusammenhängendes Gewässer und somit als einen zentralen Weltozean darstellt – eingerahmt und begrenzt durch die Küstenlinien der Kontinente.

Spilhaus' Karte des Weltozeans geriet nach ihrer Veröffentlichung fast vier Jahrzehnte lang in Vergessenheit. Nur einige wenige Meeresenthusiasten kannten und nutzten sie, wann immer es darum ging zu verdeutlichen, dass es für den effektiven Schutz der

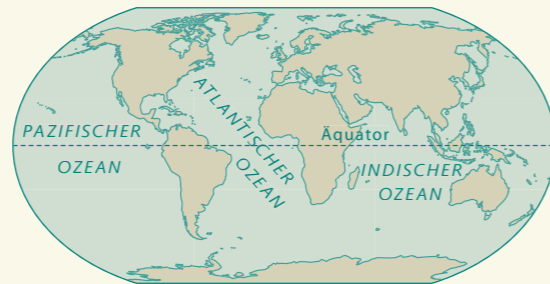


1.10 > Die quadratische Weltkarte (links) des US-amerikanischen Geophysikers und Ozeanografen Athelstan F. Spilhaus zeigt die ursprünglich fünf Ozeane als einen Weltozean mit der Antarktis in ihrer Mitte. Vertrauter aber dürfte den meisten Menschen die klassische Weltkarte (rechts) sein – mit den Kontinenten als klaren Blöcken zwischen dem Pazifischen, dem Atlantischen und dem Indischen Ozean.

Ozeane eines Perspektivwechsels und eines neuen gesamtheitlichen Grundverständnisses bedarf. Gestützt durch die Meeresforschung findet dieses Konzept mittlerweile jedoch immer mehr Zuspruch. Internationale Gremien wie die Vereinten Nationen sprechen in ihren Sonderberichten immer häufiger von einem einzigen Ozean, dessen Wassermassen durch vier Ozeanbecken zirkulieren. Hersteller von Geoinformationssystemen bieten inzwischen auch die Spilhaus-Projektion als Kartenvorlage an, und neue Fachbücher zum Meeresmanagement fordern ihre Leser schon im ersten Kapitel auf, ihre vom Leben an Land geprägte Wahrnehmung der Welt zu überdenken.

Dort heißt es: Die Struktur und Funktionsweise des Ozeans seien so einzigartig, dass zum Scheitern verurteilt sei, wer versuche, den Ozean mit denselben oftmals kleinräumigen Methoden und Konzepten zu verwalten, die er auch an Land einsetze. Im Gegensatz zu den Landmassen kenne der Ozean nämlich kaum Grenzen oder Hindernisse. Als im März 2011 das Atomkraftwerk im japanischen Fukushima von einem Tsunami geflutet wurde, gelangte radioaktiv kontaminiertes Wasser in das Meer. Von Japans Küste aus verteilten Strömungen dieses Wasser innerhalb von drei Jahren über den gesamten Nordpazifik, ohne dass sie eine Armee oder ein Tiefsee graben hätten aufhalten können. Ebenso unbehelligt tragen die Meeresströmungen Plastikmüll und anderes Treibgut rund um den Globus; ebenso wenig scheren sich Fischschwärme und wandernde Wale um vom Menschen definierte Gebietsgrenzen.

Wie sein Name schon verdeutlicht, betrachtet auch der „World Ocean Review“ die Ozeane und Meere der Welt als großes Ganzes, als Weltozean. Dennoch bleibt auch diese Ausgabe sprachlich variabel: Begriffe wie „(Welt-)Ozean“, „Ozeane“ und auch „Weltmeere“ werden synonym verwendet.



ren die Wissenschaftler. Sie fordern zudem eine Abkehr von der Idee des grenzenlosen Wachstums. Das gemeinschaftliche Ziel müsste vielmehr lauten, ausreichend Wohlstand für alle zu sichern, um auf diese Weise sowohl die drohende ökologische Krise als auch die damit verbundene soziale Krise abwenden zu können. Damit beides gelinge, müssten die Belange der Natur ein integraler Bestandteil der globalen Wirtschaftspolitik werden und in breiteren Teilen der globalen Gesellschaft häufiger und differenzierter diskutiert werden.

Eine entsprechende Transformation menschlichen Denkens und Handels hin zu einer nachhaltigen Entwicklung wird um so dringender, je weiter der Klimawandel voranschreitet. Infolge der vom Menschen verursachten Treibhausgasemissionen und der dadurch ausgelösten globalen Erwärmung verändern sich nämlich nicht nur die Grundpfeiler des Lebens im Ozean. Die Weltmeere verlieren auch einige wichtige regulierende Funktionen, denen wir Menschen bislang die anhaltend konstanten Lebensbedingungen auf dem Planeten Erde verdanken.

Conclusio

Abschied von der Unendlichkeitsillusion

Die Ozeane und Meere bedecken 71 Prozent der Erdoberfläche und sind als Grundpfeiler der menschlichen Existenz heutzutage wichtiger als jemals zuvor. Sie bieten dem Menschen und der globalen Wirtschaft Güter und Dienstleistungen, deren monetärer Wert sich häufig aber gar nicht beziffern lässt, denn die Services des Meeres sind sowohl materieller als auch nicht materieller Art. Nach dem Konzept der Ökosystemleistungen lassen sie sich vier Dienstleistungskategorien zuordnen. Forscher unterscheiden hierbei zwischen bereitstellenden, regulierenden, kulturellen und unterstützenden Dienstleistungen des Meeres.

Dieser Ansatz ist in der Wissenschaft durchaus umstritten, er hat in den zurückliegenden 25 Jahren allerdings entscheidend dazu beigetragen, offenzulegen, in welchem enormen Maß das menschliche Wohlergehen von den Weltmeeren abhängt – und inwieweit es leiden würde, wenn sich der Zustand der Ozeane und Meere verschlechterte. Wie es um die Gesundheit der Meere steht, wird regelmäßig in internationalen Assessments hinterfragt, neben anderen vom Weltklimarat und dem Weltbiodiversitätsrat. Letzterer kommt in seinem aktuellen Artenvielfaltsbericht zu dem Urteil, dass wir Menschen

bereits 66 Prozent der marinen Lebensräume maßgeblich verändert haben und die Funktionsvielfalt der Ozeane deshalb schrumpft. Der größte Lebensraum der Welt, einst als riesig und unerschöpflich beschrieben, hat demnach längst seine Belastungsgrenze erreicht.

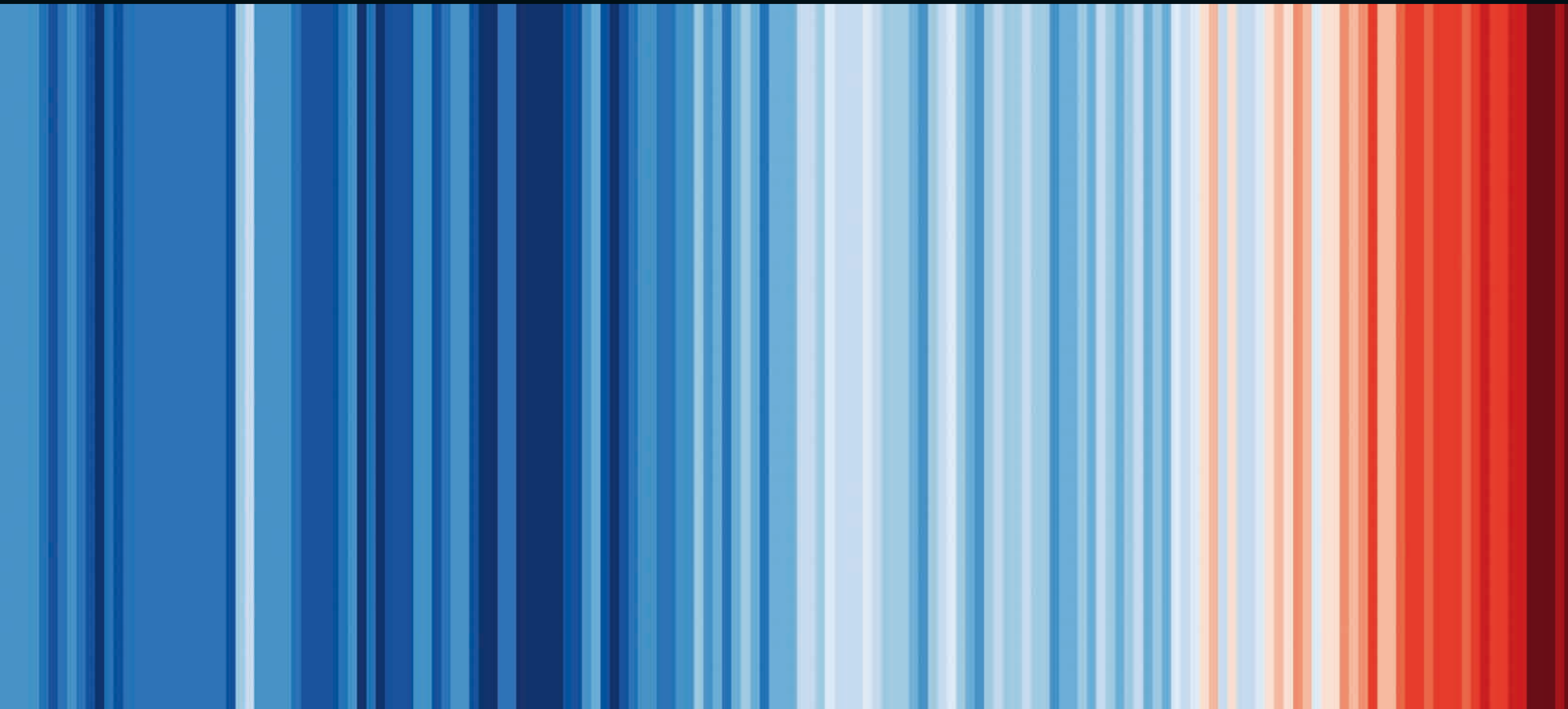
Die internationale Politik und Meereswirtschaft stehen deshalb vor der Herausforderung, neue und vor allem nachhaltige Nutzungskonzepte zu entwickeln. Eine Aufgabe, die derzeit unter anderem unter dem Leitbild der sogenannten Blue Economy angegangen wird. Gleichzeitig hat sich die internationale Meeresforschung vorgenommen, enger zu kooperieren und im Jahrzehnt der Ozeanforschung (2021 bis 2030) ihr Wissen über das Meer und die vielen Datenströme aus dem Meer zusammenzutragen und in zentralen Datenbanken miteinander zu verknüpfen. Ziel ist es, die möglichen Folgen politischer oder wirtschaftlicher Entscheidungen für die Weltmeere künftig schon im Vorfeld besser beurteilen und diskutieren zu können.

Kritiker des Raubbaus am Meer aber fordern eine vollständige Abkehr von den herkömmlichen Arten des Wirtschaftens, hin zu ökologischen Konzepten, damit der Ozean auch in Zukunft noch alle Ansprüche erfüllen kann, welche die Erdenbürger an ihn stellen.

2 Der Ozean im Klimawandel

> Der Ozean leistet der Menschheit einen unschätzbaren Dienst. Er reguliert das Klima und bremst die globale Erwärmung, indem er einen großen Teil jener Wärme aufnimmt, die aufgrund menschengemachter Treibhausgasemissionen entsteht. Dies aber setzt großräumige Kettenreaktionen in Gang. Zum einen steigen die Wassertemperaturen und die Meeresspiegel, zum anderen verändern sich die Meeresphysik und -chemie so grundlegend, dass das Leben im Ozean aus dem Takt gerät.

Globale Erwärmung (1850 bis 2020)



1860

1890

1920

1950

1980

2010

Die fatalen Folgen der Wärme

> In den Weltmeeren spielt sich derzeit eine große Tragödie ab. Während der Mensch mit jedem Jahr mehr Treibhausgase in die Atmosphäre entlässt und auf diese Weise einen Wärmerekord nach dem anderen produziert, wirkt der Ozean der Hitzekatastrophe entgegen. Er nimmt mehr als 90 Prozent der überschüssigen Wärme auf und speichert diese in zunehmender Tiefe. Der Preis für diesen Klimageservice aber ist hoch. Das Meer wird wärmer! Es dehnt sich aus und verliert dabei sein wertvollstes Lebenselixier – den Sauerstoff.

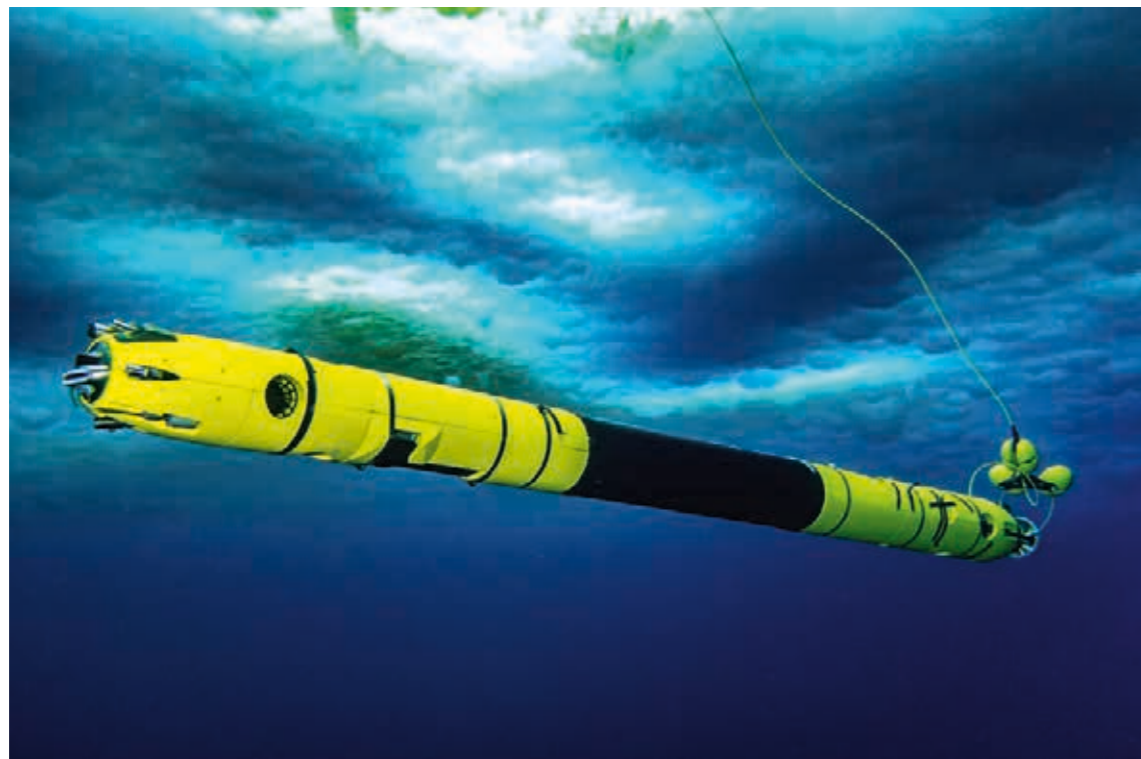
Alte Rolle, neue Detailschärfe

Die Weltmeere sind und bleiben aus mehreren Gründen einer der wichtigsten Regulatoren des Klimas auf der Erde. Sie speichern im Sommer Sonnenenergie in Form von Wärme und geben diese im Winter wieder an die Atmosphäre ab. Gleichzeitig transportieren die Meeresströmungen zu jedem Zeitpunkt Wärme von den Tropen in die hohen Breiten und verteilen sie auf diese Weise über den Erdball. Beide Effekte moderieren das Klima. Die Meere entziehen der Atmosphäre aber auch das Treibhausgas Kohlendioxid. Einen Teil davon lagern sie in der Tiefsee ein und bremsen auf diese Weise die Erderwärmung. Außerdem speisen sie

den globalen Wasserkreislauf, indem an ihren Oberflächen große Wassermengen verdunsten.

Diese großen Zusammenhänge kennt man schon lang, neu ist allerdings die Detailschärfe, mit welcher die Wissenschaft das komplexe Zusammenspiel zwischen Ozean, Atmosphäre, Sonne, Eis und Schnee sowie Landoberfläche mittlerweile versteht. Den Grundstein dafür legen moderne Beobachtungssysteme, die heutzutage im Weltall, in der Luft, an Land sowie in vielen Regionen der Weltmeere zum Einsatz kommt. Satelliten erfassen das Wachsen und Schrumpfen der Eisschilde und Gletscher; sie vermessen die Oberflächentemperatur des Ozeans, die Veränderungen des Meeresspiegels, die Fläche und Dicke des Meereises in

2.1 > Mit diesem einen Meter langen und 23 Zentimeter schmalen Tauchroboter namens Icefin gelang es Wissenschaftlern erstmals, unter die schwimmende Eiszunge des westantarktischen Thwaitesgletschers zu tauchen und großflächig zu untersuchen, wie warm das Wasser an der Unterseite des Eises ist.



der Arktis und Antarktis und dokumentieren zudem den Salzgehalt sowie Farbe und Chlorophyllgehalt des Oberflächenwassers. Sensoren, befestigt an Schiffsrümpfen, sowie Tauchroboter, Bojen und Verankerungen erfassen saisonale und langfristige Veränderungen wichtiger Wasserparameter wie Temperatur, Salzgehalt, pH-Wert, Sauerstoff-, Nährstoff- und Chlorophyllgehalt. Ein schönes Beispiel ist das mehr als 3700 Messgeräte umfassende ARGO-Netzwerk eigenständig agierender, profilierender Drifter. Jeder dieser Roboter misst die Wassertemperatur, den Salzgehalt und in Ausnahmefällen sogar pH-Wert, Sauerstoff- und Nitratgehalt bis in Tiefen von 2000 Metern.

Hinzu kommen hochmoderne Tauchroboter, die entweder von Propellern angetrieben werden oder monatelang durch den Ozean gleiten, mit denen die Wissenschaftler Stück für Stück in bislang unzugängliche Meeresräume vorstoßen. In der Westantarktis beispielsweise ist es britischen und US-amerikanischen Forschern im Winter 2019/2020 erstmals gelungen, die Wassermassen unter der schwimmenden Eiszunge des Thwaitesgletschers mit einem Tauchroboter zu vermessen. Die Wissenschaftler hatten dazu ein 40 Zentimeter großes Loch durch das mehr als 600 Meter dicke Schelfeis gebohrt und das torpedoförmige Messgerät an einem Seil in die Tiefe hinabgelassen. An der Eisunterseite angekommen, begann der Roboter namens Icefin eine stundenlange Erkundungsfahrt, auf der er unter anderem die Temperatur und Leitfähigkeit des Wassers dokumentierte. Seine Daten zeigten, dass das Wasser zwei Grad wärmer war als der Schmelzpunkt des Gletschereises, was erklärt, warum der Thwaitesgletscher derzeit so rasant Eis verliert.

Zu einem besseren Verständnis der Rolle der Ozeane im Klimasystem der Erde trägt allerdings auch eine Vielzahl historischer, zumeist handschriftlicher Wetteraufzeichnungen (Schiffslogbücher, Seewetterberichte etc.) bei, die mittlerweile digitalisiert wurden und Lücken in Beobachtungslangzeitreihen schließen. Fortschritte gab es zudem bei der Entschlüsselung historischer Wetter- und Klimadaten aus Korallenriffen, Eisbohrkernen, See- und Meeressedimenten, aus Fossilien und anderen sogenannten natürlichen Klimaarchiven.

Außerdem stehen der Klimaforschung inzwischen Hochleistungsrechner mit einer viel größeren Speicher- und Rechenkapazität zur Verfügung. Diese Supercompu-

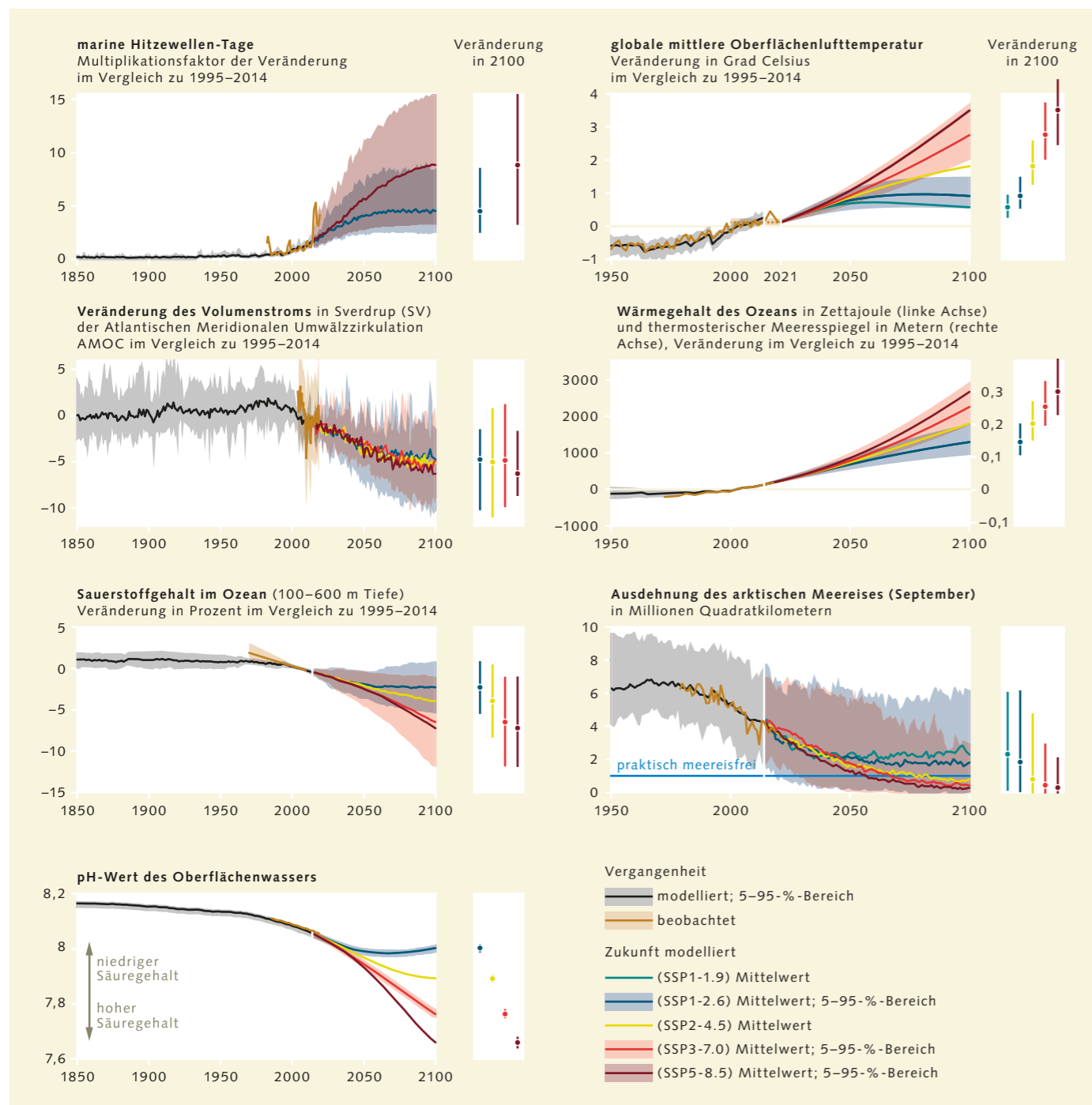


ter ermöglichen es den Forschern, neue Generationen von Klima- und Erdsystemmodellen zu entwickeln, die entweder eine viel höhere räumliche Auflösung haben als die Vorgängergeneration oder aber viel mehr Komponenten (zum Beispiel Ozean, Eis, Schnee, Vegetation) und Wechselwirkungen in ihren Berechnungen berücksichtigen und somit die Komplexität des Klimas besser abbilden.

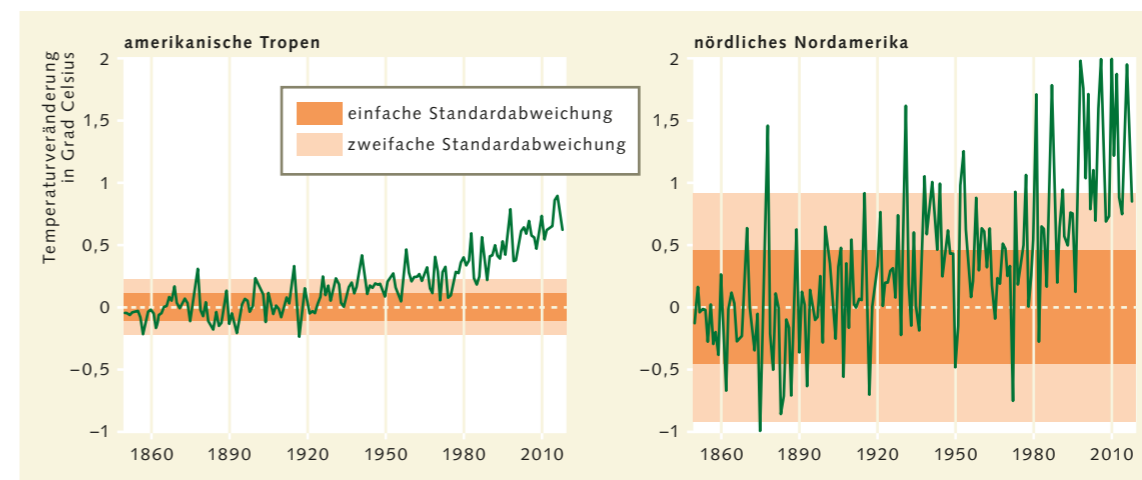
So ist die Ozeankomponente der neuesten Modellgeneration beispielsweise in der Lage, Meereswirbel darzustellen, die kaum größer sind als 100 Kilometer im Durchmesser. Außerdem werden die schnellen ozeanischen Randströme realistischer simuliert. Durch beide Fortschritte kann der Wärmetransport im Ozean besser dargestellt werden. Die Auflösung früherer Modelle hätte nicht ausgereicht, um Transportprozesse auf so kleinen Skalen abzubilden und in Klimasimulationen zu berücksichtigen. Gleiches gilt für die biogeochemischen Prozesse im Ozean oder die Darstellung von Wolken darüber. Ihre Existenz sowie die vielen mit ihnen verbundenen Wechselwirkungen können mittlerweile deutlich detaillierter in Modellen dargestellt werden.

Auf Basis dieser vielen neuen Beobachtungsdaten und Klimasimulationen gelingt es der Wissenschaft heute deutlich besser, zu beschreiben, wie sich das Klima der Erde in den zurückliegenden 800 000 Jahren verändert hat, vor allem aber seit Beginn der Industrialisierung vor etwa 150 Jahren (1850 bis 1900). Es herrscht zudem eine

2.2 > Der Thwaitesgletscher ist einer der am schnellsten fließenden Eisströme der Westantarktis. Er transportiert Eis aus einer Region so groß wie der US-Bundesstaat Florida Richtung Meer. Seine schmelzenden Eismassen allein verursachen vier Prozent des aktuellen Meeresspiegelanstieges.



2.3 > Physikalische und chemische Meeresparameter ändern sich. Für den sechsten Sachstandsbericht des IPCC wurde die künftige Entwicklung mithilfe sogenannter Shared Socioeconomic Pathways modelliert – in Türkis dargestellt für eine Welt mit sehr geringen Treibhausgas-Emissionen (SSP1-1.9), in Blau für eine Welt mit geringen Emissionen (SSP1-2.6), in Gelb mit mittleren Emissionen (SSP2-4.5) sowie in Rot und Weinrot mit hohen (SSP3-7.0) und sehr hohen Emissionen (SSP5-8.5).



2.4 > Obwohl die Temperaturen im Norden Amerikas stärker gestiegen sind als in den Tropen, berührt die nördliche Temperaturkurve noch immer den alten Schwankungsbereich. In den Tropen dagegen hat sie das gewohnte Niveau längst verlassen.

größere Gewissheit darüber, was die Ursachen dieser Veränderungen sind, wie sich die Klimaveränderungen auf die Meere und den Ozean auswirken und welche Zukunftsprognosen sich mit welcher Sicherheit treffen lassen, sowohl im globalen Maßstab als auch auf regionaler Ebene.

Ohne jeden Zweifel

Die wichtigste Erkenntnis der Klimaforschung lautet: Die Welt ist heutzutage so warm wie zu keinem anderen Zeitpunkt in den zurückliegenden 2000 Jahren und vermutlich auch noch weit darüber hinaus. Seit dem Zeitraum 1850 bis 1900 ist die globale Durchschnittstemperatur unseres Planeten um 1,1 Grad Celsius gestiegen, wobei die Erwärmung über den Kontinenten deutlich höher ausfiel als über den Meeren.

Den größten Erwärmungstrend über Land dokumentierten die Forscher in der Arktis. In der nördlichen Polarregion sind die Temperaturen in den zurückliegenden Jahrzehnten dreimal so schnell gestiegen wie in der restlichen Welt, wobei jedoch die Durchschnittstemperatur von Jahr zu Jahr stark schwankt. Die Unterschiede betragen mitunter mehr als ein Grad Celsius, was sehr viel ist. Diese Schwankungsbreite oder Temperaturvariabilität, wie Meteorologen sagen, erschwert es Wissenschaftlern, das Signal des Klimawandels klar von den natürlichen Schwankungen des Klimas – auch Klimarauschen genannt – zu unterscheiden.

Die bislang kleinsten Temperatursprünge über Land beobachten die Forscher in den Tropen. Diese Erkenntnis allein ist jedoch kein Anlass für Hoffnung, denn im Gegensatz zur Arktis fallen die Jahr-zu-Jahr-Unterschiede hier deutlich kleiner aus. Das heißt, die Temperatur steigt zwar langsam oder in kleineren Schritten, dafür bleibt sie dann aber auf Dauer über einstigen Höchstgrenzen.

Schaut man sich die Temperaturkurven der Äquatorregion genauer an, so ragt diese seit den 1980er-Jahren über den ehemaligen Schwankungsbereich hinaus. Sie hat gewissermaßen ein neues, höheres Temperaturniveau erreicht, was bedeutet, dass die Menschen in den Tropen heutzutage in einem heißeren Klima leben als ihre Vorfahren vor 100 Jahren. Klimaforscher kommen deshalb zu dem Schluss, dass die globale Erwärmung in den Tropen besonders offensichtlich ist, auch wenn der Temperaturanstieg in nackten Zahlen ausgedrückt kleiner ausfällt als in der Arktis.

Weltweit steigende Oberflächentemperaturen sind jedoch nicht der einzige Beleg dafür, dass sich das Klima der Erde verändert. Mittlerweile beobachten Wissenschaftler eine Vielzahl von Indikatoren. Die Luftmassen in der Troposphäre, der untersten Schicht der Atmosphäre, erwärmen sich und sind demzufolge in der Lage, mehr Wasserdampf zu speichern, was in vielen Regionen der Welt zu mehr Niederschlag führt. Abnehmende Temperaturunterschiede zwischen den Polen und den Tropen führen zu veränderten Luftmassenströmungen und somit zu einer Verlagerung wichtiger Windbänder in den gemä-

ARGO-Drifter
Als profilierende ARGO-Drifter (englisch: profiling floats) werden Messplattformen bezeichnet, die, einmal im Meer ausgesetzt, in eine Tiefe von bis zu 2000 Metern sinken und dabei die wichtigsten Parameter des umgebenden Wassers erfassen. Alle zehn Tage kehren sie an die Meeresoberfläche zurück und übertragen ihre Messdaten per Satellit. Die Daten werden innerhalb weniger Stunden für jedermann frei zur Verfügung gestellt. An dem ARGO-Beobachtungsnetzwerk sind derzeit Forschungseinrichtungen aus mehr als 40 Ländern beteiligt.

bigten Breiten. Gleichzeitig weiten sich die subtropischen Trockenzonen aus, während in der Arktis die Fläche des arktischen Meereises in den zurückliegenden 40 Jahren um 40 Prozent geschrumpft ist.

Hauptverantwortlich für diese Veränderungen ist der Mensch. Auch diese Aussage lässt sich heutzutage ohne jeden Zweifel treffen. Wichtige natürliche Klimafaktoren wie die Helligkeit der Sonne oder aber die kühlende Wirkung großer Vulkanausbrüche treten angesichts der Auswirkungen menschlichen Handelns auf der Erde in den Hintergrund. Durch das Verbrennen von Kohle, Erdöl und Erdgas setzt die Menschheit in jedem Jahr eine derart große Menge klimaschädlicher Gase wie Kohlendioxid, Methan und Lachgas (Distickstoffmonoxid) frei, dass deren Konzentration in der Atmosphäre ansteigt und sich der Treibhauseffekt verstärkt.

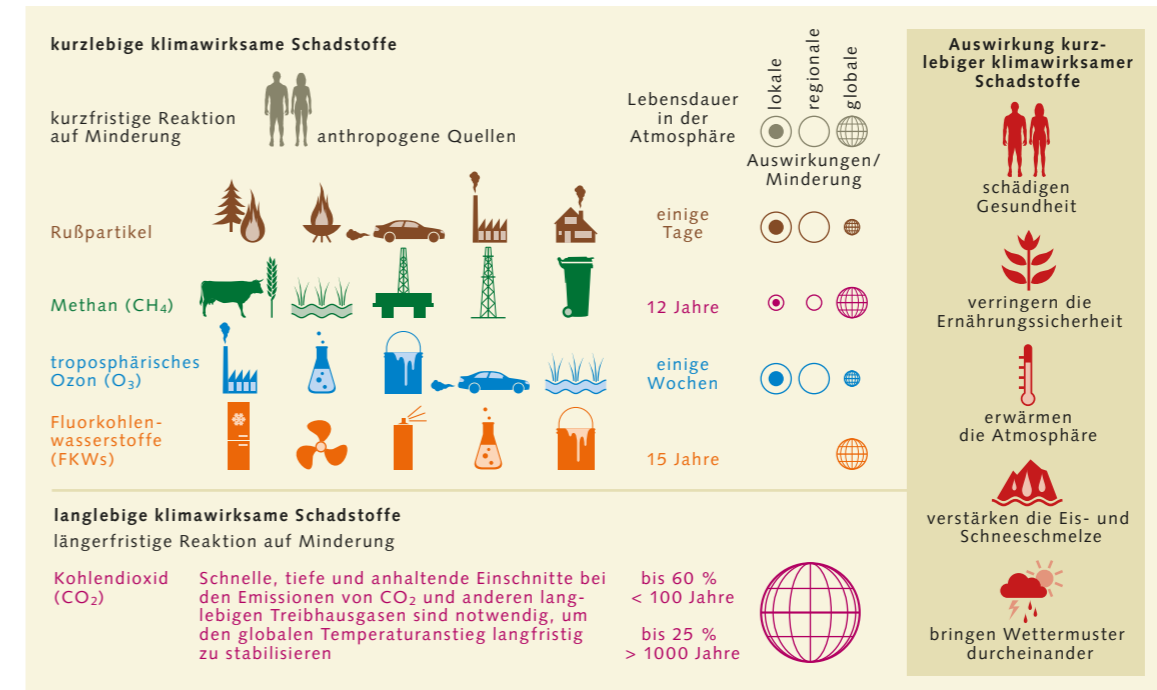
Für den regelmäßig erscheinenden Weltklimabericht treten Forscher immer wieder aufs Neue den Beweis an und berechnen mithilfe immer besserer Klimamodelle, inwieweit sich die Welt mit und ohne menschliches Handeln erwärmt hätte. Die Ergebnisse sprechen seit Langem eine eindeutige Sprache: Berücksichtigen die Modelle allein die natürlichen Klimatreiber wie Sonne, Vulkane,

Vegetation, Ozean und andere, sind sie nicht in der Lage, die Erwärmung seit Beginn der Industrialisierung darzustellen. Eine realistische Simulation des aktuellen Klimas gelingt erst, wenn die Forscher die Daten der menschengemachten Treibhausgasemissionen hinzufügen.

In den zurückliegenden 170 Jahren hat die Menschheit schätzungsweise 2430 Milliarden Tonnen Kohlendioxid in die Atmosphäre entlassen. 70 Prozent davon entstanden durch das Verbrennen von Kohle, Erdöl und Erdgas; die restlichen 30 Prozent durch eine veränderte Landnutzung. Hinter diesem Begriff verbergen sich unter anderem Eingriffe wie das Abholzen der Wälder, das Trockenlegen von Mooren und Feuchtgebieten oder aber auch eine intensivere Landwirtschaft.

Bemerkenswert ist außerdem, dass in diesem Zeitraum mit jedem Jahrzehnt mehr Kohlendioxid durch menschliche Aktivitäten freigesetzt wurde. Finanz- und Wirtschaftskrisen führten in der Vergangenheit lediglich zu geringeren Steigerungsraten oder aber wie im Fall der Finanzkrise 2008 zu einem kurzfristigen Emissionsrückgang. In der Folgezeit aber erholte sich die globale Wirtschaft stets wieder, und der Kohlendioxidausstoß nahm erneut zu, sodass sich der langfristige Anstieg fortsetzte.

2.5 > Die Energiegewinnung aus der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas ist weltweit ein wesentlicher Faktor, der den Klimawandel weiter vorantreibt.



2.6 > Etwa 40 bis 45 Prozent der Erderwärmung werden durch kurzlebige klimawirksame Schadstoffe verursacht. Im Gegensatz zu Kohlendioxid verweilen diese nur kurz in der Atmosphäre – von wenigen Tagen (Feinstaub, Ruß) bis hin zu einigen Jahren oder Jahrzehnten (zum Beispiel Methan und Fluorkohlenwasserstoffe).

Deshalb verwundert es auch nicht, dass die Emissionsstatistiker bislang bis zum Coronajahr 2020 mit jedem weiteren Jahr einen neuen Rekordwert verbuchten. Der aktuelle Höchstwert aus dem Jahr 2019 lag bei einem Gesamtausstoß von 43,1 Gigatonnen (Milliarden Tonnen). Im Pandemie-Jahr 2020 gingen die Emissionen durch die Verbrennung fossiler Rohstoffe im Vergleich zum Vorjahr um sieben Prozent zurück.

Von der Menge des emittierten Kohlendioxids verbleibt mittlerweile ein Anteil von 46 Prozent in der Atmosphäre. 23 Prozent nimmt der Ozean auf; weitere 31 Prozent entziehen Landpflanzen der Atmosphäre im Zuge ihres Wachstums.

Der Weltozean als Wärmespeicher

Infolge der globalen Emissionen stieg die Kohlendioxidkonzentration in der Erdatmosphäre im Jahr 2020 auf einen Jahresdurchschnitt von 413,9 ppm (parts per million). Zum Vergleich: Im Jahr 1750, also zwei Jahrzehnte bevor der Brite James Watt die Dampfmaschine optimierte und damit den Grundstein für die Industrialisierung legte, betrug die Kohlendioxidkonzentration schätzungsweise

277 ppm. Je höher der Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre steigt, desto undurchlässiger wird die Lufthülle der Erde für die Wärmeenergie, welche unser Planet aufgrund der Sonneneinstrahlung stetig wieder abstrahlt. Anstatt die Wärme ins Weltall entweichen zu lassen, halten die Treibhausgase sie gewissermaßen in der Atmosphäre fest und forcieren damit den Anstieg der Temperatur auf der Erde.

Dass sich die globale Erderwärmung bislang auf einen Durchschnittswert von 1,1 Grad Celsius beschränkt, verdankt die Menschheit in erster Linie dem Weltozean. Die Meere haben seit den 1970er-Jahren mehr als 90 Prozent der vom Menschen zu verantwortenden überschüssigen Wärme aufgenommen.

Um welch gigantische Energiemenge es sich dabei handelt, wird deutlich, wenn man sich einmal vor Augen führt, dass die Meere der Atmosphäre allein im Zeitraum von 2018 bis 2019 etwa 44-mal mehr Energie in Form von Wärme entzogen haben, als die gesamte Menschheit im gleichen Zeitraum für Transport, Industrie, Heizung und im Haushalt genutzt hat. Die Meere sind damit der wirkungsvollste Wärmespeicher im Klimasystem der Erde.

Methan: Der unerwartete Aufstieg des kleinen Bruders

Das Treibhausgas Methan stand in der Vergangenheit deutlich seltener im Blickpunkt der Öffentlichkeit als sein „großer Bruder“, das Kohlendioxid. Das lag vor allem daran, dass Methan in der Atmosphäre chemisch abgebaut wird und daher im Durchschnitt nur etwa zwölf Jahre lang dort verweilt. Kohlendioxid dagegen zerfällt nicht. Es kann der Atmosphäre nur entzogen werden – etwa durch Pflanzen, den Ozean oder durch Gesteinsverwitterung. Diese natürlichen Entnahmeprozesse laufen im Vergleich zum Tempo der Kohlendioxidemissionen jedoch sehr langsam ab, sodass neu emittiertes Kohlendioxid jahrtausendlang als Treibhausgas klimawirksam bleibt.

Seit mehr als zehn Jahren aber beobachten Forscher mit Sorge, wie der Methangehalt in der Atmosphäre zunimmt. Seit 2014 sprechen sie sogar von einem starken Anstieg. Methan kommt zwar weiterhin in deutlich geringerer Konzentration vor als Kohlendioxid, dafür aber besitzt es ein deutlich größeres Wärmepotenzial. Berechnungen zufolge hält es etwa 30-mal so viel Wärme in der Atmosphäre fest wie Kohlendioxid. Nach Schätzungen ist Methan daher für etwa 30 Prozent der bis heute beobachteten Erderwärmung verantwortlich.

Warum die Methanemissionen in den zurückliegenden Jahren so stark gestiegen sind, ist noch nicht genau geklärt. Methan wird sowohl auf natürliche Weise als auch durch menschliche Aktivitäten freigesetzt. Etwa zwei Fünftel der Emissionen stammen aus natürlichen Quellen wie Mooren und Feuchtgebieten. Drei Fünftel der Emissionen sind auf den Menschen zurückzuführen. Sie entweichen aus Erdöl- und Erdgasförderanlagen oder aus alten Kohleschächten, entstehen auf Müllhalden und beim Verbrennen organischen Materials. Oder aber sie werden in der Landwirtschaft freigesetzt, zum Beispiel beim Reisanbau oder durch Rinderherden.

Eine mögliche Erklärung für die steigende Methankonzentration könnte das Bevölkerungswachstum in den Tropen sein. Wo mehr Menschen leben, muss mehr Landwirtschaft betrieben werden, um ausreichend Nahrungsmittel zu produzieren. Durch den Einsatz verbesserter Beobachtungstechnik wie Drohnen und Satelliten verstehen Forscher jedoch auch immer besser, welche enormen Mengen Methan tatsächlich aus Müllbergen oder Erdölförderanlagen entweichen.

Hoffnung macht angesichts der aktuellen Situation nur die kurze Lebensdauer des Methans. Würde es der Menschheit gelingen, ihre Methanemissionen innerhalb kurzer Zeit drastisch zu reduzieren – das notwendige Wissen dazu liegt vor –, würde die Konzentration schon nach etwa zehn Jahren spürbar abnehmen.

Im Fall von Kohlendioxid dagegen müsste man viele Jahrhunderte bis Jahrtausende lang warten, bis sich nach umfassenden Emissionsreduktionen eine messbare Verringerung der Kohlendioxidkonzentration einstellen würde.

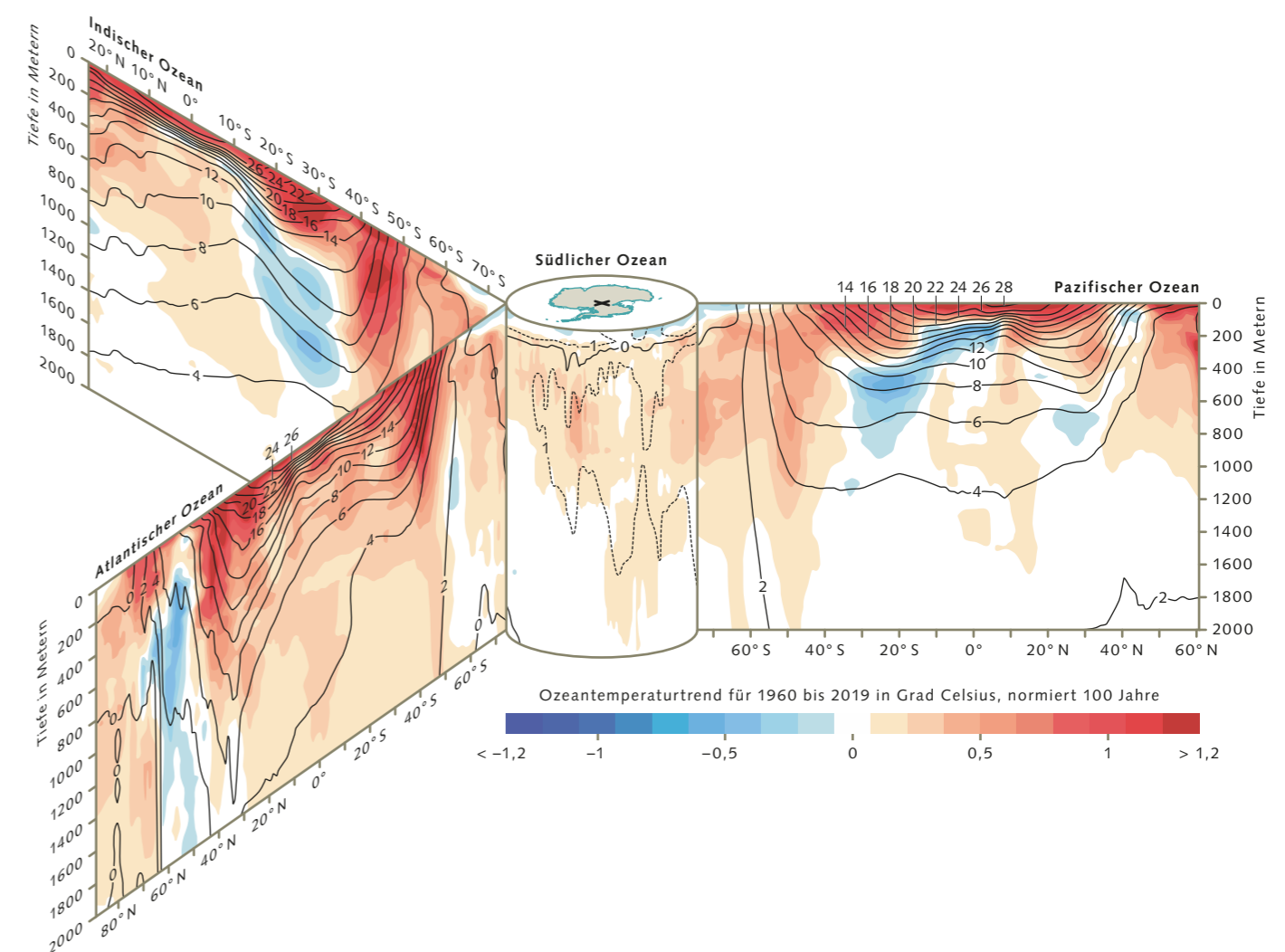
Dass der Ozean der Atmosphäre so viel Wärme entziehen kann, liegt vor allem an der extrem hohen Wärmekapazität des Wassers. Diese besagt, dass im Vergleich zu anderen Stoffen vergleichsweise viel Wärmeenergie benötigt wird, um Wasser überhaupt um ein Grad Celsius zu erwärmen – oder in anderen Worten ausgedrückt: Das Meer kann große Mengen Wärme aufnehmen, ohne dabei selbst deutlich wärmer zu werden. Im Umkehrschluss bedeutet diese Tatsache aber auch, dass die Meere viel Wärme speichern; eine Eigenschaft, die vor allem dann relevant wird, wenn man bedenkt, dass sie die gespeicherte Wärme auch wieder an die Atmosphäre abgeben, wenn sich ihre Wassermassen abkühlen.

Vergleicht man nun die unterschiedliche Wärmekapazität von Luft und Wasser, so wird deutlich, dass die Meere aufgrund der pro Kilogramm viermal größeren Wärmekapazität von Wasser im Vergleich zu Luft umgerechnet mehr als 1000-mal so viel Wärme speichern können wie die Lufthülle der Erde. Die Wärme wird an der Meeresoberfläche aufgenommen. Wind, Gezeiten und Meeresströmungen vermischen die Wassermassen und halten sie konstant in Bewegung, sodass die Wärme sowohl in größere Tiefen als auch von den wärmeren Gebieten Richtung Pole transportiert wird.

Wärme, die vom Meer aufgenommen wird, verschwindet jedoch nicht. Sie wird lediglich zwischengespeichert. Man könnte den Ozean deshalb mit einer gigantischen Wärmebatterie vergleichen, der wir Menschen seit Beginn der Industrialisierung mehr und mehr Wärme zuführen, indem wir Treibhausgase ausstoßen und so den Klimawandel forcieren.

Klimawirksam wird die im Meer gespeicherte Wärme erst wieder, wenn sie dazu beiträgt, dass das Meereis oder die schwimmenden Gletscherzungen in der Arktis und Antarktis schmelzen, aufgrund der Wärme Meerwasser schneller verdunstet oder sich die Luft direkt über der Meeresoberfläche erwärmt.

Gerade in den gemäßigten und höheren Breiten gibt das Meer auf diese Weise seine Wärmeenergie wieder an die Atmosphäre ab und sorgt so dafür, dass die Lufttemperaturen steigen. Innerhalb welchen Zeitraums dies geschieht, ist schwer vorherzusagen: Einmal aufgenommen, kann die Wärme des Meeres das Erdklima über



Jahrzehnte hinweg maßgeblich beeinflussen. Aus diesem Grund ist es für wissenschaftliche Vorhersagen des Klimas auch so entscheidend, den Wärmegehalt des Weltozeans möglichst genau zu kennen.

Die Temperaturkurve des Ozeans dient Wissenschaftlern zudem als wichtiges Kontrollinstrument. Verändert sich der Wärmegehalt der Meere, lässt sich anhand dieser Daten am besten der Beweis führen, wie es um die Erderwärmung steht – ob sie abklingt (gleichbleibende oder sinkende Wassertemperaturen) oder aber voranschreitet (steigende Wassertemperaturen). Daten aus der Luft sind für solche Analysen eigentlich ungeeignet, weil sie von zu vielen Faktoren beeinflusst werden. Nichtsdestotrotz wer-

den sie noch immer gern für Aussagen zur Entwicklung der globalen Erwärmung herangezogen.

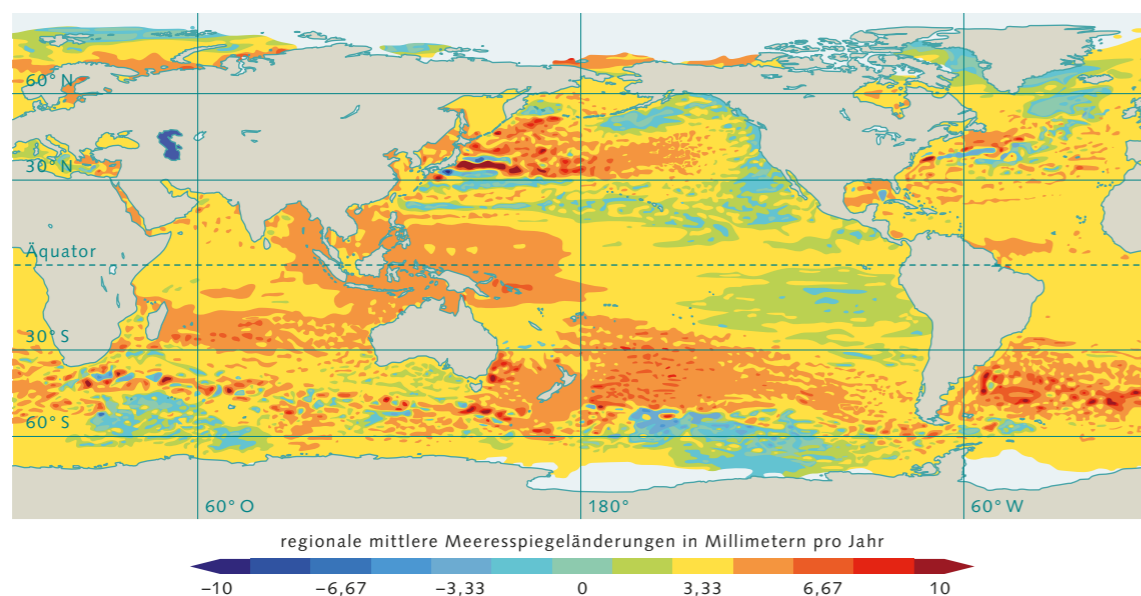
Temperaturanstiege bis in große Tiefen

Je mehr Wärme das Meer aufnimmt, desto spürbarer steigen seine Wassertemperaturen; zuerst an der Meeresoberfläche, anschließend in immer größerer Tiefe. Die mittlere Oberflächentemperatur der Meere ist seit Beginn des 20. Jahrhunderts um 0,88 Grad Celsius gestiegen.

Deutliche Veränderungen beobachten Wissenschaftler mittlerweile aber auch in der Tiefsee. Betrachtet man die Wärmeverteilung über die verschiedenen Tiefen,

2.7 > Die Meere nehmen die Wärme an ihrer Oberfläche auf, Strömungen transportieren sie dann in immer größere Tiefen. Dieses Muster zeigt sich in allen Ozeanen, deren Temperaturveränderungen hier bis in eine Tiefe von 2000 Metern dargestellt werden.

2.8 > Die Meeresspiegel steigen nicht gleichmäßig wie in einer Badewanne. Satellitenbeobachtungen von 1993 bis 2017 belegen, dass erhebliche regionale Unterschiede existieren.



so verblieben bis ins Jahr 2020 etwa 40,3 Prozent der aufgenommenen Wärme in den oberen 300 Metern. 21,6 Prozent waren in eine Tiefe von 300 bis 700 Metern gelangt, weitere 29,2 Prozent wurden in den Wasserschichten zwischen 700 und 2000 Metern gespeichert. Die restlichen 8,9 Prozent Wärme waren vor allem im Atlantischen und Südlichen Ozean bis in eine Tiefe von mehr als 2000 Metern verfrachtet worden.

Klimaforscher schlussfolgern daher, dass die weitreichende Erwärmung des Ozeans eines der überzeugendsten Anzeichen des globalen Klimawandels ist. Seit Beginn der kontinuierlichen Meeresbeobachtungen waren die Ozeane nicht so warm wie heutzutage – und alles deutet darauf hin, dass die Wassertemperaturen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts weiter steigen werden, selbst wenn die Menschheit es schaffen sollte, ihre Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

Lebensbedrohliche Konsequenzen

Im Zuge der Erwärmung verändern sich wichtige physikalische Eigenschaften des Meerwassers. Einige dieser Veränderungen wirken sich unmittelbar auf das Klimageschehen aus, andere wiederum beeinflussen vor allem das Leben im Meer sowie entlang der Küsten.

Die wichtigsten Folgeerscheinungen sind:

- ein Anstieg des Meeresspiegels,
- eine Zunahme der Wassermassenschicht und die damit verbundene Abnahme der Belüftung und des Sauerstoffgehaltes im Ozeaninneren,
- die Zunahme der Verdunstung von Meerwasser,
- die steigende Gefahr von Wetterextremen wie Stürmen sowie
- ein verstärktes Auftreten von Hitzewellen im Meer.

Steigende Wasserpegel und kein Ende in Sicht

Wärmer werdendes Wasser dehnt sich aus. Dieses Naturgesetz gilt auch für das Meer und hat in den zurückliegenden Jahrzehnten mit dazu beigetragen, dass der mittlere globale Meeresspiegel im Jahr 2018 etwa 20 Zentimeter höher war als noch im Jahr 1900 – und er wird weiter steigen, Prognosen zufolge um 18 bis 23 Zentimeter bis zum Jahr 2050. Bis zum Anfang des 21. Jahrhunderts waren der Anstieg der Meerestemperaturen und die damit verbundene Ausdehnung der Wassermassen der Hauptgrund für den langfristigen Anstieg des globalen mittleren Meeresspiegels. Dessen jährliche Rate lag im Zeitraum von 1901 bis 1990 bei durchschnittlich 1,4 Millimetern pro Jahr.

2.9 > Der höchste Punkt der philippinischen Insel Batasan liegt weniger als zwei Meter über dem Meeresspiegel. Damit gehört die Insel zu den vielen niedrig gelegenen Küstenregionen der Welt, die aufgrund steigender Wasserpegel bald unbewohnbar werden. Bei Flut dringt das Wasser schon heute regelmäßig in die Häuser ein.



Seitdem aber beschleunigt sich der Meeresspiegelanstieg spürbar. Von 1971 bis 2018 stieg der globale Pegel im Durchschnitt um 2,3 Millimeter pro Jahr, wobei in der zweiten Hälfte dieses Zeitraumes (2006 bis 2018) Durchschnittswerte von bis zu 3,7 Millimetern gemessen wurden. Das heißt, das Anstiegstempo hat sich im Vergleich zum zurückliegenden Jahrhundert mehr als verdoppelt.

Diese Beschleunigung ist allerdings nicht allein auf die Ozeanerwärmung zurückzuführen, selbst wenn der Anteil der Dichteveränderungen des Wassers bei mittlerweile 1,4 Millimetern pro Jahr liegt. Steigende Meeresspiegel können durch verschiedene Prozesse hervorgerufen werden. Deutlich zugenommen hat in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten insbesondere jener Anteil, der durch das Schmelzen der weltweiten Gletscher sowie der Eisschilde in Grönland und der Antarktis verursacht wird. Der stete Zufluss neuen Schmelzwassers führt dazu, dass tatsächlich mehr Wasser im Ozean zirkuliert und der Meeresspiegel massebedingt steigt. Nach Angaben des Weltklimarates machten die Eisverluste der Gletscher und Eisschilde in den vergangenen 15 Jahren 1,62 Millimeter pro Jahr aus und damit rund 44 Prozent des Gesamtanstieges.

Einen messbaren Einfluss auf den globalen Meeresspiegel haben außerdem Veränderungen der Wasserspeicher an Land. Werden zum Beispiel in mehreren Regionen der Welt Bäche oder Flüsse zu Stauseen angestaut, kann das den Meeresspiegel durchaus senken. Umgekehrt ist die Wirkung, wenn an Land große Wassermengen aus Grundwasserspeichern oder aber Seen entnommen wurden und dieses Wasser nach seiner Nutzung über die Kanalisation, Bäche und Flüsse in den Ozean gelangt.

An dieser Stelle muss jedoch erwähnt werden, dass die Wasserpegel der Weltmeere nicht so gleichmäßig steigen wie der Wasserstand in einer Badewanne. Ihre Oberfläche ist auch nicht eben, wie man vielleicht annehmen könnte, wenn man vom Strand auf das Meer hinausblickt. Satellitenbeobachtungen belegen, dass es erhebliche regionale Unterschiede in der Meereshöhe sowie im Anstieg der Wasserpegel gibt. Diese lassen sich zum Beispiel auf den Einfluss von Meeresströmungen zurückführen, auf Winde oder auf die unterschiedlich starke wärmebedingte Ausdehnung der Wassermasse. Ausschlaggebend für steigende oder sinkende Wasserpegel können aber auch Landhebungen und -senkungen in jenen Küstenregionen

sein, die während der letzten Eiszeit von riesigen Gletschern bedeckt waren. In Zahlen ausgedrückt können diese Unterschiede heutzutage bis zu plus/minus 30 Prozent des globalen Anstieges ausmachen.

Aus diesem Grund wird in der Wissenschaft häufig von Meeresspiegeln – in der Mehrzahl – gesprochen. Zudem verweisen Experten immer wieder darauf, dass es bei der Bewertung des Überflutungsrisikos vor Ort nicht nur auf den globalen Trend ankommt, sondern in erster Linie die lokalen Bedingungen berücksichtigt werden müssen. Ein plakatives Beispiel dafür ist die Entwicklung der Pegelstände an den Küsten Nordamerikas. Während in den zurückliegenden Jahren die Meeresspiegel entlang der Westküste nahezu unverändert geblieben sind oder eher sanken, steigen sie an der Ostküste bis heute größtenteils an.

Steigende Wasserpegel sind eine der folgenreichsten Entwicklungen im Zuge des Klimawandels. Sie gefährden zahllose Atolle und kleinere Inselstaaten sowie weite, oftmals dicht besiedelte Küstenräume auf der gesamten Welt. Gleichzeitig fällt es der Wissenschaft immer noch ausgesprochen schwer, genaue Vorhersagen zur künftigen Entwicklung der regionalen und lokalen Meeresspiegel zu machen. Der Grund dafür sind große Unsicherheiten in Bezug auf entscheidende Einflussfaktoren. So ist zum Beispiel immer noch fraglich, in welchem Tempo die Eisschilde Grönlands und der Antarktis künftig schmelzen werden – und ob sie irgendwann einen sogenannten Kippunkt (Tipping Point) erreichen werden, an dem ihr Zerfall unaufhaltsam und unumkehrbar sein wird.

Der Weltklimarat geht in seinem sechsten Sachstandsbericht davon aus, dass sich der Anstieg des globalen Meeresspiegels weiter beschleunigen wird, selbst wenn es der Staatengemeinschaft gelingen sollte, die Treibhausgasemissionen so umfangreich zu reduzieren wie im **Pariser Klimaabkommen** aus dem Jahr 2015 beschlossen. Den aktuellen Vorhersagen zufolge wird der mittlere globale Meeresspiegel bis zum Jahr 2100 im Durchschnitt um 38 bis 77 Zentimeter steigen – je nachdem, welche Menge an Treibhausgasen die Menschheit weiterhin emittieren wird.

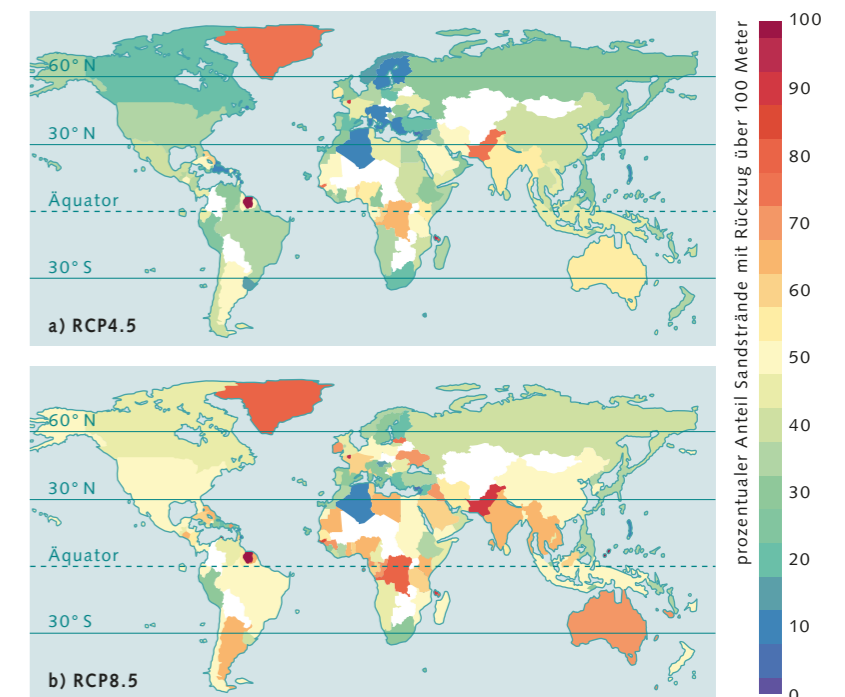
Je höher die Wasserpegel steigen, desto größer wird die Überflutungsgefahr, vor allem in Küstenregionen, die maximal zehn Meter über dem Meeresspiegel liegen. Wurden viele von ihnen in der Vergangenheit statistisch

gesehen nur einmal in 100 Jahren von außergewöhnlichen Hochwasserereignissen wie Sturm- und Springfluten oder aber extrem hohen Wellen getroffen, wird dies nach Angaben des Weltklimarates bis zum Jahr 2050 in den hohen und gemäßigten Breiten alle zwei bis 50 Jahre der Fall sein. Für die niedrigen Breiten, gemeint sind die Küstenräume der Tropen und Subtropen, rechnen die Experten mit mehreren extremen Hochwasserereignissen pro Jahr. Das heißt, Millionenstädte wie Kalkutta beispielsweise könnten durch das Meer künftig regelmäßig unter Wasser gesetzt werden.

Besonders schwer werden die Überflutungen ausfallen, wenn sich zu einem generell hohen Meeresspiegel eine Springflut und ein Sturmgebiet gesellen, dessen Winde das Meerwasser vor der jeweiligen Küste aufstauen. Unter diesen Bedingungen können hohe Wellen besonders weit ins Landesinnere vordringen und das Küstengebiet weiträumig überspülen. Küstenschutzexperten gehen davon aus, dass sich die Gefahr großer Überflutungen mit jedem Dezimeter Meeresspiegelanstieg in etwa verdreifacht. Dieser sprunghafte Anstieg ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Küstenstreifen in vielen Regionen der Welt nur knapp über dem bisherigen Meeresspiegel liegen. Sollte der regionale Pegel also um zehn Zentimeter steigen, würde sich die Hochwasserlinie je nach Gefälle automatisch um 30 bis 40 Meter landeinwärts verlagern. Bei Sturm würden die Wellen dann noch viel weiter den Küstenbereich hinaufrollen – es sei denn, steile Klippen oder Küstenschutzbauten wie Schutzmauern versperren ihnen den Weg.

Lässt man alle Hochwasserschutzmaßnahmen außer Acht und betrachtet ausschließlich die Höhenlage der Küstenregionen, leben auf der Welt derzeit rund 360 Millionen Menschen in niedrig gelegenen Gebieten, die selbst bei einer Einhaltung des Zwei-Grad-Klimaziels im Jahr 2100 regelmäßig überflutet würden – die meisten von ihnen in Asien. In Vietnam beispielsweise wäre unter diesen Umständen nahezu ein Viertel der Bevölkerung betroffen; in Thailands Hauptstadt Bangkok stünden große Stadtteile dauerhaft unter Wasser, ähnlich wäre es in Shanghai.

Diese Zahl ist jedoch nur eine von vielen, denn bislang gibt es in der Wissenschaft durchaus unterschiedliche Definitionen, unter welchen Umständen Küstenbewohner



als vom Meeresspiegelanstieg gefährdet gelten. Erschwert werden genauere Prognosen auch dadurch, dass man das künftige Bevölkerungswachstum in den Küstenregionen nur ungefähr vorhersagen kann und viele Küstenmetropolen absinken, weil vor Ort so viel Grundwasser aus dem Untergrund gepumpt wird. Steigt zeitgleich der lokale Meeresspiegel, nimmt das Überschwemmungsrisiko um ein Vielfaches zu.

Einig sind sich die Forscher jedoch in ihrer Einschätzung, welche Gefahr der weltweite Anstieg der Meeresspiegel darstellt. Seine negativen Folgen für die Küstenbevölkerung zu minimieren, so der Tenor, sei eine der größten gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit.

Den Meeren geht der Sauerstoff aus

Wärmer werdendes Meerwasser dehnt sich nicht nur aus, es verliert auch Sauerstoff und somit einen der wichtigsten Grundsteine für das Leben im Ozean. Im Zeitraum von 1960 bis 2010 haben die Weltmeere mehr als zwei Prozent (rund 77 Milliarden Tonnen O₂) ihres Sauerstoffgehaltes eingebüßt. Gründe dafür waren zum einen die

2.10 > Steigende Meeresspiegel bedrohen die Sandstrände der Welt. Diese beiden Karten zeigen für jeden Küstenstaat, wie hoch der prozentuale Anteil seiner sandigen Küstenabschnitte sein wird, die laut Berechnungen bis zum Jahr 2100 mehr als 100 Meter Breite einbüßen werden – oben (a) dargestellt für eine Welt, die sich bis zum Jahr 2100 um 2,5 Grad Celsius erwärmt; darunter (b) für eine Welt, die zum selben Zeitpunkt etwa 4,3 Grad Celsius wärmer ist.

Überdüngung der Meere – ein Prozess, der vor allem die Küstengewässer betrifft –, zum anderen können Wissenschaftler den Großteil der Sauerstoffverluste mittlerweile eindeutig auf die Meereserwärmung und somit auf den Klimawandel zurückführen.

Sauerstoff gelangt auf zweierlei Weise ins Meer: durch Gasaustauschprozesse zwischen der Atmosphäre und dem Meer an der Wasseroberfläche sowie als Abfallprodukt der Photosynthese, welche Algen und Wasserpflanzen im oberen lichtdurchfluteten Teil der Wassersäule betreiben. Trotzdem enthält ein Liter Meerwasser im Durchschnitt etwa 30-mal weniger Sauerstoff als ein Liter Luft, weshalb das Atmen unter Wasser auch Schwerarbeit ist. Um ein Gramm Sauerstoff aufzunehmen, müssen Fische, Muscheln, Seesterne und Co. rund 152 Liter Wasser durch ihre Kiemen oder Atemorgane pumpen. Landlebewesen dagegen müssen für die gleiche Sauerstoffausbeute nur 3,6 Liter Luft einatmen.

Verbraucht wird Sauerstoff im Meer allerdings nicht nur durch Fische und andere höher entwickelte Meeresbewohner, sondern in erster Linie durch Mikroben und mehrzellige Organismen, welche bis in große Tiefe pflanzliche und tierische Überreste (organisches Material) zersetzen und dabei Sauerstoff veratmen. Je mehr Biomasse also in der lichtdurchfluteten Zone produziert wird und je mehr Algen und tierische Lebewesen absterben und

herabsinken, desto mehr organisches Material steht den Mikroben zur Verfügung und desto mehr Sauerstoff verbrauchen sie. Ähnliches gilt für steigende Wassertemperaturen. Je wärmer das Meer wird, desto mehr Sauerstoff benötigen große und kleine Meeresbewohner, um alle lebenswichtigen Prozesse aufrechtzuerhalten.

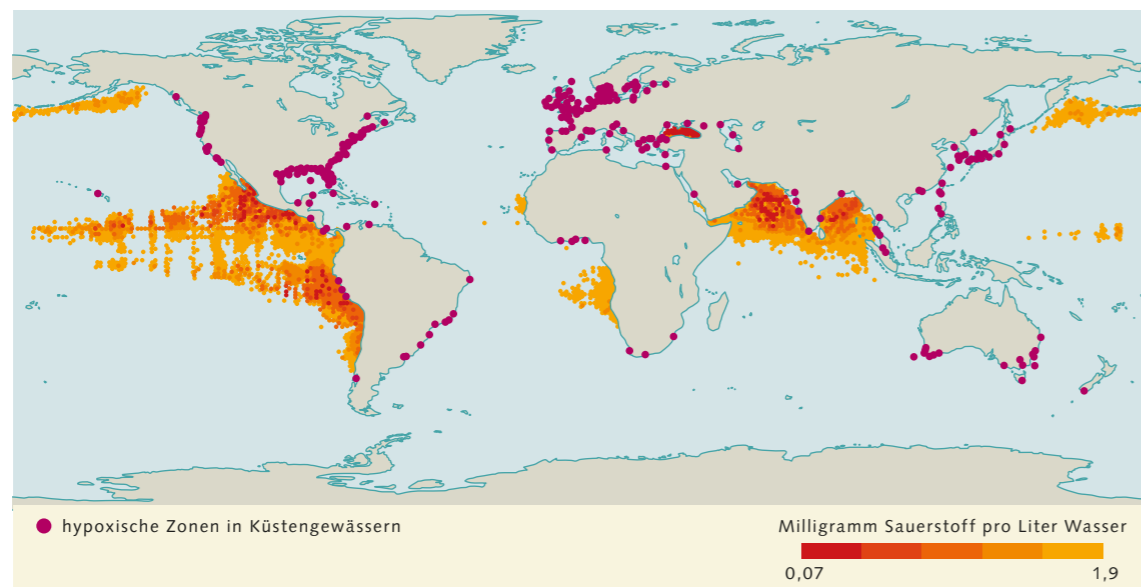
Fachleute leiten aus diesen Erkenntnissen zwei wesentliche Schlussfolgerungen ab.

Erstens: Verändern sich die chemischen oder physikalischen Grundvoraussetzungen in einer Wasserschicht – etwa durch den Eintrag von Nährstoffen oder aber Veränderungen der Temperatur oder der einfallenden Lichtmenge –, beeinflusst das die Biomasseproduktion und somit langfristig auch die sauerstoffzehrende Zersetzung der in die Tiefe sinkenden Biomasse.

Zweitens: Wenn sauerstoffreiches Oberflächenwasser mit der Ozeanzirkulation in die Tiefe transportiert wird, ist dessen Sauerstoffkonzentration anfangs noch vergleichsweise hoch. Je länger dieses Wasser jedoch in der Tiefe verweilt, desto mehr Zeit haben Mikroben und andere Lebewesen, herunterrieselnde Partikel zu zersetzen und dabei den im Wasser enthaltenen Sauerstoff zu veratmen. Aus diesem Grund ist Tiefenwasser in der Regel eher sauerstoffarm.

Doch zurück zur Meeresoberfläche: Wie viel Sauerstoff das Meer aus der Luft aufnehmen kann, hängt von

2.11 > Niedrige oder abnehmende Sauerstoffkonzentrationen sind ein globales Problem und treten sowohl in Küstengewässern als auch im offenen Ozean auf. Diese Karte zeigt violett markiert Küstenregionen, deren Wasser weniger als zwei Milligramm Sauerstoff pro Liter Wasser (< 63 Mikromol pro Liter) enthält. Orange dargestellt ist die Verteilung der Sauerstoffminimumzonen in einer Tiefe von 300 Metern.



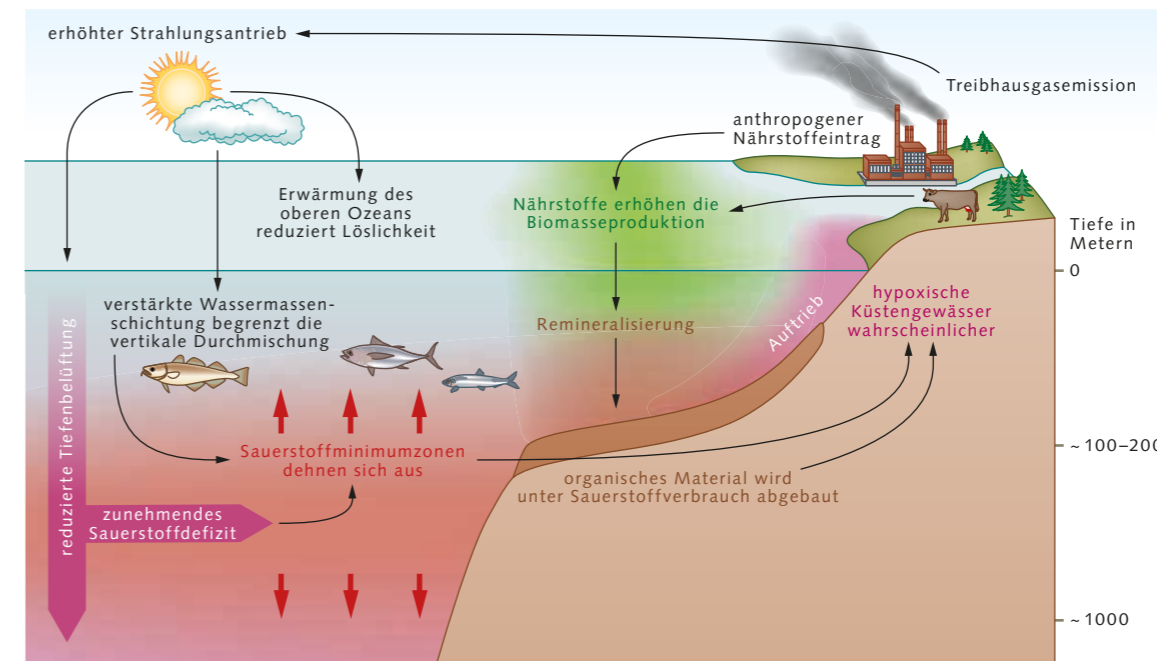
herabsinken, desto mehr organisches Material steht den Mikroben zur Verfügung und desto mehr Sauerstoff verbrauchen sie. Ähnliches gilt für steigende Wassertemperaturen. Je wärmer das Meer wird, desto mehr Sauerstoff benötigen große und kleine Meeresbewohner, um alle lebenswichtigen Prozesse aufrechtzuerhalten.

Fachleute leiten aus diesen Erkenntnissen zwei wesentliche Schlussfolgerungen ab.

Erstens: Verändern sich die chemischen oder physikalischen Grundvoraussetzungen in einer Wasserschicht – etwa durch den Eintrag von Nährstoffen oder aber Veränderungen der Temperatur oder der einfallenden Lichtmenge –, beeinflusst das die Biomasseproduktion und somit langfristig auch die sauerstoffzehrende Zersetzung der in die Tiefe sinkenden Biomasse.

Zweitens: Wenn sauerstoffreiches Oberflächenwasser mit der Ozeanzirkulation in die Tiefe transportiert wird, ist dessen Sauerstoffkonzentration anfangs noch vergleichsweise hoch. Je länger dieses Wasser jedoch in der Tiefe verweilt, desto mehr Zeit haben Mikroben und andere Lebewesen, herunterrieselnde Partikel zu zersetzen und dabei den im Wasser enthaltenen Sauerstoff zu veratmen. Aus diesem Grund ist Tiefenwasser in der Regel eher sauerstoffarm.

Doch zurück zur Meeresoberfläche: Wie viel Sauerstoff das Meer aus der Luft aufnehmen kann, hängt von



2.12 > Die Sauerstoffabnahme im offenen Meer wird in erster Linie durch steigende Wassertemperaturen hervorgerufen. Sie bewirken, dass sich weniger Sauerstoff im Wasser löst und Oberflächen- und Tiefenwasser nicht mehr ausreichend durchmischt werden. In Küstengewässern dagegen führen hohe Nährstoffeinträge zu einem starken Algenwachstum, bei dessen Abbau anschließend Mikroorganismen allen Sauerstoff aufbrauchen.

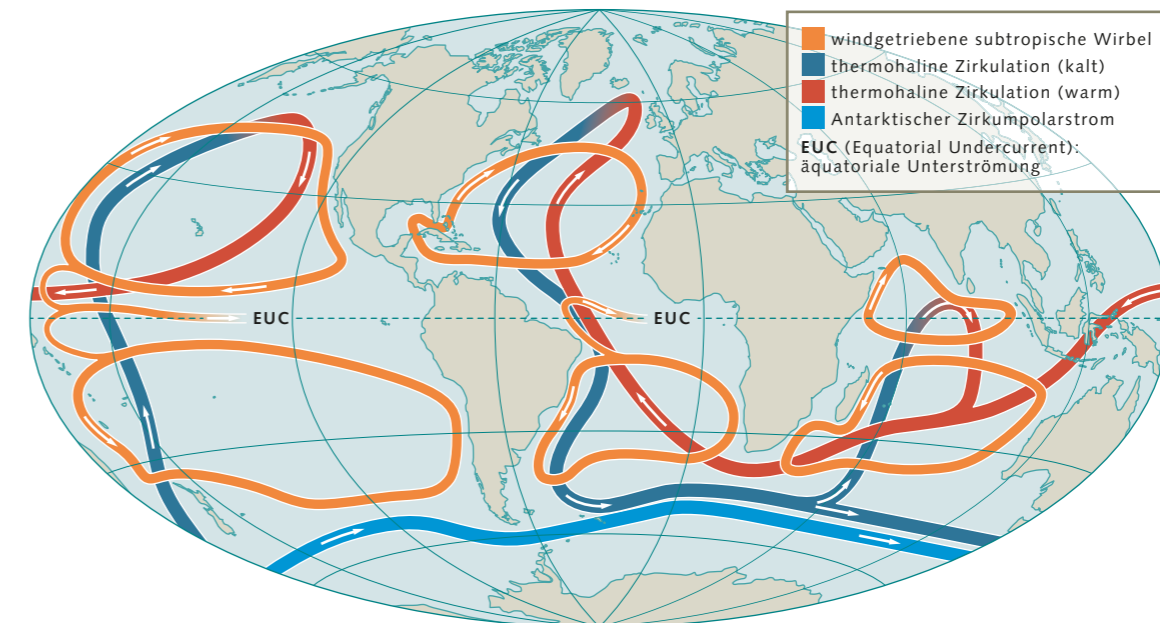
der Temperatur und vom Salzgehalt des Oberflächenwassers ab. Beide Faktoren bestimmen maßgeblich die Löslichkeit von Gasen im Wasser. Je wärmer und salziger das Meer ist, desto weniger Sauerstoff kann sich darin lösen. Steigt zum Beispiel die Temperatur des Oberflächenwassers von vier auf sechs Grad Celsius, sinkt sein Sauerstoffgehalt automatisch um fünf Prozent.

Wissenschaftler haben untersucht, wie groß in den zurückliegenden Jahrzehnten der jeweilige Einfluss von Temperaturveränderungen und eines sich ändernden Salzgehaltes auf den Sauerstoffgehalt der Meere war. Dabei kamen sie zu dem Ergebnis, dass die Sauerstoffverluste in den oberen 1000 Metern der Wassersäule hauptsächlich auf den zunehmenden Wärmegehalt des Ozeans zurückzuführen sind und die daraus folgende geringere Löslichkeit von Gasen im Meer. Veränderungen im Salzgehalt dagegen spielen nach Ansicht der Wissenschaftler nur eine untergeordnete Rolle.

Auf die gesamte Wassersäule gerechnet aber machen die wärme- und löslichkeitsbedingten Sauerstoffverluste nur 15 Prozent aus. Die restlichen 85 Prozent werden dadurch verursacht, dass sich sowohl die Meeresströmungen als auch die Durchmischungstiefe des Oberflächenwassers verändern.

Die Wassermassen an der Meeresoberfläche werden durch den direkten Gasaustausch mit der Atmosphäre belüftet. Dieser Prozess funktioniert so gut, dass das Oberflächenwasser seiner Temperatur entsprechend quasi immer sauerstoffgesättigt ist. Das heißt, es besitzt die maximal mögliche Sauerstoffkonzentration und befindet sich diesbezüglich in einem Gleichgewicht mit der Atmosphäre. Bis in welche Tiefe dieser Zustand existiert, hängt vom Wind ab sowie von der Luft- und Wassertemperatur, welche beide je nach Jahreszeit und geografischer Breite variieren. Im Sommer, wenn Sonne und Lufttemperatur das Oberflächenwasser stark erwärmen, dehnt es sich aus und wird deutlich leichter als die darunterliegenden meist kühleren Wasserschichten. Denn grundsätzlich gilt: Je kälter und salziger eine Wassermasse ist, desto größer ist ihre Dichte und desto tiefer wird sie im Ozean eingeschichtet. Infolge dieses Dichtekontrastes zum Tiefenwasser liegt warmes Oberflächenwasser dann wie ein stabiler, warmer Deckel auf dem Meer, sodass es selbst starkem Wind nicht mehr gelingt, die Deckschicht und die darunterliegenden Wassermassen miteinander zu vermischen. Das sauerstoffreiche Wasser verbleibt also an der Meeresoberfläche und gelangt nicht mehr in tiefere Schichten.

2.13 > Temperaturbedingte Grenzen zwischen Wassermassen lassen sich manchmal auch mit bloßem Auge erkennen: Auf diesem Bild schwimmen Stachelmakrelen und Hochrückenfisiliere knapp über deutlich kälterem Tiefenwasser.



2.14 > Die Lage, Größe und Verteilung sauerstoffarmer Zonen hängen eng von den Meeresströmungen ab. Diese Karte zeigt die vom Wind angetriebenen Strömungen der subtropischen Wirbel und des Antarktischen Zirkumpolarstroms sowie das Förderband der dichtegetriebenen thermohalinen Zirkulation.

Wissenschaftler bezeichnen die Schichtung der Wassermassen aufgrund von Dichteunterschieden als Stratifikation. Da sich der Ozean von der Meeresoberfläche her erwärmt, nimmt diese als unmittelbare Folge der Meereserwärmung zu und verhindert den Wasseraustausch zwischen Meeresoberfläche und den darunterliegenden Schichten in einem immer größeren Maß. In einigen Regionen der Welt wird die temperaturbedingte Stratifikation der oberen Wasserschicht noch zusätzlich verstärkt; so zum Beispiel in den Polarregionen, wo die Schneedecke, Gletscher und Eisschilde in zunehmendem Maß schmelzen und ihr Schmelzwasser das Meer an seiner Oberfläche ausfüßt. Den gleichen Effekt beobachten Wissenschaftler in jenen Meeres- und Küstengebieten, in denen im Zuge des Klimawandels mehr Niederschlag fällt. Wie Schmelzwasser ist auch Regenwasser nichts anderes als Süßwasser, welches das Oberflächenwasser der Meere verdünnt, es somit weniger salzig und demzufolge leichter macht.

Für die Belüftung der Stockwerke unterhalb der vom Wind durchmischten Deckschicht ist das sogenannte thermohaline Förderband der Meeresströmungen zuständig. Es transportiert die Wassermassen der Ozeane wie eine Art Förderband durch alle großen Ozeanbecken. Dieses Förderband bewegt sich aufgrund von Unterschieden in der Temperatur und im Salzgehalt der Wassermassen, wes-

halb Fachleute auch von einer thermohalinen Zirkulation sprechen (*thermo*: angetrieben durch Temperaturunterschiede; *halin*: angetrieben durch Unterschiede im Salzgehalt).

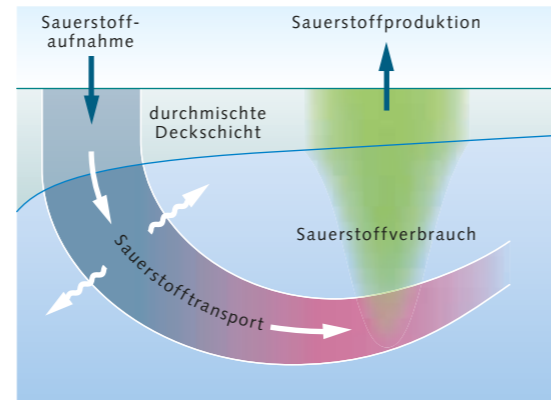
Der Klimawandel beeinträchtigt allerdings auch deren Funktionsweise, denn je wärmer und leichter die Wassermassen an der Meeresoberfläche werden, desto langsamer geht die Umwälzbewegung der thermohalinen Zirkulation vonstatten. Gemeint ist das Abkühlen und Absinken gigantischer Wassermassen in den mittleren Breiten, wo das sogenannte Zwischenwasser entsteht, sowie in der Arktis und Antarktis, wo sich schweres, sauerstoffreiches Tiefenwasser bildet. Letzteres fließt aus den Polarregionen zurück Richtung Äquator und belüftet dabei den tiefen Ozean. Das Zwischenwasser dagegen versorgt die mittleren Schichten des Meeres mit Sauerstoff.

Mittlerweile gibt es aus vielen Teilen der Welt Hinweise darauf, dass das Förderband der thermohalinen Zirkulation im Zuge des Klimawandels langsamer wird. Demzufolge gelangt nicht nur weniger sauerstoffreiches Oberflächenwasser in größere Tiefen; auf ihrer Wanderung durch die Ozeane verbringen die einzelnen Wassermassen insgesamt auch mehr Zeit in der mittleren und unteren Etage des Meeres. In beiden Stockwerken aber zersetzen Mikroben und Kleinstlebewesen weiterhin Par-

tikel und veratmen Sauerstoff, was dazu führt, dass der Sauerstoffgehalt des Zwischen- und Tiefenwassers weiter sinkt.

Wie diese Entwicklung künftig weitergehen wird, haben deutsche Wissenschaftler in Klima-Ozean-Modellen berechnet. Ihr Ergebnis: Die wärmebedingte Verlangsamung der globalen Meereszirkulation wird künftig für die Hälfte aller Sauerstoffverluste in den oberen 1000 Metern der Wassersäule verantwortlich sein. Im tiefen Ozean, also unterhalb der 1000-Meter-Marke, werden sogar 98 Prozent der Verluste auf die abnehmende thermohaline Zirkulation zurückzuführen sein.

In den zurückliegenden 50 Jahren ist die Gesamtfläche sogenannter Sauerstoffminimumzonen im offenen Ozean, in denen Fische nicht mehr genügend Sauerstoff zum Atmen haben, um etwa 4,5 Millionen Quadratkilometer angewachsen. Dieses Plus entspricht in etwa der Fläche der Europäischen Union. Im selben Zeitraum hat sich die Menge des anoxischen, das heißt des komplett sauerstofffreien Wassers vervierfacht. Den Ozeanen geht im Zuge des Klimawandels also im wahrsten Wortsinn die Luft aus. Das Fatale an dieser Entwicklung ist jedoch, dass sich die wärmebedingten Sauerstoffverluste des Meeres nicht einfach stoppen und umkehren lassen. Selbst wenn es der Menschheit gelingen sollte, ihre Treibhausgasemissionen nach den Vorgaben des Pariser Klimaabkommens zu reduzieren und künftig emissionsneutral zu leben,



2.16 > Auf dem offenen Meer nimmt der Sauerstoffgehalt des Wassers mit zunehmender Tiefe ab. Grund ist der Sauerstoffverbrauch der Mikroorganismen.

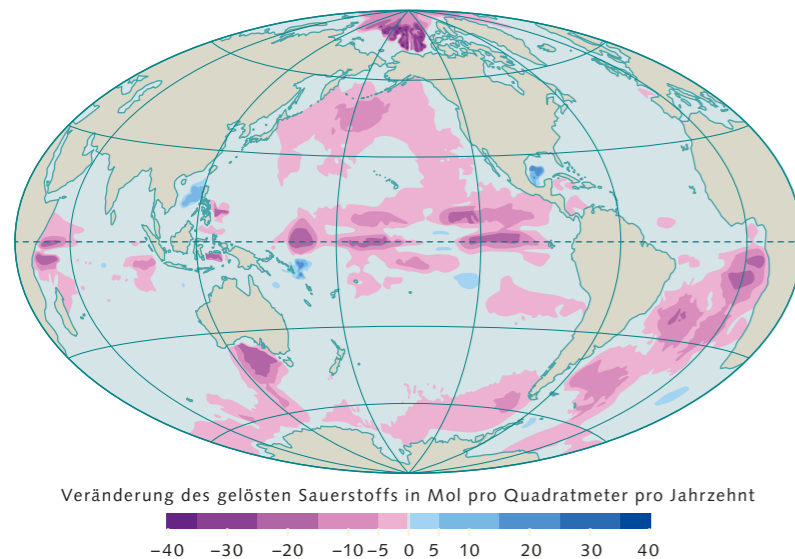
würde es mehrere Jahrhunderte dauern, bis die Treibhausgaskonzentration sinkt, sich die Atmosphäre und der Weltozean abkühlen und der Sauerstoffgehalt der Meere wieder auf das vorindustrielle Niveau ansteigt.

Treibstoff für Hurrikane und Starkregen

Im Ozean und seinen Nebenmeeren zirkulieren 97 Prozent allen flüssigen Wassers auf der Erde, was sie zum wichtigsten Reservoir des globalen Wasserkreislaufes macht. Über den Ozeanen verdunsten pro Jahr schätzungsweise 420 000 Kubikkilometer Wasser. Etwa 90 Prozent dieser Feuchtigkeit kehrt im Anschluss in Form von Regen oder Schnee direkt wieder ins Meer zurück. Die restlichen zehn Prozent wandern in Form von Wasserdampf oder Wolken über die Kontinente und regnen dort ab. Auf dem Rückweg ins Meer machen sie dann oft noch Zwischenstation – etwa als Wassertropfen, der einer Pflanze zum Wachstum verhilft, oder aber als Sickerwasser, welches dazu beiträgt, einen Grundwasserspeicher wieder aufzufüllen. Irgendwann aber kehrt auch dieses Wasser ins Meer zurück.

Wie viel Wasser über dem Meer verdunstet und sich damit auf die Reise begibt, hängt abermals von der Luft- und Wassertemperatur ab. Je weiter sich die Atmosphäre nämlich erwärmt, desto mehr Wasserdampf kann sie speichern (sieben Prozent mehr Feuchtigkeit pro ein Grad Celsius Erwärmung). Und je wärmer das Meerwasser ist, desto einfacher verdunstet es an seiner Oberfläche. Im

2.15 > Seit dem Jahr 1960 hat der Sauerstoffgehalt der Meere um mehr als zwei Prozent abgenommen. Diese Karte zeigt, in welchen Regionen die Sauerstoffkonzentration besonders stark gesunken ist.



Zuge des Klimawandels verändern sich demzufolge wichtige Verteilungsmuster innerhalb des Wasserkreislaufes. Höhere Verdunstungsraten über dem Meer verstärken zum Beispiel die Intensität von Starkregenereignissen, die sich zumeist über dem Ozean zusammenbrauen. Das heißt, im Zuge eines solchen extremen Wetterereignisses fällt heutzutage deutlich mehr Regen, als dies früher der Fall war.

Beispielgebend dafür war unter anderem der Tropensturm Imelda, der Mitte September 2019 über den Südosten des US-Bundesstaates Texas hinwegzog und aufgrund seiner außergewöhnlich hohen Niederschläge große Überschwemmungen auslöste. Am zweiten und dritten Sturmtag fielen im Sturmzentrum jeweils bis zu 500 Liter Regen pro Quadratmeter – eine Niederschlagsmenge, wie sie die Küstenregion von Texas sonst nur einmal alle 50 Jahre erlebt. Rund 1000 Menschen mussten evakuiert werden, fünf Menschen starben, mehr als 10 000 Autos wurden durch die Regenfälle und Überschwemmungen beschädigt. Für 13 Landkreise mit insgesamt 6,6 Millionen Einwohnern wurde der Notstand ausgerufen.

Klimaforscher sammelten im Anschluss an dieses Extremereignis alle verfügbaren meteorologischen Daten aus der Region – aktuelle Wetterangaben ebenso wie historische Aufzeichnungen, die mindestens 80 Jahre zurückreichen. Anschließend berechneten sie mithilfe von Klimamodellen, in welchem Maß der Klimawandel die Wahrscheinlichkeit und Niederschlagsintensität des Sturmes erhöht hat. Ihre Analyse ergab, dass im Vergleich zum Jahr 1900 die Gefahr eines solchen zweitägigen Starkregens um den Faktor 1,6 bis 2,6 gestiegen war; die Regenintensität hatte um neun bis 17 Prozent zugenommen. Die Studie sei ein weiterer Beleg dafür, dass der Klimawandel entlang der US-amerikanischen Golfküste zu steigenden Niederschlagsmengen bei Extremwetterereignissen führe, schlussfolgerten die Forscher am Ende.

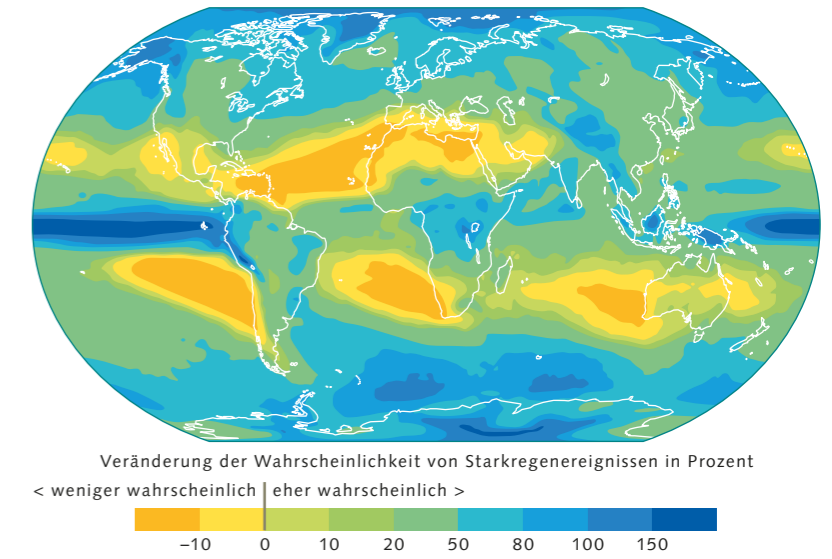
Solche sogenannten Zuordnungsstudien (englisch: extreme event attribution oder auch attribution research) sind ein noch relativ junges Forschungsfeld innerhalb der Klimawissenschaften. Seit knapp 20 Jahren versuchen Forscher herauszufinden, welchen Anteil der menschengemachte Klimawandel an Extremereignissen wie Dürren, Hitzewellen, Stürmen und Überflutungen hat. Oft vergleichen sie dabei die Beobachtungsdaten eines Extremereig-

nisses mit zwei Sorten von Klimasimulationen – eine in einer Welt ohne vom Menschen verursachte Treibhausgasemissionen und eine zweite, welche unser heutiges Klima realistisch abbildet.

Mittlerweile gibt es mehr als 350 Einzelstudien, die von Experten begutachtet wurden und in Fachmagazinen erschienen sind. Die meisten von ihnen liefern neue Anhaltspunkte dafür, dass menschliches Handeln die Wahrscheinlichkeit oder aber die Intensität extremer Wetterereignisse erhöht. In einer Übersichtsstudie aus dem Jahr 2020 zeigen Experten auf, dass der menschengemachte Klimawandel in 78 Prozent der insgesamt untersuchten Extremereignisse deren Wahrscheinlichkeit oder Intensität erhöht hat. Auslöser waren in den meisten Fällen steigende Temperaturen infolge der hohen Treibhausgasemissionen. Betrachtet man nur die Studien zu Starkregenereignissen und Überflutungen, fiel das Ergebnis nicht ganz so eindeutig aus. Hier konnte in lediglich 54 Prozent der Studien ein Fingerabdruck des Klimawandels nachgewiesen werden.

Der Weltklimarat geht in seinem neuesten Bericht ebenfalls davon aus, dass sich die Niederschlagsmuster in vielen Regionen der Welt verändern werden. Extreme wie Starkregen oder aber lang anhaltende Trockenheit werden häufiger auftreten und intensiver ausfallen. Zunehmen werden außerdem die jahreszeitlichen Unterschiede in der Niederschlagsmenge. Das heißt, es wird in

2.17 > Je wärmer Atmosphäre und Meer sind, desto mehr Wasser verdunstet und desto größer ist die Gefahr von Starkregen. Die Karte zeigt, um wie viel wahrscheinlicher Starkregenereignisse werden würden, wenn die Welt eines Tages drei Grad Celsius wärmer wäre als zur vorindustriellen Zeit.



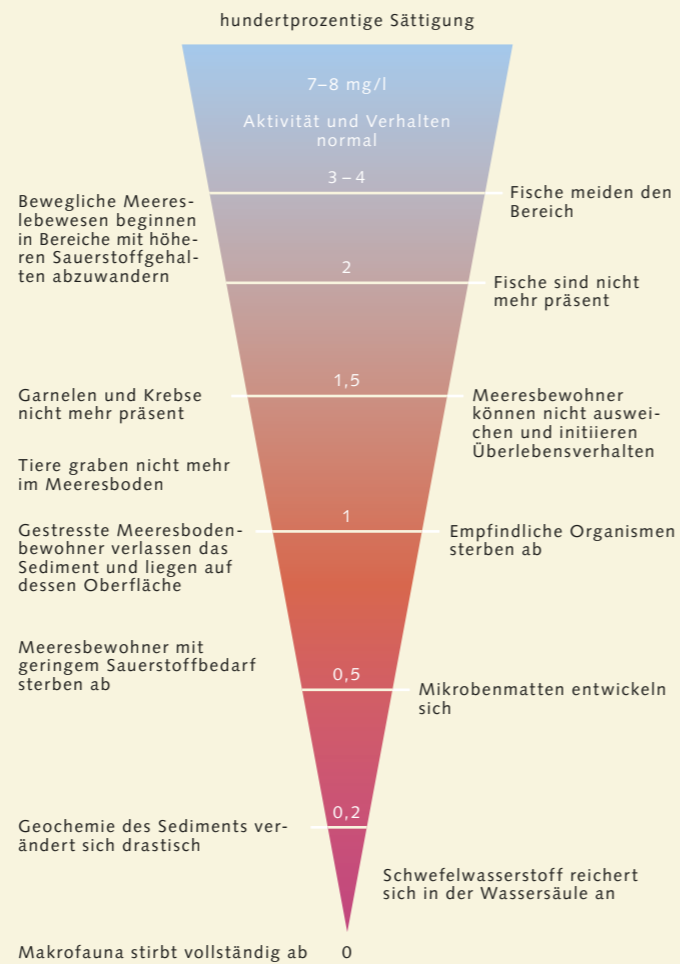
Atemnot in überdüngten Küstengewässern

Jedes Jahr im Juni veröffentlichen Wissenschaftler der US-amerikanischen Meeresbehörde NOAA eine Vorhersage zur Größe der sogenannten Todeszone (englisch: dead zone), die sich im Laufe des Sommers im nördlichen Teil des Golfs von Mexiko bildet. Als Todeszone werden umgangssprachlich Meeresgebiete in Küstennähe bezeichnet, deren Wasser hypoxisch ist. Das heißt, es besitzt nur noch so wenig Sauerstoff, dass Fische und andere wasseratmende Meereslebewesen Atemnot bekommen und gezwungen sind, ihren Stoffwechsel enorm herunterzufahren oder aber – falls das nicht reicht – abzuwandern, sonst sterben sie. Wann genau das der Fall ist, unterscheidet sich von Art zu Art. Wissenschaftler verwenden lediglich Richtwerte und geben diese auch noch in unterschiedlichen Einheiten an – je nachdem, ob es sich um Küstengewässer oder aber um Zonen im offenen Ozean handelt. Wassermassen gelten in der Regel als hypoxisch, wenn sie pro Kilogramm Wasser weniger als 70 Mikromol Sauerstoff enthalten. Sinkt die Konzentration sogar unter 20 Mikromol, spricht man von sogenannten Minimumzonen mit extrem geringem Sauerstoffgehalt.

Hypoxische Zonen entstehen in der Regel dort, wo Flüsse übermäßig viele Mineralien und Nährstoffe in die Küstengewässer eintragen und auf diese Weise das Wachstum ein- und mehrzelliger Algen (Phytoplankton) antreiben. Oft kommt es dabei auch zu schädlichen Algenblüten. Sterben Algen ab, sinken die Überreste in tiefere Wasserschichten. Dort werden sie von Mikroben zersetzt, die dabei mehr Sauerstoff veratmen, als durch Frischwasser, Strömungen oder aber Wind und Wellen (Durchmischung mit Oberflächenwasser) hinzugefügt werden kann. Gleichzeitig geben die Mikroben aber jede Menge Kohlendioxid ab, wodurch der pH-Wert des Tiefenwasser sinkt. Das heißt, die Lebensbedingungen für Meeresorganismen in dieser Zone verschlechtern sich noch weiter.

Ein an Land verursachtes Problem

Den übermäßigen Nährstoffeintrag hat in erster Linie der Mensch zu verantworten. Seit dem Jahr 1950 hat sich die Weltbevölkerung nahezu verdreifacht. Dementsprechend gestiegen ist auch der Druck auf Landwirte, ausreichend Nahrungsmittel zu produzieren. Weltweit setzen Bauern heutzutage zehnmal mehr Dünger (vor allem Stickstoff und



2.18 > Die Verfügbarkeit von Sauerstoff entscheidet darüber, welche Lebensformen und -vielfalt in einem Gewässer möglich sind. Küstenforscher berechnen die Sauerstoffkonzentration in Milligramm pro Liter Wasser und wissen mittlerweile, ab welchen Schwellenwerten höheres Leben nach und nach verschwindet.

Phosphor) ein als noch vor 50 Jahren. Ein beträchtlicher Teil davon wird vom Regen davongewaschen und landet im Meer. Hinzu kommen oftmals ungeklärte Abwässer aus Städten und Gemeinden. Als Folge dieser Wasserverschmutzung ist die Nährstoffbelastung der Küstengewässer in den zurückliegenden Jahrzehnten so stark angestiegen, dass sich die Zahl der hypoxischen Zonen im Zeitraum von 1960 bis 2007 in etwa verdoppelt hat. Weltweit gibt es mittlerweile mehr als 500. Man findet sie nahezu überall: im Golf von Mexiko ebenso wie in der Ostsee, im Ostchinesischen Meer, entlang der britischen Küste sowie in Australien. Allein in den USA gibt es inzwischen 300 Gebiete, deren Sauerstoffkonzentration unter den für Fische kritischen Richtwert von 70 Mikromol pro Kilogramm Wasser fällt.

Viele von ihnen liegen in flachen Küstengebieten (weniger als 100 Meter Wassertiefe) und weisen verhältnismäßig schwache Strömungen auf, weshalb die Wassermassen relativ lange an Ort und Stelle verweilen. Unter solchen Bedingungen wachsen im Sommer nicht nur Algen sehr gut; es bildet sich auch eine sehr warme und stabile Deckschicht heraus, welche die Sauerstoffversorgung des Tiefenwassers erschwert. Durchbrochen wird diese stabile Schichtung nur, wenn Stürme die Küstengewässer aufwühlen und kräftig durchmischen. Im Golf von Mexiko etwa verhinderte Hurrikan Barry im Sommer 2019 die Ausbildung einer rekordverdächtig großen Todeszone. Fachleute wissen mittlerweile aber auch, dass die durchlüftende Wirkung eines Sturmes nicht lange anhält. Meist bilden sich schon innerhalb von einer Woche wieder jene Bedingungen heraus, unter denen die Küstengewässer Sauerstoff verlieren. Und je wärmer Luft und Meer sind, desto früher im Jahr stellen sich diese Bedingungen ein und desto länger bleibt die hypoxische Zone erhalten. Der Klimawandel begünstigt also die Entstehung solcher Zonen.

Kleiner Anteil, große Wirkung

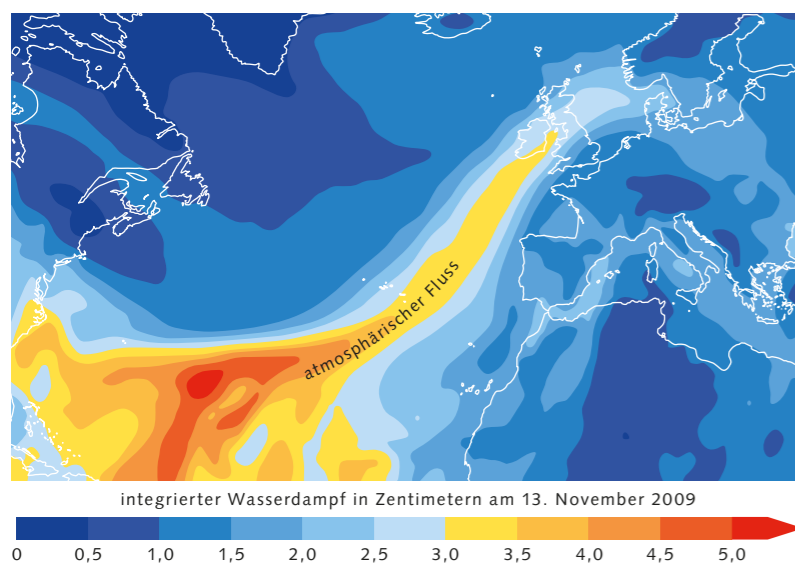
Vergleicht man die temperatur- und zirkulationsbedingten Sauerstoffverluste des offenen Ozeans mit den Verlusten der Küstengewässer, so fallen Letztere rechnerisch kaum ins Gewicht. Ihr Anteil ist sogar so klein, dass globale Klima-Ozean-Modelle ihn bei der Berechnung des

globalen Sauerstoffbudgets der Meere nahezu vernachlässigen. Die Folgen der küstennahen Todeszonen für die marinen Ökosysteme und den Menschen aber wiegen umso schwerer. Bewegliche Organismen wie Fischschwärme wandern ab oder verändern ihr Verhalten; sesshafte Bodenbewohner wachsen langsamer oder aber sterben. Das gesamte Nahrungsnetz fällt zumindest bis zum Ende des Sommers in großen Teilen in sich zusammen. Marines Leben, wie man es kennt, ist unter diesen Umständen kaum noch möglich. Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen auch langfristige Veränderungen: In den betroffenen Küstenregionen sinken die Artenvielfalt und die Gesamtbiomasse; zudem verändert sich die Artenzusammensetzung. Alle drei Entwicklungen schaden vor allem der Fischerei.

Um dem Sauerstoffverlust in den Küstengebieten Einhalt zu gebieten, bedarf es vieler Maßnahmen. An erster Stelle steht die Reduktion der Nährstoffeinträge. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die Landwirtschaft und Tierhaltung entlang der Flussläufe umgestellt werden. Feuchtgebiete und Mangrovenwälder, die organische Partikel herausfiltern, bevor sie das Meer erreichen, müssen restauriert werden. Abwässer dürfen nur noch gründlich gereinigt eingeleitet werden. Dass sich solche koordinierten Maßnahmenpakete auszahlen, zeigt sich unter anderem in den Küstengebieten Nordwesteuropas. Nach Angaben der OSPAR-Kommission gibt es dort inzwischen weniger sauerstoffarme Zonen als noch in den Jahren 2001 bis 2005.

Sauerstoffgehalt

Der Sauerstoffgehalt des Meeres wird von Wissenschaftlern verschiedener Fachrichtungen in unterschiedlichen Maßeinheiten angegeben. Ozeanografen und Chemiker berechnen die Sauerstoffmenge in Mikromol pro Kilogramm Wasser; Biologen und Küstenforscher dagegen geben sie in Milligramm pro Liter Wasser an. Für Umrechnungen zwischen beiden Einheiten gilt: 1 Milligramm Sauerstoff pro Liter Wasser entspricht in etwa 30 Mikromol Sauerstoff pro Kilogramm Wasser.



2.19 > Atmosphärische Flüsse sind Luftströmungen, die in etwa so viel Feuchtigkeit in Form von Wasserdampf transportieren, wie mancher Fluss an Wasser führt – daher auch die Bezeichnung. Die hier gezeigte Strömung verursachte im November 2009 extremen Regen in Großbritannien.

einigen Regionen seltener regnen. Wenn dann aber mal Niederschlag fällt, wird der Himmel seine Schleusen öffnen und innerhalb kurzer Zeit mehr Wasser herabregnen lassen, als die lokale Bevölkerung dies bislang gewohnt ist. Die Überflutungsfahr steigt, denn tropische und außertropische Stürme werden mehr Feuchtigkeit im Gepäck haben.

Gleiches gilt für die sogenannten atmosphärischen Flüsse (englisch: atmospheric rivers). Als solche werden lange, meist 400 bis 600 Kilometer breite Bänder feuchtigkeitsgesättigter Luft bezeichnet, die Luftfeuchtigkeit (Wasserdampf) aus den Tropen in die mittleren Breiten transportieren – und das sowohl über dem Pazifischen Ozean als auch über dem Atlantischen Ozean. Die meisten atmosphärischen Flüsse sind für den normalen, saisonal typischen Regenfall an den Westküsten Nord- und Südamerikas sowie in Grönland und auf den Britischen Inseln verantwortlich. Im US-Bundesstaat Kalifornien bringen sie 25 bis 50 Prozent des Jahresniederschlags. Atmosphärische Flüsse können aber auch Extremereignisse verursachen, vor allem wenn ihre wassergeladenen Luftmassen an der US-Westküste auf Gebirge treffen und gezwungen sind, aufzusteigen. In diesem Fall treten besonders häufig schwere Regenfälle mit Überschwemmungen auf. Sollten die Luftmassen der atmosphärischen Flüsse wärmer werden, steigt auch die Menge an Feuchtigkeit in ihrem Gepäck. Forscher gehen deshalb davon

aus, dass im Zuge des Klimawandels auch die Intensität der von ihnen verursachten Regenfälle zunehmen und die Überschwemmungsgefahr steigen wird.

Intensivere Starkregen sind eine Folge der Meereserwärmung; es gibt aber noch eine zweite Folge: Forscher können mittlerweile belegen, dass die steigenden Wassertemperaturen an der Meeresoberfläche die Zerstörungskraft großer tropischer Stürme verstärken. Das Wirkungsprinzip ist dabei ganz einfach: Hurrikane, Zyklone und Taifune beziehen ihre Energie aus der Temperatur des Meeres unter ihnen – je wärmer das Wasser, desto höhere Windgeschwindigkeiten kann der Sturm entwickeln und desto größer wird seine Zerstörungskraft, wenn er auf Land trifft. Klimamodelle hatten diese Wechselwirkung schon lange aufgezeigt. Den Einfluss des Klimawandels jedoch auch durch Beobachtungen zu verifizieren, das gelang erst im Jahr 2020.

US-amerikanische Wissenschaftler werteten dazu Satellitenaufnahmen von Wirbelstürmen der zurückliegenden 40 Jahre aus und konnten zeigen, dass mit steigender Meerestemperatur auch die Wahrscheinlichkeit zunahm, dass sich ein aufziehender Wirbelsturm in einen zerstörerischen Monstersturm der Kategorie 3 oder höher entwickelte. Die Zerstörungskraft tropischer Wirbelstürme wird nach der Saffir-Simpson-Hurrikan-Windskala bewertet (englisch: Saffir-Simpson hurricane wind scale, SSHWS). Diese leitet das mögliche Schadenspotenzial eines Wirbelsturmes von seiner Windgeschwindigkeit ab und ordnet ihn einer von fünf Kategorien zu. Alle Stürme mit Windgeschwindigkeiten von mehr als 178 Kilometern pro Stunde (Kategorie 3) gelten demnach als sehr zerstörerischer Hurrikan (englisch: major hurricane).

Mehr Verdunstung und mehr Niederschlag ziehen aber auch Veränderungen an der Meeresoberfläche nach sich, insbesondere was den Salzgehalt betrifft. In Regionen, in denen künftig mehr Wasser verdunstet, als durch Regenfälle wieder hinzukommt, wird das Oberflächenwasser salziger – zum Beispiel im tropischen Teil des Atlantiks und im Mittelmeer. Dort jedoch, wo die Niederschläge größer sein werden als die Verdunstung, wird das Oberflächenwasser ausdünnen. Das heißt, sein Salzgehalt wird langfristig abnehmen. Klimaprojektionen zufolge wird Letzteres vor allem im Pazifischen Ozean sowie im Arktischen Ozean der Fall sein.



2.20 > Der tropische Wirbelsturm Imelda trifft am 17. September 2019 auf die Golfküste des US-Bundesstaates Texas. Wenig später regnet es in Teilen von Texas so stark, dass Imelda in der Rangliste der niederschlagsreichsten tropischen Wirbelstürme über den USA Platz sieben einnimmt.

2.21 > Als Hitzewellen bezeichnen Wissenschaftler Phasen, in denen die Wassertemperatur eines Meeresgebietes an mindestens fünf aufeinanderfolgenden Tagen über einem bestimmten Temperaturgrenzwert liegt. Dieser Grenzwert verändert sich mit der Jahreszeit und wird statistisch berechnet.

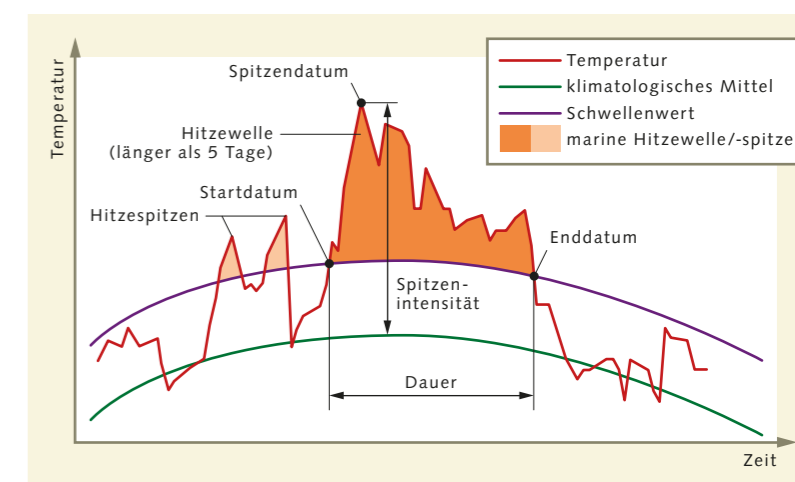
Marine Hitzewellen

Ein weiteres Extremereignis, welches inzwischen häufiger auftritt und regelmäßig neue Rekordmarken setzt, sind sogenannte marine Hitzewellen. Als solche bezeichnen Fachleute Phasen, in denen das Wasser in einem bestimmten Meeresgebiet an mindestens fünf aufeinanderfolgenden Tagen außergewöhnlich warm ist. Im zurückliegenden Jahrzehnt dokumentierten Wissenschaftler solche Phasen sowohl im offenen Ozean als auch in den Randmeeren und Küstenregionen. Es gab sie im Sommer ebenso wie im Winter, denn ausschlaggebend ist keine bestimmte Temperaturmarke, sondern immer nur die Antwort auf die Frage: Um wie viel Grad Celsius wärmer ist die Wassertemperatur an einem Ort im Vergleich zum Durchschnittswert, der sonst zur selben Jahreszeit an diesem Ort gemessen wurde?

Hitzewellen machen häufig Schlagzeilen, weil sie die Lebensgemeinschaften in den betroffenen Meeresregionen nachhaltig beeinflussen. Prominente Beispiele des zurückliegenden Jahrzehnts sind die Hitzewelle entlang

der Westküste Australiens im Jahr 2011, die Mittelmeerritzewellen von 2012 und 2015 sowie die weltweit als „The Blob“ bekannt gewordene Hitzewelle im Nordpazifik, welche sogar von 2014 bis 2016 andauerte.

Auslöser solcher Warmwasserblasen können ganz unterschiedlicher Art ein. Oft beteiligt sind Meeresströ-



Der Ozean versauert

Der Ozean speichert nicht nur Wärme, er entzieht der Atmosphäre auch das Treibhausgas Kohlendioxid. Seit Beginn der Industrialisierung haben die Weltmeere 25 Prozent der vom Menschen verursachten Kohlendioxidemissionen aufgenommen – mit schwerwiegenden Folgen für die Meereschemie. Denn wenn sich Kohlendioxid aus der Atmosphäre im Meerwasser löst, kommt es zu einer chemischen Veränderung des Oberflächenwassers. Sein pH-Wert sinkt, das Wasser wird saurer.

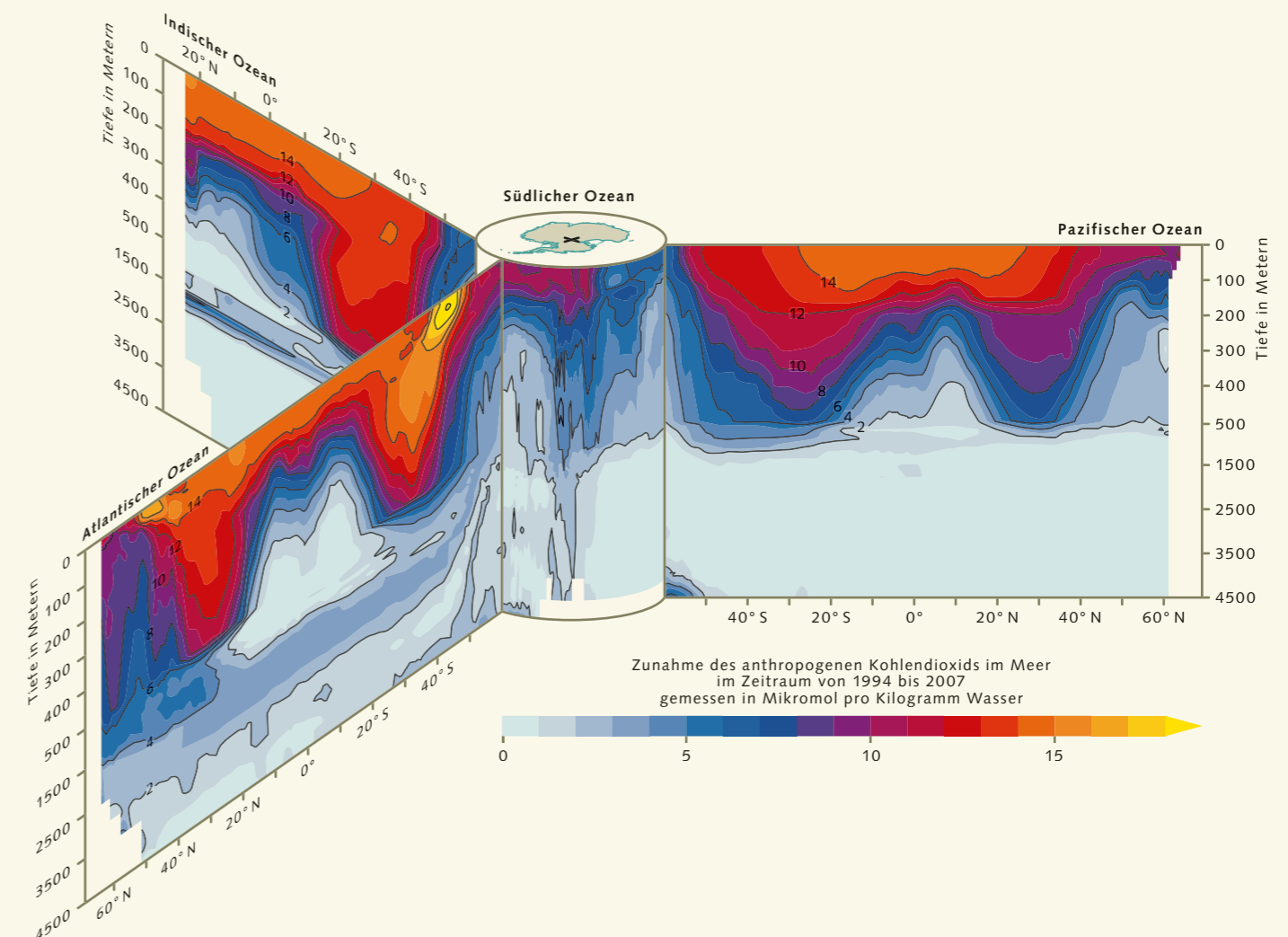
Normalerweise hat Meerwasser einen pH-Wert von 8,2 im Durchschnitt und ist damit eher basisch. Grund dafür sind mineralische Bestandteile im Wasser, sogenannte Kalziumkarbonate wie Calcit und Aragonit, die einst aus verwittertem Gestein an Land gelöst und anschließend ins Meer geschwemmt wurden. Nimmt der Ozean nun aber Kohlendioxid auf (aus der Atmosphäre oder weil Meereslebewesen es ausatmen), löst sich dieses Gas im Gegensatz zu Sauerstoff nicht einfach nur im Wasser. Im Gegenteil – eine Teilmenge des Kohlendioxids reagiert mit dem Wasser, sodass Kohlensäure entsteht. Dieses wiederum zerfällt in Bikarbonate, die sogenannten Salze der Kohlensäure, und Protonen (auch als Wasserstoffionen bezeichnet). Letztere treiben den Säuregehalt des Wassers in die Höhe, der Ozean versauert.

Das Maß für die Konzentration der Wasserstoffionen in einer Lösung ist der sogenannte pH-Wert. Dieser Zahlenwert gibt die Konzentration jedoch als negativen dekadischen Logarithmus an. Das bedeutet, je mehr Wasserstoffionen in einer Lösung vorhanden sind, desto kleiner ist der pH-Wert. Der mittlere pH-Wert der Meeresoberfläche ist seit

dem Jahr 1860 von 8,2 auf 8,1 gesunken. Dieser vermeintlich kleine Schritt auf der logarithmischen pH-Skala entspricht einem realen Anstieg des Säuregehalts um 26 Prozent – eine Veränderung, wie sie die Weltmeere und ihre Bewohner in den letzten Jahrmillionen nicht erlebt haben. Mittlerweile reicht das Versauerungssignal in Tiefen von bis zu 2000 Metern. Sollte die Menschheit auch weiterhin so viel Kohlendioxid emittieren wie bisher, wird der pH-Wert der Ozeane bis zum Jahr 2100 voraussichtlich um weitere 0,3 bis 0,4 Einheiten sinken und das Meerwasser um 100 bis 150 Prozent saurer werden. Das heißt nicht, dass die Ozeane tatsächlich sauer sind, denn auch bei Werten um 7,7 bleiben sie chemisch betrachtet basisch, doch sind sie – relativ gesehen – saurer als zuvor.

Wie viel Kohlendioxid sich im Wasser anreichert, hängt unter anderem von der Wassertemperatur ab (Gase lösen sich im kalten Wasser besser), vom Grad der Aussüßung (salzarmes Wasser versauert schneller) sowie vom Sauerstoffverbrauch. In den überdüngten Küstenzonen beispielsweise leben viele Organismen, die große Mengen Sauerstoff veratmen und dementsprechend viel Kohlendioxid freisetzen. Erwärmen sich die Küstengewässer dann auch noch, werden ihre Lebensgemeinschaften auf dreifache Weise unter Druck gesetzt – durch die Erwärmung, die Sauerstoffabnahme und die Versauerung. Da nur wenige Arten diesem geballten Meerewandel gewachsen sind, sprechen Wissenschaftler im Hinblick auf die Folgen des Klimawandels für den Ozean auch von einem tödlichen Trio.

2.22 > Im Zeitraum von 1994 bis 2007 hat der Weltozean durchschnittlich 31 Prozent des vom Menschen freigesetzten Kohlendioxids aufgenommen und bis in beachtliche Tiefen eingelagert. Welche Unterschiede es dabei zwischen den großen Ozeanbecken gibt, zeigt diese Grafik. Die schwarzen Linien markieren die schrittweise Abnahme der CO₂-Konzentration um jeweils zwei Mikromol Kohlendioxid pro Kilogramm Wasser.



mungen, die außergewöhnlich warmes Wasser irgendwo konzentrieren. Marine Hitzewellen entstehen aber auch infolge starker Sonneneinstrahlung und hoher Lufttemperaturen. Winde heizen sie unter bestimmten Umständen an; bei anderer Ausgangslage wiederum können Luftbewegungen eine Hitzewelle auch unterdrücken. Außerdem weiß man mittlerweile, dass große Klimazyklen wie zum Beispiel das El-Niño-Phänomen die Wahrscheinlichkeit von Hitzewellen in bestimmten Meeresregionen beträchtlich erhöhen.

Viel entscheidender für die künftige Bilanz aber ist die generelle Erwärmung der Weltmeere im Zuge des Klima-

wandels. Sie macht das Auftreten von großen Hitzewellen immer wahrscheinlicher, worunter vor allem Meeresbewohner mit geringer Wärmetoleranz stark leiden. Diese stoßen immer häufiger an ihre Temperaturgrenze. Das heißt, ihre Anpassungs- und Überlebenschancen sinken. Die Arten wandern entweder in andere Gefilde ab – oder aber sie sterben aus. Andere Möglichkeiten gibt es für sie nicht.

Auf lange Sicht bedeutet diese Entwicklung grundlegende Veränderungen in den Lebensgemeinschaften des Meeres und somit auch in den Ökosystemfunktionen der Ozeane.

Keine verlässliche Konstante mehr

Heutzutage verändert der Klimawandel die Weltmeere auf eine Weise, wie die Menschheit es noch nie erlebt hat. Infolge der globalen Erwärmung steigen die Wassertemperaturen kontinuierlich, die Meeresspiegel ebenso – beides sind die deutlichsten marinen Indikatoren der globalen Erwärmung. Gleichzeitig verliert der Ozean Sauerstoff in immer größeren Tiefen und versauert flächendeckend und in einem zunehmenden Maß. Diese physikalischen und chemischen Veränderungen wirken sich unmittelbar auf eine Vielzahl der ozeanischen Ökosystemleistungen aus –

etwa auf seine Funktion als verlässlicher Wetterregulator. Durch die Verlagerung windgetriebener Meeresströmungen Richtung Pol etwa gelangt die Wärme des Meeres mittlerweile viel weiter in den Norden und Süden, als dies früher der Fall war, und beeinflusst das Wetter in jenen Regionen. Das Stressorentrio aus Meereserwärmung, Versauerung und Sauerstoffabnahme verändert aber auch die Rahmenbedingungen des Lebens im Meer. Es reduziert die Fähigkeit des Ozeans, Biomasse zu produzieren, und verstärkt die schädliche Wirkung direkter menschlicher Eingriffe in einem Maß, dass das Überleben der marinen Artengemeinschaften vielerorts auf dem Spiel steht.

Ein Angriff auf die Artenvielfalt

> Die klimabedingten Veränderungen des Ozeans wirken sich mittlerweile auf alle Lebensgemeinschaften des Meeres aus. Infolgedessen sind viele Meereslebewesen gezwungen, ihre angestammten Territorien zu verlassen. Räuber-Beute-Beziehungen verändern sich, die Produktivität des Ozeans sinkt. Überdies verstärken sich die Folgen des Klimawandels gegenseitig in ihrer Wirkung und schwächen die Widerstandskraft mariner Arten gegenüber weiteren menschengemachten Stressfaktoren. Der Klimawandel, so viel steht mittlerweile fest, entwickelt sich zu einem der treibenden Motoren des Artensterbens im Meer.

Die Grenzen der Belastbarkeit

Die Meere sind der größte und artenreichste Lebensraum der Erde. Sie beherbergen schätzungsweise 2,2 Millionen Arten, von denen der Mensch bislang allerdings nur etwas mehr als 200 000 kennt und wissenschaftlich beschrieben hat. Die meisten von ihnen haben sich über lange Zeiträume hinweg an die Lebensbedingungen in ihren Heimatgewässern angepasst. Gemeint sind die vorherrschende Temperatur, der Sauerstoffgehalt, der Säuregrad des Wassers, die natürlichen Rhythmen, in denen Nährstoffe oder aber Futter unter Umständen sogar im Überfluss vorkommt, und wichtige Umweltkomponenten wie zum Beispiel Meeresströmungen, die im Fall vieler Arten dafür verantwortlich sind, dass Laich oder Larven über große Strecken transportiert oder aber über weite Gebiete hinweg verteilt werden. Unter diesen gewohnten Lebensbedingungen wachsen die Meeresbewohner am besten, leben am längsten und reproduzieren sich in einem Maß, das den Fortbestand der Population garantiert.

Diese physikalischen und chemischen Grundpfeiler des Lebens im Meer aber verändern sich derzeit in einem Tempo, wie es die Weltmeere in den zurückliegenden 50 bis 300 Millionen Jahren nicht erlebt haben. Die Auswirkungen des Klimawandels sind mittlerweile in allen Meeren und allen Tiefen zu finden und stellen für die marinen Ökosysteme eine Vielzahl an Risiken dar. Wissenschaftliche Langzeitbeobachtungen zu den Folgen des Klimawandels für die Lebensgemeinschaften des Meeres gibt es in erster Linie aus der nördlichen Hemisphäre. In der Nordsee, dem Mittelmeer und den Meeresgebieten rund um Labrador und Neufundland untersuchen Forscher seit mehreren Jahrzehnten die klimabedingten Veränderungen. Aus der Äquatorregion sowie aus den Meeren der Südhemisphäre stammen mit Ausnahme australischer Beobachtungen nur einige wenige biologische

Langzeituntersuchungen, weshalb Forschende auch auf jede Menge Labor- und Feldexperimente sowie auf Modellsimulationen und historische Verbreitungsdaten zurückgreifen, um ein möglichst realistisches Bild von den Auswirkungen des Klimawandels auf das Leben im Meer zu erhalten.

Um zu verstehen, wie und warum marine Lebewesen auf den Klimawandel reagieren, muss man wissen, dass die meisten Meeresbewohner – mit Ausnahme der Vögel und Säugetiere – wechselwarme Tiere sind. Das heißt, ihre Körpertemperatur wird von der Umgebungstemperatur bestimmt. Die Temperaturvorlieben einer Art entsprechen deshalb in der Regel jenen Wassertemperaturen, die in ihrem angestammten Lebensraum über das Jahr verteilt vorherrschen, einschließlich aller jahreszeitlichen Temperaturschwankungen. Das heißt, jeder wechselwarme Meeresbewohner verfügt über eine Temperaturobergrenze und eine Temperaturuntergrenze, bei der er jeweils noch leben und wachsen kann. Den Bereich zwischen beiden Grenzen bezeichnen Wissenschaftler als Temperaturtoleranzfenster oder thermische Nische.

Dieses Fenster ist je nach Art unterschiedlich weit gefasst. Arten aus den gemäßigten Breiten wie der Nordsee haben generell ein breiteres Temperaturfenster. Grund dafür sind die stark ausgeprägten Jahreszeiten in diesen Gebieten. Die hier lebenden Tiere müssen sowohl warme Sommer als auch kalte Winter aushalten. Das Temperaturtoleranzfenster der Lebewesen in den Tropen oder Polarregionen dagegen ist zwei- bis viermal schmäler als jenes der Nordseebewohner. Dafür haben sie sich auf extreme Lebensbedingungen eingestellt. Antarktische Eisfischarten etwa können in bis zu minus 1,8 Grad Celsius kaltem Wasser leben. Ihr Blut enthält Gefrierschutzproteine. Zudem verzichten sie auf den roten Blutfarbstoff Hämoglobin, weil ihr Stoffwechsel niedrig und Sauerstoff im Überfluss vorhanden ist. Aus diesem Grund ist ihr Blut

dünnflüssiger, und die Fische benötigen weniger Energie, um es durch den Körper zu pumpen.

Aber: Die Eisfische leben am Limit. Steigt die Temperatur um wenige Grad Celsius, stoßen die Tiere schnell an ihre körperlichen Grenzen. Das bedeutet, sie sind dann nicht mehr in der Lage, genügend Energie zu erzeugen, um alle Funktionsprozesse ihres Körpers aufrechtzuerhalten. Das wiederum liegt daran, dass mit jedem Grad Erwärmung der Energiebedarf der wechselwarmen Organismen exponentiell steigt und damit auch ihr Sauerstoffbedarf, denn ohne Atmung kann keine Energie erzeugt werden. Dieser Anstieg ist bei Arten mit engem Fenster besonders steil. Im Umkehrschluss heißt das also, dass Meeresbewohner nur dann einen Temperaturanstieg in ihrem Lebensraum überstehen, wenn sie in der Lage sind, ihren Körper mit entsprechend mehr Sauerstoff zu versorgen. Gelingt das nicht mehr, kollabiert ihr Herz-Kreislauf-System. Experten sprechen deshalb auch von der sauerstoff- und kapazitätsgelimitierten Temperaturtoleranz der Lebewesen.

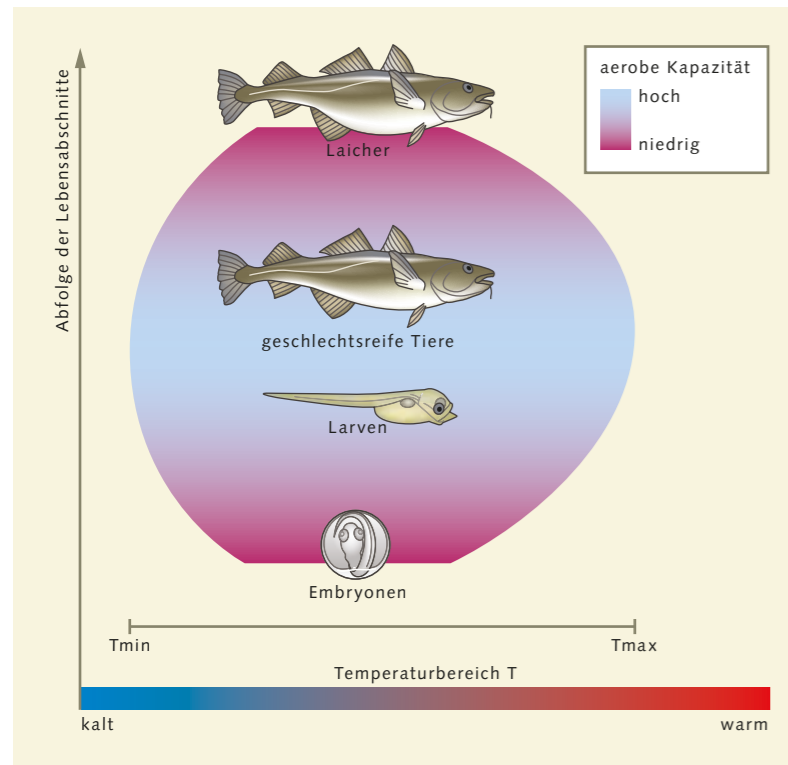
Erschwerend kommt nun noch hinzu, dass sich die Breite des Temperaturtoleranzfensters im Lauf des Lebens

eines Fisches, einer Muschel oder aber eines Seesterns verändern kann. In frühen Lebensstadien, das heißt als Embryo im Ei oder als Larve, sind wechselwarme Tiere in der Regel wärmeempfindlicher als in späteren Entwicklungsstufen. Diese Sensibilität nimmt weiter zu, wenn die Tiere nicht nur steigenden Wassertemperaturen ausgesetzt sind, sondern gleichzeitig auch noch mit einem sinkenden pH-Wert (Versauerung) und einer abnehmenden Sauerstoffkonzentration konfrontiert sind. In diesem Fall verstärken sich die Stressfaktoren in ihrer Wirkung oft gegenseitig.

Von Fischen weiß man neuerdings, dass ihnen außergewöhnlich warme Wassertemperaturen vor allem im Embryonalstadium sowie während der Paarungszeit gefährlich werden. Der Grund für diese unterschiedliche Wärmetoleranz liegt in der Anatomie der Fische: Fischembryonen beispielsweise besitzen noch keine Kiemen und kein Herz-Kreislauf-System, mit denen sie ihre Sauerstoffversorgung steigern könnten. Paarungsbereite Fische dagegen bilden Ei- und Spermienzellen aus. Diese zusätzliche Körpermasse muss ebenfalls mit Sauerstoff versorgt werden, weshalb das Herz-Kreislauf-System laichbereiter



2.23 > Der Vielborster *Peinaleopolynoe orphanae* gehört zu den marinen Arten, die Biologen im Jahr 2020 entdeckten und beschrieben. Der Tiefseebewohner aus dem Ostpazifik trägt einen Panzer aus pink bis goldfarbenen schillernden Platten.



2.24 > Jedes Lebewesen besitzt einen Temperaturbereich, in dem es existieren kann. Dessen Größe wird durch die Fähigkeit begrenzt, den Körper bei steigender Temperatur mit entsprechend mehr Sauerstoff zu versorgen, um die Energieerzeugung aufrechtzuerhalten. Fische sind dazu als geschlechtsreife Tiere deutlich besser in der Lage als im Larvenstadium oder als Laicher.

Tiere schon bei niedrigeren Temperaturen enorm gefordert ist.

Daraus folgt, dass Fische vor allem in ihrer Fortpflanzungszeit besonders unter dem Klimawandel leiden, denn die Wassertemperatur in ihren Laichgebieten entscheidet über ihren Reproduktionserfolg. Das gilt für marine Arten ebenso wie für Fische in Seen und Flüssen. Als deutsche Meeresbiologen vor Kurzem in einer Studie die Temperaturtoleranzdaten von fast 700 Fischarten über ihre Lebensstadien hinweg auswerteten und diese mit den neuen Klimaszenarien des Weltklimarates (Shared Socioeconomic Pathways, SSP) abglichen, zeigte sich, dass bei einer Begrenzung der Erderwärmung auf das Pariser Klimaziel von 1,5 Grad Celsius bis zum Jahr 2100 nur etwa zehn Prozent der untersuchten Fischarten ihre angestammten Laichgebiete aufgrund zu warmen Wassers verlassen müssen. Bleiben die Treibhausgasemissionen dagegen auf hohem bis sehr hohem Niveau, wäre mit einer Erwärmung von 4,4 Grad Celsius und mehr zu rechnen. Diese würde dann bis zu 60 Prozent der Fischarten zwingen, aus ihren gewohnten Laichgebieten abzuwandern.

Schnellerer Artenwandel als an Land

Wie die Fische reagieren alle Lebewesen auf Veränderungen ihrer Umwelt, indem sie zuerst versuchen, ihr individuelles Verhalten an die neuen Bedingungen anzupassen. Wissenschaftler nennen diese Form der Anpassung Akklimatisierung. Die Organismen steigern Atmung und Stoffwechsel, pumpen mehr Blut oder Wasser und Nährstoffe durch den Körper, fressen gegebenenfalls mehr oder wandern in Gebiete ab, in denen die gewohnten Umweltbedingungen vorherrschen. All diese Maßnahmen aber kosten Energie, welche die Lebewesen zusätzlich aufbringen müssen. Gelingt ihnen das, haben sie relativ gute Überlebenschancen. Fehlen dagegen die notwendigen Reserven, gelangen die Individuen möglicherweise schnell an ihre Leistungsgrenze und laufen Gefahr zu sterben.

Wer es jedoch schafft, sich kurz- oder mittelfristig zu akklimatisieren, erhält in der Regel auch die Chance, sich geschlechtlich fortzupflanzen und der eigenen Art zu ermöglichen, sich über mehrere Generationen hinweg genetisch an die neuen Lebensbedingungen anzupassen. Das heißt, vor allem die Lebewesen zeugen Nachwuchs, dessen Erbanlagen unter Umständen derart modifiziert sind, dass die jeweilige Folgegeneration besser mit den neuen Umweltbedingungen zurechtkommt als ihre Eltern- und Großelterngeneration. Diese Form der Anpassung wird genetische Adaption oder auch evolutionäre Anpassung genannt.

Vergleicht man die Lebensgemeinschaften an Land mit den Lebensgemeinschaften des Meeres, offenbaren sich grundlegende Unterschiede, die im Zuge des Klimawandels von Bedeutung sind:

- Die Primärproduzenten des Meeres (Phytoplankton) besitzen viel kürzere Reproduktionszyklen als die Bäume oder das Gras an Land. Während Bäume unter Umständen Jahrhunderte alt werden, erneuern sich die weltweiten Planktonvorkommen etwa 45-mal pro Jahr, also grob geschätzt etwa alle acht Tage. Diese Eigenschaft versetzt das Plankton theoretisch in die Lage, sich im Fall verändernder Umweltbedingungen schneller genetisch anzupassen als etwa Pflanzen an Land.

- Der Anteil wechselwarmer Organismen ist im Meer vergleichsweise hoch, was dazu führt, dass die Artenvielfalt und ihre Verteilungsmuster im Ozean maßgeblich durch die Temperatur bestimmt werden. An Land dagegen spielen auch andere Faktoren wie zum Beispiel die Niederschlagsmenge, aber auch geographische Barrieren eine stärkere Rolle.
- Meeresbewohner haben im Gegensatz zu Landlebewesen so gut wie keine Chance, sich bei Hitzewellen in Höhlen oder an andere schattige und somit kühlere Orte zurückzuziehen. Sie sind den warmen Wassertemperaturen geradezu schutzlos ausgeliefert und müssen deshalb früher die Flucht ergreifen.
- Tropische Arten leben in der Regel in Regionen, deren Umgebungstemperatur von vornherein schon so warm ist, dass sie im oberen Toleranzbereich der jeweiligen Arten liegt und es nur eines ausgesprochen kleinen Temperaturanstieges bedarf, um das Wärmeimit zu übersteigen.
- Beweglichen Meereslebewesen wie Fischen fällt es im Vergleich zu Landlebewesen leichter, ihren angestammten Temperaturen in kühlere Regionen zu

folgen, weil sie wenige Hindernisse wie Unterseegebirge, tiefe Gräben oder Wasserströmungen (zum Beispiel Antarktischer Zirkumpolarstrom) überwinden müssen oder aber diese kein echtes Hindernis darstellen. Viele Landlebewesen oder Arten in Seen, Flüssen und Tümpeln dagegen stoßen häufiger auf geografische Barrieren, darunter neuerdings auch vom Menschen genutzte Landflächen, die ihnen ein Weiterkommen oder aber eine Verlagerung ihres Lebensraumes erschweren.

Aus all diesen Gründen geht der wärmebedingte Artenwandel im Meer deutlich schneller vonstatten als an Land. Für die Wissenschaft ist es dabei jedoch im Einzelfall nicht immer ganz einfach, klar zu unterscheiden, welche Reaktionen einer Art oder einer Lebensgemeinschaft sich einzig und allein auf Klimafolgen wie steigende Wassertemperaturen, Versauerung oder Sauerstoffverlust beziehen – und wann auch andere, menschengemachte Stressfaktoren wie Fischerei, Rohstoffabbau und Meeresverschmutzung eine Rolle spielen. Fakt ist nämlich auch, dass unter Druck stehende marine Lebensgemeinschaften empfindlicher



2.25 > Meereis und Wassertemperaturen bis dicht an den Gefrierpunkt machen dem antarktischen Schwarzflossen-Eisfisch (*Chaenocephalus aceratu*) wenig aus. Er ist perfekt an das Leben im Südpolarmeer angepasst. Seine Wärmetoleranz dagegen ist im Vergleich zu Fischen aus den gemäßigten Breiten winzig.



2.26 > Weil ihre Beutefische wärmebedingt Richtung Norden abwandern, müssen arktische Seevögel wie die Elfenbeinmöwe (*Pagophila eburnea*) heutzutage weiter auf das Meer hinausfliegen als früher. Das kostet wertvolle Energie und lässt den Nachwuchs häufiger Hunger leiden.

auf den Klimawandel reagieren als jene, die nicht bejagt werden oder hoher Verschmutzung oder Überdüngung ausgesetzt sind.

Flucht vor der Wärme

Die deutlichste Reaktion mariner Lebewesen auf die steigenden Wassertemperaturen ist die Verlagerung ihres Lebensraumes in Gebiete, in denen die Tiere und Pflanzen weiterhin ihre gewohnten Umgebungstemperaturen vorfinden. Eine solche Verlagerung kann auf aktive oder auch auf passive Weise erfolgen. Aktiv heißt, dass Fische, Krebse und andere bewegliche Meereslebewesen auf der Flucht vor widrigen Umweltbedingungen eigenständig in neue Lebensräume abwandern. Eine passive Verlagerung dagegen findet statt, wenn zum Beispiel die Sporen, Eier oder Larven einer Art durch veränderte Meeresströmungen in Gebiete getragen werden, in denen es diese Art bislang nicht gab, sie sich aber aufgrund geeigneter Umweltbedingungen neu ansiedeln und fortpflanzen kann. Von einer Verlagerung des Lebensraumes sprechen Forscher allerdings auch dann, wenn sich Arten aufgrund steigender Wassertemperaturen nur noch im kühleren Teil ihres angestammten Verbreitungsgebietes fortpflanzen und ausbreiten, während sie im wärmeren Teil aussterben. Denn auch unter diesen Umständen verschieben sich die Grenzen des von ihnen besiedelten Gebietes.

Die Flucht vor der vom Menschen verursachten Wärme hat bereits vor mehr als einem halben Jahrhundert begonnen. Seit den 1950er-Jahren verlagern Meeresorganismen ihren Lebensraum polwärts. Das heißt, Populationen, die bislang nördlich des Äquators lebten, wandern Richtung Norden; Populationen südlich davon bewegen sich Richtung Süden. Die Artenvielfalt in den warmen Tropen dagegen nimmt seither deutlich ab. Diese Entwicklung beobachten Wissenschaftler über alle Organismengruppen hinweg, vom einzelligen Plankton bis zu großen Fischen. Die Forscher können sogar die Geschwindigkeit dieser Verlagerung nachvollziehen. Sie beträgt bislang etwa 51,5 Kilometer pro Jahrzehnt für bewegliche Arten. Am Meeresboden lebende Organismen dagegen sind etwas langsamer. Ihre Verbreitungsgrenzen verschieben sich in einem Zeitraum von zehn Jahren um durchschnittlich 29 Kilometer. Vergleicht man die Migrationsstatistik

aller Organismengruppen an Land und im Wasser miteinander, verlagern Meereslebewesen ihren Lebensraum in etwa sechsmal schneller Richtung Pol als Lebewesen an Land. Diese Zahlen dürfen allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, dass Pflanzen und Tiere durchaus unterschiedlich auf die Meereserwärmung reagieren, selbst wenn die Arten miteinander verwandt sind.

Besonders starke Abwanderungsbewegungen beobachten Wissenschaftler in den Tropen, wo die Arten aufgrund der steigenden Wassertemperaturen in großer Zahl Richtung Norden oder Süden flüchten. Infolgedessen registrieren Wissenschaftler eine Zunahme der Artenvielfalt in den Randzonen der Tropen, wo die Klimaflüchtlinge nun mit den einheimischen Arten um Nahrung und Lebensraum konkurrieren. Oft sind die Neuankömmlinge dabei im Vorteil, denn auch in den subtropischen Meeresgebieten steigt die Wassertemperatur. Die Folge ist ein Artenwandel der subtropischen Lebensgemeinschaften hin zu mehr tropischen Meereslebewesen. Forscher bezeichnen diese Entwicklung auch als Tropikalisierung (englisch: tropicalization).

In Meeresregionen, wo die Geografie eine Abwanderung in höhere Breiten verhindert – so zum Beispiel im Mittelmeer oder im Golf von Mexiko –, treiben die steigenden Temperaturen im oberen Teil der Wassersäule die beweglichen Meeresbewohner in größere Tiefe. Da das Tiefenwasser in der Regel deutlich kühler ist als das Wasser in der Deckschicht, müssen diese Arten in der Regel gar nicht weit abwandern, um gewohnte Temperaturbedingungen vorzufinden. Fraglich ist allerdings, ob die Arten in größerer Wassertiefe ausreichend Nahrung finden. Für Algen und Wasserpflanzen verschlechtert sich zudem das Lichtangebot mit zunehmender Tiefe.

Ob die Flucht vor der Wärme gelingt, hängt demzufolge nicht nur von der individuellen Beweglichkeit einer Art ab. Vielmehr entscheidet ein Zusammenspiel aus Klima- und anderen Umweltfaktoren darüber, inwiefern Meeresbewohner ihren Lebensraum verlagern können. Zu diesen Faktoren zählen unter anderem:

- lokale Temperatur- und Sauerstoffgradienten;
- Meeresströmungen, die Eier oder Larven in neue Regionen tragen;

- die Gestalt und Tiefe des Meeresbodens (Bathymetrie) für jene Arten, die nur einen Teil oder ihr gesamtes Leben am Meeresgrund verbringen;
- die Verfügbarkeit von Nährstoffen oder Nahrung, geeigneten Laichplätzen oder Hartsubstraten, um darauf zu siedeln;
- die Existenz neuer und alter Fressfeinde sowie
- vom Menschen verursachte Stressoren wie etwa die Fischerei, die Schifffahrt, der Rohstoffabbau und die Meeresverschmutzung.

Besonders wenig Rückzugsoptionen bleiben kälteliebenden oder an das Meereis gebundenen Arten wie den antarktischen Eisfischen oder dem Polardorsch, einer Schlüsselart im marinen Ökosystem der Arktis. Er besitzt nicht nur eine vergleichsweise geringe Wärmetoleranz und ist deshalb selten in Regionen mit einer Wassertemperatur von mehr als drei Grad Celsius zu finden. Sein Nachwuchs ist zudem auf das arktische Meereis angewiesen. Es bietet den Jungfischen Schutz und reichlich Nahrung in Form von Eisalgen und Zooplankton. Die sommerliche Meereisfläche auf dem Arktischen Ozean aber ist seit Beginn der Satellitenmessungen im Jahr 1979 um etwa 40 Prozent geschrumpft, wodurch sich zum einen der Lebensraum für junge Polardorsche verkleinert. Zum anderen steht den Jungfischen auch weniger Nahrung zur Verfügung, weshalb Wissenschaftler davon ausgehen, dass sich das Wachstum der Tiere verzögern und ihre durchschnittliche Körpergröße abnehmen wird.

Wärmebedingte Umwälzung der Ökosysteme

Weil Meereslebewesen auf ganz individuelle Weise und in ihrem eigenen Tempo auf die steigenden Temperaturen reagieren, kommt es vielerorts zu einer weitreichenden Umwälzung der Lebensgemeinschaften. Lang bestehende Räuber-Beute-Beziehungen zerbrechen; seit Jahrtausenden gewohnte Abläufe greifen zeitlich nicht mehr wie Zahnräder ineinander. Ein plakatives Beispiel dafür ist der Meeresfrühling, der in den hohen und mittleren Breiten inzwischen viel früher im Jahr Einzug hält als noch vor einigen Jahrzehnten. Das heißt, Algen vermehren sich temperaturbedingt immer früher – pro Jahrzehnt um durchschnittlich 4,4 Tage.

Einzigste Nutznießer dieser Algenblüten wie Fische, Muscheln und viele andere Meeresbewohner aber haben enorme Schwierigkeiten, ihren Fortpflanzungsrhythmus ebenso schnell umzustellen. Infolgedessen geht ihr Nachwuchs unter Umständen erst dann auf die Futtersuche, wenn die Algenblüten bereits wieder abgeklungen sind.

Vor ähnlichen Problemen stehen Seevögel, deren Beutearten polwärts abgewandert sind oder aufgrund verpasster Algenblüten zu wenig Nachwuchs produzieren und in ihrem Bestand gefährdet sind. Die Vögel müssen dann viel weiter auf das Meer hinausfliegen oder aber mehr Zeit auf See verbringen, um Beute zu machen. Am Ende ist ihre Jagdausbeute zu gering, als dass sie die Mäuler ihrer Jungen stopfen könnten. Der Nachwuchs verhungert.

Sinkende Bruterfolge infolge steigender Wassertemperaturen beobachten Forscher unter anderem bei Eissturmvögeln, Atlantiksturmtauchern und Dreizehnmöwen im Nordostatlantik. Im Südlichen Ozean dagegen haben die Bruterfolge der Wander- und Laysanalbatrosse klimabedingt zugenommen. Die Vögel profitieren sowohl von der Zunahme und Südverlagerung der Westwinde über dem Südpolarmeer als auch von der temperaturbedingten Artenwanderung Richtung Pol. Als Langstreckensegelflieger nutzen Albatrosse den Wind, um zu ihren Fischgründen zu gelangen. Weil die Westwinde nun aber stärker wehen und die Fischgründe der Albatrosse dichter an den antarktischen Kontinent herangerückt sind, steigt die Jagdeffizienz der Vögel, was ihrem Nachwuchs sehr zugutekommt.

Meeresreptilien wie Schildkröten und Schlangen trifft die Erderwärmung vor allem in ihrer empfindlichsten Lebensphase – als Embryo im Ei. Die Umgebungstemperatur ihres Geleges bestimmt nämlich nicht nur das Geschlecht der Jungtiere, sondern auch ihre Größe, ihren Entwicklungsstand zum Zeitpunkt des Schlüpfens sowie ihre generelle Leistungsfähigkeit. Ist der Sand während der Inkubation von Schildkröteneiern lediglich ein bis vier Grad Celsius wärmer als normal (29 Grad Celsius für ein Geschlechterverhältnis von 50:50), schlüpfen mehr Weibchen aus dem Ei und deutlich weniger Männchen oder gar keine – eine Entwicklung, die langfristig zum Aussterben der Art führt.



2.27 > Das Geschlecht und die Fitness frisch geschlüpfter Lederschildkröten hängt von der Umgebungstemperatur des Schildkröteneleges ab. Ist der Sand während der Inkubationszeit ein bis vier Grad Celsius wärmer als normal, schlüpfen kaum noch Männchen aus dem Ei.

Das zweite Gesicht des Kohlendioxids

Die Meerereswärmung ist bis heute der weitreichendste Klima-Stressfaktor für die Lebensgemeinschaften des Ozeans und damit der Hauptantrieb des Artenwandels im Meer. Parallel dazu aber laufen weitere Reaktionen ab, welche die Lebensbedingungen in allen Ozeanbecken verändern. Eine von ihnen, die zunehmende Ozeanversauerung, stand in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten besonders im Mittelpunkt der Forschung, weshalb man heute weiß, dass Meereslebewesen unterschiedlich auf kohlendioxidreiches Wasser reagieren.

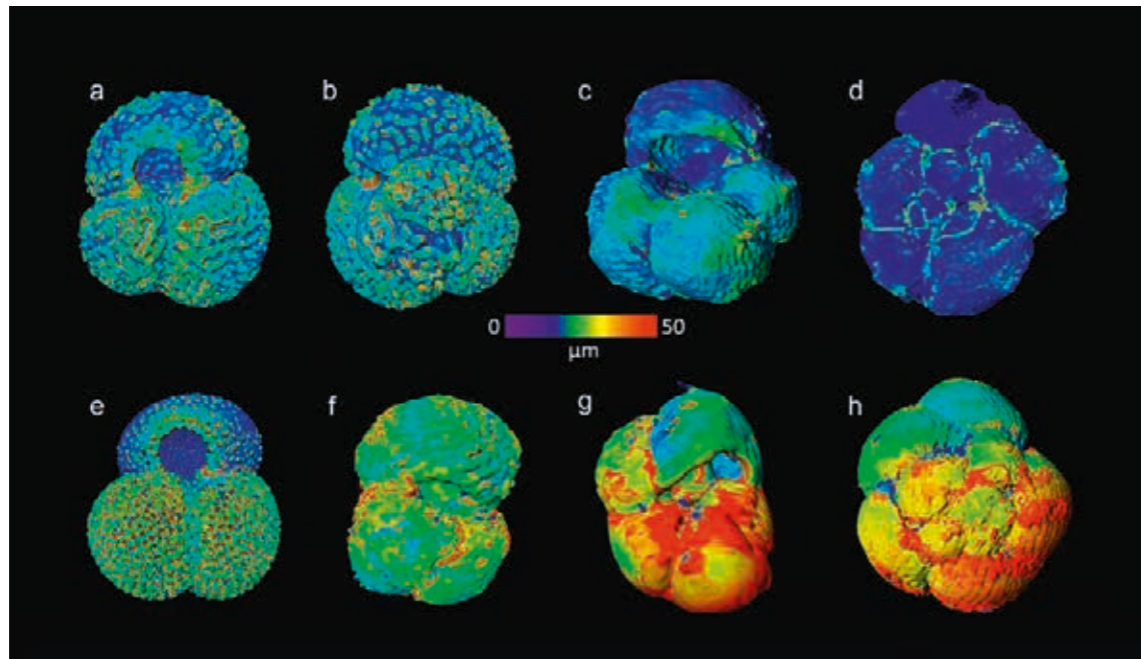
Zu den Versauerungsgewinnern könnte man das sogenannte Picophytoplankton zählen. Die Kleinsten unter den Phytoplanktonarten sind zwar nur zwischen 0,2 und zwei Mikrometer (der tausendste Teil eines Millimeters) groß, doch in vielen Meeresgebieten sind sie die häufigsten Primärproduzenten – unter anderem weil sie sich auch in Wassermassen mit geringer Nährstoffkonzentration gut vermehren. In verschiedenen Feldexperimenten zur Ozeanversauerung zeigte sich nun, dass die winzigen Algen das erhöhte Kohlendioxid-

angebot im Meerwasser als Wachstumsbeschleuniger nutzen. Sie wuchsen schneller und bauten mehr Biomasse auf.

Auf der Verliererseite dagegen stehen zum Beispiel viele jener Meereslebewesen, die wie Fische im Wasser atmen. Kohlendioxidreiches Meerwasser führt nämlich dazu, dass auch die Kohlendioxidkonzentration in den Körperflüssigkeiten der Tiere steigt. Dadurch wird unter anderem der Transport von Stoffen durch die Zellmembran beeinträchtigt. Bei Fischen, die für Forschungszwecke in kohlendioxidreichem Wasser gehalten wurden, veränderte sich die Sinneswahrnehmung. Die Tiere hörten und sahen schlechter und wichen Fressfeinden weniger geschickt aus. Kabeljaularven, die in sehr kohlendioxidreichem Wasser aufgezogen wurden, zeigten Schädigungen wichtiger Organe wie Leber, Nieren und Bauchspeicheldrüse. Außerdem verdoppelte sich die Sterblichkeitsrate der Jungtiere in der kritischen Phase zwischen dem Schlüpfen aus dem Ei und der Ausbildung funktionierender Kiemen.

Heringe wiederum erwiesen sich in ähnlichen Experimenten als deutlich widerstandsfähiger gegenüber

2.28 > Eine Folge der Ozeanversauerung: Die Kalkschalen von Foraminiferen, die vor ungefähr 150 Jahren lebten (untere Reihe, wärmere Farben), waren um bis zu 76 Prozent dicker als jene heute lebender Artgenossen (obere Reihe).



pH-Wert-Veränderungen des Meerwassers. Eine Erklärung dafür könnte in der Lebensweise der Fische liegen. Heringe laichen meist in der Nähe des Meeresbodens, wo Mikroorganismen stetig herunterrieselnde Biomasse zersetzen und deshalb auf natürliche Weise höhere Kohlendioxidkonzentrationen vorherrschen als an der Meeresoberfläche. Die Tiere sind somit vermutlich schon besser angepasst an einen sich ändernden pH-Wert des Meerwassers als Fischarten, die wie der Kabeljau nah an der Wasseroberfläche laichen.

Eine besondere Gefahr stellt die Ozeanversauerung für kalkbildende Organismen wie Muscheln, Korallen, Stachelhäuter oder Planktonarten wie Coccolithophoriden (Kalkalgen), Foraminiferen (Kammerlinge) und Flügelschnecken dar. Denn sie alle benötigen Kalziumkarbonate, um ihre Schalen und Skelette zu bilden. Die Konzentration des Karbonats im Meer und in den Körperflüssigkeiten sinkt jedoch mit zunehmender Versauerung – es sei denn, sie verfügen über eine gute Säure-Basen-Regulation. Das heißt für die Organismen: Je saurer das Wasser wird, desto mehr Aufwand müssen sie betreiben, um Kalkschalen und Skelette aufzubauen. Langfristig sinken demzufolge entweder die Schalendicke, die Größe, das Gewicht oder die Leistungsfähig-

keit der Meereslebewesen. Mit zunehmender Versauerung steigt zudem die Wahrscheinlichkeit, dass das kohlendioxidreiche Wasser Muschelschalen, Schneckenhäuser oder Korallenskelette angreift und sie beschädigt oder aber sogar vollständig zersetzt.

Wie hoch der Druck ist, dem die Meereslebewesen aufgrund der zunehmenden Versauerung ausgesetzt sind, zeigen Forschungsergebnisse britischer Wissenschaftler, die vor Kurzem Zooplanktonproben von der legendären Challenger-Expedition (1872 bis 1876) mit Probenmaterial der Tara-Oceans-Expedition aus den Jahren 2009 bis 2016 verglichen. Dabei stellten sie fest, dass die vor mehr als 150 Jahren im Ostpazifik gesammelten Foraminiferen bis zu 76 Prozent dickere Kalkschalen besaßen als jene, die im zurückliegenden Jahrzehnt im selben Meeresgebiet gefangen wurden.

Doch nicht nur Meereswinzlinge sind betroffen. Ein deutsch-südafrikanisches Forscherteam fand in einer Laborstudie heraus, dass selbst Meeresräuber wie Haie unter der zunehmenden Versauerung leiden werden. Halten sich die Tiere über mehrere Wochen in Wassermassen mit einem pH-Wert von 7,3 oder niedriger auf – normal sind 8,2 –, nehmen sowohl ihre winzigen zahnförmigen Hautplättchen als auch ihre Zähne Scha-

den. Auf diese Weise könnten langfristig sowohl das Schwimmverhalten als auch die Jagdausbeute der Raubfische beeinträchtigt werden.

Ein Absinken des mittleren pH-Wertes im Meer auf 7,3 ist bei ungebremsten Kohlendioxidemissionen eigentlich erst für das Jahr 2300 vorausgesagt. In sogenannten Auftriebsgebieten wie vor der Süd- und Westküste Südafrikas oder vor der US-Pazifikküste messen Forscher jedoch schon heute gelegentlich derart niedrige Werte. Meist handelt es sich dabei um kalte, nährstoffreiche und gleichzeitig sauerstoffarme und kohlendioxidreiche Wassermassen mit einem pH-Wert von 7,4 bis 7,6, die bei bestimmten Wind- und Strömungsverhältnissen aus der Tiefe aufsteigen und dabei in die Küstenbereiche gelangen. Dort lösen sie aufgrund ihres Nährstoffreichtums regelmäßig große Planktonblüten aus. Sterben diese ab, zersetzen Mikroben die Pflanzenreste und reichern dabei das ohnehin schon kohlendioxidreiche Wasser noch weiter mit Kohlendioxid an. Unter diesen Umständen kann der pH-Wert des Wassers zumindest vor der Küste Südafrikas für wenige Tage sogar auf ein Extremminimum von 6,6 sinken.

Weniger Sauerstoff, weniger Energie

Die meisten mehrzelligen Meereslebewesen brauchen Sauerstoff, um Energie für sämtliche Lebensprozesse zu erzeugen. Vögel und Meeressäuger wie Wale oder See Löwen atmen diesen mit der Luft ein. Alle anderen ziehen ihren Atemsauerstoff aus dem Wasser, dessen Sauerstoffgehalt in kälteren Regionen in der Regel höher ist als in wärmeren. Seit den 1950er-Jahren aber nimmt die Menge des im Meerwasser gelösten Sauerstoffs im Zuge des Klimawandels ab – im offenen Ozean ebenso wie in den Küstengewässern.

Infolgedessen haben sich in allen Weltmeeren die sogenannten Sauerstoffminimumzonen (Oxygen Minimum Zones, OMZ) ausgedehnt. Als solche werden Wasserschichten in 100 bis 1000 Meter Tiefe bezeichnet, deren Sauerstoffkonzentration extrem weit unter dem Hypoxie-Grenzwert von etwa 70 Mikromol pro Kilogramm Wasser liegt. Im Indischen und Pazifischen Ozean weisen diese Minimumzonen in der Regel einen Sauerstoffgehalt von weniger als 20 Mikromol pro Kilo-

ogramm Wasser auf; im Atlantischen Ozean liegt er meist unterhalb der 45-Mikromol-Marke.

Wie lebensfeindlich diese Umweltbedingungen sind, wird deutlich, wenn man bedenkt, dass viele Meereslebewesen schon bei einem Sauerstoffgehalt von 60 bis 120 Mikromol pro Kilogramm Wasser Schwierigkeiten bekommen, ihren Körper mit ausreichend Sauerstoff zu versorgen. Gerade größere, energiehungrige Organismen wie Haie oder Thunfische können in Meeresgebieten oder Wassermassen mit einer Sauerstoffkonzentration von weniger als 70 Mikromol pro Kilogramm Wasser nicht mehr existieren. Sie meiden diese Gebiete.

Kommt das Lebenselixier Sauerstoff nur noch in so geringer Konzentration vor, leidet das Meeresleben auf allen Ebenen – angefangen bei den Prozessen in einzelnen Zellen bis hin zu den Wechselwirkungen im Gesamtökosystem. Das Leistungsvermögen vor allem der Tiere sinkt und mit ihm ihre Überlebenschance. Sauerstoffarmut verringert zum Beispiel den Fortpflanzungserfolg vieler Arten. Oft sind die Lebewesen in sauerstoffarmen Zonen auch gar nicht mehr in der Lage, sich zu paaren und Nachwuchs zu zeugen, weshalb die Bestände einbrechen. Tiere, die häufig kurzen Phasen des Sauerstoffmangels ausgesetzt sind, weisen ein geschwächtes Immunsystem auf und können sich weniger effektiv gegen Krankheiten und Parasiten wehren. Sie wachsen auch deutlich weniger, weshalb Forscher unter anderem davon ausgehen, dass die Zahl großer, stattlicher Raubfische langfristig abnehmen wird.

Die meisten beweglichen Meeresbewohner ergreifen die Flucht, wenn der Sauerstoffgehalt in ihrem angestammten Lebensraum unter den artspezifischen Schwellenwert sinkt. Diese Reaktion führt zum Beispiel dazu, dass sich die Tiere in den Randzonen konzentrieren, dort stärker um Nahrung konkurrieren und für Fischer leichter zu fangen sind. Die hohen Fangzahlen der Fischereiflotte Perus etwa sind auch darauf zurückzuführen, dass eine in mittlerer Wassertiefe liegende Sauerstoffminimumzone innerhalb des Perustroms die riesigen Schwärme der Peruanischen Sardelle (*Engraulis ringens*) daran hindert, in größere Tiefe abzuwandern. Stattdessen verweilen die Fische in Nähe der Meeresoberfläche, wo sie deutlich leichter und effizienter gefangen werden können.

Eine einengende Wirkung haben wachsende Sauerstoffminimumzonen im Tiefenwasser auch auf Makohaie (*Isurus oxyrinchus*), Blaue Marline (*Makaira nigricans*) und Segelfische (*Istiophorus albicans*). Die Räuber des offenen Ozeans sind eigentlich bekannt dafür, dass sie regelmäßig in größere Tiefen hinabtauchen, um dort Fische und Kalmare zu jagen. Im östlichen tropischen Pazifik aber reichen diese Beutezüge bei Weitem nicht so tief hinab wie im westlichen Atlantik. Der Grund: Den Räubern geht im Ostpazifik aufgrund einer stärker ausgeprägten Sauerstoffminimumzone in der Tiefe eher der Sauerstoff aus. Im Westatlantik dagegen ist der Sauerstoffgehalt bis in größere Wassertiefe ausreichend. Als Wissenschaftler das Jagdverhalten Blauer Marline im östlichen tropischen Atlantik untersuchten, stellten sie fest, dass eine sich ausweitende Sauerstoffminimumzone im Tiefenwasser die Fische veranlasste, ihre Tauchtiefe zu reduzieren – und zwar um einen Meter pro Jahr. Über den gesamten Untersuchungszeitraum gerechnet (1960 bis 2010) schrumpfte der Lebensraum der Raubfische somit um 15 Prozent.

Bilden sich sauerstoffarme Zonen am Meeresboden aus oder reichen sie bis in diese Tiefe, kann es passieren, dass Bodenbewohner ihre Höhlen und Verstecke verlassen und auf den höchstmöglichen Punkt in der Umgebung klettern – in der Hoffnung, die höhergelegenen Wasserschichten würden mehr Sauerstoff enthalten. Durch dieses Verhalten werden sie zur leichten Beute für Räuber. Dieses Risiko aber nehmen die Tiere meistens in Kauf, denn ihnen bleibt tatsächlich nur eine einzige Alternative – der Erstickungstod.

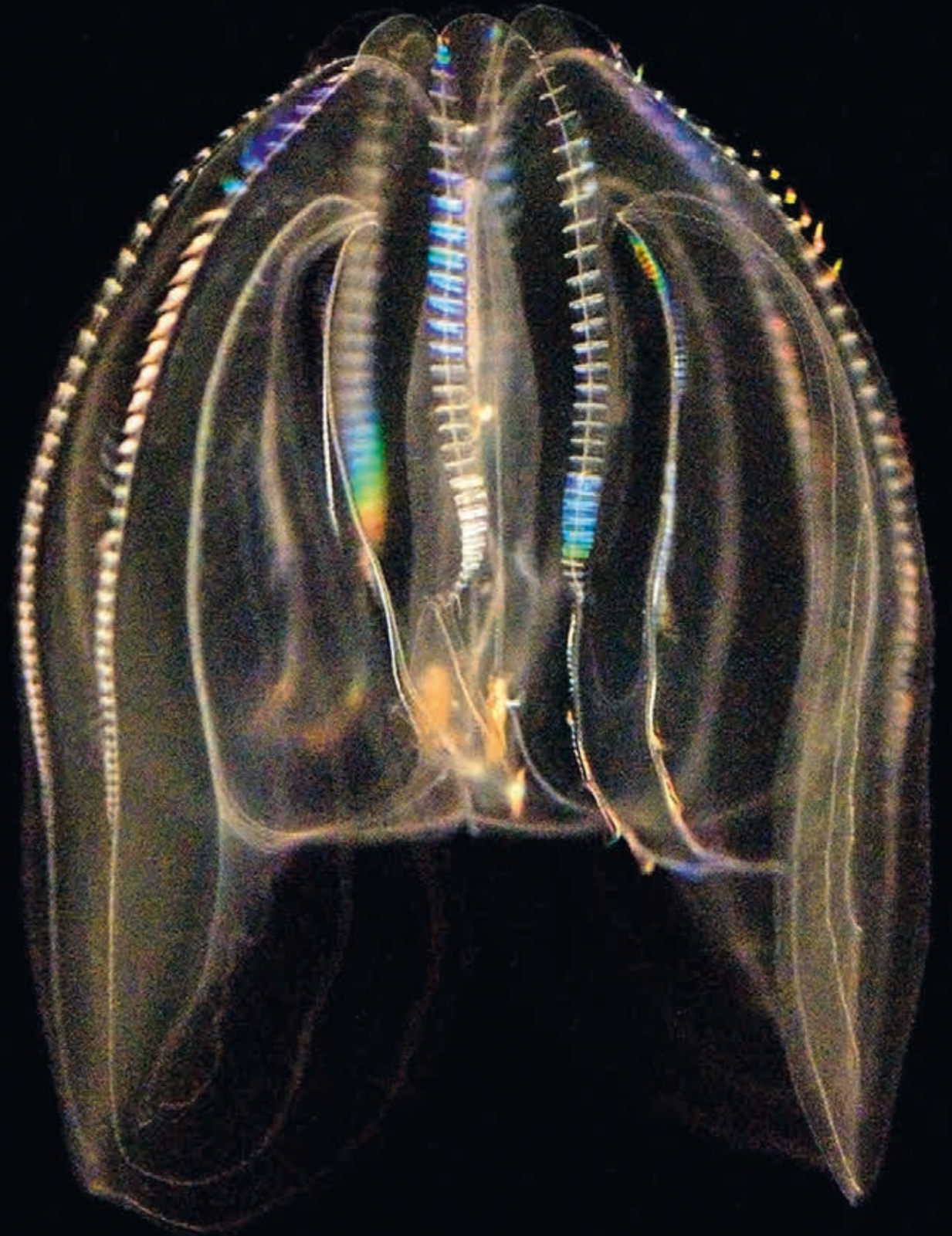
Während im Zuge der weltweiten Sauerstoffabnahme in den Meeren der Lebensraum für Arten mit hohem Sauerstoffbedarf abnimmt, profitieren Lebewesen mit geringem Sauerstoffbedarf sogar von den hypoxischen Zonen. Diese eignen sich zum einen als Rückzugsort, weil potenzielle Feinde – meist Räuber mit höherem Sauerstoffbedarf – nicht folgen können. Zum anderen offerieren sie Nahrungsvorteile für einzelne Arten. Die Rippenqualleart *Mnemiopsis leidyi* beispielsweise kommt auch in der Chesapeake Bay, der größten Flussmündung der USA, vor und verträgt deutlich geringere Sauerstoffkonzentrationen als alle Fische, mit denen sie normalerweise um Nahrung konkurriert. Verwandeln sich nun

im Sommer große Teile der Chesapeake Bay in eine sauerstoffarme Zone, kann die Qualle auch dann noch auf die Jagd gehen, wenn ihre Nahrungskonkurrenten das Gebiet längst verlassen haben.

Das tödliche Trio und seine Gefolgschaft

Im Vergleich zu den direkten Eingriffen des Menschen in das Meer stellen die Folgen des Klimawandels bislang immer noch den kleineren Stressfaktor dar. Der Druck aber, den diese mittlerweile auf die marinen Lebensgemeinschaften ausüben, wächst stetig. Nach Auffassung einiger Wissenschaftler wird der Klimawandel in Kürze die treibende Kraft des globalen Artensterbens sein. Im Ozean beeinflusst er die Lebensgemeinschaften vor allem dort, wo die physikalischen und chemischen Veränderungen gleichzeitig ablaufen und sich das tödliche Trio aus steigenden Wassertemperaturen, einer zunehmenden Ozeanversauerung und sinkender Sauerstoffkonzentrationen durch Wechselwirkungen verstärkt. Werden die Artengemeinschaften unter diesen Umständen auch noch von Extremereignissen wie tropischen Wirbelstürmen, marinen Hitzewellen oder aber Überflutungen mit der dazugehörigen Küstenerosion getroffen, steigt das Schadensausmaß um ein Vielfaches. Lokale Massensterben sind dann nicht mehr auszuschließen. Außerdem wächst die Gefahr, dass die Ökosysteme eine Schwelle oder einen sogenannten Kipppunkt erreichen, ab dem eine Erholung der Lebensgemeinschaften ausgeschlossen ist und Veränderungen somit unumkehrbar werden.

Hurrikan Dorian beispielsweise hinterließ eine Spur der Verwüstung in den küstennahen Korallenriffen der Bahamas, als er Anfang September 2019 mit Spitzenwindgeschwindigkeiten von 290 Kilometern pro Stunde über den Norden der Karibik zog. Nach zwei schweren Sturmtagen waren 25 bis 30 Prozent der Flachwasserkorallenriffe schwer beschädigt. Wind und Wellen hatten Korallenkolonien umgeworfen und entwurzelte Bäume in die empfindlichen Riffstrukturen gerammt. Vom Sturm aufgewirbelte Sedimente begruben Riffabschnitte unter einer Schicht aus Sand, sodass die Korallen zu ersticken drohten. Außerdem zeigten die Riffe vielerorts Anzeichen einer Bleiche, die Forscher unter anderem auf einen Temperaturschock zurückführten. Darüber hinaus fehlten



2.29 > Die Rippenqualleart *Mnemiopsis leidyi* profitiert vom Sauerstoffverlust des Meeres. Im Gegensatz zu vielen Fischen kann sie auch in sauerstoffarmem Wasser auf die Jagd gehen, was dazu führt, dass sie keine Nahrungskonkurrenz mehr fürchten muss.

2.30 > Sturmfolgen:
Als Hurrikan Dorian
Anfang September
2019 über den
Bahamas tobte, brach
dieser große Korallen-
stock (Fleckenriff) im
Great Abaco Barrier
Reef auseinander.



nach dem Sturm viele der für die Riffe überlebenswichtigen Fischarten. Ob sich die Tiere in tiefere Gewässer zurückgezogen hatten oder aber während des Hurrikans verletzt oder getötet worden waren, konnten die Wissenschaftler bei ihrer ersten Schadensanalyse nicht herausfinden. Fest stand jedoch, dass die geschädigten Riffe mehrere Jahrzehnte brauchen werden, um sich von den Sturmfolgen zu erholen – vorausgesetzt, der Klimawandel erlaubt es ihnen.

Das fatale Zusammenspiel aus Meerereswärmung, Versauerung, Sauerstoffverlusten und Extremereignissen bedroht mittlerweile die marine Artenvielfalt in allen Teilen des Weltozeans. Wissenschaftler sprechen deshalb auch von einer Kaskadenwirkung der Klimafolgen (englisch: cascading impacts). Reagieren eine oder mehrere Arten eines Nahrungsnetzes auf den klimabedingten Druck, beginnt eine Kettenreaktion, die Veränderungen auf allen Ebenen dieses Ökosystems hervorruft. Immer öfter entstehen dabei auch ganz neue Artengemeinschaften oder -konstellationen, bei denen noch fraglich ist, inwieweit sie zu den Ökosystemleistungen des Meeres beitragen werden.

Eine weitere Veränderung ist die Abnahme der tierischen Biomasse im Meer. Modellrechnungen auf Basis der vom Weltklimarat genutzten **Repräsentativen Konzentrationspfade** (englisch: Representative Concentration Pathways, RCPs) lassen darauf schließen, dass der Weltozean bis zum Jahr 2100 etwa 4,3 Prozent seiner tierischen Biomasse aus dem Vergleichszeitraum 1986 bis 2005 verlieren wird, wenn es der Menschheit gelingt, die Erderwärmung auf unter zwei Grad Celsius zu beschränken (RCP2.6). Sollten die Treibhausgasemissionen jedoch weiter stark ansteigen und die globale Durchschnittstemperatur bis zum Jahr 2100 um mehr als vier Grad Celsius im Vergleich zur vorindustriellen Zeit steigen (RCP8.5), wird die tierische Biomasse im Meer klimabedingt um 15 Prozent abnehmen. Besonders hoch werden die Einbußen dabei in den tropischen Meeren sowie in den gemäßigten Breiten ausfallen.

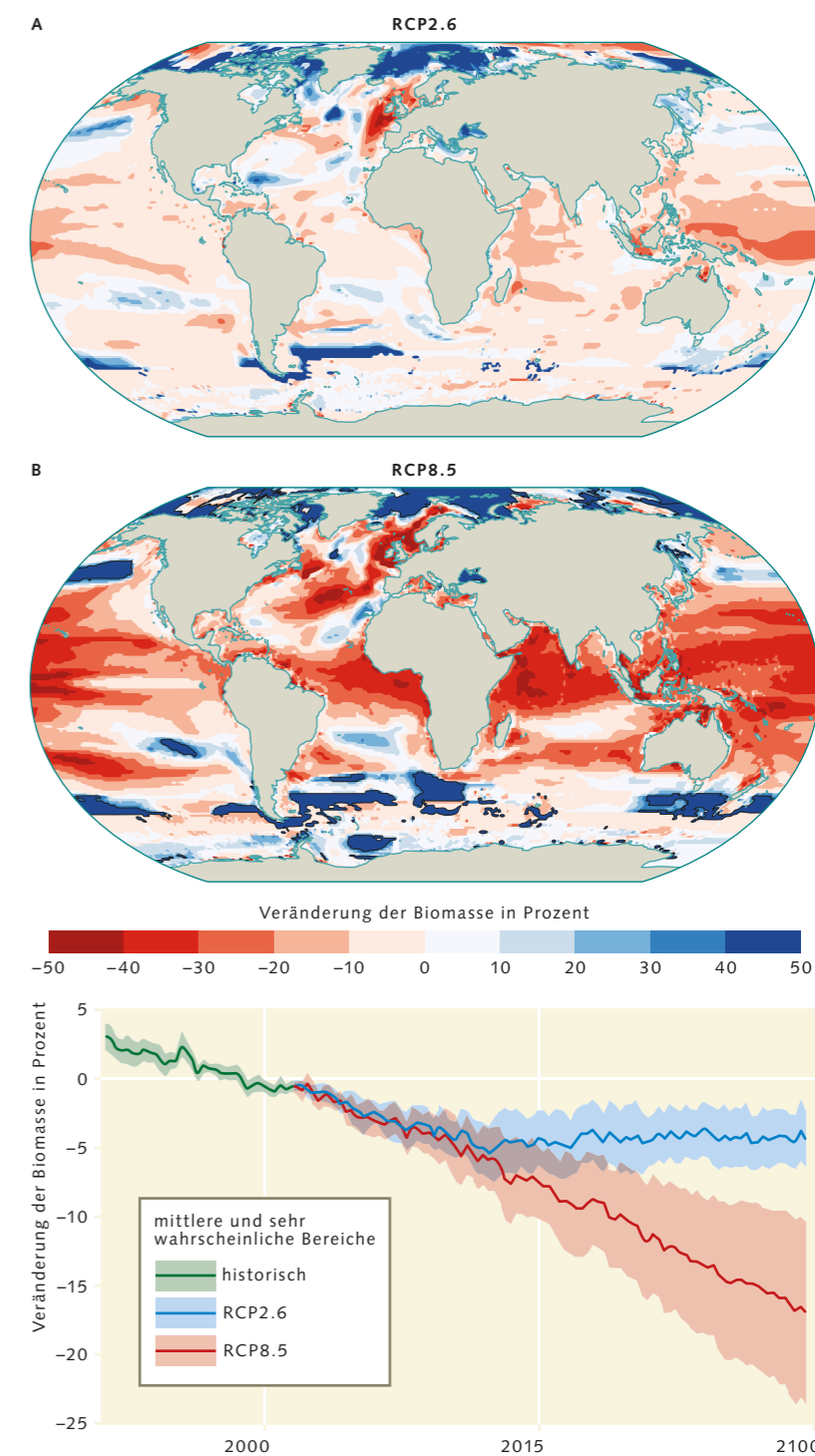
Im Übrigen verstärken die Klimastressfaktoren die schädliche Wirkung direkter menschlicher Eingriffe in die Lebensgemeinschaften des Meeres. Ausgebeutete Fischbestände beispielsweise reagieren auf die Folgen des Klimawandels deutlich empfindlicher als gesunde Bestände.

Gleiches gilt für Korallenriffe, die durch ungeklärte Abwässer vorgeschädigt sind, oder aber für am Meeresboden lebende Gemeinschaften, die Störungen durch regelmäßige Schleppnetzfisherei ausgesetzt sind. Treffen klimabedingte Extremereignisse wie Hitzewellen oder eine abrupte Sauerstoffabnahme auf solche vorgeschädigten Lebensgemeinschaften, haben diese so gut wie keine Chance, sich davon umfassend zu erholen.

Die Lebensgemeinschaften der Küsten stehen zudem vor einem weiteren Klimaproblem. Weil die Meeresspiegel steigen, verlieren Meeresschildkröten, Seevögel und viele andere Uferbewohner ihre angestammten Nistplätze oder sogar den gesamten Lebensraum. Dramatisch sehen die Vorhersagen auch für Mangrovenwälder aus, einem der Hotspots mariner Artenvielfalt. Aktueller Forschung zufolge sind sie in der Lage, einen Meeresspiegelanstieg von maximal sechs bis sieben Millimetern pro Jahr zu kompensieren. Das gelingt, weil sich in ihrem dichten Wurzelsystem viel Schwemmmaterial ablagert. Die Wälder bauen sich gewissermaßen ihr eigenes Podest und klettern mit dem Meeresspiegel in die Höhe. Steigt der regionale Wasserpegel aber schneller, als die Mangroven Sedimente ansammeln können, ertrinken die Bäume. Neue Mangroven wachsen dann nur noch in unmittelbarer Ufernähe, was bedeutet, dass sich die Wälder langfristig landeinwärts verlagern, wenn sie den Platz dafür finden. Anderenfalls verschwinden sie.

Wie ernst die Lage ist, verdeutlichen die Vorhersagen zum Meeresspiegelanstieg in den tropischen und subtropischen Küstenbereichen. Bleiben die vom Menschen zu verantwortenden Treibhausgasemissionen auf dem aktuellen Niveau, werden die Wasserpegel bereits innerhalb der nächsten 30 Jahre um sechs bis sieben Millimeter pro Jahr steigen und damit schon bald den für Mangrovenwälder kritischen Schwellenwert erreichen. Gelingt es der Menschheit aber, das Pariser Klimaziel einzuhalten und die Erwärmung auf 1,5 Grad Celsius zu begrenzen, dürften viele der Küsten- und Mündungswälder eine Zukunft haben.

Solche klimabezogenen Schwellenwerte mariner Lebensgemeinschaften zu kennen, ist enorm wichtig, weil es die Menschheit in die Lage versetzt, biologisches Schlüsselwissen bei Entscheidungen zum Umgang mit dem Meer und seinen Ressourcen zu berücksichtigen. In



2.31 > Wissenschaftlern zufolge sinkt die Biomasseproduktion in weiten Teilen des Meeres um mehr als 20 Prozent, sollte sich die Welt bis 2100 um mehr als vier Grad Celsius (B) erwärmen. Bei Einhaltung des 1,5-Grad-Ziels (A) fallen die Verluste geringer aus.

Korallenriffe und Kelpwälder – bei Extremtemperaturen chancenlos

An den Küsten Australiens konnten Forscher und Hobbytaucher in den zurückliegenden 25 Jahren beobachten, wie marine Hitzewellen zwei der artenreichsten, produktivsten und damit für uns Menschen auch bedeutendsten Ökosysteme der Meere massiv unter Druck setzen. Die Rede ist von tropischen Korallenriffen und Kelpwäldern – den Regenwäldern der Ozeane.

Korallen: zerstörerische Bleiche

Tropische Korallenriffe bedecken weniger als 0,1 Prozent des weltweiten Meeresbodens. Nichtsdestotrotz beherbergen sie mindestens ein Viertel aller bislang bekannten Arten des Meeres. Diese Vielfalt resultiert daraus, dass Korallen im Zuge ihres Wachstums mitunter riesige Kalkstrukturen bilden, in deren vielen Höhlen, Gängen und Nischen wieder-

um Hunderttausende andere Meereslebewesen Nahrung und Schutz finden. Zu den Nutznießern der Riffe zählt aber auch der Mensch. Weltweit profitieren mehr als 500 Millionen Menschen aus 90 Ländern von den Ökosystemleistungen der Korallenriffe. Sie fischen in den Riffen, erholen sich beim Tauchen, leben vom Riff-tourismus, vertrauen darauf, dass die Korallenbauten Wellen brechen und die Küsten schützen, oder verbinden kulturelle und spirituelle Werte mit ihnen.

Weltweit aber sterben die Korallenriffe. Mindestens die Hälfte von ihnen ist bereits verloren, aus regional unterschiedlichen Gründen. Setzte ihnen der Mensch zunächst durch unsachgemäße Fischerei, Überdüngung, Wasserverschmutzung und durch das Abholzen der Mangrovenwälder (fehlende Filterwirkung) zu, so leiden Korallen mittlerweile extrem unter den Folgen des Klimawandels. Kohlendioxidreiches Wasser

erschwert ihnen den Bau ihrer Skelette oder droht, ihre Kalkfundamente zu zersetzen. Aufgrund abnehmender Durchmischung des Oberflächenwassers sowie küstennaher hypoxischer Zonen fehlt ihnen vielerorts der Sauerstoff zum Atmen.

Den größten Schaden aber richten Hitzewellen an, dabei mögen es tropische Korallen im Grunde warm. Sie gedeihen in Gewässern mit einer Wassertemperatur von 23 bis 29 Grad Celsius. Einige riffbildende Arten ertragen sogar Temperaturen von bis zu 40 Grad Celsius – allerdings nur für kurze Zeit. Sind die Tiere über eine längere Phase einer Wassertemperatur ausgesetzt, die über 29 Grad Celsius liegt (im Roten Meer liegt dieser Grenzwert etwas höher), geraten sie unter Hitzestress und entledigen sich ihrer Untermieter. Dabei handelt es sich um symbiotische Algen, sogenannte Zooxanthellen, die im Gewebe der Korallenpolypen leben, mithilfe der Photosynthese Zucker produzieren und ihrem Wirt davon einen beträchtlichen Teil abgeben. Verschwinden die Algen, fehlt den Korallen ihre wichtigste Nahrungsquelle. Sie werden anfällig für Krankheiten und verlieren zudem mit den Algen ihre Farbe, weshalb diese Hitzestressreaktion auch als Korallenbleiche bezeichnet wird.

Bleicht eine Koralle aus, stirbt sie nicht unmittelbar. Kühlt sich das Wasser binnen kurzer Zeit wieder ab, kehren die Algen zurück und die Kolonie erholt sich. Dauert die Hitzewelle jedoch länger an, verhungert die Koralle. Dieses Sterben beobachten Forscher weltweit immer häufiger, denn die Anzahl und Intensität mariner Hitzewellen steigt. Das Great Barrier Reef vor Australiens Ostküste wurde im Sommer 2019/20 zum dritten Mal innerhalb von fünf Jahren von einer lang anhaltenden Hitzewelle getroffen. Die daraus resultierende Korallenbleiche erstreckte sich erstmals über alle drei Teilregionen des Riffsystems und betraf so viele Kolonien wie nie zuvor. Der Klimawandel sei nun auch im kühleren, südlichen Teil des Riffes angekommen, schlussfolgerten australische Korallenexperten. Und da die Hitzewellen überall auf der Welt in immer kürzeren Abständen auftreten, bleibt den Korallen mittlerweile weniger Zeit, um sich vom Hitzestress zu erholen und abgestorbene Regionen wieder zu besiedeln. Das bekannteste Korallenriff der Welt ist demzufolge nur eines von vielen tropischen Korallenriffen auf der Welt, die weiter schrumpfen werden, solange die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre nicht sinkt und sich die Wassertemperaturen nicht stabilisieren.

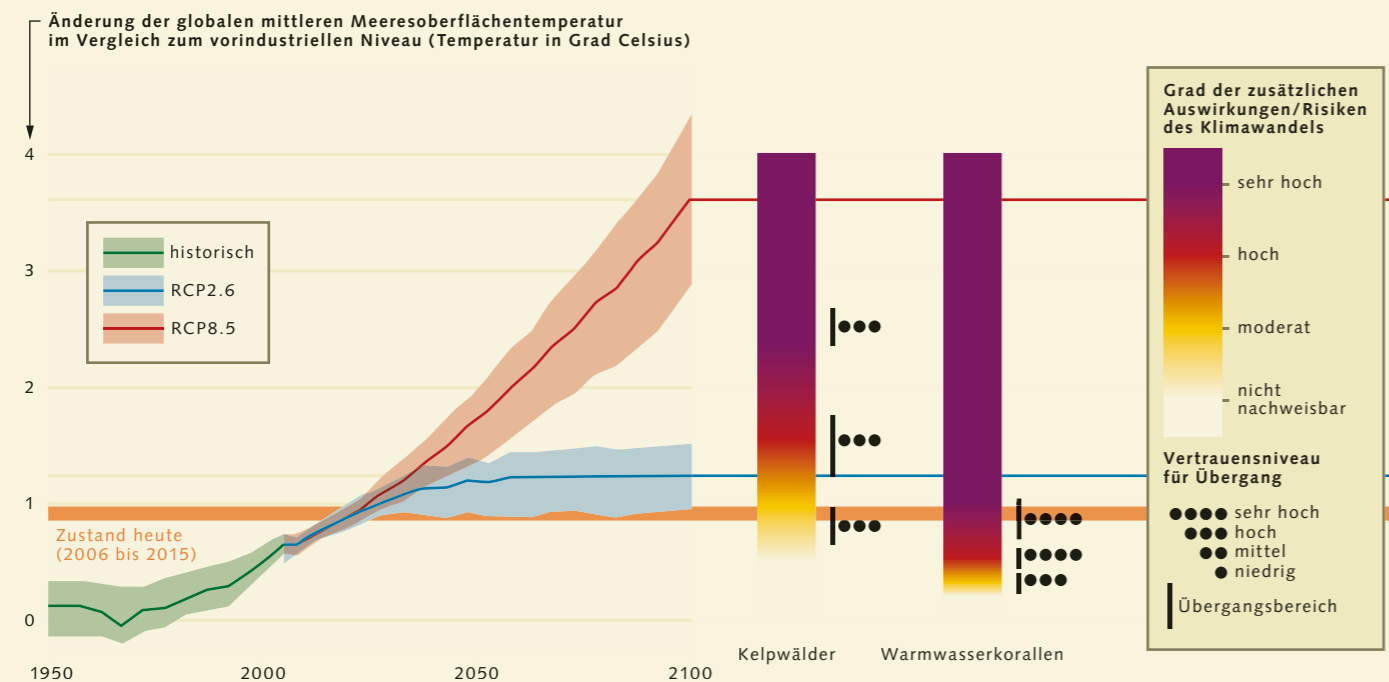
Kelpwälder: Rückzug Richtung Pol

Wie Korallenriffe bilden auch Kelpwälder dreidimensionale Strukturen im Meer, in denen zahllose andere Arten Schutz und ein Zuhause finden.

Allerdings mögen die dichten Unterwasserwälder aus braunen Großalgen eher kühleres Wasser und wachsen daher vornehmlich in den gemäßigten und subpolaren Meeresgebieten. Sie besiedeln etwa ein Viertel aller Küsten der Welt und erfüllen dort elementare Funktionen. Kelpwälder entziehen dem Meer im Zuge ihres Wachstums große Mengen Kohlenstoff. Sie bremsen hohe Wellen aus, dienen als Laichgebiet für zahllose Fischarten und spielen eine wichtige Rolle beim Nährstoffrecycling im Meer. Ihr Wohlergehen hängt von vielen Faktoren ab: Dazu gehören das Sonnenlicht, das Nährstoffaufkommen und die Anzahl algenfressender Organismen (vor allem Seegurken und Fische). Ihr Verbreitungsgebiet allerdings wird hauptsächlich durch die Wassertemperatur bestimmt, weshalb die Kelpwälder der Welt seit Jahrzehnten enorme Veränderungen erfahren – in der nördlichen Hemisphäre ebenso wie in der südlichen.

An der Küste Japans zum Beispiel ziehen sich die Braunalgen seit den 1980er-Jahren allmählich Richtung Norden zurück; Ursache ist der wärmer werdende Strom Kuroshio. Beträgt seine Wassertemperatur 18 bis 20 Grad Celsius, sind algenfressende Fische wie der Papageifisch *Calotomus japonicus* besonders aktiv und fressen mehr Kelp, als von den Algen nachwachsen kann. Vor der Westküste Australiens wiederum genügte im Sommer 2010/11 eine marine Hitzewelle, um Kelpwälder auf einer Fläche von fast 1000 Quadratkilometern, 43 Prozent ihrer ursprünglichen Fläche, zu vernichten. Die nördliche Grenze ihres Verbreitungsgebietes verlagerte sich infolgedessen um 100 Kilometer Richtung Süden. In der gleichen Zeit wurden die einstigen Lebensräume der Großalgen von tropischen und subtropischen Meereslebewesen besiedelt; unter ihnen viele Weidegänger, die eine Erholung der Kelpwälder bis heute verhindern, indem sie so gut wie jeden Sprössling der Großalgen vertilgen.

Dieser vollständige Regimewechsel hat schwerwiegende Folgen für das Küstenökosystem und alle, die von ihm profitieren. Westaustraliens Fischerei- und Tourismusbranche beispielsweise setzen auf die Existenz der Kelpwälder. Wandern diese immer weiter Richtung Süden ab, sind nicht nur ökonomische Schäden in Milliardenhöhe zu erwarten. Viele der endemischen, das heißt nur im Kelpwald vorkommenden Arten werden außerdem lokal aussterben. Wo Kelpwälder verschwinden, sinken demzufolge die Artenvielfalt, die Menge des von Wasserpflanzen gebundenen Kohlenstoffs sowie die tierische und pflanzliche Biomasse insgesamt – eine Entwicklung, die sich nicht aufhalten lassen wird, solange die Meerestemperaturen steigen.



2.32 > Die steigenden Wassertemperaturen verdrängen Warmwasserkorallen und Kelpwälder schon heute aus ihren angestammten Lebensräumen. Das Great Barrier Reef in Australien beispielsweise hat in den zurückliegenden 20 Jahren etwa die Hälfte seiner Korallen verloren. Erwärmt sich das Meer weiter, steigt der Temperaturdruck auf beide Gemeinschaften in einem solchen Maß, dass sie kaum noch Überlebenschancen haben.

Bezug auf Mangroven beispielsweise weiß man mittlerweile, dass keine Maßnahmen mehr durchgeführt werden dürfen, welche die Küstenwälder daran hindern, ausreichend Schwemmmaterial anzusammeln. Aktuell geschieht das allerdings noch in zahlreichen Flussläufen und -mündungen – wie etwa durch den Bau von Staudämmen oder durch das Abbaggern von Kies und Sand. Ebenso schädlich sind Bohrungen nach Grundwasser, Erdöl oder Erdgas im Küstenbereich. Sie führen dazu, dass die Küstengebiete absinken und sich die Wirkung des Meeresspiegelanstieges verstärkt. Das Mekongdelta in Vietnam zum Beispiel sinkt schon heute aufgrund menschlicher Eingriffe um sechs bis 20 Millimeter pro Jahr ab. Mangroven haben unter diesen Umständen kaum eine Zukunft.

Weniger Güter aus dem Meer

Der Klimawandel verändert im globalen Maßstab die Verbreitung und Produktivität der Meeresorganismen und beeinträchtigt auf diese Weise wichtige Ökosystemleistungen des Ozeans. Wo zum Beispiel Korallenriffe, Kelp- und Mangrovenwälder sterben, rollen Wellen ungebremst an die Küste und treiben deren Erosion voran. Touristen, die früher in Scharen kamen, um die Artenvielfalt dieser Lebensräume zu bestaunen, bleiben aus, und kulturell oder spirituell inspirierende Orte verlieren ihren Zauber.

Besonders spürbar wird der Verlust der marinen Artenvielfalt dadurch, dass der Ozean weniger Biomasse produziert, die der Mensch entnehmen kann. Leidtragende sind deshalb vor allem die kommerziell wichtigen Fischerei- und Aquakulturbetriebe sowie alle Kleinfischer, die für den Eigenverbrauch fischen. Sie alle sehen sich im Zuge des Klimawandels immer häufiger mit folgenden Veränderungen konfrontiert:

- eine schichtungsbedingte Abnahme der Nährstoffkonzentration im Oberflächenwasser der Meere in den niederen und mittleren Breiten, wodurch die Primärproduktion in diesen Regionen sinkt. Das heißt, die Nahrungsgrundlage für Fische, Muscheln, Krebse und andere Meeresfrüchte schrumpft;
- eine Verschiebung der Fischereiproduktivität Richtung Pol bei gleichzeitiger Abnahme der Fischbestände in den niederen Breiten;

- eine Abnahme der Fortpflanzungserfolge verschiedener Fischarten;
- der Verlust wichtiger Laichplätze von Fischen wie zum Beispiel Korallenriffe, Kelp- und Mangrovenwälder;
- eine Abnahme der individuellen Körpergröße verschiedener Arten;
- eine temperaturbedingt höhere Anfälligkeit für Krankheiten und Parasiten bei Arten, die in Aquakultur gezüchtet werden;
- eine Zunahme schädlicher Algenblüten und sauerstoffarmer Zonen in Küstengebieten, in denen Aquakultur betrieben wird.

Die klimabedingte Verlagerung der Verbreitungsgebiete vieler Arten erschwert zudem ein effektives Fischereimanagement in festen Sektoren sowie den Schutz seltener Arten in ausgewiesenen Meeresschutzgebieten. Verlassen zum Beispiel Fischschwärme aufgrund steigender Wassertemperaturen oder abnehmender Sauerstoffkonzentration ihren angestammten Lebensraum, überqueren sie unter Umständen auch die Grenze zu den benachbarten Fischereisektoren. Das heißt, im alten Sektor sinken die Bestände, im neuen Sektor steigen sie. Solche grenzüberschreitenden Populationsveränderungen zu beobachten und sie zeitnah in die Fischereikonzepte der jeweiligen Sektoren einzuarbeiten, stellt Wissenschaftler und Fischereimanager immer noch vor eine große Herausforderung. Sie zu meistern gelingt nur, wenn die Beobachtungssysteme ausgebaut werden und alle Verantwortlichen über Sektorengrenzen hinweg zusammenarbeiten.

Ähnlich sieht die Situation für Meeresschutzgebiete aus. Diese werden in Zukunft nur dann noch ihren Schutzzweck erfüllen, wenn ihre Grenzen mit den schützenswerten Arten mitwandern oder aber die Schutzgebiete miteinander vernetzt sind. Der Klimawandel zwingt den Menschen also auch hier, neue Lösungen zu entwickeln und getroffene Entscheidungen immer wieder aufs Neue zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. Die Folgen des Klimawandels für die Meere zu begrenzen, muss künftig oberste Priorität politischer Entscheidungen sein. Noch hat die Menschheit etwas Spielraum – diesen aber muss sie sofort nutzen, wenn sie die Meere und ihre einzigartigen Lebensgemeinschaften bewahren will.

Conclusio

Gradmesser Ozean

Die Welt schaut heutzutage genau auf die Temperaturkurve des Weltozeans. Solange sie nämlich steigt, schreitet auch die globale Erwärmung zweifelsohne voran. Diese Gewissheit beruht auf der Tatsache, dass der Ozean den wirkungsvollsten Wärmespeicher im Klimasystem der Erde darstellt. Seit den 1970er-Jahren haben die Meere mehr als 90 Prozent jener Wärmeenergie aufgenommen, die auf menschengemachten Treibhausgasemissionen beruht, und haben sie in immer größere Tiefe eingelagert. Dadurch haben die Ozeane den Anstieg der globalen Oberflächentemperatur maßgeblich gebremst und spürbare Veränderungen des Erdklimas hinausgezögert. Künftig dient der Ozean ebenfalls als Gradmesser und Kontrollinstanz: Erst wenn die Wassertemperaturen nicht weiter ansteigen oder aber sogar wieder sinken, kann die Menschheit von einem echten Erfolg im Kampf gegen den Klimawandel sprechen.

Die Erwärmung der Meere und Ozeane zieht dramatische Veränderungen nach sich: Die Wassermassen dehnen sich aus, sodass die Meeresspiegel steigen und vor allem in den Tropen Küstenabschnitte mit Abermillionen Einwohnern bedrohen. Gleichzeitig verliert der Ozean sein Lebenselixier Sauerstoff, weil wärmeres Wasser weniger Gase speichert als kaltes, Strömungen an Kraft verlieren und die windgetriebene Durchmischung durch eine stärkere temperaturbedingte Schichtung des Wassers abnimmt. Extremereignisse wie marine Hitzewellen treten häufiger auf. Parallel dazu verändert sich die Meereschemie: Seit Beginn der Industrialisierung haben die Weltmeere etwa ein Viertel der vom Menschen verursachten Kohlendioxidemissionen aufgenommen. Infolgedessen ist der pH-Wert des Ozeans gesunken und das Meerwasser versauert, wodurch sich die Lebensbedingungen insbesondere für Meeresorganismen mit Kalkschalen und -skeletten verschlechtern haben.

Das Fatale an den Folgen des Klimawandels für das Meer ist: Sie verstärken sich in ihrer Wirkung nicht nur gegenseitig, sondern schwächen auch die Widerstandskraft mariner Lebensgemeinschaften gegenüber anderen menschlichen Eingriffen wie Fischerei, Rohstoffabbau oder Verschmutzung. Als Reaktion auf den Klimastress, verlassen die meisten Tier- und Pflanzenarten daher ihren angestammten Lebensraum und folgen ihren gewohnten Umweltbedingungen. Das bedeutet, dass sie sich entweder polwärts bewegen oder aber in tiefere und damit kältere Wasserschichten abwandern – wenn ihnen dies möglich ist.

Verlierer dieser klimabedingten Artenwanderung sind vor allem kälteliebende Tier- und Pflanzenarten, denen kein Rückzugsort mehr bleibt; Organismen mit Kalkschalen oder Skeletten, denen die Versauerung zusetzt; sesshafte Arten wie Korallen, deren Ausbreitungsmechanismen zu langsam sind, als dass sie der Wärme entkommen könnten; sowie hochaktive und damit sauerstoffhungrige Lebewesen wie Raubfische, die in sauerstoffarmen Wasserschichten nicht mehr genügend Sauerstoff aufnehmen können.

Schon diese wenigen, eindrucksvollen Beispiele illustrieren: Der Klimawandel verändert bereits großflächig das Artengefüge in den Meeren. Nicht nur die Artenvielfalt sinkt, sondern auch die Biomasseproduktion insgesamt. Marine Ökosysteme sind immer weniger in der Lage, ihre vielen vom Menschen genutzten Ökosystemfunktionen zu erfüllen. Im Hinblick auf die Vielfalt des marinen Lebens entwickelt sich der Klimawandel zum größten Motor des Artensterbens und stellt in dieser Form eine enorme Herausforderung für ein nachhaltiges Ozeanmanagement dar.

Fest steht: Die kurz- und langfristigen Folgen der Meereseerwärmung, -versauerung und Sauerstoffabnahme müssen ab sofort bei jeder Entscheidung zur Nutzung der Meere berücksichtigt werden.

3 Nahrung aus dem Meer

> Der Ozean galt lange Zeit als unermessliche Speisekammer. Die Zeiten des Überflusses sind jedoch längst vorbei. Durch Überfischung, Küstenverbauung und den Klimawandel hat der Mensch bereits vielen marinen Arten ihre Lebensgrundlagen genommen. Neue Konzepte für nachhaltige Fischerei und Aquakulturhaltung versprechen Besserung, werden in der Praxis jedoch kaum umgesetzt. Den Preis dafür zahlen am Ende nicht nur die Lebensgemeinschaften der Meere, sondern auch wir Menschen.



Problemzone Fischerei

> Sardellen, Thunfisch & Co. gehören mittlerweile zu den am häufigsten gehandelten Nahrungsmitteln und werden in Rekordzahl gefangen. Im Gegenzug steigt die Zahl der überfischten Bestände, weil Fangquoten zu hoch sind und vielerorts illegal gefischt wird. Neue Richtlinien und Technologien haben das Potenzial, Verbrechern das Handwerk zu legen. Damit sich die Fischbestände der Welt aber grundlegend erholen und auch künftig noch ausreichend Nahrung liefern können, bedarf es vor allem eines politischen Willens, Schutzkonzepte flächendeckend umzusetzen.

Wachsender Appetit auf Fisch

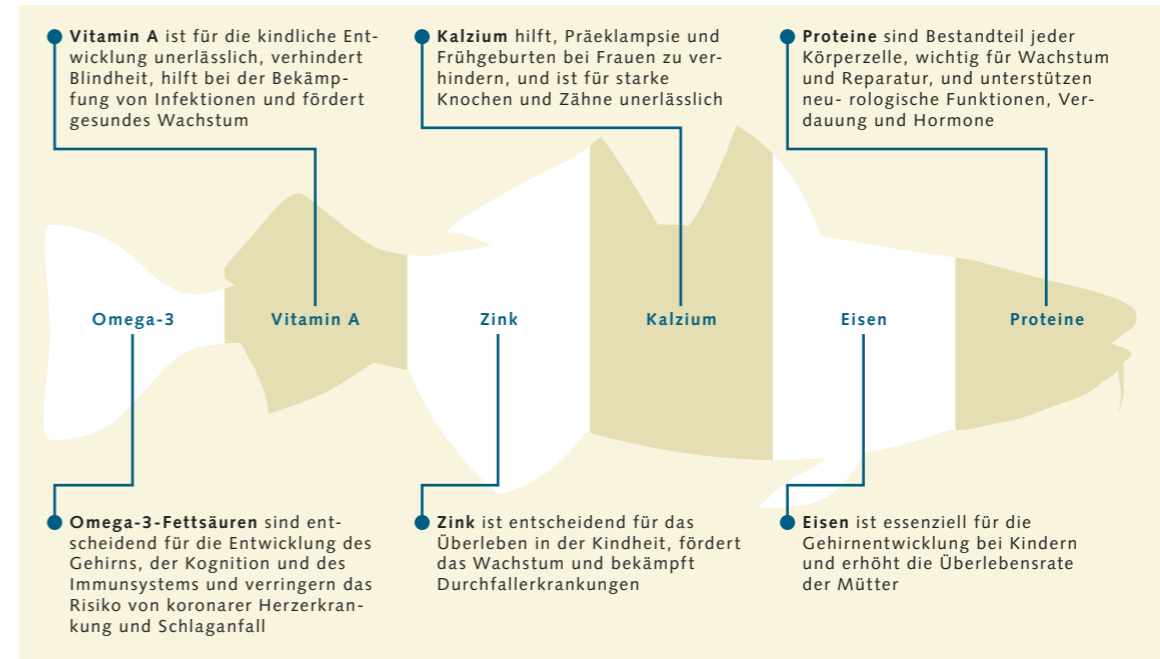
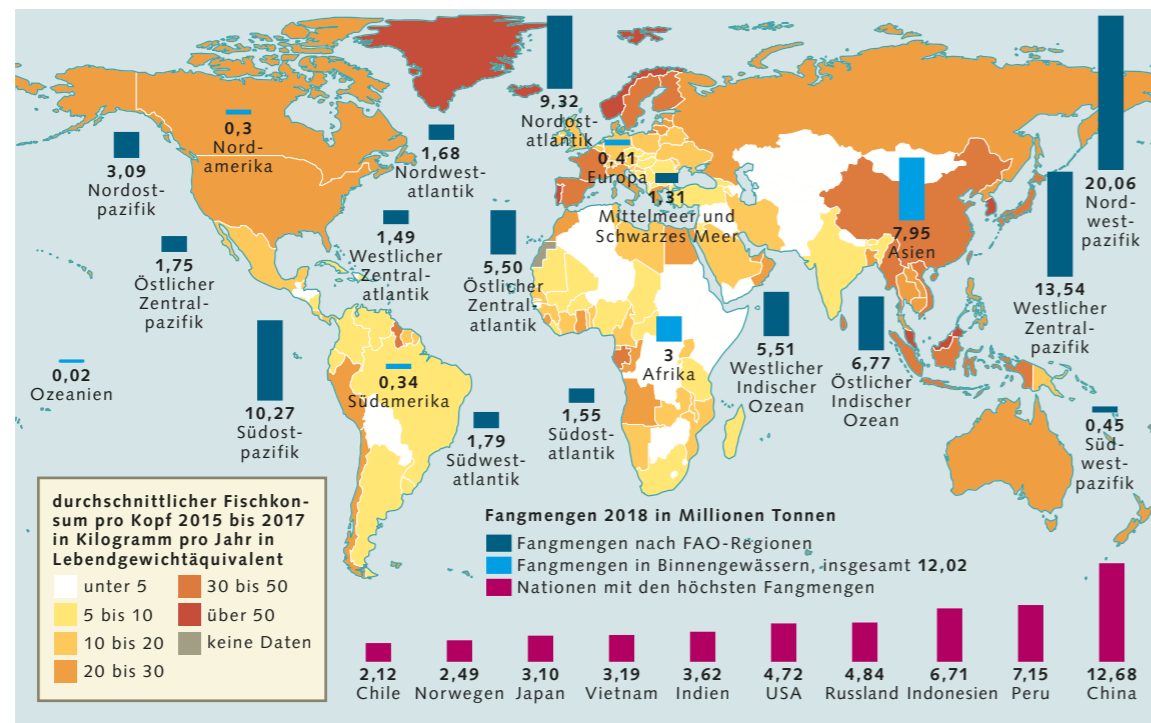
Menschen essen nicht nur gern Fisch, Muscheln, Krebstiere und andere Meeresfrüchte – sie verspeisen pro Kopf auch immer mehr. In den zurückliegenden Jahrzehnten ist die weltweite Nachfrage nach aquatischen Lebensmitteln so stark angestiegen, dass heutzutage doppelt so viele Fischereierzeugnisse für den menschlichen Verzehr produziert werden als noch vor 40 Jahren. Die Weltbevölkerung ist im selben Zeitraum von 5,6 auf 7,6 Milliarden Menschen angewachsen und kann daher nur einen Teil der Marktexpansion erklären. Hauptgrund scheint der wachsende Appetit auf Fisch zu sein. Verzehrte im Zeitraum von 1986 bis 1995 jeder Erdenbürger rein rechnerisch noch etwa 13,4 Kilogramm Fisch und Meeresfrüchte jährlich, weist der aktuellste Fischereibericht der FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations; Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen) für das Jahr 2018 einen durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauch von 20,5 Kilogramm pro Jahr aus. In dieser Angabe enthalten sind sowohl Fischereiprodukte aus dem Ozean als auch jene aus Seen, Flüssen und Teichen.

Fisch und Meeresfrüchte machen weltweit 17 Prozent der von Menschen verzehrten Menge tierischen Eiweißes aus. Untersucht man genauer, wer die Fischereiprodukte isst, zeigt sich, dass mehr als 3,3 Milliarden Menschen mindestens ein Fünftel ihres Bedarfes an tierischem Eiweiß mithilfe aquatischer Lebensmittel decken. In Ländern wie Bangladesch, Kambodscha, Gambia und Indonesien liegt dieser Anteil sogar bei 50 Prozent oder darüber, was bedeutet, dass Fischereiprodukte in diesen Staaten eine herausragende Rolle in der Nahrungsmittelversorgung der Bevölkerung spielen. Deutschland rangiert eher im Mittelfeld. Während zum Beispiel jeder Einwohner Indonesiens mehr als zehn Gramm Fischeiweiß pro Tag zu sich nimmt, kommen die Deutschen laut FAO-Statistik auf vier bis sechs Gramm Fischeiweiß pro Tag. Der Pro-Kopf-Verbrauch pro Jahr liegt in Deutschland bei zehn bis 20 Kilogramm Fisch (Lebendgewicht).

Die Zunahme des weltweiten Fischkonsums ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. Zum einen wurden mehr Fisch und Meeresfrüchte produziert. Zum anderen haben demografische Veränderungen sowie verbesserte Kühl- und Lieferketten dazu beigetragen, dass heutzutage nicht nur in Industrieländern häufiger Fisch auf den Teller kommt, sondern auch in Entwicklungsländern, in denen die Urbanisierung voranschreitet. Statistiken zeigen nämlich, dass dort, wo Menschen vom Land in die Stadt ziehen und langfristig ein höheres Einkommen erzielen, sie auch häufiger Fisch und Meeresfrüchte kaufen oder entsprechende Gerichte in Garküchen und Restaurants bestellen. Fisch ist zudem vielerorts günstiger

Fischkonsum
Unter dem Begriff „Fischkonsum“ fasst die Welternährungsbehörde alle Fischarten sowie Muscheln, Krebstiere und andere aquatische Organismen zusammen, die für den menschlichen Verzehr gezüchtet oder gefangen werden.

3.1 > Fisch und Meeresfrüchte werden auf der ganzen Welt gefangen und verzehrt – allerdings in ganz unterschiedlichem Maß. In Südostasien, Westeuropa, Skandinavien und Grönland konsumieren die Menschen pro Kopf deutlich mehr Fisch als im nördlichen Afrika, im Osten Südamerikas oder im Nahen Osten.

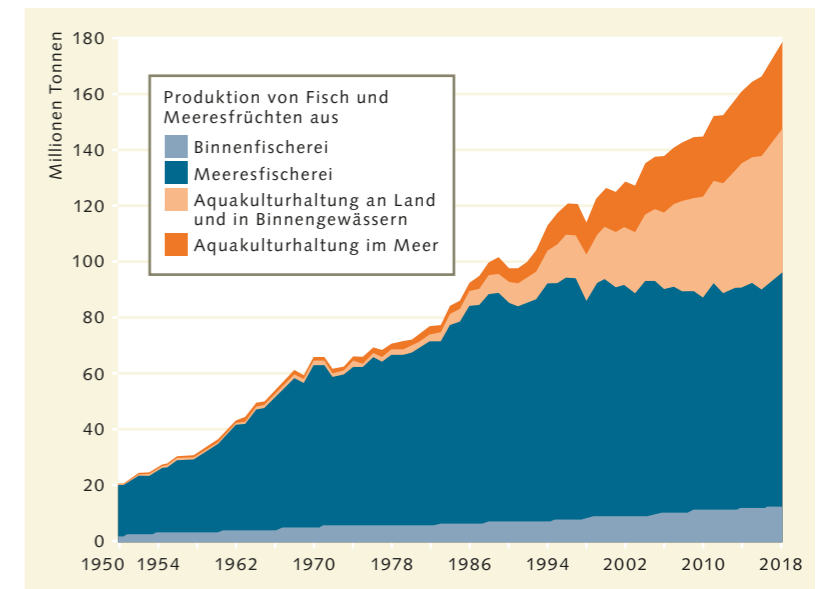


3.2 > Fisch gilt als wichtige Eiweißquelle und enthält außerdem viele Vitamine, Nährstoffe sowie die mehrfach ungesättigten Omega-3-Fettsäuren, die als Baustein für die Zellmembranen gebraucht werden. Was weniger bekannt ist: Im Fischfleisch reichern sich unter Umständen auch Schwermetalle, Dioxine, marine Biogifte wie Ciguatoxin sowie Antibiotika an.

als Fleisch und gilt wegen seiner Vitamine, den lebenswichtigen mehrfach ungesättigten Fettsäuren (Omega-3-Fettsäuren) und wegen seines geringen Cholesteringehaltes als besonders gesunde Nahrung. Nach Angaben der FAO importierten Entwicklungsländer im Jahr 2018 rund 49 Prozent der weltweit gehandelten Fischereierzeugnisse.

3.3 > Seit Jahrzehnten steigt weltweit die Menge der gefangenen und in Aquakultur produzierten Fische und Meeresfrüchte.

Die Zunahme des weltweiten Fischkonsums ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. Zum einen wurden mehr Fisch und Meeresfrüchte produziert. Zum anderen haben demografische Veränderungen sowie verbesserte Kühl- und Lieferketten dazu beigetragen, dass heutzutage nicht nur in Industrieländern häufiger Fisch auf den Teller kommt, sondern auch in Entwicklungsländern, in denen die Urbanisierung voranschreitet. Statistiken zeigen nämlich, dass dort, wo Menschen vom Land in die Stadt ziehen und langfristig ein höheres Einkommen erzielen, sie auch häufiger Fisch und Meeresfrüchte kaufen oder entsprechende Gerichte in Garküchen und Restaurants bestellen. Fisch ist zudem vielerorts günstiger





3.4 > Fischerei und Aquakultur sind Lebensgrundlage für mehr als zehn Prozent der Weltbevölkerung. Die meisten Kleinfischer leben dabei in Asien. Diese Frau verkauft ihren Fang auf einem Markt in Vietnam.

nisse. Damit hat sich der Importanteil der Entwicklungsländer in den zurückliegenden vier Jahrzehnten mehr als verdoppelt.

Ermöglicht werden diese Steigerungsraten, weil Gewässer heutzutage stärker befischt und gleichzeitig mehr Speisefische und andere Organismen in Aquakultur gezüchtet werden. Betrug die globale Produktion von Fischen und Meeresfrüchten nach Angaben der FAO im Jahr 2006 noch etwa 140 Millionen Tonnen, waren es im Jahr 2018 rund 179 Millionen Tonnen. Rund 46 Prozent (82 Millionen Tonnen) davon stammten aus Aquakulturerzeugung, die restliche Menge von 96,4 Millionen Tonnen landeten Fischer an.

Die Meeresfischerei macht bis heute den größten Anteil an Wildfängen aus. Auf sie entfielen im Jahr 2018 rund 84,4 Millionen Tonnen. Dies entspricht einem Anteil von 88 Prozent und liegt nur zwei Millionen Tonnen unter dem bisherigen Spitzenwert aus dem Jahr 1996. Zu den wichtigsten sieben Meeresfischereinationen der Welt gehören der Reihe nach China, Peru, Indonesien, Russland, die USA, Indien und Vietnam. Gemeinsam landen sie mehr als die Hälfte aller Fänge in den Meeren an.

Nachdem die Meeresfischer bis in die 1990er-Jahre hinein stetig mehr Fisch gefangen haben, sind die Fangzahlen seit 2005 relativ stabil geblieben. Die offizielle Gesamtmenge lag in den zurückliegenden 15 Jahren meist in einem Bereich zwischen 78 und 81 Millionen Tonnen. Das auffällige Plus im Jahr 2018 geht vor allem auf die chilenischen und peruanischen Sardellenfischer zurück. Diese hatten im Berichtsjahr wieder deutlich mehr Peruanische Sardellen (*Engraulis ringens*) im Netz als in den drei Jahren zuvor.

Die FAO erfasst mittlerweile die Fischereidaten für mehr als 1700 Meeresfischarten. Inwieweit ihre Statistiken jedoch die tatsächlichen Fänge abbilden, ist schwer zu sagen. Die FAO selbst verweist in ihrem Bericht darauf, dass sie in erster Linie mit den offiziellen Fangdaten arbeitet, welche ihr die Staaten übermitteln. Fehlen in diesen Fangmeldungen wichtige Daten oder weigern sich, wie im Fall Brasiliens, Nationen sogar, mit der FAO zu kooperieren, versucht die Welternährungsbehörde die Datenlücken zu schließen, indem sie die fehlenden Fangmengen schätzt. Dazu greift sie auf andere offizielle Quellen zurück – etwa auf die Statistiken der Regionalen Fischerei-

Bündnisse für gemeinschaftliches Fischereimanagement

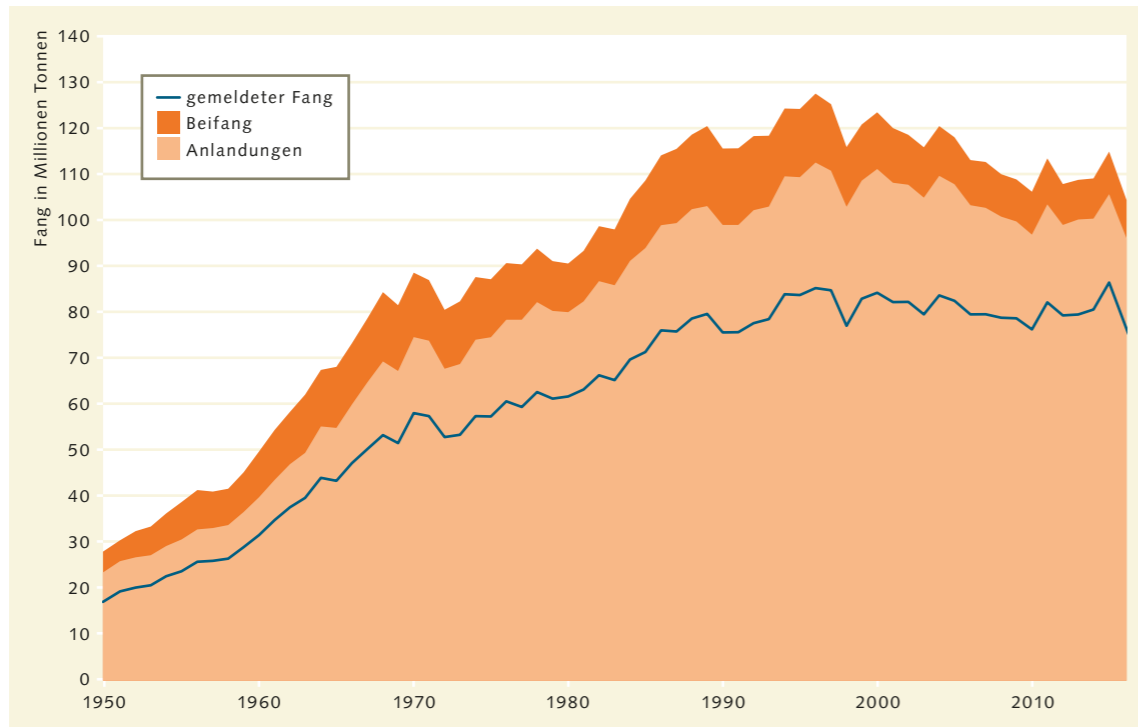
Regionale Fischereigremien (Regional Fishery Bodies, RFBs) sind beratende Gremien, die von Staaten mit gemeinsamen Fischereinteressen in einem bestimmten Gebiet gegründet werden. Die Ziele und Aufgaben solcher zwischenstaatlichen Gremien für Fischerei können ganz unterschiedlich sein, sich auf Binnen- oder Meeresfischerei beziehen oder auf die Förderung der Entwicklung der heimischen Fischerei. Einige RFBs beschließen für alle Mitglieder rechtsverbindliche Erhaltungs- und Bewirtschaftungsmaßnahmen und regeln so zum Beispiel die Fischerei in einem geografisch begrenzten Gebiet außerhalb ihrer jeweiligen Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ). Da diese Beschlüsse einen völkerrechtlich bindenden Charakter für alle Mitglieder haben, werden die entsprechenden Fischereigremien im Englischen auch als Regional Fisheries Management Organisations (RFMOs) bezeichnet. Zu ihnen gehören zum Beispiel die Kommission zur Erhaltung der lebenden Meeres-schätze in der Antarktis (Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, CCAMLR), die Kommission für Fischerei im Mittelmeer (General Fisheries Commission for the Mediterranean, GFCM) und die Kommission für die Fischerei im Nordostatlantik (North East Atlantic Fisheries Commission, NEAFC).

gremien (Regional Fishery Bodies, RFBs) und der Regionalen Organisationen für das Fischereimanagement (Regional Fisheries Management Organisations, RFMOs).

Internationale Forschungskooperationen wie das Projekt Sea Around Us versuchen daher, offizielle Fangdaten der FAO mit Schätzungen über Beifang sowie illegale oder nicht berichtete Fänge zu kombinieren. Angaben über deren Umfang sind erwartungsgemäß mit großer Unsicherheit verbunden. Nichtsdestotrotz führen sie dazu, dass die Gesamtmenge der weltweit gefangenen Fische höher ausfällt. Ein Beispiel: Im Jahr 2016 wurden laut Sea Around Us rund 104 Millionen Tonnen Meeresfisch und andere marine Organismen gefangen. Die FAO dagegen vermeldet für dasselbe Jahr Fänge in Höhe von 78,3 Millionen Tonnen Meeresfisch. Die Differenz von 25,7 Millionen Tonnen umfasst illegale oder nicht berichtete Fänge. 8,1 Millionen Tonnen davon – also rund 7,8 Prozent der Gesamtfangmenge – wurden als ungewollter Beifang wieder über Bord geworfen. In etwa jeder vierte gefangene Fisch taucht demnach nicht in der FAO-Statistik auf.

Kritiker bemängeln außerdem, dass die FAO in ihren Diagrammen zur Entwicklung der Wildfänge und Aquakulturproduktion zwei wichtige Aspekte nicht kenntlich

3.5 > Das Forschungsprojekt Sea Around Us kombiniert in seiner Statistik offiziell berichtete Fänge mit Schätzungen zu illegalen Fischzügen und Beifang, der direkt auf dem Meer wieder entsorgt wurde. Die berechnete Gesamtmenge gefangener Fische ist daher deutlich höher als jene der FAO.

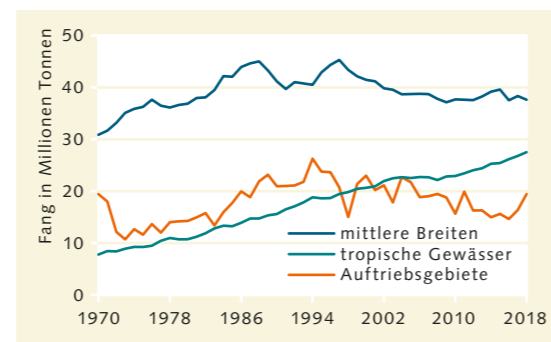


macht: zum einen die Menge wild gefangener Sardinen, Heringe, Sprotten und anderer Schwarmfische, die zu Futtermitteln wie Fischmehl und -öl verarbeitet werden und somit nicht für den direkten Verzehr zur Verfügung stehen. Ihr Anteil beläuft sich auf schätzungsweise 25 Prozent der Meeresfänge. Zum anderen werden in der Aquakulturbilanz Muscheln samt Schalen gezählt. Bei Zuchttieren wie Austern aber machen die Schalen 80 Prozent des Gesamtgewichtes aus; essen kann man sie jedoch nicht. Aus diesem Grund, so die Kritiker, dürfe man die Gesamtproduktion der Aquakulturindustrie nicht gleichsetzen mit der Menge an Nahrung, die produziert wurde. Deren Wert sei entsprechend kleiner.

Sardellen und Pollack am häufigsten im Netz

Bricht man die FAO-Gesamtfangmenge aus dem Zeitraum 2017 bis 2018 auf einzelne Fischarten herunter, sticht die Peruanische Sardelle (*Engraulis ringens*) deutlich aus der Menge hervor. Mehr als sieben Millionen Tonnen des bis zu 20 Zentimeter langen Schwarmfisches haben Fischer im Jahr 2018 vor der Westküste Südamerikas gefischt.

Damit führt sie die Liste der am meisten befischten Arten unangefochten an. Auf Platz zwei folgt mit einer Fangmenge von 3,4 Millionen Tonnen Pazifischer Pollack (*Theragra chalcogramma*), im deutschen Handel auch Alaska-Seelachs genannt. Platz drei geht mit 3,2 Millionen Tonnen an den Echten Bonito (*Katsuwonus pelamis*), der am häufigsten gefischten Thunfischart der Welt. Sie lebt in den tropischen und subtropischen Meeren, wird gelegentlich aber auch in der Nordsee gefangen.



3.6 > Der meiste Fisch wird in den gemäßigten Breiten gefangen. Die Tropenfischerei wächst jedoch kontinuierlich.



3.7 > Der Kalmar *Todarodes pacificus* lebt im nördlichen Pazifik und ist einer der am stärksten befischten Kopffüßer. Die Fangzahlen gehen seit Jahren zurück, was daran liegen kann, dass die Population um mehr als 70 Prozent eingebrochen ist.

Thunfische und ähnliche Arten werden von Jahr zu Jahr intensiver befischt. Dieser Trend setzte sich auch im Jahr 2018 fort und erreichte einen neuen Spitzenwert von insgesamt 7,9 Millionen Tonnen. Der Zuwachs geht vor allem auf vermehrte Fischzüge im westlichen und zentralen Pazifik zurück. Wurden hier Mitte der 2000er-Jahre noch rund 2,6 Millionen Tonnen Echter Bonito, Gelbflossenthunfisch (*Thunnus albacares*) und andere Thunfischarten gefangen, sind es mittlerweile 3,5 Millionen Tonnen. Auf ähnlichem Niveau lag auch die Menge der gefangenen Kopffüßer. Die am häufigsten befischten Arten waren hier der Humboldt-Kalmar (*Dosidicus gigas*), der Argentinische Kurzflosskalmar (*Illex argentinus*) sowie der Pazifische Kalmar (*Todarodes pacificus*).

Zugenommen hat die Fischerei in den zurückliegenden Jahren vor allem in den tropischen Gebieten des Indischen und Pazifischen Ozeans. Die größten Fänge aber werden noch immer in den mittleren Breiten mit gemäßigtem Klima gemacht. Die Menge der hier gefangenen Organismen addierte sich im Jahr 2018 auf rund 37,7 Millionen Tonnen.

Viel zu viel gefischt

Wo Fangzahlen stetig steigen oder aber auf hohem Niveau verharren, kommt man nicht umhin, zu fragen, welchen Schaden die Fischerei den Lebensgemeinschaften des Ozeans zufügt. Eine fundierte Antwort darauf scheidet jedoch schon daran, dass man über den Status der meisten Fischbestände gar nichts weiß, weil sie nicht wissenschaftlich untersucht werden. Bekannt ist weder, wie groß diese Bestände einmal waren, noch in welchem Maß sie durch die Befischung abgenommen haben, weshalb es für diese Meeresfischarten und -bestände auch keine Management- oder Schutzkonzepte gibt. Dennoch werden sie so umfassend befischt, dass diese Fänge in der Summe etwa die Hälfte aller weltweit angelandeten Meeresfische ausmachen.

Die andere Hälfte dagegen stammt aus wissenschaftlich begutachteten Fischpopulationen. Bei ihnen handelt es sich in der Regel um Arten, die große Populationen aufbauen, im industriellen Maßstab befischt werden und in Gewässern beheimatet sind, in denen Industrienationen das Sagen haben. Die Bestände wissenschaftlich zu erfor-

schen und die Fischereien zu überwachen, erfordert nämlich Geld und handlungsfähige Fischereibehörden, weshalb vor allem aus Entwicklungsländern aussagekräftige Erkenntnisse zum Zustand der Bestände und dem Ausmaß der Fischerei fehlen.

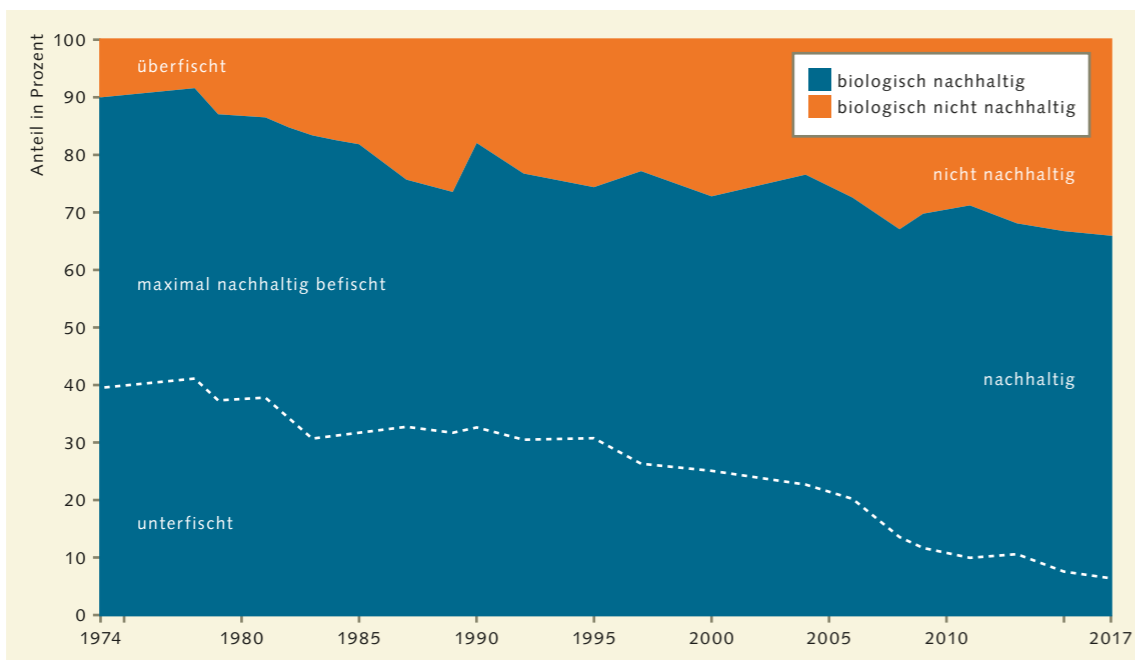
Doch selbst wenn diese Daten vorliegen, ist es eine schwierige Aufgabe, einzuschätzen, wie produktiv eine Fischpopulation ist und wie viele Fische bei den gegebenen Umweltbedingungen maximal entnommen werden können, ohne den Bestand langfristig zu gefährden. Selbst unter Fischereibiologen gehen die Meinungen hier sehr weit auseinander. Ein Fischbestand gilt gemeinhin als gesund, wenn er aus so vielen Tieren besteht, dass eine größtmögliche Menge Fisch (englisch: maximum sustainable yield, MSY) entnommen werden kann, ohne die Population langfristig zu gefährden. Dem Konzept zufolge verbleiben also stets so viele Individuen im Meer, dass deren Nachwuchs ausreicht, den Bestand wieder so weit anwachsen zu lassen, dass in der nächsten Saison erneut die MSY-Menge an Fisch entnommen werden kann. Die FAO spricht in diesem Fall von einem Bestand, der maximal nachhaltig befischt wird. Diese Formulierung führt jedoch regelmäßig zu Missverständnissen. Viele Menschen setzen die Größe nachhaltig befischter Bestände nämlich gleich mit

der Größe natürlicher, nicht befischter Populationen. Dabei sind Erstere in der Regel 30 bis 50 Prozent kleiner als Letztere. Ihre natürliche Bestandsgröße erreichen nur jene Populationen, die nicht befischt werden.

Als überfischt gilt ein Bestand, wenn die verbleibende Population zu klein ist, um sich wieder vollständig zu erholen und langfristig gleichbleibend hohe Fischereierträge zu produzieren. Weltweit trifft diese Beschreibung immer häufiger zu, denn die Zahl der bekannten und über ihre Belastungsgrenze hinaus befischten Bestände steigt seit Jahrzehnten. Es sind also immer weniger Fische im Meer. Galt nach FAO-Angaben im Jahr 1974 noch einer von zehn wissenschaftlich begutachteten Beständen (zehn Prozent) als überfischt, waren es im Jahr 2017 bereits 3,4 von zehn (34,2 Prozent). Ihr Anteil hat sich also innerhalb von vier Jahrzehnten mehr als verdreifacht. Als kaum befischt oder unterfischt galten im Jahr 2017 lediglich 6,2 Prozent der bekannten Fischbestände. Die verbleibenden 59,6 Prozent wurden nach Angaben der FAO in einem nachhaltigen Ausmaß befischt. Das heißt, es wurden so viele Fische entnommen, wie auch nachwachsen können.

Noch gravierender fällt das Urteil kanadischer und deutscher Fischereibiologen aus, die vor Kurzem auf

3.8 > Ein klarer Abwärtstrend: Laut FAO waren im Jahr 2017 bereits 34,2 Prozent aller wissenschaftlich beobachteten Fischbestände überfischt. 6,2 Prozent wurden in einem geringen Maß und 59,6 Prozent in einem biologisch maximal möglichen Maß befischt.

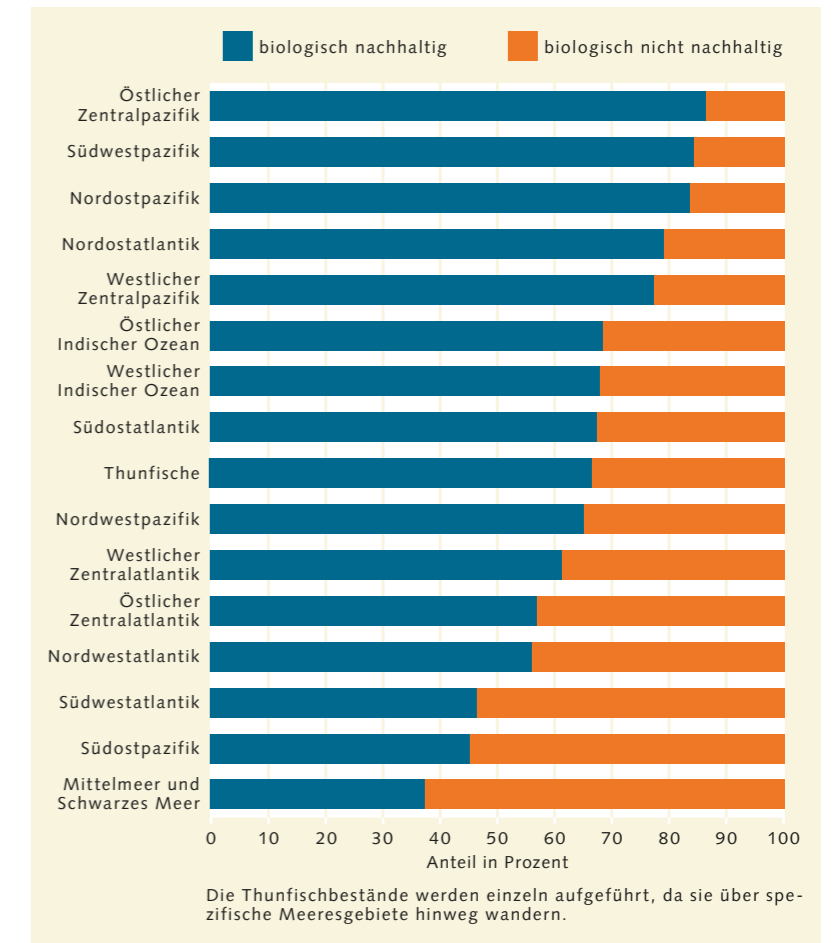


Grundlage der kombinierten Fangdaten von Sea Around Us die Bestandsentwicklung von 1300 befischten Meeresorganismen, einschließlich wirbelloser Tiere, über die zurückliegenden 60 Jahre untersucht haben. Demnach liegen mittlerweile 82 Prozent der begutachteten Populationen unterhalb des Niveaus, auf dem sie maximal nachhaltige Erträge hervorbringen können. Das heißt, es sterben jeweils mehr Tiere, als nachwachsen können. Auf lange Sicht, so die Forscher, werden die Fischer deshalb immer kleinere Fänge in ihren Netzen haben – selbst dann, wenn sie länger und intensiver fischen.

Meeresschützer und viele Wissenschaftler fordern deshalb eine Abkehr vom weitverbreiteten Ein-Arten-Management und dem Streben nach maximal nachhaltigen Fischereierträgen. Die hohe Zahl der überfischten Bestände zeige, dass dieser Ansatz ökologisch nicht nachhaltig sei und die Rolle von Fischen in den Nahrungsnetzen der Meere ignoriere. Durch die Fischerei bis an die Belastungsgrenze lasse der Mensch den Arten außerdem keinen Puffer oder Spielraum, um auf sich verändernde Umweltbedingungen reagieren zu können, argumentieren die Gegner. Sinke zum Beispiel die Fortpflanzungsrate einer Art, weil das Wasser in ihren Laichgebieten im Zuge des Klimawandels wärmer werde, verschiebe sich die Grenze für maximal nachhaltige Erträge sehr schnell. Intelligentes Fischereimanagement dagegen, wie es zum Teil in der Europäischen Union, vor allem aber in den USA praktiziert werde, zielt auf etwas geringere Erträge ab. Dadurch verringere sich das Risiko einer unbeabsichtigten Überfischung und die Populationen wären weniger anfällig für Umweltveränderungen.

In der Europäischen Union beispielsweise schauen Fischereimanager nicht nur auf die tatsächliche Bestandsgröße einer Art. Sie arbeiten stattdessen eher prozessorientiert und stellen die Frage, wie hoch die fischereiliche Sterblichkeit eines Bestandes sein darf, wenn dieser auf lange Sicht seine MSY-Größe erreichen oder aber diese beibehalten soll (FMSY). Laut Expertenmeinung fallen die wissenschaftlich empfohlenen Fangquoten daher in der Regel auch geringer aus als das theoretische Maximum. Ressourcenschonender wäre ihrer Auffassung nach nur noch ein Ende der Fischerei.

Realität ist allerdings auch, dass vielerorts die Tatsache, dass ein Fischbestand als überfischt gilt, Fischer



nicht davon abhält, dieser Art weiterhin nachzustellen. Im Mittelmeer und im Schwarzen Meer beispielsweise stuft die FAO inzwischen 62,5 Prozent der befischten Bestände als überfischt ein. Der seit Jahrzehnten anhaltende Fischereidruck hat mittlerweile dazu geführt, dass im türkischen Teil beider Meere mindestens 17 beliebte Speisefischarten ausgerottet wurden, darunter der Blauflossenthunfisch (*Thunnus thynnus*), der Schwertfisch (*Xiphias gladius*) und die Makrele (*Scomber scombrus*). Gleichzeitig löste ihr Verschwinden eine Kettenreaktion in den betroffenen Ökosystemen aus. Ein Makrelenjäger wie der Heringshai (*Lamna nasus*) beispielsweise wurde seit Jahrzehnten nicht mehr in den türkischen Küstengewässern gesichtet. Gleiches gilt für Weiße Haie (*Carcharodon carcharias*), die bis in die 1980er-Jahre den damals noch wandernden Thunfischschwärmen bis in das Marmarameer folgten.

3.9 > Der FAO-Vergleich zeigt: Das Mittelmeer und das Schwarze Meer gehören zu den am intensivsten befischten Meeresregionen der Welt.

Heute gelten die großen Räuber in diesem Teil des Mittelmeeres als ausgestorben.

Interessenkonflikte auf Kosten des Meeres

Die Überfischung der Meere ist kein neues Phänomen. Stark abnehmende Fangzahlen verzeichneten Fischer bereits in den 1970er-Jahren, als zum Beispiel die Heringsbestände im Nordostatlantik unter dem hohen Fischereidruck zusammenbrachen. Zur selben Zeit schrumpften auch die Bestände der Peruanischen Sardelle dramatisch und die Kabeljaufischerei in den Gewässern Neufundlands kollabierte. Die Sorge um die heimischen Fischbestände veranlasste einige Küstenstaaten, eine 200 Seemeilen breite Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) einzurichten, in welcher es ausländischen Fischern fortan verboten war, ihre Netze auszuwerfen. Dieser Ansatz wurde auch in das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen (UNCLOS) übernommen, welches 1994 in Kraft trat.

Mit der Ausschließlichen Wirtschaftszone vor der Haustür begannen zumindest die Industriestaaten, Fangstatistiken zu führen und den Zustand der Bestände wissenschaftlich zu überprüfen. Mitte der 1990er-Jahre häuften sich dann Forschungs- und Medienberichte, wonach die Fänge vieler Schlüsselarten wegen Überfischung dramatisch eingebrochen sind, und im Juni 2003 bezeichnete ein weltweit beachteter Bericht der Pew Oceans Commission zur Gesundheit der Ozeane Überfischung erstmals als ernsthafte Bedrohung.

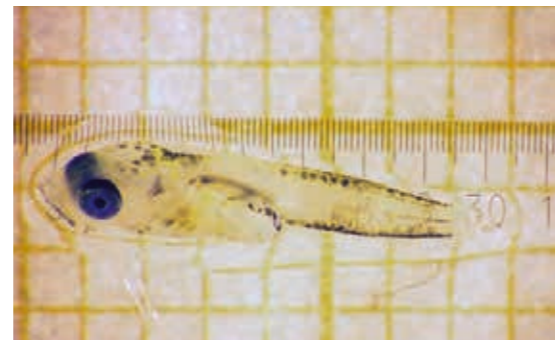
Aufgeschreckt vom Zukunftsszenario zusammenbrechender Bestände begannen vor allem die Industrienationen, die Fischerei in ihrer Ausschließlichen Wirt-

schaftszone zu regulieren – in einigen Bereichen sogar mit Erfolg –, wobei unter anderem in der Europäischen Union bis heute der strikte politische Wille fehlt, dem Meeresschutz oberste Priorität einzuräumen und den wissenschaftlichen Empfehlungen zu einer Beschränkung der Fischerei zu folgen. Grund dafür ist vor allem, dass bis heute niemand eine Antwort darauf gefunden hat, wovon all jene Menschen künftig leben sollen, die bislang ihren Lebensunterhalt mit wild gefangenem Fisch verdienen.

Fisch und Fischereiprodukte gehören mittlerweile zu den am häufigsten gehandelten Nahrungsmitteln der Welt. Im Jahr 2018 addierte sich der Erstverkaufswert aller durch Fischerei und Aquakultur erzeugten Fischereiprodukte auf 401 Milliarden US-Dollar. Gleichzeitig bilden Fischerei und Aquakultur die Lebensgrundlage für etwa zehn Prozent der Weltbevölkerung. Nach Angaben der FAO arbeiteten im Jahr 2018 weltweit rund 39 Millionen Menschen direkt in der Fischerei (Inlandsfischerei eingeschlossen); die Aquakulturindustrie zählte weltweit 20,5 Millionen Angestellte. Im Vergleich zum Berichtsjahr 2015 verzeichneten beide Sektoren einen leichten Zuwachs.

85 Prozent aller Fischer und Aquakulturfarmen leben und arbeiten in Asien, wobei der typische Fischer keineswegs auf einem großen Trawler anheuert. Laut FAO-Statistik stammen etwa neun von zehn Beschäftigten aus Entwicklungsländern, wo sie sich als Kleinfischer verdienen oder in Aquakulturanlagen ihren Lebensunterhalt verdienen. In Europa sowie Nord- und Südamerika dagegen sinkt die Zahl der im Fischereisektor beschäftigten Personen seit Jahren. Arbeiteten im Jahr 2015 noch 338 000 Europäer in der Fischerei, waren es drei

3.10 > Im Jahr 2020 gab es in der westlichen Ostsee nur noch so wenige Heringe und Dorsche, dass beide Fischarten nicht mehr ihr ganzes Laichgebiet mit Eiern versorgen konnten. Klimawandel und Rippenqualen taten ihr Übriges, sodass Forscher und Fischer am Ende vergeblich nach Jungfischen (l.: Heringslarve, r.: Dorschlarve) Ausschau hielten.



3.11 > Ein indonesischer Aquafarmer watet durch seinen voll besetzten Garnelenzuchtteich. Das asiatische Land ist nach China der zweitgrößte Aquakulturproduzent der Welt mit jährlichen Wachstumsraten von bis zu 12,9 Prozent.



Vor- und Nachteile verschiedener Fischereimanagementansätze			
Ansatz	Beschreibung	Vorteile	Nachteile (oder Herausforderungen)
Höchstfangmenge (TAC)	Begrenzt die erlaubte Gesamtfangmenge	Kann den Fang auf einem nachhaltigen Niveau deckeln	Kann Anreize setzen für ein „Fischen im Endspurt“, High-Grading (Rückwurf der weniger hochpreisigen Anteile des Fanges) und falsche Meldungen; schwer durchzusetzen, vor allem in der handwerklichen Fischerei
Individuelle Quote (IQ)	Überträgt Eigentumsrecht an Anteilen einer Quote	Kann den Fang auf einem nachhaltigen Niveau deckeln; kann wirtschaftliche Effizienz fördern (vor allem wenn Rechte handelbar sind); setzt Anreize für auf langfristige Nachhaltigkeit ausgerichtetes Management	Privatisierung einer öffentlichen Ressource; Übertragung der Rechte kann schwierig sein; Konsolidierung von IQs bei Individuen oder Firmen
Territoriale Nutzungsrechte in der Fischerei (TURFs)	Räumlicher Managementansatz, bei dem spezifischen Nutzern Rechte auf eine oder mehrere Fischressource(n) zugesprochen wird	Setzt Anreize für auf langfristige Nachhaltigkeit ausgerichtetes Management	Zusätzliche Managementmaßnahmen können erforderlich sein, um die Entnahme auf nachhaltigem Niveau zu deckeln; Festlegung angemessener Größen von TURFs kann kompliziert sein
Gemeinschaftliches Co-Management	Die Menschen vor Ort dürfen bei Entscheidungsfindung und -durchsetzung mitwirken	Kann Überwachung und Durchsetzung erleichtern	Funktioniert am ehesten für hochwertige Bestände; eine zu hohe Anzahl an Akteuren kann effektives Management behindern
Fangerlaubnisse	Schränkt die Anzahl der Nutzer ein, die Zugang zur Ressource haben	Kann fischereilichen Druck reduzieren; kann Durchsetzung verbessern	Zusätzliche Managementmaßnahmen können erforderlich sein, um Fangmengen zu regulieren
Beschränkungen hinsichtlich der Fangausrüstung	Regelungen hinsichtlich der Anzahl, der Art und des Designs des in einer Fischerei zugelassenen Fanggerätes	Kann ablaichende Weibchen, Jungfische, größte Arten oder geschützte Arten bewahren und sicherstellen, dass Fische sich fortpflanzen können, bevor sie gefangen werden (z.B. Anforderungen an die Maschenweite); kann Lebensräume schützen (z.B. Verbot des Dynamitfischens); kann Beifang minimieren; sinnvoll für Fischereien, für die nur begrenzt Daten vorliegen	Zusätzliche Managementmaßnahmen können erforderlich sein, um Fangmengen zu regulieren; Durchsetzung kann schwierig und teuer sein; fördern nicht notwendigerweise das wirtschaftliche Wohl
Größenvorgaben (meist in Verbindung mit Beschränkungen hinsichtlich der Fangausrüstung)	Zum Schutz bestimmter Lebensstadien, Alters- oder Größengruppen der Zielarten	Kann größere, potenziell produktivere Fische schützen oder Jungfische bis zum Erreichen der Fortpflanzungsfähigkeit	Zusätzliche Managementmaßnahmen können erforderlich sein, um Fangmengen zu regulieren; fördern nicht notwendigerweise das wirtschaftliche Wohl; Laichgröße kann zunehmen oder abnehmen

Vor- und Nachteile verschiedener Fischereimanagementansätze			
Ansatz	Beschreibung	Vorteile	Nachteile (oder Herausforderungen)
Saisonale Fangverbote (in allen oder in bestimmten Fanggebieten)	Schonzeiten, oftmals erlassen zum Schutz empfindlicher Lebensstadien	Kann Jungtiere, Laicher oder ganze Bestände schützen; einfach umzusetzen	Zusätzliche Managementmaßnahmen können erforderlich sein, um Fangmengen zu regulieren; kann zu Kapazitätsüberhang führen
Rückkäufe	Aufkaufen von Fangausrüstungen, Fahrzeugen, Quoten oder Fangerlaubnissen, um Kapazitätsüberhang zu reduzieren und/oder die Rentabilität des Sektors zu verbessern	Kann Anreize zum Überfischen verringern; kann fischereilichen Druck verringern; kann zum Schutz empfindlicher Arten beitragen	Möglichkeit des Wiederaufbaus der Kapazitäten oder Effizienzgewinns, der das Rückkaufprogramm konterkariert; möglicher Zuwachs konkurrierender Flotten
Verbot des Rückwurfs	Zielt darauf ab, Fischfang mit anschließendem Rückwurf auf See vollständig zu vermeiden oder zu minimieren (d.h., gesamter Fang muss angelandet werden)	Kann fischereilichen Druck im Verhältnis zur angelandeten Menge verringern; kann Anreiz für direkten oder indirekten Verzehr weniger attraktiver Arten setzen; verbessert Informationslage bezüglich Entnahme	Zusätzliche Managementmaßnahmen können erforderlich sein, um Fangmengen zu regulieren; schwer durchzusetzen; Anlandeverpflichtung für limitierende Arten könnte Zielfischereien vorzeitig schließen
Befischungsregelungen, die darauf abzielen, Bestände auf produktivem Niveau zu halten	Leistung wird mithilfe von Referenzpunkten (RPs) bewertet, die erstrebenswerte Zustände (Ziel-RPs) und Grenzzustände (Limit-RPs) beschreiben	Gibt Fischereimanagern Zielvorgaben an die Hand, die (idealerweise) wissenschaftlich und wirtschaftlich gerechtfertigt sind	Die Einschätzung und Durchsetzung von Referenzpunkten in Echtzeit kann sich schwierig gestalten und auch Schwankungen unterliegen
Ökosystembasiertes Management	Management, das die dynamische Natur der Ökosysteme, die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Natur und die Auswirkungen von Wechselwirkungen im gesamten System anerkennt	Kann umfassendere Zielsetzungen verfolgen als die häufigere Schwerpunktsetzung auf das Management individueller Arten, die isoliert voneinander betrachtet werden	Wechselwirkungen sind komplex und nicht immer eindeutig zu erkennen; grundlegende Informationen stehen nicht immer zur Verfügung; Ökosystem kann in einen alternativen Zustand übergehen
Meeresschutzgebiete (MSG) und Rückzugsgebiete	Gebiete, in denen extraktive Aktivitäten begrenzt oder verboten sind	Kann sich fischereilich günstig auswirken durch Larvenexport und Spillover-Effekt (d.h. Ausbreitung von juvenilen und adulten Fischen in die umgebenden Meeresbereiche); kann in überfischten Fischereien das Nahrungsangebot erhöhen; die stärksten Effekte sind von MSG zu erwarten, die extraktive und zerstörerische Aktivitäten verbieten und alle Einwirkungen minimieren	Nutzen des Larvenexports und Spillover-Effekts oft unsicher; kann Kosten der Fischerei erhöhen; kann Überfischung entlang der Grenzen der MSG fördern; schwer zu finanzieren; kann zu sozialen Konflikten führen; aufgrund von Interessenkonflikten oft schwierig einzurichten
Regionale Managementorganisationen	Organisationen, die das Management von Fischbeständen über politische Grenzen hinweg koordinieren	Kann das Management von grenz- und gebietsübergreifenden Beständen verbessern oder auch von Beständen, deren Vorkommen sich zukünftig räumlich verschieben werden	Innenpolitische Probleme können umfassende regionale Umsetzung gebietsübergreifender Bestände beeinträchtigen; es können sich internationale Konflikte ergeben

Jahre später nur noch 272 000 Männer und Frauen. Zum Vergleich: In Asien verdienten 2018 rund 30,8 Millionen Menschen ihren Lebensunterhalt durch Fischfang.

Bis heute finden mehr als 95 Prozent aller Fischfänge innerhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszonen statt. Das heißt, das Fischereimanagement liegt vor allem in der Verantwortung der Nationalstaaten. Diese verwenden verschiedene Werkzeuge und Konzepte, um ihre Bestände zu verwalten.

Dabei hat sich in den zurückliegenden drei Jahrzehnten gezeigt, dass durch gezielte Regulierung die Überfischung reduziert und Bestände geschont werden konnten. Nichtsdestotrotz führte nicht jede Maßnahme zu den angestrebten ökologischen Verbesserungen. Einige Regelungen ließen den Fischern zu viele Optionen, diese zu umgehen; andere funktionierten zwar bei Arten mit hohen Fortpflanzungsraten, versagten aber bei Arten mit weniger Nachkommen. Wieder andere können im lokalen Maßstab angewendet werden – etwa in abgelegenen kleinen Fischergemeinden –, eignen sich jedoch nicht für Fischerei im industriellen Maßstab.

Die heimliche Plünderung der Meere

Lässt man die als ungewollten Beifang entsorgten Fische außer Acht, ist rein rechnerisch etwa jeder fünfte bis sechste Meeresfisch, der irgendwo auf der Welt gekauft oder zubereitet wird, auf verbotene Weise gefangen worden. Das heißt, sein Fang war entweder illegal, wurde nicht berichtet oder erfolgte unter unkontrollierten Rahmenbedingungen (englisch: illegal, unreported and unregulated fishing, IUU-fishing).

Als „illegale Fischerei“ gelten alle Fischereiaktivitäten, die gegen geltende nationale und internationale Vorschriften oder aber gegen die Regeln der jeweils zuständigen Regionalen Organisation für Fischereimanagement verstoßen.

In die Kategorie „nicht berichtete Fischerei“ fallen Fischzüge, deren Fänge entweder keiner offiziellen Behörde gemeldet werden; bei denen falsche Angaben etwa zur Fangmenge, zu den befischten Arten, zum Fischereigebiet und zur Menge des Beifanges gemacht werden – oder aber bei denen andere erforderliche Informationen vor-

enthalten werden, so zum Beispiel Angaben zum Verladen von Fängen auf Kühlschiffe. Streng genommen gehören auch die Subsistenzfischerei (Fischen für den eigenen Verzehr) sowie die Fänge von Kleinfischern in vielen Ländern zur nicht berichteten Fischerei. In beiden Fällen würde aber vermutlich niemand den beteiligten Fischern kriminelle Machenschaften unterstellen.

Als „unkontrollierte Fischerei“ werden Fischereiaktivitäten bezeichnet, für die es noch keine nationalen oder internationalen Kontrollinstanzen gibt, die aber dennoch gegen internationale Gesetze oder weltweit geltende Prinzipien und Übereinkommen zum Schutz der Artenvielfalt verstoßen. Dazu gehören zum Beispiel das Fischen mit Schiffen, die nirgendwo gemeldet und somit staatenlos sind, oder aber das Fischen in RFMO-Gewässern, obwohl der Flaggenstaat des Schiffes kein Mitglied dieser RFMO ist.

Die Verlockung, IUU-Fischerei zu betreiben, ist groß. Zum einen werden gerade hochwertige Speisefische wie Thunfische zu hohen Preisen verkauft. Zum anderen werden Fisch und Meeresfrüchte weltumspannend gehandelt. Laut FAO gingen im Jahr 2018 rund 38 Prozent aller Fischereierzeugnisse (Wildfänge und Aquakultur) in den Export. Der Wert dieser Waren belief sich auf 164,1 Milliarden US-Dollar. Den Verkaufswert illegaler Fänge schätzen Experten auf zehn bis 23 Milliarden US-Dollar. Vermutlich noch viel größer aber sind die ökologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Schäden, die durch illegale Fischerei entstehen.

Experten sprechen in vielen Fällen mittlerweile von grenzüberschreitender organisierter Kriminalität, deren Ausmaß nicht nur die marinen Ökosysteme auf dramatische Weise bedrohe, sondern auch ein Sicherheitsproblem darstelle. Groß angelegte illegale Fischzüge ausländischer Fischereifloten – etwa in den Küstengewässern afrikanischer Staaten – minimieren oder vernichten die heimischen Fischbestände und gefährden die Nahrungssicherheit der Küstenbevölkerung. Kleinfischer werden ihrer Lebensgrundlage beraubt, wodurch kriminelle Machenschaften wie Piraterie gefördert werden. Gleichzeitig entgehen den Staaten Steuereinnahmen in Millionenhöhe. Darüber hinaus torpedieren illegale Fischzüge lokale, regionale und internationale Schutzbemühungen. Wer das Ausmaß der IUU-Fischerei

in einem Meeresgebiet nicht kennt und dessen Bestands- und Fangzahlen daher falsch einschätzt, hat wenig Aussichten auf Erfolg.

Illegale Fischerei wird außerdem oft mit Menschenrechtsverletzungen und Sklaverei in Zusammenhang gebracht, vor allem in Südostasien. Nach Angaben der Internationalen Arbeitsorganisation (International Labour Organization, ILO) berichten diverse Opfer von Erpressung, psychischem und sexuellem Missbrauch, von tödlichen Unfällen wegen fehlender Sicherheitsvorkehrungen an Bord der Fangschiffe sowie körperlich äußerst schwerer und sehr gefährlicher Arbeit zu einem Hungerlohn.

Um der systematischen IUU-Fischerei ein Ende zu bereiten, empfehlen Experten eine Reihe von Maßnahmen. Demnach sollten groß angelegte illegale Fischzüge nicht mehr als Managementproblem, sondern als organisiertes Verbrechen betrachtet und entsprechend verfolgt werden. Allen Verantwortlichen müsse zudem bewusst gemacht werden, dass vielerorts weitere kriminelle Machenschaften mit illegaler Fischerei verbunden seien, so zum Beispiel Korruption, Dokumentenfälschung und Menschenhandel. Um der Plünderung der Ozeane Einhalt zu gebieten, müssten Küstenstaaten ihre Fischereigesetze verschärfen und mit aller Konsequenz durchsetzen. Aufgabe der internationalen Staatengemeinschaft sei es dabei, betroffene Nationen nicht nur bei der Überwachung ihrer Küstengewässer zu unterstützen, sondern auch klare Regeln, Aufgaben und Verantwortlichkeiten im Kampf gegen illegale Fischerei auf internationaler Ebene zu definieren.

Gleichzeitig würden Mechanismen benötigt, mit deren Hilfe Informationen über Schiffe, deren Eigner, Routen und Fischereilizenzen schneller zugänglich gemacht werden. Fehlende Informationen über Akteure und Verantwortliche seien bis heute eines der größten Hindernisse im Kampf gegen illegale Fischerei. Außerdem sollten regionale Netzwerke und Partnerschaften zwischen Regierungen, Behörden und Umweltschutzorganisationen ausgebaut und die Zusammenarbeit der Staaten in Sachen maritime Sicherheit verstärkt werden. Unabdingbar sei es zudem, die mit illegaler Fischerei verbundenen Finanzströme und Geldwäscheprozesse aufzudecken und strafrechtlich zu verfolgen.

3.12 > Dem vom Aussterben bedrohten Totoaba aus dem östlichen Pazifik stellen vor allem chinesische Hochseefischer nach. Der Grund: Auf asiatischen Märkten wird die Schwimmblase des Küstenfisches mit 1400 bis 4000 US-Dollar pro Stück gehandelt – wegen ihrer angeblich heilenden Wirkung.





3.13 > Ein Team aus US-amerikanischen und ghanaischen Küstenschützern überprüft im Golf von Guinea ein Schiff, das im Verdacht steht, illegal zu fischen. Meeresfrüchte sind die wichtigste Quelle tierischen Eiweißes für die Menschen in Ghana. Die Küstengewässer des afrikanischen Landes aber sind seit Jahrzehnten stark überfischt.

Zwei wichtige, relativ neue Instrumente im Kampf gegen groß angelegte Fischereiverbrechen sind moderne Satelliten- und Positionstechnik sowie das internationale PSMA-Übereinkommen zur Verhinderung illegaler, nicht berichteter oder unkontrollierter Fischerei (Agreement on Port State Measures [PSMA] to prevent, deter and eliminate illegal, unreported and unregulated fishing). Es trat im Jahr 2016 in Kraft, wurde bis Februar 2020 von 66 Staaten ratifiziert und bemächtigt Küstestaaten, Schiffen unter fremder Flagge die Einfahrt in einen Hafen zu verbieten, wenn Grund zur Annahme besteht, dass diese in illegale Fischereiaktivitäten involviert sind und entsprechende Fänge an Bord haben.

Dazu muss man wissen, dass illegal gefangener Fisch meist auf zweierlei Weise in den Handel gelangt. Im ersten Fall verladen die Trawler ihre Fänge bereits auf offener See auf ein Kühl- oder Fabrikschiff, wo die Fische dann sofort verarbeitet und unter Umständen Erzeugnissen aus legalen Fängen beigemischt werden. Die Herkunft der einzelnen Fischfilets jetzt noch nachzuvollziehen, ist für Kontrolleure, Zwischenhändler und Kunden nahezu unmöglich, weshalb das Verladen von Fängen auf offener See von einigen Regionalen Organisationen für das Fischereimanagement auch verboten wird. Gemacht wird es vielerorts trotzdem, weshalb Experten die Ver-

ladeaktionen (englisch: transshipment) als eines der größten Schlupflöcher für illegale Fischerei bezeichnen. Die zweite Strategie besteht darin, große Mengen illegal gefangenen Fisches in Tiefkühlcontainer zu verladen, diese in einem nahe gelegenen Hafen auf Containerschiffe umzuladen und von dort auf die Reise in alle Welt zu schicken. Der Vorteil: Gefriercontainer werden im Vergleich zu anderen Warentransporten in den Häfen seltener kontrolliert. Außerdem müssen weniger konkrete Angaben zum Containerinhalt gemacht werden. In einem Bericht zur illegalen Fischerei in den Gewässern Westafrikas kamen Wissenschaftler im Jahr 2016 zu dem Schluss, dass 84 Prozent aller offiziellen und inoffiziellen Fänge in westafrikanischen Gewässern in Gefriercontainern eingelagert wurden und die Region über einige wenige Häfen verließen – zum Beispiel Richtung Spanien.

Das PSMA-Übereinkommen regelt unter anderem, welche Informationen und Dokumente eine Hafenbehörde abfragen sollte, wenn ein (Kühl-)Schiff um Einfahrt-erlaubnis bittet. Außerdem schreibt es Kontrollen an Bord sowie einen engen Informationsaustausch zwischen allen verantwortlichen Stellen vor. Dazu gehören, neben allen nationalen Behörden des jeweiligen Küstestaates, die Regierung jenes Staates, unter dessen Flagge das entsprechende Schiff fährt, die zuständigen Regionalen Organisationen für das Fischereimanagement sowie internationale Institutionen wie die FAO. Richtig umgesetzt, so die Expertenmeinung, könne das PSMA-Übereinkommen der systematischen, großangelegten illegalen Fischerei ein Ende bereiten, weil es die Anlandung und den Weitertransport illegaler Fänge verhindere.

Für mehr Transparenz wird dabei auch ein neues Webportal zu den Aufenthaltsorten großer Kühl- und Fabrikschiffe (englischer Originaltitel: Carrier Vessel Portal) sorgen, welches im Sommer 2020 online gegangen ist. Auf dem Portal, welches Positions- und Satellitendaten kombiniert und von der Umweltschutzorganisation Global Fishing Watch betrieben wird, können registrierte Nutzer zum Beispiel die Fahrtrouten der Industrieschiffe analysieren oder herausfinden, welche Häfen von diesen besonders häufig angelaufen werden. Die Schiffsnamen können sie dann abgleichen mit Positiv- und Negativlisten, die mittlerweile von mehreren regionalen Fischereibehörden veröffentlicht werden.

Größere Verantwortung im Kampf gegen illegale Fischerei müssen nach Auffassung der FAO auch die Flaggenstaaten übernehmen. In einem entsprechenden Richtlinienkatalog (englischer Originaltitel: FAO Voluntary Guidelines for Flag State Performance) fordert sie alle Nationen auf, internationales Recht zu respektieren, auf die Einhaltung aller nationalen und internationalen Fischereivorschriften zu achten, ihren Kontrollpflichten nachzukommen, illegale Aktivitäten der eigenen Fischereiflotte strafrechtlich zu verfolgen sowie entsprechende Informationen mit nationalen und internationalen Institutionen zu teilen und enger zusammenzuarbeiten. Auf diese Weise soll beispielsweise verhindert werden, dass Fischer, denen kriminelle Machenschaften nachgewiesen werden konnten, ihre alte Schiffsregistrierung löschen lassen, um sich im Anschluss bei einem weniger restriktiven Staat neu anzumelden. Flaggenspringen (englisch: flag hopping) wird diese Art, sich dem Gesetz zu entziehen, genannt. Die FAO besitzt aber keine Handhabe, Flaggenstaaten zur Umsetzung der Vorgaben zu zwingen, denn noch erfolgt deren Implementierung auf freiwilliger Basis. Gleiches gilt für FAO-Richtlinien zur Fischfang-Dokumentation, die Staaten, Fischereiorganisationen und andere Akteure befähigen sollen, transparente Lieferketten zu etablieren, sodass jederzeit überprüfbar ist, ob Fischereiprodukte jeglicher Art aus legalen Fängen stammen.

Verbrecherjagd mit Satelliten und Positionsdaten

Fischern ihre illegalen Aktivitäten nachzuweisen, scheiterte bislang an der Weite des Ozeans und den vielerorts fehlenden Mitteln für Personal und Ausrüstung. Diese Überwachungslücken können inzwischen mithilfe moderner Satelliten- und Positionstechnik geschlossen werden – wie, das zeigt ein im Juni 2020 erschienener Bericht zweier auf Fischereibelange spezialisierter Umweltschutzorganisationen. Sie haben Funk- und Satellitendaten aus dem Arabischen Meer (nordwestlicher Teil des Indischen Ozeans) ausgewertet und dabei herausgefunden, dass allein in der Fischfangsaison 2019/20 mehr als 110 iranische Fischereischiffe in die Hoheitsgewässer Somalias und Jemens eingedrungen waren und dort verbotenweise ihre Netze ausgeworfen hatten. Fischer



3.14 > Die grünen Linien auf dieser Karte des Arabischen Meeres repräsentieren die Fischfangrouten von 175 iranischen Schiffen, die zwischen dem 1. Januar 2019 und dem 14. April 2020 im Arabischen Meer fischten. Mehr als 110 von ihnen drangen dabei auf illegale Weise in die Hoheitsgewässer Somalias und Jemens ein.

aus Indien, Pakistan und Sri Lanka taten es ihnen gleich, wenn auch in deutlich geringerer Zahl.

Hinweise auf illegale Fischzüge in somalischen Gewässern gab es schon lange. Das genaue Ausmaß des Verbrechens aber wurde erst jetzt deutlich, nachdem Wissenschaftler gezielt nach Hinweisen suchten. Erleichtert wurde ihre Arbeit durch den Umstand, dass mittlerweile immer mehr Schiffe auf der Welt mit einem Automatischen Identifikationssystem (AIS) ausgerüstet sind. Dieses System wurde einst entwickelt, um Schiffskollisionen zu vermeiden und ist mittlerweile auf allen größeren Schiffen (Bruttoreaumzahl 300 und größer) vorgeschrieben. Es sendet alle paar Sekunden die Positionskordinaten, den Kurs, die Geschwindigkeit sowie alle drei Minuten die Grunddaten eines Schiffes, sodass Seefahrer in der näheren Umgebung rechtzeitig Bescheid wissen und ihren Kurs anpassen können.

War die Datenübertragung ursprünglich nur für den direkten Kontakt zwischen Schiffen gedacht, so werden die AIS-Signale heutzutage auch von Funkmasten und Satelliten empfangen und in Datenzentren gesammelt. Fischereibeobachter auf der ganzen Welt können auf diese Weise in Echtzeit die Routen größerer Fischereifahrzeuge (über 24 Meter Länge) verfolgen und sind nun

deutlich besser in der Lage, die Gesamtzahl der im Einsatz befindlichen Schiffe abzuschätzen. Fischereifahrzeuge mit einer Gesamtlänge von weniger als 24 Metern haben in der Regel kein AIS an Bord. Nach Angaben der FAO konnten anhand von AIS-Daten im Jahr 2017 rund 60 000 Fischereifahrzeuge lokalisiert und identifiziert werden. Nur 20 000 von ihnen waren zu diesem Zeitpunkt in öffentlich zugänglichen Registern gelistet.

Eine Kontrolle der Fischereiflotten mithilfe von AIS kann aber nur gelingen, wenn die Systeme auch angeschaltet bleiben. Chinesischen Fischern etwa konnte in den zurückliegenden Jahren wiederholt nachgewiesen werden, dass sie die Positionssysteme ihrer Schiffe bewusst ausschalten, um ihren Aufenthaltsort zu verschleiern. So fischten im Jahr 2019 bis zu 800 Schiffe verbotenerweise vor der Küste Nordkoreas nach Pazifischen Kalmaren (*Todarodes pacificus*). Global Fishing Watch kam der Flotte nur deshalb auf die Spur, weil der helle Lichtschein der Schiffe auf Satellitendaten zu erkennen war. Für die Kalmarfischerei hängen die Fischer Stangen mit bis zu 700 Glühlampen über das Wasser. Ihr Licht lockt die Tiere an die Meeresoberfläche. Die Bestände des beliebten Tintenfisches sind seit 2003 um 70 Prozent eingebrochen. Die Gründe dafür liegen auf der Hand, seitdem bekannt ist, mit welcher Intensität China dieser Art Jahr für Jahr aufs Neue nachstellt.

Wegen solcher Vergehen, fehlender Transparenz, einer Vernachlässigung seiner Pflichten als Flaggenstaat und vieler anderer Versäumnisse im Kampf gegen illegale Fischerei gilt China als der am schlimmsten agierende

Küstenstaat der Welt, gefolgt von Taiwan, Kambodscha, Russland und Vietnam. Die besten Bilanzen weisen mit Belgien, Lettland, Estland, Finnland und Polen allesamt europäische Länder auf.

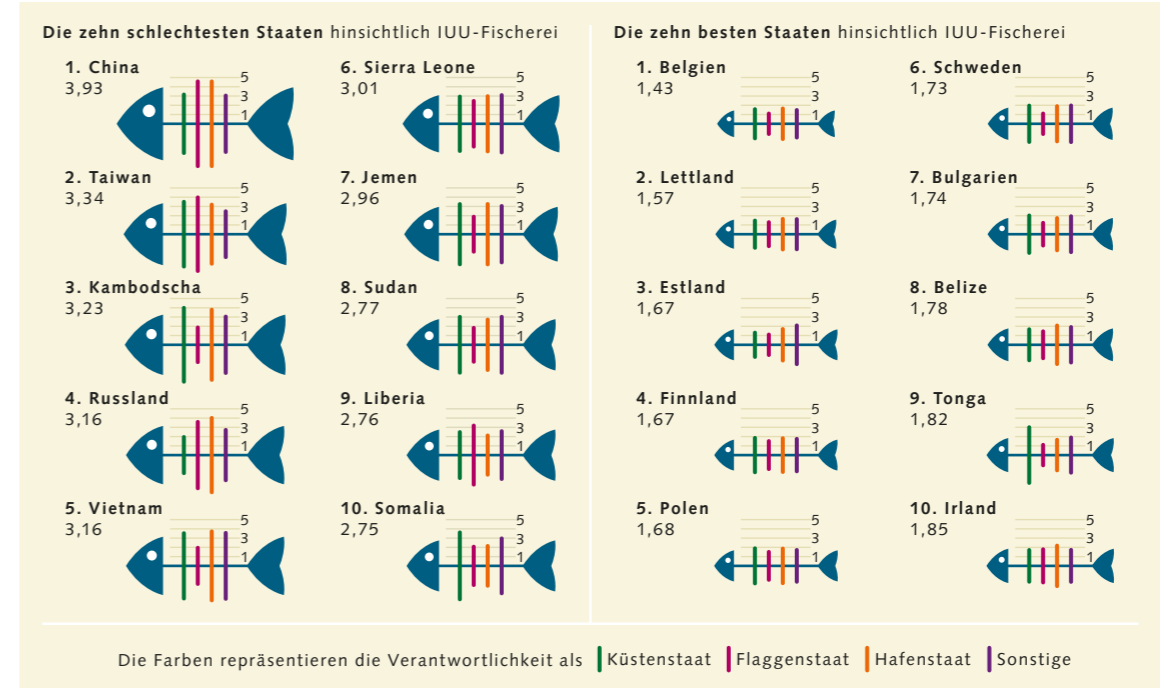
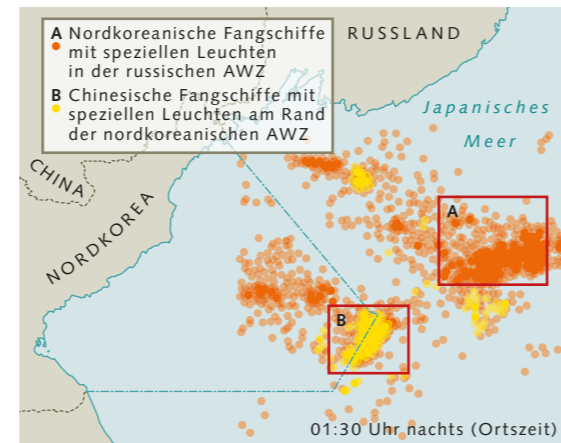
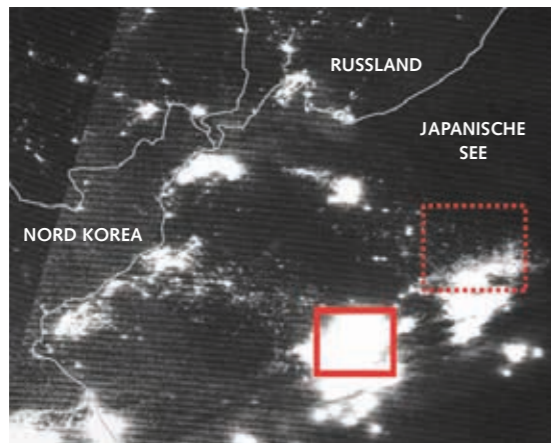
Das gesamte Ökosystem im Blick

Während Chinas Fischereiflotte regelmäßig Negativschlagzeilen macht, gibt es aber auch hoffnungsvolle Nachrichten. Die FAO beispielsweise sieht zunehmende Belege dafür, dass überall dort, wo Fischbestände gut überwacht und Fangquoten eingehalten werden, sich einst überfischte Populationen durchaus wieder erholen können. Eines dieser Positivbeispiele betrifft den Atlantischen Menhaden (*Brevoortia tyrannus*), auch Bunker genannt, aus der Familie der Heringe.

Der Schwarmfisch gilt als Schlüsselglied im Nahrungsnetz entlang der nordamerikanischen Atlantikküste. Er steht nämlich auf der Beutelliste aller größeren Räuber. Buckelwale, Delfine und Seevögel stellen ihm ebenso nach wie Thunfische, Felsenbarsche (*Morone saxatilis*) und Blaufische (*Pomatomus saltatrix*) – allesamt hochpreisige und begehrte Speisefische. Gleichzeitig wird Menhaden im großen Stil befischt, um ihn zu Fischmehl zu verarbeiten, welches als Futtermittel in der Landwirtschaft und in Aquakulturanlagen eingesetzt wird. Er dient als Köderfisch und wird für die Herstellung von Fischöl verwendet.

Von keinem anderen Fisch entlang der nordamerikanischen Ostküste werden in jedem Jahr so große Mengen

3.15 > Greller Lichtschein auf Satellitenaufnahmen vom 25. September 2019 verrät die chinesische Kalmarfangflotte vor der Küste Nordkoreas. Die nordkoreanischen Fischer weichen derweil auf russische Gewässer aus. Da sie im Vergleich zu den Chinesen in geringerem Maß Locklampen benutzen, leuchten ihre Schiffe auf den Aufnahmen weniger hell.



3.16 > Basierend auf 40 Indikatoren haben Fischereixperten für alle 152 Küstenstaaten der Welt einen Index berechnet, der besagt, in welchem Maß jedes Land illegale und nicht berichtete Fischerei erlebt und diese bekämpft. Je höher der Index ausfällt und je länger die einzelnen Fischgräten in der Grafik sind, desto schlechter agiert die Nation im Kampf gegen illegale Fischerei.

gefangen wie von dieser Spezies. Bis vor zehn Jahren erfolgte diese Fischerei nahezu unkontrolliert, weshalb die Bestände stark zurückgingen. Um den Abwärtstrend zu stoppen, führte die zuständige Fischereibehörde im Jahr 2012 Fangquoten ein, kontrollierte deren Einhaltung streng und ließ die Bestände durch ein aufwendiges wissenschaftliches Begleitprogramm überwachen. Seitdem wachsen die Heringsschwärme wieder, was dazu geführt hat, dass sich das Ökosystem entlang der Ostküste der USA spürbar verändert hat, auch zugunsten des Menschen. Buckelwale folgen den Heringsschwärmen mittlerweile regelmäßig bis in den Hafen von New York, wo vor allem die Tourismusbranche profitiert, weil Einheimische und Besucher die Meeressäuger sehen wollen. Im US-Bundesstaat Maine gibt es nun wieder ausreichend Köderfische für die Hummerfischerei.

Im August 2020 ging die zuständige Fischereibehörde dann noch einen Schritt weiter: Gedrängt von Wissenschaftlern, Vogelkundlern, Fischern und Umweltschützern beschloss sie einstimmig, künftige Fangquoten nicht mehr allein danach auszurichten, wie groß die Heringsbestände grundsätzlich sein müssen, damit sie sich erneuern können (Ein-Arten-Management) –, sondern auf ein

Mehr-Arten-Management zu setzen und auch die Bedürfnisse der Meeresräuber zu berücksichtigen, hier vor allem jene der Felsenbarsche. Der neue Leitsatz lautet, dass Fischer nur noch so viele Heringe entnehmen dürfen, dass die Felsenbarsche genügend Futter finden, um sich ihrerseits wieder so stark zu vermehren, dass die Bestände gesunden. Die Raubfische dienen demzufolge als sogenannter ökologischer Referenzpunkt.

Hinter diesem Konzept verbirgt sich der Grundgedanke, bei der Berechnung der Fangquoten die Gesundheit, die Produktivität sowie die Widerstandskraft des gesamten Ökosystems zu berücksichtigen, einschließlich der Bedürfnisse all jener Meereslebewesen, die auf die jeweilige Fischart angewiesen sind. Fachleute bezeichnen diesen Leitgedanken auch als ökosystemaren Ansatz (englisch: ecosystem approach). Im Gegensatz zu früheren Konzepten des Fischereimanagements zielt dieser Ansatz nicht auf eine einzelne Art, einen Sektor oder eine Problemstellung ab. Stattdessen werden die Verantwortlichen dazu angeleitet, die vielen Verbindungen und Wechselwirkungen innerhalb mariner Lebensgemeinschaften zu beachten und zu untersuchen, auf welche Weise menschliche Eingriffe diese verändern. Fischerei-

management mit ökosystemarem Ansatz zeichnet sich dadurch aus, dass:

- es auf den Schutz des Ökosystems, seiner Strukturen, Funktionen und Prozesse abzielt;
- es die Beziehung zwischen begehrten Zielarten wie Heringen und jenen Arten, die weniger oder kaum von Interesse sind, berücksichtigt;
- es beachtet, dass die Gesundheit des Meeres auch von Prozessen an Land und in der Luft abhängt und Land, Ozean und Atmosphäre als Systeme eng miteinander verbunden sind;
- bei seiner Konzeption sowohl ökologische als auch soziale, institutionelle und wirtschaftliche Sichtweisen bedacht werden müssen – und inwiefern diese sich gegenseitig beeinflussen;
- es nicht nur die Folgen der Fischerei für das jeweilige Ökosystem berücksichtigt, sondern die Folgen aller menschlichen Aktivitäten und somit auch den Klimawandel mit einbezieht.

Empfehlungen zur Umsetzung dieses Ansatzes hatte die FAO bereits im Jahr 2003 erarbeitet. Seitdem haben ihn zumindest die meisten fischenden Industrieländer sowie ein Großteil der regionalen Fischereiorganisationen übernommen und ihre regionalen und nationalen Regelwerke entsprechend angepasst.

Bei der Umsetzung aber kann nach Meinung von Fischereiexperten noch viel verbessert werden. Dazu bedarf es nicht nur eines politischen Willens, sondern unter anderem auch mehr wissenschaftlicher Daten zu allen Aspekten der Fischerei. Vorreiter sind hier bislang die USA, die viel Zeit und Geld in das Monitoring ihrer Fischbestände investieren. Erfolgreiches Fischereimanagement, so zeigt die Erfahrung, bezieht außerdem alle relevanten oder aber betroffenen Interessengruppen in Entscheidungsprozesse mit ein. Die lokale Küstenbevölkerung muss ebenso zu Wort kommen wie Unternehmensvertreter, Wissenschaftler, Behördensprecher, Umweltschützer und Repräsentanten anderer Sektoren, die durch die Fischerei beeinflusst werden. Wie erfolgreich eine solche Kooperation auf allen Ebenen sein kann, zeigen die mittlerweile wieder großen Schwärme des Atlantischen Menhadens.

Mehr Schutz für die Hohe See

Wirksame Schutzmaßnahmen einzelner Nationen beschränken sich zumeist auf die Küstenmeere innerhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) des jeweiligen Staates. An deren Außengrenze jedoch beginnen die internationalen Gewässer – offiziell auch Hohe See genannt. In diesem Gebiet ist es grundsätzlich jedermann erlaubt zu fischen. Von diesem Recht hat in den zurückliegenden Jahrzehnten eine relative kleine Anzahl von Staaten in zunehmendem Maß Gebrauch gemacht; etwa weil die eigenen Küstengewässer überfischte waren, die Nachfrage und der Verkaufspreis von Fisch gestiegen sind, technische Innovationen die Hochseefischerei erleichtern oder aber Regierungen diese Fischereiaktivitäten subventionieren und damit zu einem gewinnbringenden Geschäft machen. Die zehn führenden Fischereinationen der Hohen See sind China, Taiwan, Japan, Indonesien, Spanien, Südkorea, die USA, Russland, Portugal und Vanuatu.

In welchen Meeresgebieten deren Flotten jedoch tatsächlich ihre Netze auswerfen, wird erst seit Einführung automatischer Schiffsinformations- und Überwachungssysteme nachvollziehbar. In einer globalen Analyse der Hochseefischerei waren Wissenschaftler im Jahr 2016 in der Lage, die Fahrtrouten von mindestens 3620 Fischereischiffen, 35 Tankschiffen und 154 Kühlschiffen nachzuvollziehen. Weit mehr als drei Viertel von ihnen kamen aus China, Taiwan, Japan, Spanien und Südkorea. Die Fischzüge erstreckten sich über eine Fläche von 132 Millionen Quadratkilometern und betrafen damit rund die Hälfte des Gebietes der Hohen See. Schiffe, spezialisiert auf den Fang von Tintenfisch, fischten besonders intensiv an der Grenze zu den Hoheitsgewässern Perus, Argentiniens und Japans. Tiefseefischer wiederum konzentrierten sich auf die Region um die Georges Bank im Nordwestatlantik, auf Gebiete im Nordostatlantik sowie in kleinerem Maß auf den zentralen und westlichen Pazifik. Im Durchschnitt verbrachte ein jedes der beobachteten Schiffe 141 Tage auf See, bevor es wieder einen Hafen anlief.

Welchen Schaden der zunehmende Fischereidruck in internationalen Gewässern verursacht, ist nur schwer zu beurteilen. Zum einen fehlen für viele Arten glaubwürdige Bestands- und Reproduktionszahlen – insbesondere für Tiefseearten. Zum anderen ist vielerorts unklar, wie

Tiefseefischerei
Als „Tiefseefischerei“ bezeichnet man im Allgemeinen die Fischerei auf Hoher See in einer Tiefe von 200 bis 2000 Metern. Zum Einsatz kommen dabei vornehmlich Schleppnetze.



3.17 > Fischer in der vietnamesischen Provinz Phú Yên legen ein Netz um einen Schwarm Anchovis. Die Küstenregion ist bekannt für ihre Anchovisfischerei. Die Abermillionen gefangener Schwarmfische werden in erster Linie zu Fischsauce verarbeitet.

viel Fisch die Hochseeflotten tatsächlich fangen. Nach Angaben von Sea Around Us stammten im Jahr 2018 schätzungsweise drei Prozent der weltweiten Fänge aus Gebieten auf Hoher See.

Um die Überfischung verschiedener internationaler Gewässer einzudämmen und Ressourcenkonflikte zu vermeiden, sind viele Nationen mittlerweile Regionalen Organisationen für das Fischereimanagement (RFMOs) beigetreten. Als solche entwickeln sie gemeinschaftliche Vorschriften und Regeln für die Fischerei in ihrem jeweiligen Zuständigkeitsbereich und sind auch für deren Einhaltung verantwortlich. Die FAO spricht ihnen daher eine führende Rolle beim Schutz und Management der natürlichen Bestände zu – insbesondere auch deshalb, weil es den RFMOs obliegt, zu entscheiden, ob freiwillige Richtlinien oder Handlungsempfehlungen der FAO im jeweiligen RFMO-Bereich angewandt werden oder nicht. Ob die einzelnen RFMOs tatsächlich den ihnen zugeschriebenen Rollen des Bestandwächters und -beschützers gerecht werden, lässt sich nicht wirklich sagen. Zwar werden mittlerweile regelmäßig Begutachtungen und Befragungen der Organisationen durchgeführt und deren Ergebnisse auch veröffentlicht. Eine aktuelle, auf wissenschaftlichen Standards basierende Bewertung aller RFMOs aber existiert nicht. Als Experten von Pew Charitable Trusts im Jahr 2019 die Arbeit dreier regionaler Fischereiorganisationen begutachteten, kamen sie unter anderem zu dem Ergebnis, dass alle drei Behörden

- zu wenige der internationalen Richtlinien umgesetzt hatten – vor allem jene nicht, die auf ein Ende der Überfischung und eine Gesundung der Bestände abzielten;
- zu viel Zeit benötigen, um neue, moderne Managementstrategien einzuführen, und
- an der Aufgabe gescheitert sind, den Konsens ihrer Mitgliedsstaaten in wichtigen Kernfragen des Fischereimanagements herbeizuführen.

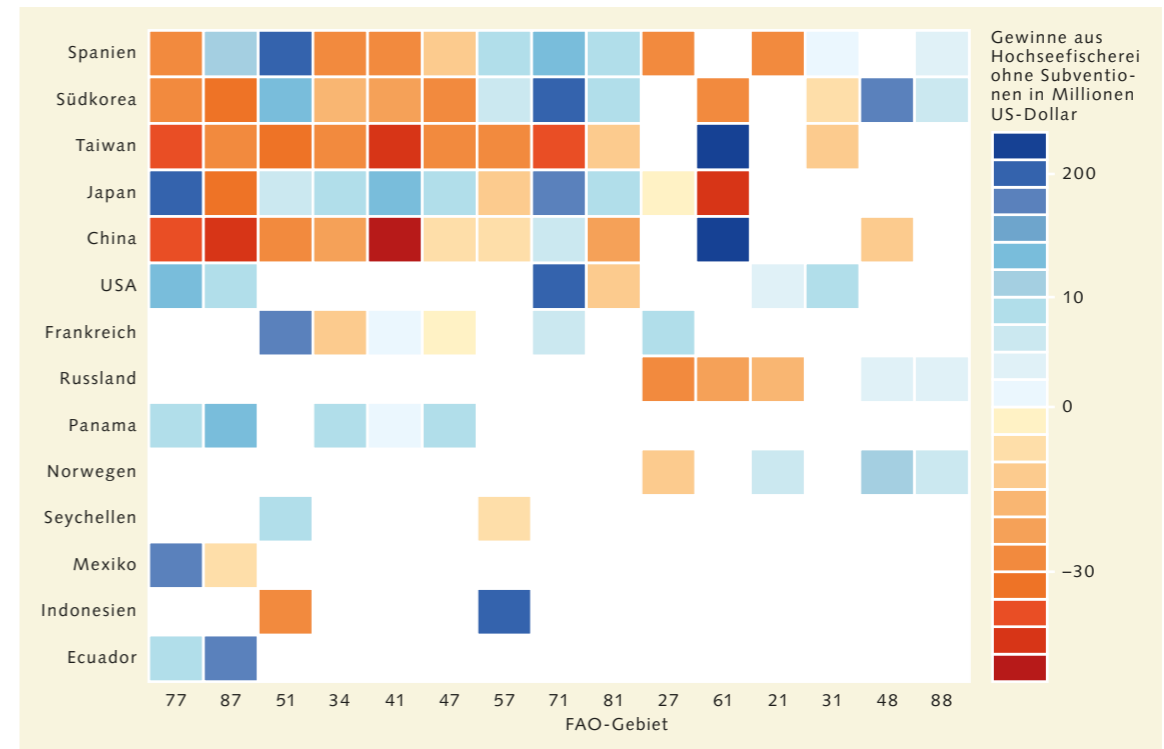
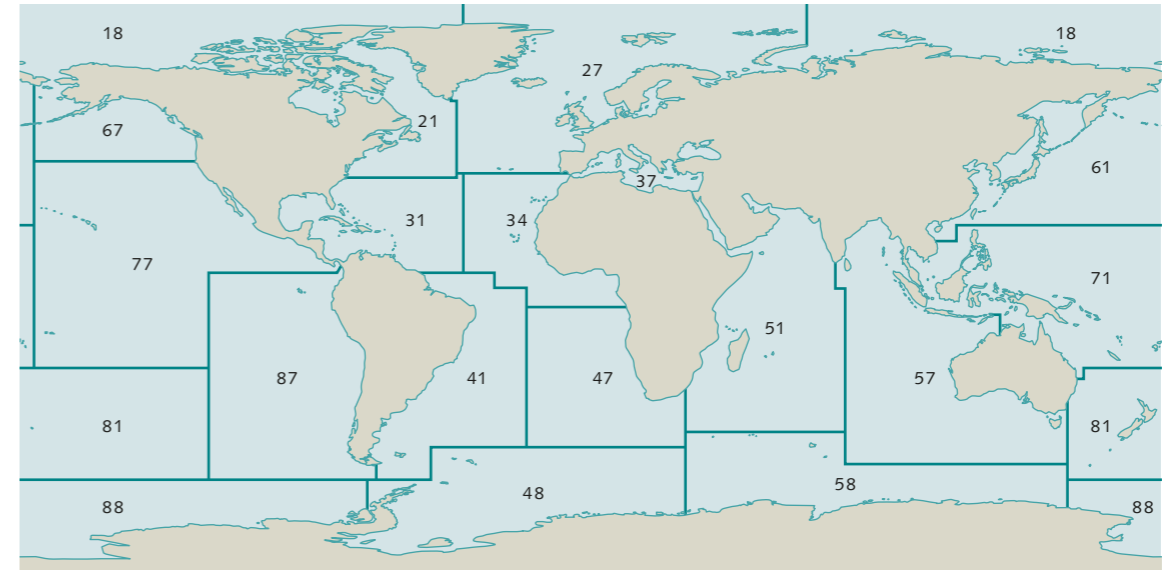
Kritiker der industriellen Hochseefischerei bezweifeln deshalb, dass sich die Bestände der Hohen See effektiv schützen lassen, solange wirtschaftliche und zum Teil auch strategische Interessen im Vordergrund stehen und

Staaten ihre Hochseeflotten heutzutage mit mehr als 13 Milliarden US-Dollar pro Jahr subventionieren. Als Subventionen werden direkte und indirekte finanzielle Zuschüsse durch zumeist staatliche Institutionen bezeichnet, die dazu führen, dass die Fischereikosten sinken, mehr gefangen wird oder eine höhere Gewinnspanne erzielt wird. Dazu gehören unter anderem:

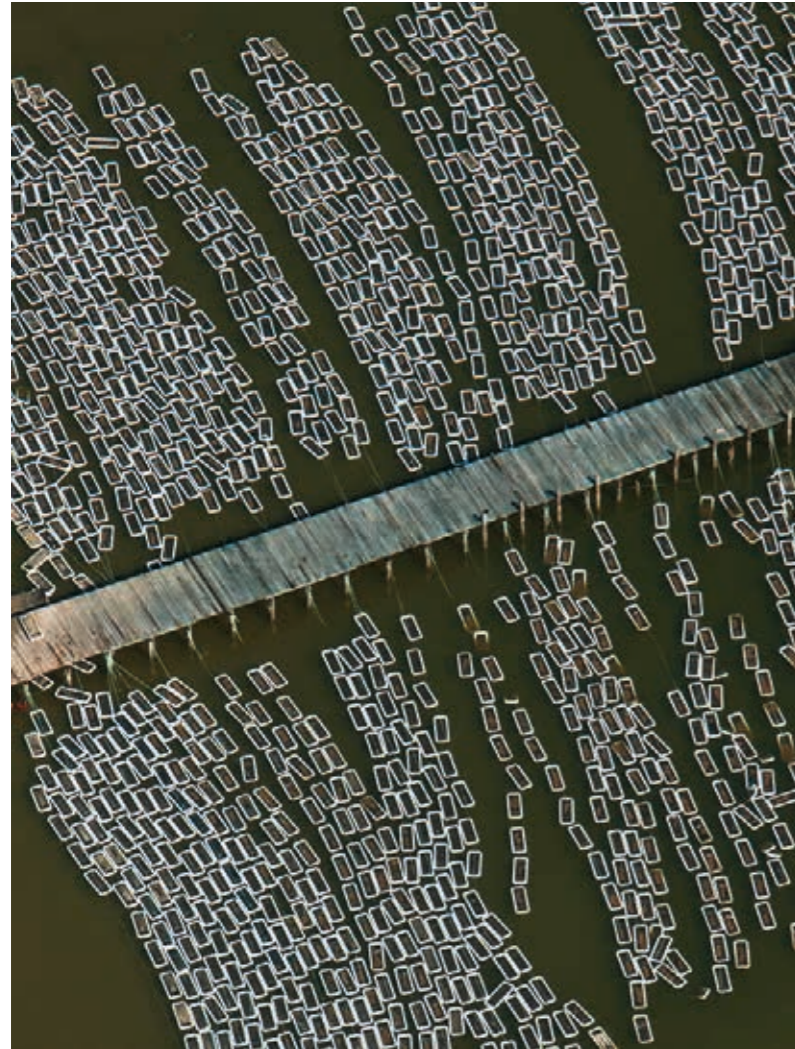
- Zuschüsse für den Bau neuer Schiffe oder die Reparatur bereits im Einsatz befindlicher Fahrzeuge,
- der staatlich finanzierte Neubau von Fischereihäfen oder aber die technische Aufrüstung bestehender Anlagen,
- Steuererleichterungen für Fischereiunternehmen,
- Programme zum Ausbau der Fischerei sowie
- Preisnachlässe für Treibstoff.

Sofern Subventionen nicht an feste Vorgaben gebunden sind, führen sie in der Regel dazu, dass Fischer länger am Stück, intensiver im Ausmaß und auch weiter entfernt vom eigenen Heimathafen fischen. Schätzungen zufolge wird die Fischerei auf der ganzen Welt (Küsten- und Hochseefischerei) mit 14 bis 35 Milliarden US-Dollar subventioniert. Das heißt, mehr als ein Drittel der Kosten der Fischerei (35 Prozent) wird durch die Steuerzahler finanziert.

Bei der Analyse der globalen Hochseefischerei im Jahr 2016 beispielsweise stellte sich heraus, dass ohne die finanzielle Unterstützung der Regierungen die Fischzüge in mehr als der Hälfte der befischten Hochseegebiete wirtschaftlich unrentabel wären. Das heißt, ohne Subventionen würden viele konzertierte Aktivitäten, die einen besonders hohen Fischereidruck erzeugen, erst gar nicht stattfinden. Das gilt vor allem für die Schleppnetzfischerei in der Tiefsee und einen Großteil der Tintenfischjagd in internationalen Gewässern. Dennoch zahlen die Regierungen, wenn auch in unterschiedlichem Maß. Am stärksten subventioniert ist die Hochseefischerei Japans, gefolgt von Spanien, China, Südkorea und den USA. Erstaunlicherweise übertrifft bei allen genannten fünf Nationen die Summe der Zuschüsse bei Weitem die Einnahmen durch die Hochseefischerei. Wirklich profitabel sind nach Berechnungen der Wissenschaftler auf Hoher See nur die Jagd auf hochpreisige Raubfische wie Haie und Thunfische.



3.18 > Die Hochseefischerei wäre in vielen Teilen der Welt ein Verlustgeschäft, würden die Fischereinationen ihre Fangflotten nicht mit geschätzten 4,2 Milliarden US-Dollar pro Jahr (Wert für das Jahr 2014) subventionieren. Diese Summe ist etwa doppelt so hoch wie die Gewinne, welche die Hochseefischer ohne Staatshilfen generieren würden. Ob sich die Fischerei auf Hoher See lohnt, hängt von den einzelnen Staaten, dem befischten Gebiet, den Zielarten und der Entfernung zum Hafen ab. Wie die Grafik belegt, würden aber vor allem südkoreanische, taiwanische, chinesische und russische Fischer erhebliche Verluste machen, gäbe es nicht die staatliche Unterstützung.



3.19 > Eine Austernfarm an der Küste des US-Bundesstaates Maryland. Die Zucht der Amerikanischen Auster ist streng reguliert. Wissenschaftler und Farmer arbeiten außerdem gemeinsam daran, die natürlichen Vorkommen des wichtigen Wasserfiltrierers zu restaurieren.

Wenn Fischerei auf Hoher See wissenschaftlichen Berechnungen zufolge unprofitabel ist, warum setzen die Nationen diese dann fort? Die Forscher vermuten, dass die Unternehmen am Ende doch Profit machen, indem sie zum Beispiel mehr Fisch fangen und verkaufen, als sie den Behörden offiziell melden. Zudem ließen sich die Kosten senken, indem zum Beispiel die Fänge bereits auf Hoher See auf Kühlschiffe verladen werden und die Zeit der Fischer auf See somit verlängert werden kann. Oder aber, indem die eigene Schiffsbesatzung unfair oder gar nicht bezahlt wird.

Länder wie China und Russland verfolgen mit der Hochseefischerei zudem auch außenpolitische Interessen.

Als gutes Beispiel dienen hier die Fischzüge beider Nationen in antarktischen Gewässern. Ansprüche auf Ressourcen des Südpolarmeeres zu erheben und dort Präsenz zu zeigen, ist wichtiger als die Frage, ob sich diese Aktivitäten wirtschaftlich rentieren. Zu guter Letzt lohnen sich vermutlich auch vereinzelte Fischzüge in Regionen, die bislang gar nicht oder aber nur wenig befischt wurden.

Ein Negativbeispiel wäre hier abermals China, dessen Fischer zur Thunfischsaison im großen Stil an der Grenze zum Meeresschutzgebiet der Galapagosinseln ihre Netze und Fangleinen auswerfen. Im Sommer 2020 kreuzten in der ökologisch bedeutsamen Region 243 chinesische Schiffe – mehr als in jedem Jahr zuvor. Zur Flotte gehörten dabei auch Kühlschiffe für Verladungen auf Hoher See sowie Schiffe, die im Verdacht stehen, illegal zu fischen. Die einheimischen ecuadorianischen Fischer konnten dem Raubbau an der Natur nur machtlos zusehen. Sie selbst haben bei jedem Fischzug Kontrolleure an Bord, welche die Fänge überwachen und sicherstellen, dass seltene Arten verschont werden. Chinas Flotte aber agiert unter Ausschluss der internationalen Öffentlichkeit.

Als die ecuadorianische Küstenwache im Jahr 2017 ein chinesisches Kühlschiff innerhalb des Meeresschutzgebietes aufbrachte und dessen Container öffnete, entdeckten die Soldaten rund 6000 tiefgefrorene Haie, darunter gefährdete Arten wie Hammerhaie und Walhaie. Fälle wie diese untermauern: Ohne ein klares politisches Bekenntnis aller Beteiligten und die tatsächliche Umsetzung und Einhaltung aller Richtlinien und Abkommen bleiben die Schutzversprechen für die Ökosysteme der Hohen See nur leere Worte.

Ist Verzicht die einzige Lösung?

Kritiker der industriellen Fischerei fordern deshalb ein weltweites Umdenken der Konsumenten. Jedes gedankenlose Fischessen leiste einen Beitrag zum Ausverkauf der Meere, betonen Meeresschutzorganisationen. Ähnlich wie Fleisch sollte wild gefangener Meeresfisch deshalb in Industrienationen wie Deutschland zur Kostbarkeit werden und nur noch selten auf den Tisch kommen – und wenn doch, dann möglichst aus der nachhaltigen, regionalen Küstenfischerei stammen. Fisch, der vor seinem Verzehr einmal um den Erdball transportiert worden sei,

trage wenig zu einer nachhaltigen Lebensweise bei, so die Argumentation.

Für die Bevölkerung in ärmeren Ländern sowie auf den pazifischen Inseln ist Fisch dagegen ein notwendiges Lebensmittel. Diese Menschen sind aufgrund fehlender preiswerter Alternativen auf Fisch als Eiweißquelle angewiesen. Damit die Weltmeere auch in Zukunft noch ausreichend Nahrung für die wachsende Weltbevölkerung liefern können, müssen daher die Fischressourcen fair verteilt werden – das heißt in erster Linie weniger Fisch und Meeresfrüchte für all jene, die es sich leisten und auf Alternativen zurückgreifen können. Nach Angaben der FAO verderben zudem immer noch 35 Prozent der Fischereiproduktion, weil Kühlketten und Hygienevorschriften nicht eingehalten werden, Produkte keine Käufer finden oder aber Kunden erworbene Erzeugnisse nicht essen. Besonders hoch ist die Abfallquote in Nordamerika sowie in Ozeanien, wo rund die Hälfte des gefangenen Fisches am Ende nicht verzehrt wird.

Andere Stimmen fordern, mindestens 30 Prozent aller Meeresgebiete unter Schutz zu stellen und direkte menschliche Eingriffe jeglicher Art in diesen Regionen zu verbieten, um den Lebensgemeinschaften der Meere einen Rückzugsraum zu bieten. Die Liste der nachgewiesenen Vorteile einer solchen Maßnahme ist lang. In Meeresschutzgebieten haben auch ehemals stark befischte Bestände eine gute Chance auf Gesundung. Die Artenvielfalt ist in der Regel hoch oder aber steigt nach der Unterschutzstellung. Viele Arten pflanzen sich zudem erfolgreicher fort, weil geschlechtsreife Tiere nicht gefangen oder Laichplätze am Meeresboden nicht durch Grundschleppnetze zerstört werden. Als Kindergarten oder sogenannte Samenbank tragen Meeresschutzgebiete außerdem dazu bei, dass angrenzende Meeresregionen wiederbesiedelt werden und sich die dort heimischen Bestände schneller erholen.

Überdies zeigen die Lebensgemeinschaften in Meeresschutzgebieten auch eine größere Widerstandskraft gegen die Folgen des Klimawandels, weshalb viele Umweltschützer und Wissenschaftler in ihnen die beste Lösungsstrategie sehen.

Der Fischhandel wiederum setzt auf Produkte aus zertifizierter, nachhaltiger Fischerei – beispielsweise aus Fischereien, welche die Kriterien des Marine Stewardship

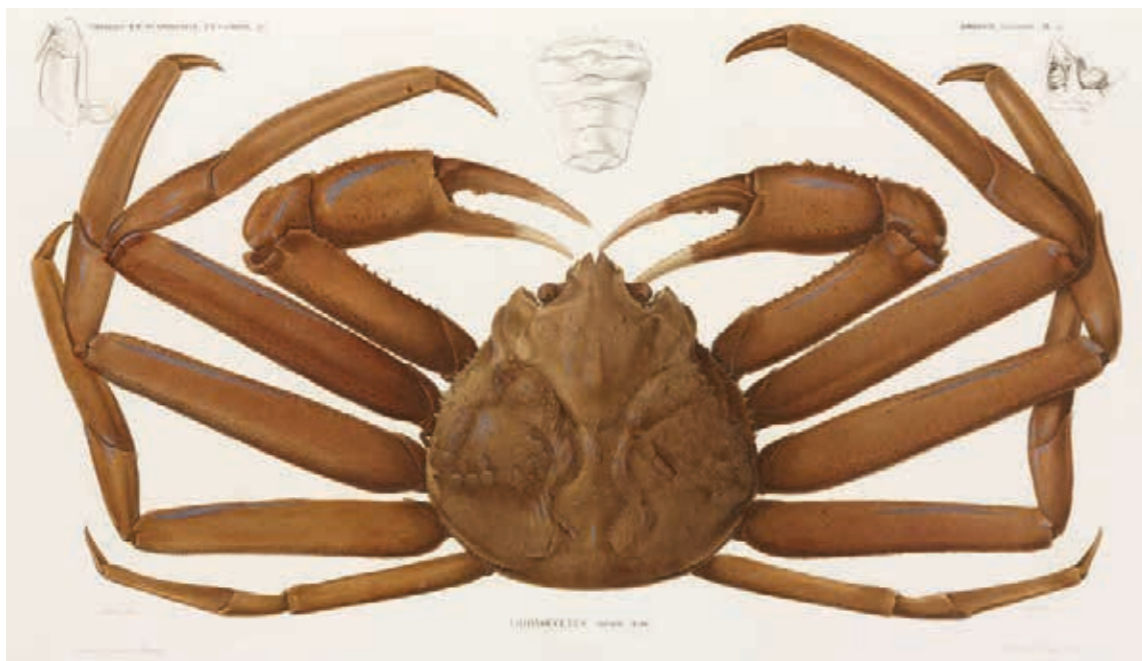
Council (MSC) erfüllen und von diesem zertifiziert wurden. In den zurückliegenden 20 Jahren hat der MSC rund 300 Fischereien sein blaues Nachhaltigkeitssiegel verliehen. Es ist das einzige international anerkannte Gütezeichen für nachhaltige Wildfischfänge, wobei es in vielen Staaten auch nationale Zertifizierungs- oder Kontrollverfahren für nachhaltige Fischereiprodukte gibt – in Deutschland beispielsweise Naturland Wildfisch, Followfish oder Dolphin Safe.

Fänge aus MSC-zertifizierter Fischerei oder jener, die gerade unter MSC-Begutachtung steht, machen mittlerweile 15 Prozent der offiziellen weltweiten Anlandungen aus. Die steigende Zahl der zertifizierten Fischereien belegt, dass der Kunden- und Händlerwunsch nach nachhaltig erzeugten Produkten Fischer zunehmend davon überzeugt, ihre Fischereiaktivitäten zu verbessern und sich diese Anstrengungen auch durch ein Siegel bestätigen zu lassen.

Viele der zertifizierten Fischereien mussten Anpassungen zugunsten des Meeresschutzes vornehmen, bevor sie das Siegel verliehen bekamen. Diese zielten vor allem darauf ab, direkte Folgeschäden der Fischerei für den Lebensraum Meer zu reduzieren. Unabhängige Expertenbegutachtungen haben gezeigt, dass MSC-zertifizierte Fischbestände nicht nur eine hohe Biomasse aufweisen, sondern dass die Bestände nach der Zertifizierung auch gewachsen sind.

Experten warnen jedoch davor, diese positive Entwicklung als Beleg für eine flächendeckende Besserung der weltweiten Fischereipraktiken zu deuten. Als Allzweckwaffe im Kampf gegen Überfischung eignet sich eine MSC-Zertifizierung auch nicht. Zum einen sind der Aufwand und die Kosten des Verfahrens so hoch, dass sich vor allem kleinere Fischereien diesen Prozess wirtschaftlich nicht leisten können. Zum anderen geht Umweltschützern das MSC-Reglement nicht weit genug. Bis vor Kurzem erlaubte es zertifizierten Fischereien zum Beispiel, auf ein und demselben Fischzug sowohl nachhaltige als auch althergebrachte, als zerstörerisch geltende Fangtechnik wie Grundschleppnetze einzusetzen, ohne dass das Unternehmen sein Zertifikat verlor. Umweltschützer werfen dem MSC außerdem vor, Beweise zu ignorieren, wonach zertifizierte Unternehmen in den Handel mit Haifischflossen involviert seien oder aber entgegen der MSC-

3.20 > Die Schneekrabbe zählt in Japan zu den wichtigsten Zielarten der Fischerei. Wissenschaftler überwachen ihre Bestände daher auch mit jährlichen Forschungsfängen und dazugehörigen Bestandsmodellierungen.



Vorschriften Delfinschulen einkreisen, um die von den Meeressäugern gejagten Thunfischschwärme zu erbeuten. Bei solchen Fischzügen stirbt in der Regel eine große Anzahl der Delfine.

Um solche Praktiken in Zukunft zu verhindern, hat ein Zusammenschluss von Umweltschutzorganisationen eine Liste von 16 Kernforderungen beim MSC eingereicht – in der Hoffnung, dass diese bei der aktuellen Überarbeitung des MSC-Regelwerkes berücksichtigt werden. Dazu gehören unter anderem die Forderung, sicherzustellen, dass

- der ökologische Fußabdruck der gesamten Fischereiaktivitäten eines zertifizierten Unternehmens bewertet wird – auch die nicht zertifizierten Anteile;
- die Fischer keine nicht zertifizierten Fangtechniken mehr einsetzen dürfen, die beispielsweise zu unnötigem Beifang führen;
- alle gefangenen Fischarten, auch jene im Beifang, den Nachhaltigkeitskriterien unterliegen und ein Überfischen verboten ist;
- MSC-zertifizierte Fischer in Meeresregionen mit besonders empfindlichen Lebensgemeinschaften keine Grundschieppnetze mehr einsetzen dürfen.

Ob der MSC diese Empfehlungen berücksichtigen wird, bleibt abzuwarten.

In Küstengebieten, wo Fischfang nur durch einheimische Fischer betrieben wird, hat es sich vielerorts ausgezahlt, die lokalen Akteure in Managemententscheidungen einzubeziehen und ihnen die Verantwortung für die Umsetzung und Überwachung der gemeinsam festgelegten Regeln zu geben. Dieser Stewardship- oder Co-Managementansatz setzt darauf, dass Fischer nachhaltiger mit den Ressourcen des Meeres umgehen, wenn sie das alleinige Nutzungsrecht und damit auch ein starkes Eigeninteresse am Schutz der marinen Ökosysteme haben.

Solche gemeinschaftsbasierten Managementansätze aber funktionieren nur dort, wo die Zahl der beteiligten Akteure klein ist, ihre gemeinschaftliche Geschlossenheit groß, allesamt dieselben Interessen verfolgen und individuelle Nutzungsrechte nicht an Investoren weiterverkauft werden dürfen. Doch selbst wenn diese Voraussetzungen erfüllt sind, bedarf es einer staatlichen Kontrolle. Etwaige Lösungsansätze müssen zudem an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden. Die Erfahrung zeigt: Wer versucht, ein und dieselbe Managementstrategie überall anzuwenden, ist zum Scheitern verurteilt.

Die FAO betonte in ihrem 2020 erschienenen Fische-reibericht, dass angesichts der steigenden Zahl überfischer Bestände das Ziel, die Überfischung der Meere bis zum Jahr 2020 zu beenden, verfehlt wurde. Die Staatenge-meinschaft sei daher aufgefordert:

- einen stärkeren politischen Willen zu zeigen, vor allem auf nationaler Ebene;
- in den Ausbau des Fischereimanagements zu investieren;
- den Technologie- und Wissenstransfer voranzutreiben, insbesondere im Hinblick auf wissenschaftsbasiertes Fischereimanagement;
- die Fischereiaktivitäten auf ein Niveau zu begrenzen, welches die Reproduktion der Fischbestände nicht gefährdet;
- auf das Kaufverhalten der Konsumenten einzuwirken, etwa durch Informationskampagnen oder aber wirksames Marketing sowie
- die globalen Fischerei- und Meeresbeobachtungssysteme auszubauen und alle erhobenen Daten zeitnah und transparent der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen.

Die Entwicklung in den zurückliegenden Jahrzehnten habe gezeigt, so die FAO, dass der Fischereidruck vor allem in jenen Meeresregionen abgenommen habe, wo Regelwerke umgesetzt und deren Einhaltung überwacht worden seien. In Argentinien, Chile und Peru beispielsweise sei die Zahl der überfischten Bestände von 75 Prozent im Jahr 2000 auf 45 Prozent in 2011 gesunken. In den USA seien heutzutage nur noch halb so viele Bestände überfischt wie im Jahr 1997.

Weitere Erfolge habe es außerdem in den Gewässern Islands und Norwegens gegeben, in der Krabben-Tauchfischerei Chiles, die auf einheimische Fischer beschränkt wurde, in den Gewässern des Korallendreiecks sowie in den Gewässern Japans, wo sich die einst überfischten Populationen der Schneekrabbe (*Chionoecetes opilio*) erholt hätten.

In Gebieten ohne funktionierendes Fischereimanagement aber, sagt die FAO, sei die Lage der Fischbestände desolat. Hier würden im Vergleich zu intensiv überwachten Meeresregionen etwa dreimal mehr Fische gefangen.

Die Bestände seien zudem oft nur halb so groß und meist in einem sehr schlechten Zustand. Die Erfolge, zu denen nachhaltiges Fischereimanagement in einigen Ländern mittlerweile führe, reichten aus diesem Grund nicht aus, um den globalen Abwärtstrend der Meeresfischbestände zu stoppen. Daher sei es dringend erforderlich, global voneinander zu lernen, Wissen über erfolgreiches und effektives Fischereimanagement zu teilen, Lösungsansätze den lokalen Gegebenheiten entsprechend auszuwählen und in enger Kooperation mit der einheimischen Bevölkerung umzusetzen.

3.21 > Bei der Grundnetz-fischerei in der Tiefsee lässt sich schwer vorhersagen, welche Arten im Netz landen. Hier ist eine kleine Auswahl an Lebewesen zu sehen, die neuseeländischen Wissenschaftlern bei Kontrollfängen in 1200 Meter Tiefe in das Netz gegangen sind.



Wachstumssektor Aquakultur

> Fast die Hälfte aller weltweit verspeisten Fischereiprodukte stammt mittlerweile aus Aquakulturhaltung, wobei nur jeder dritte Fisch oder Krebs im Meer aufgewachsen ist. Der Rest wurde in Süßwasseranlagen gezüchtet. Experten sagen der Nahrungsmittelproduktion im Meer dennoch eine große Zukunft voraus – vorausgesetzt, es gelingt, Nachhaltigkeitskonzepte umzusetzen und den Umweltfußabdruck der Teich- und Käfighaltung deutlich zu verringern. Ideen, wie das gelingen könnte, gibt es viele.

Nahrung aus Teichen und Käfigen

Die Bedeutung der Aquakultur hat in den zurückliegenden 20 Jahren enorm zugenommen. Stammte im Jahr 2000 gerade mal ein Viertel aller Fischereiprodukte aus Aquakulturanlagen, ist es heutzutage fast die Hälfte. Damit stellt die Aquakulturhaltung den am schnellsten wachsenden Sektor der Nahrungsmittelherstellung dar. Im Jahr 2018 wurden nach Angaben der FAO auf der ganzen Welt 114,5 Millionen Tonnen Fisch, Algen und Meeresfrüchte mit einem Marktwert von 263,6 Milliarden US-Dollar in Aquakultur produziert – mehr als jemals zuvor. Der Anteil aquatischer Tiere belief sich dabei auf 82,1 Millionen Tonnen; die Produktion der Algen summierte sich auf 32,4 Millionen Tonnen.

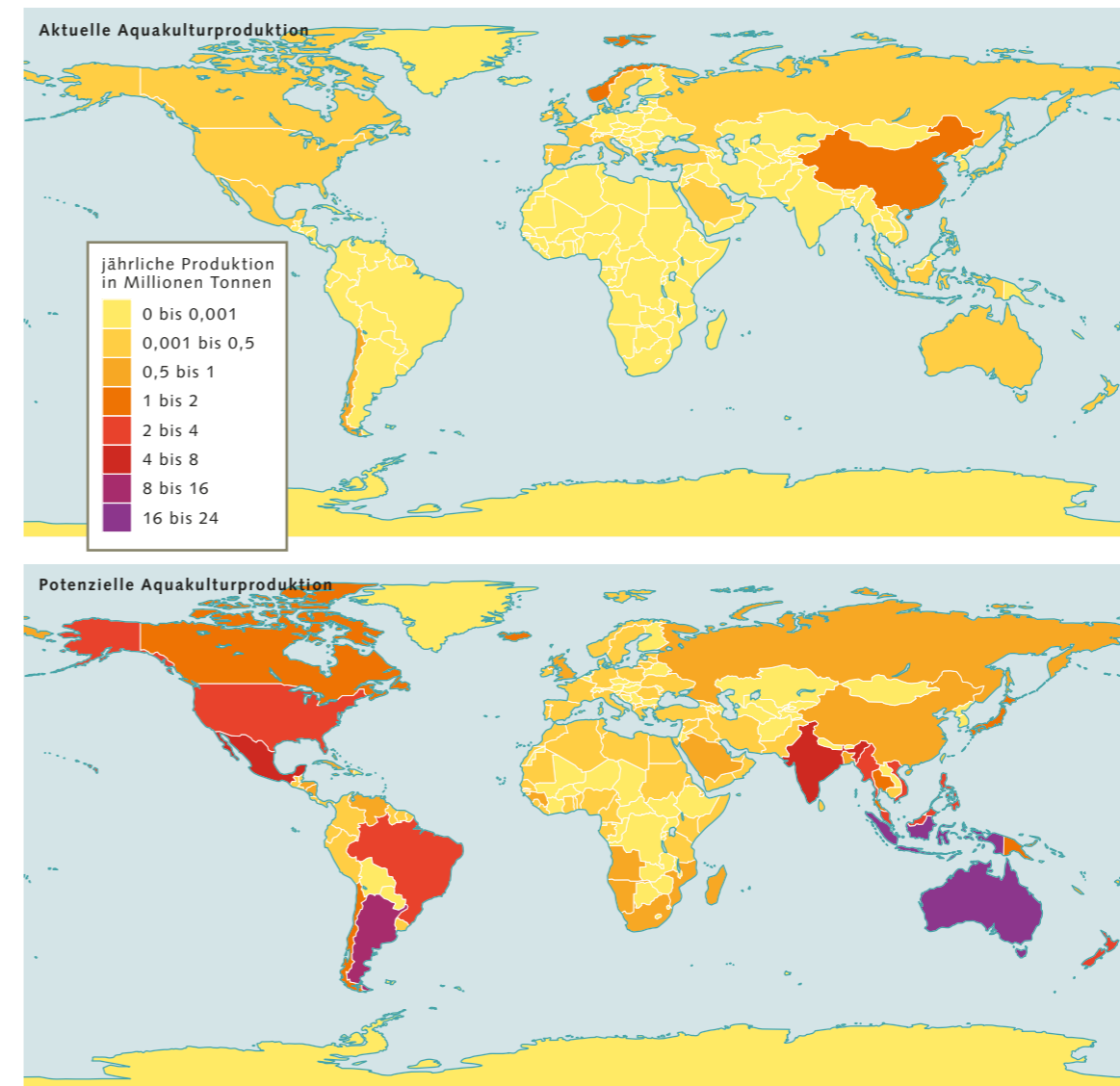
Etwa zwei Drittel der weltweit gezüchteten Fische, Krabben, Muscheln und anderen Organismen stammten aus Seen, Teichen oder Süßwasseranlagen an Land. In Küsten- und mariner Aquakultur, dazu gehören Salzwasserteiche entlang der Küste und Käfige in Küstengewässern, wurden im Jahr 2018 insgesamt 30,8 Millionen Tonnen Tiere produziert. Der überwiegende Teil davon waren Muscheln (56,2 Prozent; 17,3 Millionen Tonnen). Die Gesamtmenge der im Meer gezüchteten Flossenfische betrug 7,3 Millionen Tonnen; die Produktion der Krebstiere belief sich auf insgesamt 5,7 Millionen Tonnen.

Zuwächse wie diese haben weltweit die Hoffnung geweckt, dass die Zucht von Fisch und Meeresfrüchten in Aquakultur eine Lösung sein könnte, die wachsende Weltbevölkerung auch in Zukunft noch mit ausreichend tierischem Eiweiß versorgen zu können – und das mit einem deutlich geringeren Ressourceneinsatz und Treibhausgasausstoß als in der Tierzucht an Land. Im Gegensatz zu Schweinen, Rindern oder Ziegen verwenden Fische nämlich keine Energie für das Erzeugen von Körperwärme. Stattdessen geht ein Großteil der mit dem Futter aufge-

nommenen Kalorien direkt ins Wachstum, weshalb sich bei gleichem Futtereinsatz deutlich mehr Fisch- als Rind-, Schweine- oder Ziegenfleisch erzeugen lässt.

Optimistischen Berechnungen zufolge könnte auf weniger als 0,015 Prozent der Meeresfläche so viel Fisch in Aquakultur produziert werden, wie derzeit noch durch Wildfänge angelandet wird. Ließe man schützenswerte Meeresgebiete wie Korallenriffe sowie mögliche soziale, ökologische und ökonomische Bedenken zunächst einmal außer Acht, wäre die Fischzucht theoretisch auf über 11,4 Millionen Quadratkilometer Meeresfläche möglich; Muscheln könnten auf über 1,5 Millionen Quadratkilometern angebaut werden, argumentieren auf Aquakultur spezialisierte Biologen. Würde man all diese Fläche tatsächlich nutzen, ließen sich pro Jahr schätzungsweise 15 Milliarden Tonnen Fisch produzieren – fast 100-mal mehr als jene Menge Fisch und Meeresfrüchte, die Menschen bislang pro Jahr verspeisen.

Andere Wissenschaftler wiederum sehen sowohl die Steigerungsraten als auch das Wachstumspotenzial der Aquakultur kritisch. Nach ihrer Auffassung stammen die bisherigen Zuwächse in der FAO-Aquakulturstatistik vor allem aus inländischer Fischzucht in China, deren Zahlen als höchst fragwürdig gelten und eher provinzielle Planvorgaben darstellen als tatsächliche Produktion. Würde man die Statistik bereinigen, käme heraus, dass die marine Aquakultur ihren Zenit erreicht hätte und die Süßwasseraquakultur kaum noch wächst. Um Fisch und Meeresfrüchte als Proteinquelle für viele Menschen auch in Zukunft nachhaltig nutzen zu können, sollte vielmehr das oberste Ziel sein, die Meeresfischerei auf eine langfristig angelegte und nachhaltige Art und Weise zu betreiben. Stattdessen aber setzten die falsch informierten Politiker auf einen Ausbau der Aquakultur, dabei schade diese in bestimmten Bereichen sogar der Ernährungssicherheit. Etwa indem wild gefangene Speisefische wie Sardellen,



3.22 > Die Fischzucht in Aquakultur ist ein Geschäftsfeld mit Wachstumspotenzial, wie dieser Vergleich zeigt. Würden alle Küstengewässer der Welt ein Prozent ihrer geeigneten Küstengewässer für eine nachhaltige Fischzucht nutzen, würden sich die Produktionsmengen in den meisten Ländern vervielfachen. Ausgenommen davon sind China und Norwegen. Beide produzieren heute schon mehr Zuchtfisch im Meer, was auf intensive Aquakulturmethode hinweist.

Sprotten, Heringe und Makrelen zum Großteil nicht direkt konsumiert, sondern zu Fischfutter für Lachse und andere in Aquakulturhaltung gezüchtete Raubfische verarbeitet würden. Dabei werde dann mehr Fisch verfüttert, als am Ende im Verkauf lande, so die Kritiker.

Befürworter der Aquakultur entgegnen, dass Kritik an negativen Praktiken der Aquakultur durchaus berechtigt und wichtig sei. Sie dürfe jedoch nicht dazu führen, dass auch positive Vorhaben in Verruf gerieten und sich politische Entscheidungsträger übervorsichtig gegenüber neuen Aquakulturansätzen verhielten. In überfischten

Regionen wie der Ostsee könnte nachhaltige Aquakultur durchaus dazu beitragen, die Situation von Fischern und Wildbeständen langfristig zu verbessern.

Fakt aber ist auch: Weniger als ein Drittel der in Aquakultur gezüchteten Fische und wirbellosen Tiere kommt mittlerweile ohne zusätzliches Futter aus. Damit ist ihr Anteil in den zurückliegenden 20 Jahren deutlich gesunken, allerdings bei Zunahme der Gesamtmenge der futterlos aufgezogenen Tiere auf 25 Millionen Tonnen. Zur Jahrtausendwende wurden noch 43,9 Prozent aller in Aquakultur gezüchteter Tiere ohne zusätzliches Futter aufgezo-

3.23 > Algenfarmer auf den Salomonen bringen frisch geerntete Großalgen an Land. Die Pflanzenzucht im Meer ist schwere körperliche Arbeit und für viele Küstenbewohner die einzige Einnahmequelle.



gen. Mittlerweile sind es nur noch 30,5 Prozent, wobei der größte Teil davon Muscheln sind, die sich ihr Futter aus dem Meer- oder Brackwasser filtern.

Die Zucht von Fischen, Muscheln und Krebstieren in mariner Aquakultur oder küstennahen Salzwasserteichen wird mittlerweile rund um den Erdball betrieben. Die drei größten Meeresfischproduzenten sind China, Norwegen und Indonesien. Gemeinsam produzierten sie im Jahr 2018 mehr Flossenfische (3,8 Millionen Tonnen) als die gesamte restliche Welt (3,6 Millionen Tonnen). Die marine Krabben- und Krebstierzucht wird von China, Indonesien und Vietnam dominiert. Die marine Muschelzucht dagegen liegt fast ausschließlich in chinesischer Hand. Die Volksrepublik produzierte im Jahr 2018 rund 14,4 Millionen Tonnen Meeresmuscheln und damit fast siebenmal mehr als die restliche Welt zusammen.

Die Zukunft gehört den Großalgen

China ist auch der führende Produzent von Großalgen und Seegräsern, deren weltweite Erntemenge sich in den zurückliegenden 20 Jahren nahezu verdreifacht hat. Die Algenzucht ist somit der am schnellsten wachsende Aqua-

kultursektor. Waren es im Jahr 2000 noch 10,6 Millionen Tonnen Algen und Seegras, produzierten die vornehmlich in Ost- und Südostasien ansässigen Algenfarmen im Berichtsjahr 2018 schon 32,4 Millionen Tonnen. Mehr als 85 Prozent dieser Produktion wurde allein in China und Indonesien erzeugt.

Zwei Verkaufsschlager der Algenfarmer sind die tropischen Seegrasarten *Kappaphycus alvarezii* und *Eucheuma spp.*, woraus Carrageen gewonnen wird, ein temperaturbeständiges Gelier- und Verdickungsmittel, welches in der Lebensmittel- und Kosmetikindustrie eingesetzt wird, etwa bei der Herstellung vegetarischer Brotbeläge. In der Europäischen Union ist es als Lebensmittelzusatzstoff und Dickungsmittel mit der Nummer E 407 zugelassen. Andere in Aquakultur gezüchtete Großalgen wie der Japanische Blatttang (*Laminaria japonica*) oder die Braunalge Wakame (*Undaria pinnatifida*) werden direkt als Nahrungsmittel verkauft und in der asiatischen Küche zum Beispiel als Suppeneinlage serviert. Produktionsreste oder minderwertige Algen werden in der Regel nicht entsorgt, sondern unter anderem als Futter in der Muschelzucht eingesetzt – ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu geschlossenen Nährstoffkreisläufen und mehr Nachhaltigkeit.

Da Großalgen und Seegräser sehr nährstoffreich sind und für ihre Aufzucht kein Dünger oder Futter benötigt wird, welche das Küstenwasser belasten könnten, gilt ihre Zucht als umweltfreundliche Methode der Lebensmittelproduktion. Aus diesem Grund interessieren sich mittlerweile auch Hersteller in anderen Regionen der Welt für die Algenzucht. Um den ökologischen Fußabdruck des Lebensmittelsektors jedoch zu verkleinern, müsste die Großalgenproduktion massiv ausgebaut werden. Wissenschaftler haben ein solches Szenario einmal durchgerechnet: Würde die Menschheit das Ziel verfolgen, nur ein Prozent aller Lebensmittel aus Algen zu produzieren, müssten 147-mal mehr Algen für den menschlichen Verzehr angebaut werden, als dies bislang der Fall ist.

Ähnliche oder sogar noch größere Mengen würden benötigt, sollten weitere Verwendungsideen für Großalgen umgesetzt werden. Diskutiert wird zum Beispiel, unter welchen Voraussetzungen sich aus Rot- und Braunalgen Bioethanol und Biomethan herstellen ließen. Beide Erzeugnisse könnten fossile Rohstoffe ersetzen. Einige der Algen enthalten zudem Omega-3-Fettsäuren und könnten daher als Fischmehl- oder Fischölersatz in Aquakulturanlagen eingesetzt werden. Studien in der Tierhaltung zeigen, dass Großalgen, an Rinder verfüttert, den Methanaustritt der Wiederkäuer senken. Als Düngemittel auf die Felder gebracht, erhöhen sie wiederum den Nährstoffgehalt des Bodens.

Noch häufiger aber wird die Algenzucht mittlerweile im Zusammenhang mit der Frage diskutiert, wie es gelingen kann, der Atmosphäre auf natürliche Art und Weise große Mengen Kohlendioxid für lange Zeit zu entziehen. Die natürlich vorkommenden Großalgenwälder (auch Kelpwälder genannt) der Welt binden durch ihre Photosynthese pro Jahr etwa 1,5 Milliarden Tonnen Kohlenstoff. Etwas mehr als ein Zehntel davon, geschätzte 173 Millionen Tonnen, werden am Standort im Meeresboden eingelagert oder in die Tiefsee transportiert und somit dem Kohlenstoffkreislauf der Erde entzogen. Die Kelpwälder leisten auf diese Weise einen wichtigen Beitrag zur Reduktion der Kohlendioxidkonzentration im Ozean und der Atmosphäre.

Das Klimapotenzial der bislang in Aquakultur gezüchteten Algen ist im Vergleich dazu eher gering. Hätte man zum Beispiel alle im Jahr 2014 geernteten Großalgen aus

Aquakultur (Gesamtmenge 27,3 Millionen Tonnen) nicht verarbeitet, sondern stattdessen in der Tiefsee versenkt, wären dem System lediglich 0,68 Millionen Tonnen Kohlenstoff entzogen worden – also nur 0,4 Prozent dessen, was die natürlichen Kelpwälder leisten. US-amerikanische Wissenschaftler haben jedoch in einer Studie herausgefunden, dass eine industrielle Aufzucht von Großalgen auf einer Meeresfläche von 48 Millionen Quadratkilometern möglich wäre. Das entspricht ungefähr der fünffachen Fläche der USA. Diese vollständig für die Algenzucht zu nutzen, würde nach Ansicht der Forscher vermutlich am Aufwand und an den Kosten scheitern. Regional aber kann die Zucht von Großalgen als Maßnahme zur Kohlenstoffbindung und -einlagerung durchaus Sinn machen – zumal die Großalgen während ihres Wachstums auch dazu beitragen, dass der pH-Wert des Wassers sinkt und sein Sauerstoffgehalt steigt, solange die Algen nicht absterben und von Mikroorganismen wieder zersetzt werden.

Auf lange Sicht aber wird selbst eine intensivere Algenzucht allein nicht ausreichen, um die Erderwärmung aufzuhalten. Während nämlich die Kelpwälder der Welt dem Klimasystem der Erde rund 173 Millionen Tonnen Kohlenstoff pro Jahr entziehen, fügte der Mensch durch das Verbrennen von Kohle, Erdöl und -gas allein im Jahr 2019 rund zehn Milliarden Tonnen hinzu. Um diese Menge aufzunehmen und zu speichern, bräuchten die Kelpwälder rund 60 Jahre. Nichtsdestotrotz gilt es, das

3.24 > Der Riesentang (*Macrocystis pyrifera*) bildet vor der Pazifikküste Nordamerikas dichte Kelpwälder. Die Braunalge wird bis zu 45 Meter lang und ist damit das größte fest am Boden verankerte Meereslebewesen der Welt.



enorme Potenzial der Algenzucht besser zu nutzen. Sinnvoll geplant und umgesetzt, könnten durch eine großflächige Algenzucht das Klima geschützt, die Nahrungssicherheit verbessert, neue nachhaltige Rohstoffquellen erschlossen und die Lebensbedingungen für Meeresorganismen verbessert werden.

Die Schattenseiten der Aquakultur

Der Ausbau und die Intensivierung der Aquakultur in Küstengewässern bergen eine Reihe von Gefahren für die Ökosysteme des Meeres, insbesondere bei der Aufzucht von Tieren. In Südostasien beispielsweise wurden im Zeitraum von 2000 bis 2012 rund 100 000 Hektar wertvoller Mangrovenwälder abgeholzt. Fast ein Drittel des Waldes musste weichen, weil an seiner Stelle küstennahe Teiche für die Garnelenzucht angelegt wurden. In Indonesien betrug der Anteil der wegen Aquakultur abgeholzten Mangrovenflächen sogar fast 50 Prozent. In den gleichen Regionen waren bereits in den 1990er-Jahren viele Küstenabschnitte umgestaltet, um die devisaerbringende Garnelenzucht auszubauen. Infolgedessen gingen zum einen die Wildfänge der tropischen Garnelen zurück, zum anderen landeten die lokalen Küstenfischer weniger Fisch an, denn mit den Mangrovenwäldern fehlte die natürliche Kinderstube für den Nachwuchs der Garnelen und Fische.

Der große Flächenverbrauch der küstennahen Aquakultur ist jedoch nur ein Problem von vielen. Das in den Anlagen zum Einsatz kommende Futter besteht zum Teil noch immer aus Fischmehl oder Fischöl, für deren Herstellung weltweit kleine Schwarmfische wie die Peruanische Sardelle (*Engraulis ringens*) oder der Atlantische Hering (*Clupea harengus*) überfischt werden. Nach Angaben der FAO wurden im Jahr 2018 rund 18 Millionen Tonnen gefangener Fisch zu Tierfutter verarbeitet. Diese Menge liegt weit unter dem Spitzenwert von mehr als 30 Millionen Tonnen im Jahr 1994, aber auch deutlich über dem Niedrigwert von 2014 (14 Millionen Tonnen). Kritiker dieser Futterproduktion haben ausgerechnet, dass heutzutage etwa 25 Prozent der gefangenen Schwarmfische zu Fischmehl und -öl verarbeitet werden. Auf diese Weise würden Fische, die in vielen Teilen der Welt vor allem von der ärmeren Bevölkerung gegessen werden, in Fischereiprodukte wie Lachsfilet umgewandelt, die sich am Ende

nur der bessergestellte Teil der Gesellschaft leisten könne, sagen die Kritiker. Zur Lösung des globalen Ernährungsproblems könne die Zucht von Lachs, Wolfsbarsch & Co. nur dann beitragen, wenn Alternativen zu Fischmehl und Fischöl günstiger und von den Farmern großflächiger eingesetzt werden würden.

Wird in marinen Aquakulturanlagen zu viel gefüttert, dann verschmutzt das Wasser in den Fjorden oder Küstengewässern nicht nur, es wird regelrecht überdüngt. Dies kann vielerorts zu einem verstärkten Algenwachstum und auch zur Entstehung sauerstoffarmer Zonen führen. Lange Zeit verabreichten Fisch- oder Garnelenfarmer rund um die ganze Welt auch unkontrolliert Antibiotika, um Krankheiten im viel zu dichten Tierbestand einzudämmen. Auf diese Art und Weise konnten sich unter anderem in den Garnelenteichen Südostasiens resistente Keime entwickeln, was am Ende dazu führte, dass regelrechte Epidemien in mehreren Wellen große Teile der asiatischen Garnelenproduktion vernichteten, vor allem Bestände der ertragreichen Riesengarnele (*Penaeus monodon*), auch bekannt als Schwarze Tigergarnele.

Um die Krankheitsausbrüche einzudämmen, wurde viel geforscht. Anstelle der Riesengarnele wachsen in den Zuchtteichen Südostasiens mittlerweile überwiegend Weißbeingarnelen (*Litopenaeus vannamei*). Außerdem ist es gelungen, Garnelen zu züchten, die gegen die Keime resistent sind, sodass der Medikamenteneinsatz weitestgehend reduziert werden konnte. In vielen norwegischen Lachskäfigen schwimmt mittlerweile auch eine bedeutende Zahl an Seehasen. Die kleinen, grünlich schimmernden Fische werden als Putzerfische eingesetzt, denn sie machen Jagd auf einen Lachsparasiten, der in Norwegens Fjorden von Natur aus vorkommt – die sogenannte Lachslaus (*Lepeophtheirus salmonis*). Dieser Ruderfußkrebsschmarotzer setzt sich auf der Haut der Zuchtfische fest und verursacht Wunden, die unter Umständen zum Tod des Lachses führen können. Die Seehasen aber fressen die Parasiten, bevor sie großen Schaden anrichten können – ganz ohne Medikamente und teure Schädlingsbekämpfung. Davon profitieren nicht nur Lachse und Anlagenbetreiber, sondern auch die Umwelt.

Haltungsverbote dagegen scheinen das einzige Mittel zu sein, mit dem sich eine sogenannte Faunenvermischung infolge unsachgemäßer Aquakulturrhaltung ver-



3.25 > Die Riesengarnele (*Penaeus monodon*), auch bekannt als Schwarze Tigergarnele, führte lange Zeit die Liste der meistverkauften Zuchtgarnelen an. Mittlerweile ist sie auf Platz vier abgerutscht. Dennoch wurden im Jahr 2018 weltweit noch 750 000 Tonnen produziert.

Fischmehl und Fischöl
Fischmehl ist ein eiweißhaltiges, mehrlartiges Produkt, welches hergestellt wird, indem ganze Fische oder Fischreste getrocknet und anschließend fein gemahlen werden. Für Fischöl dagegen wird gekochter Fisch ausgepresst und die dabei austretende Flüssigkeit in ihre Bestandteile getrennt.

hindern lässt. Vor der Küste von Vancouver Island beispielsweise flüchteten im Dezember 2019 nach einem Feuer in einer Aquakulturanlage Tausende Atlantische Lachse in das umliegende Meer, welches die Heimat wilder Pazifischer Lachse ist. Meeres- und Umweltschützer befürchten nun, dass die einstigen Käfigtiere Krankheiten, Viren oder Parasiten auf die heimischen Pazifischen Lachse übertragen, denen diese nicht gewachsen sind. Gleichzeitig besteht die Gefahr, dass sich die Arten paaren und gemeinsamen Nachwuchs zeugen. Forscher sprechen in solchen Fällen von „genetischer Verschmutzung“.

Durch Aquakultur eingeschleppte Parasiten können sich unter Umständen schlagartig vermehren und beeinflussen schlimmstenfalls die Nahrungsnetze und das gesamte Ökosystem im erweiterten Umfeld der Anlagen. In belasteten Küstengewässern steigt zudem das Risiko, dass neue Keime entstehen, die auch dem Menschen gefährlich werden können, in dem sie zum Beispiel Durchfallerkrankungen auslösen. Ein erhöhtes Risiko besteht vor allem in den Küstenregionen Indiens, Bangladeschs und Myanmars. Dort wird trotz der hohen Bevölkerungsdichte intensiv Aquakultur betrieben – und der jährlich wiederkehrende Monsunregen sorgt für regelmäßige Überschwemmungen, im Zuge derer sich Keime schnell ausbreiten und in den Kontakt mit Menschen kommen können.

Betrachtet man vor diesem Hintergrund die Forderung, dass die weltweit wachsende Nachfrage nach Fischereierzeugnissen in erster Linie durch eine Expan-

sion der Aquakulturhaltung gedeckt werden soll, wird deutlich, dass es neuer effizienter und vor allem ressourcenschonender Konzepte für die Nahrungsproduktion im Meer bedarf. Ansätze, die das gesamte Ökosystem im Blick haben, machen Hoffnung – in der Aquakultur ebenso wie in der Fischerei.

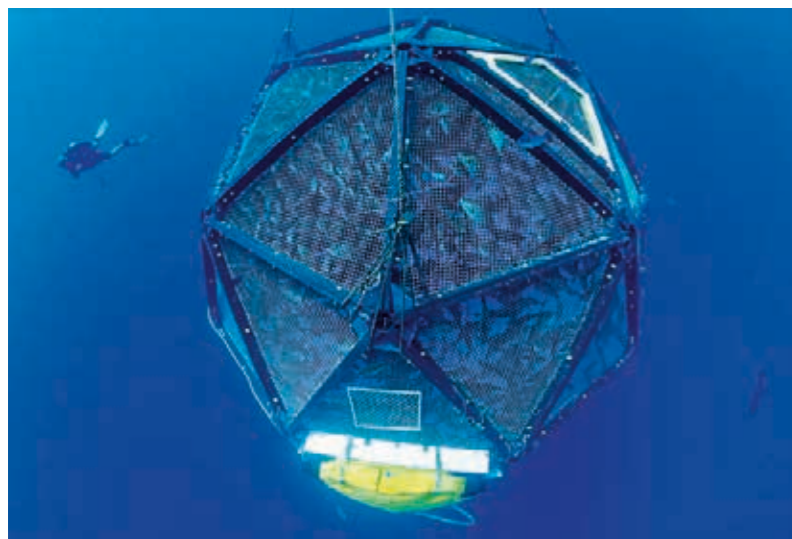
Fortschritte und Neuerungen in der Aquakultur

Die schwerwiegenden ökologischen Folgen intensiver mariner oder küstennaher Aquakulturhaltung (insbesondere bei gefütterten Arten) haben Forschung und Industrie veranlasst, nach neuen umweltschonenderen Methoden und Technologien zu suchen. Nennenswerte Fortschritte gibt es in mehreren Bereichen, so zum Beispiel bei der Artenauswahl, der Futterzusammensetzung sowie bei der Entwicklung sogenannter integrierter Kreislaufsysteme.

Weltweit werden derzeit mehr als 600 Fisch-, Krebs- und Muschelarten in Aquakultur gezüchtet. Positiv hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass in den jeweiligen Regionen zunehmend heimische Arten kultiviert werden. In Europa sind das zum Beispiel der Wolfsbarsch (*Dicentrarchus labrax*), die Dorade (*Sparus aurata*) und der Steinbutt (*Scophthalmus maximus*). Alle drei Arten werden in zunehmenden Mengen produziert. In den Tropen gilt die Aussage für Arten wie Barramundi (*Lates calcarifer*) und Zackenbarsch (Serranidae) sowie für den als Cobia, Königsfisch oder Offiziersbarsch bekannten Stachelmakrelenverwandten *Rachycentron canadum*. Sowohl der Cobia als auch der Zackenbarsch mögen warmes Wasser. Beide Arten wachsen schnell und eignen sich hervorragend für die Zucht in Aquakulturhaltung. Außerdem weisen sie eine sehr gute Fleischqualität auf, sodass Produzenten auf hohe Produktionsmengen und gute Absatzchancen hoffen.

Intensive Aquakulturforschung sowie steigende Weltmarktpreise für Fischmehl und -öl haben in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten dazu geführt, dass deren Anteil im Futter deutlich zurückgegangen ist. Bestanden in der Vergangenheit Futtermittel für Raubfische wie Lachs oder Wolfsbarsch überwiegend aus tierischen Produkten, werden heutzutage Ersatzstoffe aus Getreide, Öl- oder Hülsenfrüchten in derart großen

3.26 > Frei im Wasser treibende oder aber verankerte Fischkäfige mit ferngesteuerter Futtereinheit, wie sie hier vor der Küste Hawaiis getestet werden, könnten eine Möglichkeit sein, die Fischzucht auf das offene Meer zu verlagern und den ökologischen Fußabdruck der Aquakultur in den Küstengewässern zu verringern.



Liste aktueller Ersatzstoffe für Fischmehl und -öl			
Kategorie	Vorteile	Nachteile	Lösungen und Chancen
Terrestrische pflanzliche Inhaltsstoffe, einschließlich der Nebenerzeugnisse (z. B. Raps, Weizenmehl, Sojamehl)	Sind leicht zugänglich und können in großen Mengen produziert werden; wirtschaftlich wettbewerbsfähig	Präsenz antinutritiver Inhaltsstoffe; schlechte Verdaulichkeit; geringe Schmackhaftigkeit; unausgewogenes Aminosäureprofil; positive ernährungsphysiologische Eigenschaften der Omega-3-Fettsäuren fehlen	Anwendung fortgeschrittenerer Verarbeitungstechnologien oder enzymatische Behandlung zur Erhöhung der ernährungsphysiologischen Qualität; können durch moderne genetische Methoden so modifiziert werden, dass sie langkettige Fettsäuren enthalten
Terrestrische tierische Nebenerzeugnisse (z. B. Geflügelmehl, Federmehl, Blutmehl)	Gute Verfügbarkeit; wirtschaftlich wettbewerbsfähig; enthalten keine antinutritiven Inhaltsstoffe	Ernährungsphysiologische Qualität hängt vorwiegend von Verarbeitungstechnologie ab; hohe Anteile an gesättigten Fetten und weniger gesunden Fettsäuren; müssen mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren verschnitten werden; Nutzung eingeschränkt durch Bestimmungen aufgrund der Einstufung im Hinblick auf Gesundheitsrisiken; positive ernährungsphysiologische Eigenschaften der Omega-3-Fettsäuren fehlen	Fortgeschrittenere Verarbeitungstechnologien; Ergänzung mit essenziellen Aminosäuren; Bewusstsein erhöhen und Verbraucherwahrnehmung verbessern
Verarbeitungsreste aus Fischerei und Aquakultur (z. B. Fischköpfe und Gräten)	Beträchtliche potenzielle Verfügbarkeit, da große Mengen an Resten anfallen (30–70 % des Fischvolumens)	Ernährungsphysiologische Einschränkungen; erfordert Infrastruktur; kostenträchtiger Transport; Gefahr von Verunreinigungen	Fortgeschrittenere Verarbeitungstechnologie
Mikrobielle Inhaltsstoffe (z. B. Bakterien, Mikroalgen und Hefen)	Kompatibles Nährwertprofil; einige (aber nicht alle) weisen erheblich geringere THG-Emissionsintensität auf als die auf Landressourcen angewiesenen Alternativen	Begrenzte biologische Verfügbarkeit aufgrund starrer Zellwände; hohe Produktionskosten	Fortgeschrittenere Verarbeitungstechnologie; Skaleneffekte zur Kostensenkung
Unterbewirtschaftete oder ungenutzte Fischereiresourcen (z. B. Zooplankton, Krill und mesopelagische Arten)	Hohes Biomassepotenzial; wird nicht für den direkten menschlichen Verzehr genutzt	Nutzung könnte erhebliche Auswirkungen auf Ökosysteme haben; Bestandsgröße und -dynamik schwer zu beurteilen; verstärkte Nutzung und Erkundung erfordert technologische Innovationen	Verbesserung der Bestandsbeurteilung, um besseres Verständnis der Bestandszusammensetzung und des Nutzungspotenzials zu entwickeln; Anwendung des Vorsorgeprinzips empfehlen
Genetisch veränderte (GV) pflanzliche Inhaltsstoffe	Krankheits- und Schädlingsresistenz; höhere ernährungsphysiologische Qualität; längere Haltbarkeit; enthält keine antinutritiven Faktoren; wirtschaftlich konkurrenzfähig	Aufsichtsrechtliche Einschränkungen; sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf Nährstoffbilanz und Wachstum; negative Einstellung auf Seiten der Konsumenten und Erzeuger	Zulassung mittels entsprechender Rechtsvorschriften; Verbraucherbewusstsein stärken; weiterführende Forschung zu antinutritiven Aspekten von GV-Inhaltsstoffen und möglicher Expression transgener DNS in Fischen
Insekten (z. B. „Soldatenfliege“ <i>Hermetia illucens</i> , Seidenraupen, Termiten)	Hoher Proteingehalt; vorteilhafte Fettzusammensetzung; leicht zu erzeugen; kann mit Lebensmittelabfällen gefüttert werden	Präsenz unverdaulichen Chitins im Exoskelett; Bioakkumulation von Pestiziden; geringer Anteil mehrfach ungesättigter Fettsäuren in terrestrischen Insekten; müsste hochskaliert werden	Technologische Verbesserungen zur Förderung der Massenproduktion; Verbesserung des Wissensstandes hinsichtlich der Auswirkungen von Insektenmehl auf Fischgesundheit; Bewusstsein stärken und Verbraucherwahrnehmung verbessern

Mengen beigemischt, dass beispielsweise der Fischmehlanteil in Futtermitteln für Forellen und Lachse auf zehn Prozent und weniger gesunken ist. Dieser ließe sich weiter reduzieren, wenn es gelänge, Mikroalgen kostengünstig in so großen Mengen zu produzieren, dass sie das Fischöl ersetzen könnten. Wie Fischöl enthalten auch Mikroalgen Omega-3-Fettsäuren, welche für die Fischgesundheit unabdingbar sind und mit denen sorgen, dass Fisch für den Menschen so nahrhaft ist.

Bei der Frage, wie sich der Frischwasserverbrauch in Kreislaufanlagen an Land reduzieren lässt, haben sich Aquakulturforscher an Zierfischaquarien orientiert und Reinigungssysteme entwickelt, welche die Ausscheidungen der Fische herausfiltern und umwandeln. Auf diese Weise ist man rein rechnerisch in der Lage, ein Kilogramm Fisch mit weniger als 100 Liter Frischwasser zu produzieren. Zum Vergleich: In herkömmlichen Teich- oder Durchflussverfahren mussten bislang 2000 bis 200 000 Liter Wasser eingesetzt werden, um die gleiche Menge Fisch zu erzeugen. Doch auch für diese weit verbreiteten Anlagen haben die Forschenden Wasseraufbereitungssysteme und Handlungsanweisungen entwickelt, mit denen sich die negativen Folgen für das eingesetzte Wasser reduzieren lassen.

Das Leitbild eines geschlossenen Nährstoffkreislaufes stand Pate bei der Entwicklung neuer sogenannter integrierter multitrophischer Aquakultursysteme (Integrated Multi-Trophic Aquaculture, IMTA), in denen ausgewählte Arten aus unterschiedlichen Ebenen des Nahrungsnetzes so gehalten werden, dass die Ausscheidungen der einen Art als Dünger oder Futter für die nächste Art dienen und von dieser möglichst effektiv genutzt werden. Ein Beispiel: In einer Anlage werden Fische neben Muscheln, Großalgen und Krebsen gehalten. Futter kommt nur am Anfang der Kette zum Einsatz – in Form von Fischfutter. Der Fischkot wird anschließend von den Muscheln und Algen aus dem Wasser gefiltert und als Nährstoff verwertet. Die Krebse am Meeresboden vertilgen derweil, was bei der Fisch- und Muschelproduktion übrig bleibt und in die Tiefe sinkt.

Die Vorteile einer solchen Anlage liegen auf der Hand: Zum einen wird verhindert, dass durch den Betrieb der Anlage zusätzliche Nährstoffe in das Küstenmeer eingetragen werden. Zum anderen verringert sich

das wirtschaftliche Risiko für die Anlagenbetreiber. Durch die parallele Produktion verschiedener Arten innerhalb eines Systems sinken nämlich die Kosten pro Art. Außerdem können die Farmer eine größere Auswahl an Erzeugnissen vermarkten, wodurch sie widerstandsfähiger gegenüber kurzfristigen Nachfrage- und Preisschwankungen werden. Berücksichtigt man zu allem das steigende Bewusstsein der Kunden für nachhaltig produzierte Nahrungsgüter, so liegt die Vermutung nahe, dass Fischereierzeugnisse aus integrierten Aquakulturanlagen künftig häufiger gekauft werden als Erzeugnisse aus wenig nachhaltiger Produktion und der Betrieb solcher Anlagen von der einheimischen Bevölkerung eher akzeptiert wird.

Noch experimentieren Forscher, welche Arten sich in welchen Regionen bestmöglich miteinander kombinieren lassen. In den tropischen Regionen aber zeichnet sich ab, dass integrierte Aquakultursysteme eine elegante Lösung für die dringend benötigten Produktionssteigerungen in der marinen Aquakultur sein könnten. Geforscht wird hierzu vor allem in Südostasien. Aber auch in Kanada, Chile, Israel und Südafrika wird intensiv an diesem Thema gearbeitet.

Regional angepasste Lösungen

Von herkömmlicher Aquakultur auf integrierte Systeme umzustellen, wird jedoch nicht überall ausreichen. Gerade dort, wo die natürlichen Küstenökosysteme in der Vergangenheit enorm unter der intensiven Nutzung gelitten haben, wird man auch den Rückbau vorhandener Aquakulturanlagen in Betracht ziehen müssen, wenn es gelingen soll, geschädigte Küstenbereiche wiederzubeleben. Wie umfassend eine solche Renaturierung sein muss, zeigt das Beispiel der chinesischen Küstenmetropole Xiamen. In den Küstengewässern der 5,1 Millionen Einwohner zählenden Hafenstadt wurde bis zum Jahr 2002 flächendeckend Aquakultur betrieben. Dreck aus den Teichen sowie Überreste des intensiven Futtereinsatzes in den Fischkäfiganlagen verschmutzten über zwei Jahrzehnte lang die Meeresbucht, an welcher die Stadt liegt. Im Zeitraum von 1984 bis 1996 kam es unter anderem aus diesem Grund etwa zweimal pro Jahr zu großen Fischsterben. Der Mangro-

venwald starb nahezu vollständig ab; die Zahl der Seevögel und Flussdelfine schrumpfte dramatisch.

Im Rahmen eines neuen vierstufigen Meeres- und Küstenmanagementplans leitete die Stadt dann die Wende ein. Die Aquakulturanlagen wurden komplett abgebaut, der örtliche Mangrovenwald wieder aufgeforstet, Feuchtgebiete renaturiert, Abwasserkläranlagen errichtet und den Wasseraustausch hindernde Mauern und Wälle abgerissen, um nur einige Maßnahmen des umfassenden Programmes zu nennen. Das Ergebnis kann sich nach Meinung von Wissenschaftlern sehen lassen: Die Wasserqualität in der Meeresbucht hat sich derart verbessert, dass Reiher, Flussdelfine und viele andere Arten nun wieder eine Perspektive haben.

Ein radikaler Rückbau der Aquakultur kann allerdings nur in Ausnahmefällen die Lösung sein. Gegen flächendeckende Stilllegungen spricht die weltweit steigende Nachfrage nach Fischereierzeugnissen. Sollten wir diese auch künftig decken wollen, gelänge dies nach Auffassung der FAO nur, wenn noch mehr tierische und pflanzliche Produkte in Aquakultur erzeugt würden. Außerdem stellt die Nahrungsmittelproduktion im Meer in vielen Küstenregionen und Gegenden die einzige Einkommensquelle für die lokale Bevölkerung dar. Aquakulturanlagen zu schließen, würde vor allem in den Tropen vielen Menschen ihre Lebensgrundlage nehmen.

In der Wissenschaft werden ganz unterschiedliche Ansätze zur Zukunft der Aquakultur diskutiert. Einige Experten empfehlen, anstelle von Masse auf Klasse zu setzen. Sie favorisieren den Betrieb einzelner integrierter Anlagen, die über eine große Fläche verteilt werden, sodass ihr ökologischer Fußabdruck so gering wie möglich ist. In diesen Anlagen aber sollen dann qualitativ hochwertige Produkte erzeugt und für einen entsprechenden Preis verkauft werden.

Andere Wissenschaftler wiederum votieren für einen Ausbau der weltweiten Aquakultur, allerdings unter der Prämisse, dass Umweltschäden und Konflikte mit der einheimischen Bevölkerung vermieden werden. Vorgeschlagen wird unter anderem:

- Umweltstandards zu definieren und durchzusetzen;
- die Standorte neuer Aquakulturanlagen auf Basis wissenschaftlicher Informationen und in Absprache

mit anderen lokalen Nutzergruppen des Meeres zu planen;

- Zertifikate oder Label für nachhaltige Aquakulturproduktion einzuführen sowie Lieferketten transparent zu machen;
- die Zucht nicht gefütterter Arten zu intensivieren;
- im Fall von gefütterten Arten die Futtermittelzusammenstellung und den Futtermiteinsatz weiter zu optimieren;
- Alternativen für die marine Massentierhaltung in Netzkäfigen zu finden – beispielsweise indem auch hier Zuchtfische, Putzerfische, Algen und Muscheln in integrierten Systemen gehalten und Synergien erzeugt werden;
- die Anfälligkeit für Krankheiten durch Zucht und genetische Modifikation zu reduzieren;
- die Produktion auf das offene Meer zu verlagern, um die Küstengewässer zu entlasten;
- auf ökosystembasierte Haltungssysteme zu setzen – im Küstenbereich ebenso wie auf dem offenen Meer.

Eine jede dieser Ideen hat ihre Vorteile. Es gibt allerdings auch immer Gründe, die gegen eine Umsetzung sprechen. So wird häufig argumentiert, dass viele der vorgeschlagenen Maßnahmen zu teuer und damit für Anlagenbetreiber unwirtschaftlich seien. Feldversuche, die diese Argumentation mit überzeugenden Bilanzen widerlegen, gibt es zum Leidwesen der Aquakulturforscher bislang kaum. Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit nachhaltiger Aquakulturansätze beruhen meist auf Computermodellierungen.

Tatsache aber ist: Wenn Aquakultur im Einklang mit der Natur betrieben werden soll, kann es nicht nur einen Lösungsansatz geben. Stattdessen müssen die Methoden den lokalen und regionalen Gegebenheiten angepasst werden. Die politischen Entscheidungsträger stehen jeweils in der Pflicht, Gesetze und Regeln einzuführen, welche die vielerorts offenen Besitz- und Haftungsfragen klären, attraktive Anreize für einen nachhaltigen Betrieb der Anlagen setzen (zum Beispiel Steuervorteile, Subventionen etc.) sowie Methoden und Grenzwerte für ein effektives Aquakultur-Umwelt-Monitoring vorschreiben.

In Staaten, in denen klare Rechte, Vorschriften und Verantwortlichkeiten fehlten, hätten Anlagenbetreiber

Vor- und Nachteile verschiedener Aquakulturansätze			
Pfad oder Ansatz	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Umweltstandards und umweltrechtliche Vorschriften	Standards (z. B. Wasserqualität), die behördlicherseits erlassen und überwacht werden	Können dabei helfen, Vorfälle hinsichtlich der Übertragung von Krankheiten, des Nährstoffeintrages, chemischer Verunreinigung und des Biotopverlustes zu vermindern	Teuer; untragbar, falls unstrukturiert oder schlecht definiert
Rückverfolgbarkeit von Meeresfrüchten	Rückverfolgung entlang der gesamten Lieferkette	Verbessert Lebensmittelsicherheit; verbessert Effizienz der Betriebsabläufe und Marktzugang; hilft illegale Aktivitäten zu unterbinden; mindert Betrug	Teuer; Konflikte hinsichtlich betriebsinterner Informationen; beinhaltet Regelungen auf Bundes- und Landes- oder regionaler Ebene
Meeresraumplanung	Koordinierte räumliche Planung, die wissenschaftliche und wirtschaftliche Informationen sowie auch andere Nutzer der Ressourcen einbezieht; könnte auf Landnutzungspolitik und terrestrischen markt-basierten Ansätzen aufbauen	Priorisierung der räumlichen Einordnung der Marikultur anhand der zur Verfügung stehenden Informationen; kann helfen, Konflikte mit anderen Nutzergruppen zu verringern; kann genutzt werden, um Aquakulturen so zu platzieren, dass Krankheitsübertragungen und Interaktionen mit wild lebenden Arten minimiert werden	Teuer; kann zeitaufwendig sein; muss Änderungen der Umweltbedingungen und gesellschaftlichen Präferenzen angepasst werden
Nachhaltiges Sourcing alternativer Futtermittel	Ersatz von Fischmehl/ Fischöl durch terrestrische Nutzpflanzen, aufbereitete terrestrische Tierprodukte, Verarbeitungsreste aus der Fischverarbeitung und andere neuartige Produkte	Verringert die Abhängigkeit der Expansion futterbasierter Marikultur von der Fangfischerei	Derzeitige Hemmnisse für breite Akzeptanz (z. B. hohe Kosten); kann Gesundheit der gefütterten Arten und/oder Gesundheitsnutzen für Verbraucher negativ beeinflussen; Abhängigkeit von terrestrischen Nutzpflanzen verstärkt Ressourcenverknappung in der Landwirtschaft
Selektive Züchtung	Züchtung von Organismen mit wünschenswerten Eigenschaften, um Nachwuchs mit verbesserten Eigenschaften zu erzeugen	Kann Fütterungseffizienz verbessern; kann Krankheitsresistenz verbessern und Einsatz von Antibiotika verringern (was das Risiko der Entstehung antibiotikaresistenter Erregerstämme mindert)	Entwichene Marikulturarten können mit wild lebenden Beständen in Kontakt kommen, wodurch Hybride mit verringerter Fitness entstehen können
Genetische Veränderung	Gentransfer zur Verbesserung bestimmter Eigenschaften	Kann Fütterungseffizienz verbessern; kann Krankheitsresistenz verbessern und Einsatz von Antibiotika verringern	Entwichene Marikulturarten können mit wild lebenden Beständen in Kontakt kommen, wodurch Hybride mit verringerter Fitness entstehen können
Marikultursysteme ohne Fütterung	Produktion von Arten niedrigerer trophischer Ebenen, wie z. B. Muscheln oder Wasserpflanzen	Verbessert Wasserqualität in der Umgebung durch Filterung; erfordert keine direkte Fütterung	Ungenügende Nachfrage nach Produktion auf niedriger trophischer Ebene kann starker Ausweitung entgegenstehen; dichter Anbau von Pflanzen kann Ströme blockieren und so ökologische Herausforderungen mit sich bringen; geringe Konvertierung in essbare Anteile erfordert höhere Produktion pro Pfund; empfindlicher gegenüber Klimawandel; entzieht Nährstoffe aus der Umgebung

Vor- und Nachteile verschiedener Aquakulturansätze			
Pfad oder Ansatz	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Integrierte multitrophische Marikultur	Produktion auf unterschiedlichen trophischen Ebenen, um Nährstoffkonzentrationen zu verringern	Verringert in manchen Fällen Nährstoffeintrag und chemische Verschmutzung	Umsetzung kann technologisch sehr anspruchsvoll sein; teuer
Küstenferne Marikultur	Marikultur in Gebieten, deren Bedingungen denen des offenen Ozeans gleichen	Weniger Einschränkungen hinsichtlich der Verfügbarkeit von Produktionsstandorten; kann Nährstoffeintrag und chemische Verschmutzung vermindern, wenn Design und Standort angemessen sind (z. B. hinsichtlich Distanz, Tiefe und Strömung); verbessert Wachstum und körperlichen Zustand (weniger Parasiten und Krankheiten) der Arten; erhöht Produktion ohne zusätzliche negative Auswirkungen	Höhere Produktionskosten; potenzielle Interaktionen mit wild lebenden Beständen; Maßnahmen zum Schutz der kultivierten Tiere können große Prädatoren (z. B. Haie, Seehunde) verletzen oder töten
Intensivierung	Konzentrierte Produktionssysteme und Monokulturen	Können hohe Erträge pro Fläche erzielen	Erhöhtes Risiko von Verschmutzung, Krankheitsausbrüchen und der Einführung invasiver Arten; kann weniger resilient sein; sollte im Design dem Konzept der ökologischen Tragfähigkeit folgen und ökosystembasierten Managementansatz anwenden
Selektivität bei der Fütterung	Fütterung von Fischmehl/ Fischöl in bestimmten Phasen des Lebenszyklus und Fütterung in einer Art und Weise, die kein überschüssiges Futter in die Umwelt einträgt	Hilft, Verschmutzung durch Nährstoffeinträge zu verringern; kann zur Reduzierung der Abhängigkeit von Fischmehl/Fischöl beitragen	Kann teuer sein (erfordert z. B. Technologie zur Automatisierung in küstenfernen Anlagen)
Selektivität bei der Behandlung von Krankheiten	Anwendung von Antibiotika nur, wenn notwendig; Behandlung einzelner Fische in sogenannten sensor chambers; Entwicklung von Impfstoffen	Vermindertes Risiko der Entstehung antibiotikaresistenter Erregerstämme	Teuer im Vergleich zu alternativen Ansätzen, die Umweltrisiken mit sich bringen
Zertifizierung/ Kennzeichnung/ Ranking	Nutzung marktbasierter Anreize, um nachhaltige Praktiken zu belohnen und zu fördern	Kann Anreize für stärkere Annahme nachhaltiger marikultureller Systeme setzen und öffentliche Wahrnehmung nachhaltig erzeugter Meeresprodukte verbessern	Zertifizierungsprozess kann teuer sein und somit Herausforderung für kleine Betriebe darstellen; Kennzeichnungen können für Verbraucher verwirrend sein

keinen Grund, in nachhaltige Technologien und Futtermittelforschung zu investieren, argumentieren Wissenschaftler. Würde man in einem solchen Umfeld die Expansion der Aquakultur vorantreiben, sei davon auszugehen, dass die Wasserqualität rapide sinken, die

marine Umwelt großen Schaden nehmen und das Gesundheitsrisiko für Küstenbewohner steigen werde. Die Entscheidung, ob und wie man die Aquakultur ausbauen könnte, sei deshalb keine einfache. Kosten und Nutzen müssten gründlich abgewogen werden.

Gütezeichen für verantwortungsvolle Aquakultur

Kunden, die Fisch und Meeresfrüchten aus verantwortungsvoller oder nachhaltiger Aquakultur erwerben wollen, erkennen entsprechende Produkte anhand verschiedener Gütezeichen. In Anlehnung an das Nachhaltigkeitsiegel des Marine Stewardship Council (MSC) für Wildfänge gibt es auch ein Gütezeichen für sozial-ökologisch nachhaltige Aquakultur – jenes des Aquaculture Stewardship Council (ASC). Dieser hat Zuchtstandards für 17 Artengruppen entwickelt, deren Marktwert hoch ist und deren Zucht weitreichende Auswirkungen auf die Umwelt hat. Zu diesen Zuchtarten gehören marine Vertreter wie Seeohr, Venusmuschel, Miesmuschel, Auster und Jakobsmuschel sowie Lachs, Wolfsbarsch, Dorade, Adlerfisch und Offiziersbarsch. Seit November 2017 gibt es außerdem einen übergreifenden ASC-MSC-Standard für die Zucht von Algen.

Im Zuge des ASC-Zertifizierungsverfahrens werden die Anlagenbetreiber dazu motiviert:

- weniger Pestizide, Chemikalien und Antibiotika einzusetzen;
- die Wasserverschmutzung zu reduzieren;
- effizienter zu füttern und dadurch eine Überdüngung der Anlagen und Küstengewässer zu verhindern;
- ihre Anlagen technisch derart aufzurüsten, dass Zuchtfische nicht ausbrechen können;
- alle Mitarbeitenden fair und nach entsprechenden Sozialstandards zu behandeln;
- auf positive Weise mit den Menschen in den umliegenden Gemeinden zu interagieren.

Außerdem müssen die teilnehmenden Aquakulturunternehmen sicherstellen, dass ihre Lieferketten derart gestaltet sind, dass sie ein Verwechseln oder Vermischen von zertifiziertem mit anderem Fisch ausschließen und jedes Produkt vom Ort des Verkaufes zuverlässig bis zur Farm zurückverfolgt werden kann.

Bis zum Ende des Jahres 2019 hatte der ASC mehr als 1100 Aquakulturfarmen in 42 Ländern zertifiziert. Gemeinsam produzierten diese fast zwei Millionen Tonnen Fisch und Meeresfrüchte. Im Vergleich zu 2014 war die Zahl der beteiligten Farmen demnach um 450 Pro-

zent gestiegen, die Menge der nach ASC-Vorschriften produzierten Fischereierzeugnisse um 181 Prozent. Die vom ASC gemachten Umweltauflagen zeigen ebenfalls Wirkung: Zertifizierte Garnelenfarmen in Vietnam beispielsweise konnten durch ein verbessertes Abfallmanagement ihre negativen Umwelteinflüsse halbieren. ASC-Lachsfarmen reduzierten den Anteil von Fischmehl aus Wildfängen um drei Prozent.

Strenger als die Auflagen des ASC sind die Zertifizierungsrichtlinien für Aquakulturbetriebe, die das deutsche Naturland-Siegel für ökologische Aquakultur tragen. Betreiber verpflichten sich hierbei unter anderem:

- auf artgerechte Haltungsbedingungen und niedrige Besatzdichten zu achten;
- zertifiziertes Ökofutter einzusetzen, dessen Anteile an Fischmehl und -öl aus Resten der Verarbeitung von Speisefischen stammen und nicht aus industrieller Fischerei, die speziell für die Futterproduktion eingesetzt wurde;
- auf den Einsatz von Gentechnik, chemischen Zusätzen und Wachstumsförderern oder Hormonen zu verzichten;
- die strengen Auflagen beim Einsatz von Arzneien zu erfüllen (so ist zum Beispiel der Einsatz von Antibiotika in der Garnelenzucht verboten);
- ihren Mitarbeitern hohe Sozialstandards zu bieten.

Betreiber von Garnelenzuchtanlagen sind zudem verpflichtet, ehemalige Mangrovenflächen wieder aufzuforsten. Mit Auflagen wie diesen hebt sich Naturland auch von der gesetzlichen Mindestregelung der EU-Verordnung für Ökoaquakulturen ab. Diese trat am 1. Juli 2020 in Kraft und gibt erstmals europaweit gesetzliche Regelungen für Biofisch und -meeresfrüchte vor.

Umweltschutzorganisationen wie Greenpeace begrüßen die Verordnung, im Prinzip, bezeichnen die Regelungen aber gleichzeitig als kleinsten gemeinsamen Nenner. Wichtige Kriterien seien zu schwach definiert. So wurden zum Beispiel die meisten Besatzdichten zu hoch angesetzt und kritische Chemikalien zur Verwendung freigegeben. Die EU-Verordnung bleibe somit weit hinter Richtlinien zurück, wie sie zum Beispiel der Naturland-Verband seit mehr als einem Jahrzehnt vorgibt.

Conclusio

Ein Nahrungslieferant am Limit

Ohne Fisch kann die Welt nicht ernährt werden – darin sind sich alle Experten einig. Mehr als 3,3 Milliarden Menschen beziehen mindestens ein Fünftel ihres tierischen Eiweißes aus aquatischen Lebensmitteln. Noch viel höher ist die Bedeutung von Meeresfisch für die Küstenbevölkerung in Entwicklungsländern sowie für die Bewohner kleinerer Inselstaaten. Für viele von ihnen ist Fisch oft die einzige bezahlbare Bezugsquelle tierischen Eiweißes. Ungeachtet dessen aber essen auch die meisten anderen Menschen immer mehr Fisch und Meeresfrüchte. Der Pro-Kopf-Verbrauch ist seit dem Jahr 1995 von 13,4 Kilogramm Fisch pro Jahr und Erdenbürger auf 20,5 Kilogramm gestiegen.

Ermöglicht haben diesen Anstieg eine intensivere Fischerei, vor allem in Seen, sowie ein Ausbau der inländischen und marinen Aquakulturrhaltung. Nichtsdestotrotz macht die Meeresfischerei bis heute den größten Anteil der Wildfänge aus, denn die internationalen Fangzahlen verharren seit rund 15 Jahren auf sehr hohem Niveau. Welchen Schaden diese intensive Meeresfischerei anrichtet, ist schwer zu quantifizieren, weil die Hälfte der gefangenen Fische aus Beständen stammt, die wissenschaftlich gar nicht überwacht werden. Von den wissenschaftlich begutachteten Beständen gelten nach FAO-Angaben mittlerweile mehr als ein Drittel als überfischt. Andere Studien gehen von einer noch höheren Zahl aus, da die FAO-Statistik zum Beispiel illegale, nicht berichtete und unkontrollierte Fischerei nur unzureichend berücksichtigt.

Neue Technologien wie Satellitenüberwachung, automatische Schiffsidentifikationssysteme und Datenportale über Fang- und Kühlschiffe erlauben es Kontrolleuren heutzutage, illegale Fischereiaktivitäten in einem größeren Umfang aufzudecken. Auch macht Hoffnung, dass dort, wo Bestände nachhaltig und wissenschaftsbasiert verwaltet und Fischereiak-

tivitäten streng überwacht wurden, sich einst überfishte Fischpopulationen wieder erholen konnten. Desolat ist dagegen die Situation überall dort, wo keine Kontrolle stattfindet oder Fischereimanagement fernab wissenschaftlicher Empfehlungen betrieben wird; sogar in einigen Teilen der Europäischen Union.

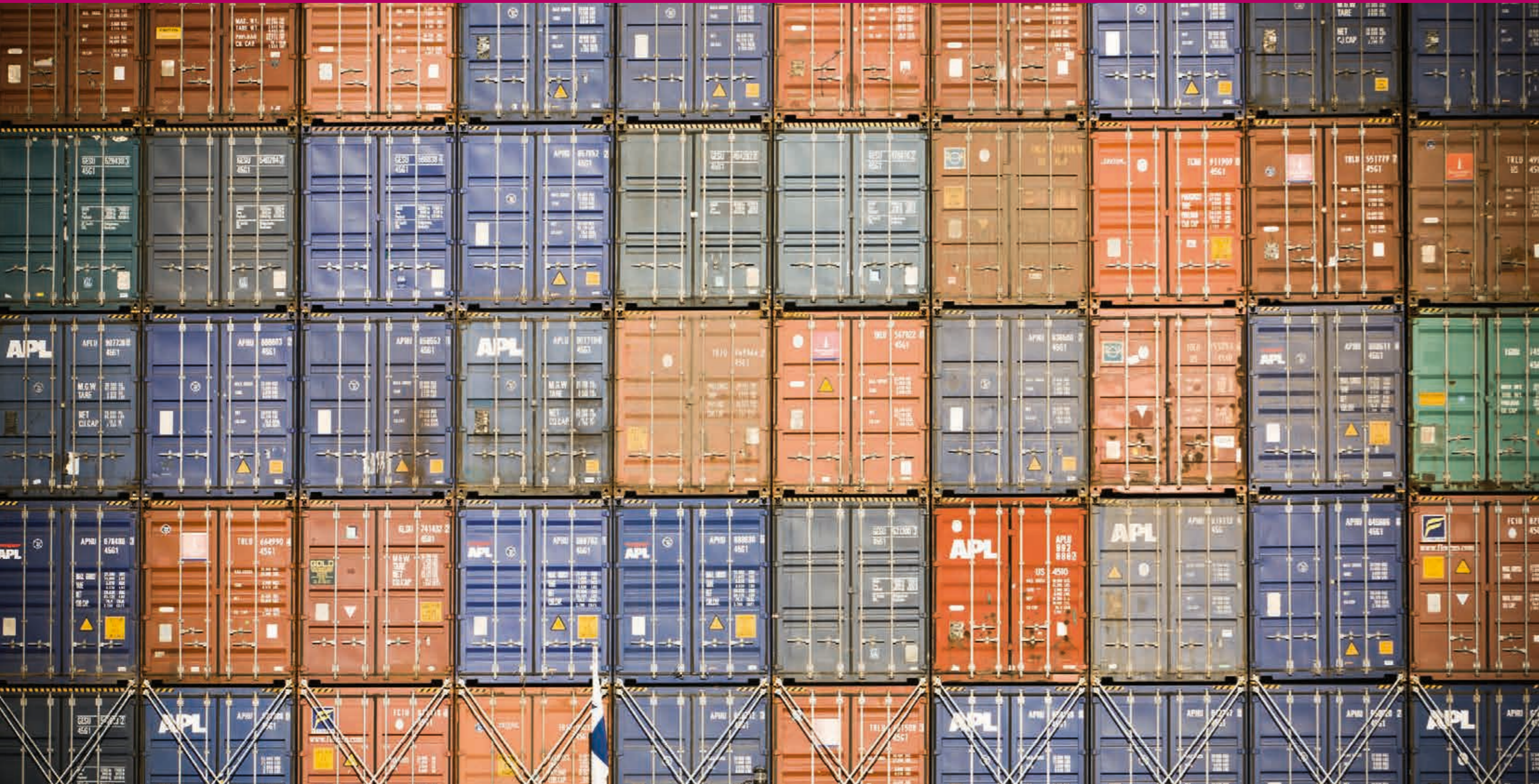
Uneins sind sich Wissenschaftler und Politiker auch in der Frage, welche Rolle die marine Aquakultur bei der künftigen Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung spielen kann. Einige Experten verweisen auf die theoretische Möglichkeit enormer Produktionssteigerungen; andere wiederum sehen diesen Optimismus kritisch.

In der Vergangenheit haben der Bau und Betrieb von Anlagen zu großräumigen Umweltzerstörungen geführt. Wissenschaft und Industrie arbeiten daher mit Hochdruck an nachhaltigeren Produktionsrichtlinien, Technologien und Anlagenkonzepten. Deren Umsetzung oder Einsatz soll die natürlichen Ressourcen schonen, den Medikamenten- und Chemikalieneinsatz minimieren und das Meer insgesamt weniger belasten. Integrierte oder ökosystembasierte Ansätze mit geschlossenen Nährstoffkreisläufen bieten hier bislang die besten Erfolgsaussichten. Große Hoffnungen ruhen allerdings auch auf der Großalgenzucht, dem am schnellsten wachsenden Sektor der Aquakultur. Intensiv geforscht wird außerdem zu Ersatzstoffen, mit denen der Anteil von Fischmehl und Fischöl in Futtermitteln zurückgeschraubt werden kann.

Damit sich nachhaltige Unternehmenskonzepte jedoch langfristig durchsetzen können, bedarf es strengerer Auflagen und Kontrollen im Aquakultursektor. Gütezeichen wie das ASC-Siegel können dabei unterstützend wirken. Immer lauter aber werden auch Forderungen, wonach Fisch und Meeresfrüchte wieder seltener auf den Teller kommen sollten. Angesichts des steigenden Fischkonsums weltweit hat der Nahrungslieferant Meer sein Limit nämlich längst erreicht.

4 Transporte über das Meer

> Die Schifffahrt hat sich in den zurückliegenden Jahrzehnten zum Rückgrat des internationalen Handels entwickelt. Immer mehr Waren und Güter werden per Schiff von Kontinent zu Kontinent transportiert. Dieses Wachstum hat jedoch auch Schattenseiten: Schiffsabgase verschmutzen die Luft und beschleunigen den Klimawandel; Lärm, Abwässer, Müll und eingeschleppte Arten belasten die marinen Ökosysteme. Neue, umweltverträgliche Lösungen sind gefragt – und das so schnell wie möglich.



Die Schifffahrt am Scheideweg

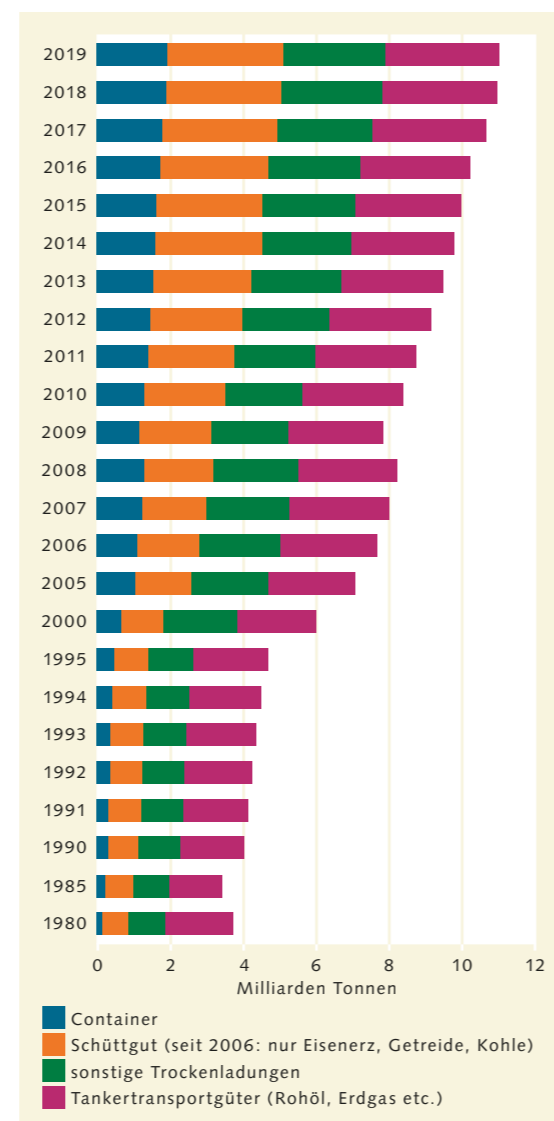
> Die internationale Handelsflotte besteht mittlerweile aus fast 100 000 Schiffen, die Rohstoffe und andere Waren und Güter rund um den Erdball transportieren. Der Wettbewerb ist groß und Umweltbelange spielten lange Zeit kaum eine Rolle. Mittlerweile aber ist klar: Die Branche muss ihre Klima- und Ökobilanz deutlich verbessern. Benötigt werden neue Antriebsideen, strikte und weltweit geltende Umweltauflagen sowie jede Menge Geld, um die teilweise veraltete Flotte zu modernisieren.

Das Rückgrat des globalen Handels

Ohne Schiffstransporte über Meere und Ozeane gäbe es in europäischen Geschäften weder exotische Früchte zu kaufen noch Produkte, die aus Rohstoffen wie Erdöl, Eisenerz oder Phosphorit hergestellt werden. Sie alle werden nämlich zum Großteil auf anderen Kontinenten gefördert, an- oder abgebaut und anschließend von Massengutfrachtern, Container- oder Tankschiffen zum Verkauf oder zur weiteren Verarbeitung nach Europa transportiert. Über 80 Prozent aller weltweit gehandelten Waren und Rohstoffe werden von Schiffen an ihren Bestimmungsort gebracht. Besondere Bedeutung haben Schiffstransporte in Entwicklungsländern, wo Transporte über Land oder durch die Luft bislang an fehlenden Straßen und Flugplätzen scheitern. Schiffe sind in diesen Regionen oft der einzige Weg, große Warenmengen über Flüsse, Seen und die Küstengewässer von einem Ort zum anderen zu befördern.

Die Motivation für Transporte über das Meer ist immer dieselbe und in einfachen Worten zu erklären: Schiffe transportieren Waren und Güter aus einer Region, in der sie vergleichsweise günstig herzustellen sind, in Gegenden, wo sie um ein Vielfaches teurer verkauft werden können. In Hinblick auf den Gesamtwert der weltweit gehandelten Waren, entfällt Schätzungen zufolge nur ein Anteil von 60 bis 70 Prozent auf die Schifffahrt. Grund dafür ist, dass hochpreisige Güter und Waren mittlerweile oft als Luftfracht verschickt werden – vor allem, wenn sie ihre Empfänger so schnell wie möglich erreichen sollen.

Für die Statistik werden Schiffstransporte in drei verschiedene Kategorien eingeteilt. Die erste Kategorie umfasst Transporte von Rohöl, Erdgas und Erdölprodukten wie Diesel, Kerosin, Propangas, Bitumen und Asphalt in Tankern. In die zweite Kategorie fallen Schüttguttransporte, insbesondere Eisenerz, Getreide und Kohle, die in Massengutfrachtern transportiert werden. Die dritte Kate-



4.1 > Die Menge der von Schiffen transportierten Güter nimmt seit Jahren zu. Mehr als zwei Drittel aller Frachten bestehen aus Schüttgut, sonstigen Trockenladungen und Containerware. Der Rest sind Tankerladungen.

gorie umfasst alle weltweit gehandelten Containerwaren sowie sonstige nicht flüssigen Waren, inklusive Stückgut, Autos und Tiertransporte.

Vergleicht man die Frachtstatistik aus dem Jahr 1970 mit jener von heute, zeigen sich drastische Unterschiede. Zum einen hat sich die Gesamtmenge der per Schiff transportierten Waren innerhalb von 50 Jahren mehr als vervierfacht. Sie ist von 2,6 Milliarden Tonnen im Jahr 1970 auf rund elf Milliarden Tonnen im Jahr 2019 gestiegen. Zum anderen ist der Anteil von Erdöl- und Erdgastransporten deutlich gesunken. Machten diese im Jahr 1970 noch 55 Prozent der transportierten Güter und Waren aus, waren es 2019 nur noch rund 28 Prozent, wobei die Gesamtmenge des verschifften Erdöls gar nicht gesunken ist. Im Gegenteil, im Jahr 2019 wurde mehr als doppelt so viel Erdöl verschifft wie im Jahr 1970. Noch viel stärker aber hat die Menge der Transporte der dritten Kategorie zugenommen. Bezogen auf den Warenwert werden mittlerweile 60 Prozent der gehandelten Güter in Containern verschifft. Dieser hohe Anteil ergibt sich aus der Tatsache, dass in Container verladene Waren wie Unterhaltungstechnik, Computer, Kleidung, Sportartikel und Nahrungsgüter pro Tonne Gewicht in der Regel weitaus teurer sind als Schüttgut wie Öl, Eisenerz oder Kohle.

Verändert hat sich zudem die Richtung der Warenströme. Bis vor ungefähr zwei Jahrzehnten noch galten die alten Transport- und Handelsmuster aus Kolonialzeiten, wonach sogenannte Entwicklungsstaaten große Mengen an Rohstoffen und Rohmaterialien via Schiff exportierten und nur einige wenige Konsumgüter importierten. Seit der Jahrtausendwende aber wandelt sich das Bild: Viele dieser Länder importieren mittlerweile auch Rohstoffe und beteiligen sich sowohl in der Rolle des Käufers als auch Verkäufers aktiv am Handel mit Zwischen- und Endprodukten. Das heißt, Güter und Waren verlassen nicht nur das Land, sondern werden auch im großen Stil eingeführt. Nach Angaben der Konferenz der Vereinten Nationen für Handel und Entwicklung (United Nations Conference on Trade and Development, UNCTAD) sind die deutlichen Steigerungen der Schiffstransporte vor allem auf den zunehmenden Handel zwischen den Entwicklungsländern zurückzuführen.

Begünstigt wurde diese Entwicklung durch die Globalisierung von Produktionsprozessen und die zunehmende

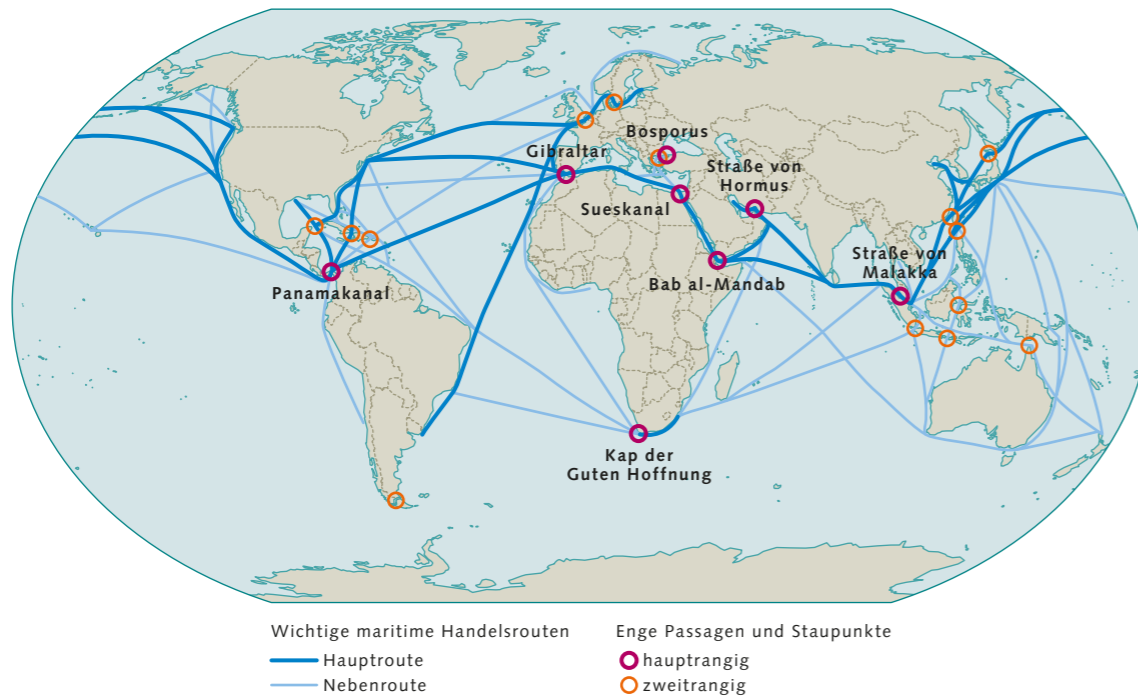
Arbeitsteilung, im Zuge derer Firmen die einzelnen Schritte ihrer Produktherstellung auf verschiedene Länder und Kontinente verteilt haben. Vor allem Schiffen kommt die Aufgabe zu, die verschiedenen Zwischenprodukte von einem Standort zum nächsten zu transportieren, bevor sie dort weiterverarbeitet werden. Nach UNCTAD-Angaben wird inzwischen mehr als die Hälfte der Waren, die Firmen mit Sitz in Industriestaaten herstellen, im Ausland produziert und verkauft. Gleichzeitig importieren diese Firmen Rohmaterial und Zwischenprodukte in derselben Größenkategorie aus anderen Ländern. Beide Entwicklungen haben dazu geführt, dass viele Märkte inzwischen sehr international aufgestellt sind und demzufolge auch entsprechend große Abhängigkeiten bestehen. Als zum Beispiel der 400 Meter lange Containerriesen „Ever Given“ im März 2021 im Sueskanal havarierte und dieses Nadelöhr des Welthandels sechs Tage lang blockierte, störte das den globalen Gütertransport erheblich. Hunderte Frachter standen im Stau, eng getaktete Lieferketten rissen und die wirtschaftlichen Folgen waren lange spürbar.

Der hohe Globalisierungsgrad der Weltwirtschaft erklärt auch, warum politische Spannungen zwischen industriellen Großmächten unmittelbare Auswirkungen auf die internationale Handelsschifffahrt haben können. Der Handelsstreit zwischen China und den USA beispielsweise bremste im Jahr 2019 nicht nur das Wachstum der gesamten Branche; er veranlasste zudem viele US-amerikanische Produzenten, sich nach alternativen Märkten umzuschauen und ihre Warenströme umzuleiten. Ein Beispiel: Rohstoffe und Güter, die bis zum Ausbruch der Auseinandersetzungen nach China exportiert wurden, gingen anschließend vor allem nach Südostasien.



4.2 > Der Megafrachter „HMM Hamburg“ ist 400 Meter lang und kann 23 964 Container laden. Damit gehört das Schiff, welches im Linienverkehr zwischen Europa und Ostasien fährt, zu den größten Containerschiffen der Welt.

4.3 > Die meisten Schiffstransporte erfolgen auf festen Routen, die Industriezentren miteinander verbinden. Fachleute teilen diese in Haupt- und Nebenstrecken ein und kennen auch jene Passagen, in denen Vorsicht geboten ist, etwa wegen eines hohen Schiffsaufkommens.



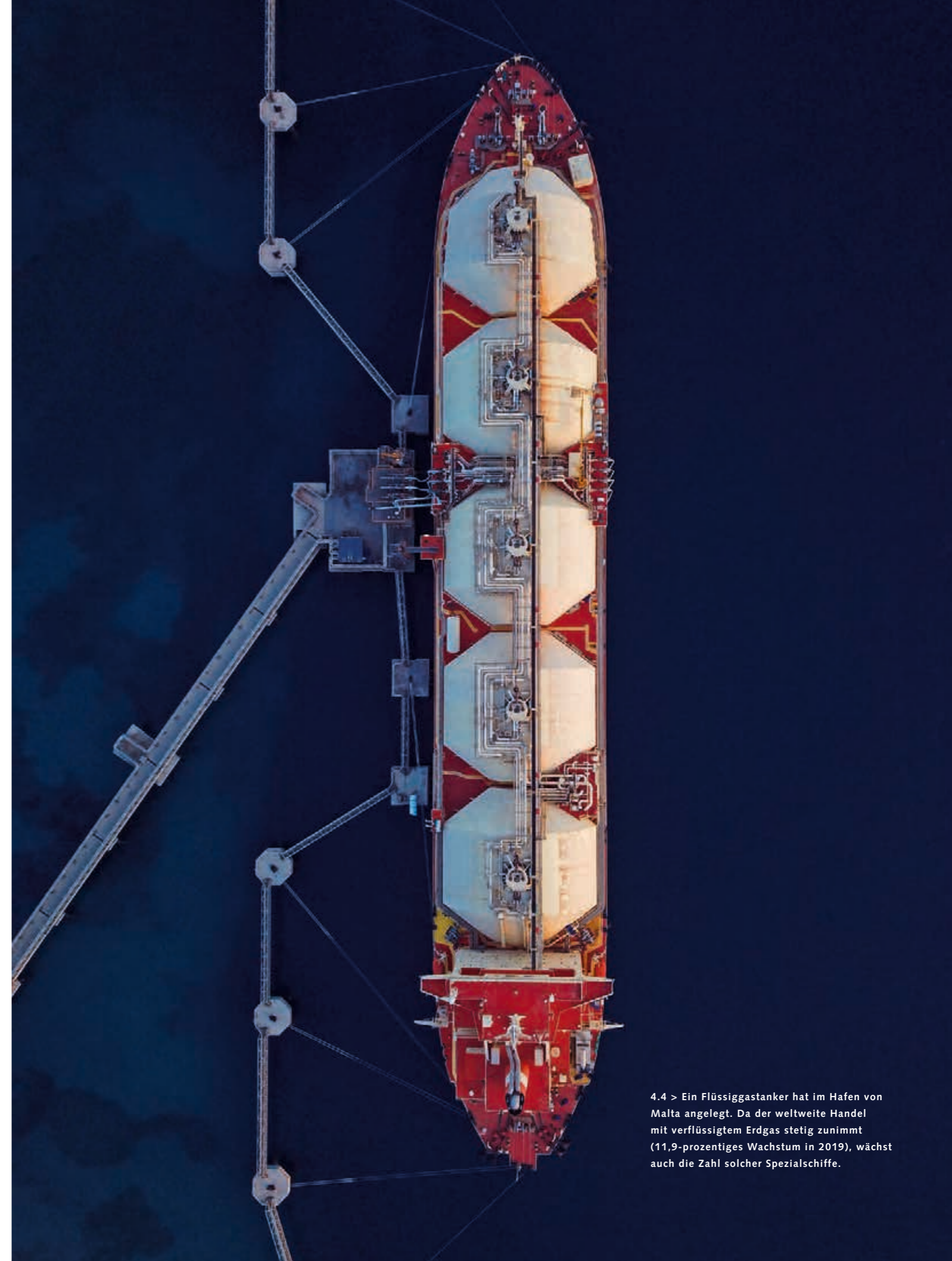
Der Aufstieg der Container

Die zunehmende Globalisierung der Produktion und Märkte seit den 1970er-Jahren stellte die Seeschifffahrt vor enorme Herausforderungen. Um zum Beispiel Lagerkosten zu sparen, bestellten Produzenten ihre Waren und Güter in kleineren Chargen und erwarten die Lieferung zu einem festgelegten Zeitpunkt (just in time). Diesen Anforderungen konnten die Reedereien nur gerecht werden, indem sie Waren nicht mehr als Massenfahrt behandelten, sondern sie in kleineren Einheiten verladen, welche sich im Zielhafen schnell auf Züge oder Lastwagen verteilen und an ihren individuellen Bestimmungsort bringen ließen. Der Aufstieg der Container begann und setzt sich bis heute fort – eine Entwicklung, die sich unter anderem in der Größe der Containerschiffe widerspiegelt. Hatte die erste Schiffsgeneration (gebaut in den frühen 1970er-Jahren) eine Ladekapazität von 600 bis 900 Schiffcontainers, fahren Containerschiffe der neuesten Generation mittlerweile rund 24 000 Container um die Welt.

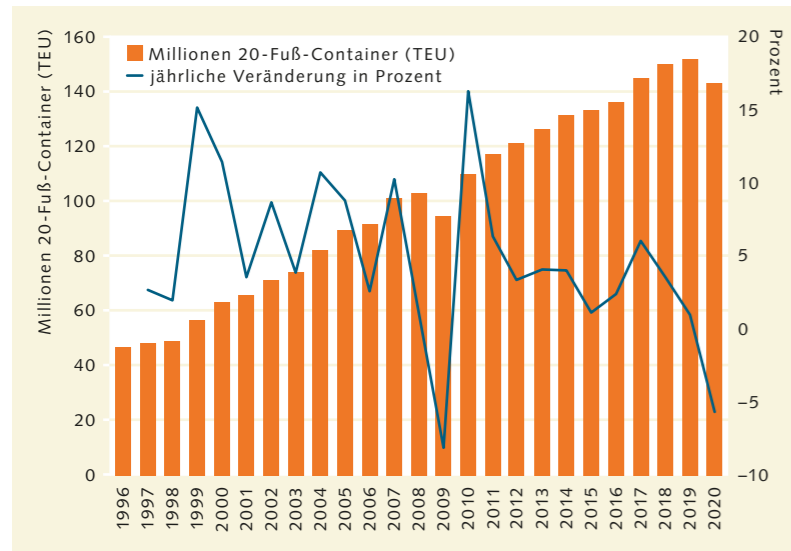
Die Containerriesen werden vor allem im Linienverkehr zwischen Europa und Asien sowie auf den Routen über den Atlantik und Pazifik eingesetzt. Auf den Haupt-

strecken des internationalen Schiffsverkehrs ist die Konkurrenz zwischen den Reedereien nämlich am größten und der Preisdruck besonders hoch. Je mehr Container ein Schiff unter diesen Umständen transportieren kann, desto günstigere Transportpreise kann die Reederei anbieten und desto wettbewerbsfähiger ist sie. Dieser Logik folgend, wurden in den zurückliegenden Jahren eine Vielzahl neuer Containerschiffe gebaut, weshalb die Preise für Schiffstransporte insgesamt weiter gesunken sind. Der Preisverfall wiederum motivierte Händler umso mehr, ihre Waren eher kurzfristig zu bestellen und liefern zu lassen, anstatt für deren Lagerung zu zahlen. Aus diesem Grund sind internationale Produktions- und Lieferketten mittlerweile in einem solchen Ausmaß von der Containerschifffahrt abhängig, dass die UNCTAD-Experten die Trends in dieser Transportbranche als direkten Anzeiger für gesamtwirtschaftliche Entwicklungen interpretieren.

Nach dem Motto „je größer, desto günstiger“ agieren auch die Akteure im Massengutfrachtverkehr. Bis vor etwa 20 Jahren wurden vor allem Schüttgutfrachter eingesetzt, die in der Regel um die 200 000 Tonnen Fracht laden konnten. Im Jahr 2011 ging dann das erste Schiff der sogenannten Valemax- oder Chinamax-Klasse mit einer



4.4 > Ein Flüssiggastanker hat im Hafen von Malta angelegt. Da der weltweite Handel mit verflüssigtem Erdgas stetig zunimmt (11,9-prozentiges Wachstum in 2019), wächst auch die Zahl solcher Spezialschiffe.



4.5 > Der Aufstieg der Containertransporte in Zahlen: Der leichte Rückgang im Jahr 2020 ist unter anderem auf die weltweiten wirtschaftlichen Folgen der Coronapandemie zurückzuführen.

Länge von mehr als 350 Metern und einer Ladekapazität (Tragfähigkeit) von rund 400 000 Tonnen in den Dienst. Es transportiert Eisenerz von Brasilien nach China und in andere asiatische Zielhäfen. Mittlerweile werden weltweit 61 solcher Schiffe eingesetzt, weshalb unter anderem auch die Transportpreise für Eisenerz auf der Strecke Brasilien–China um 25 Prozent gesunken sind.

Die Handelsflotte in Zahlen

Die Schiffe werden jedoch nicht nur größer – es werden auch immer mehr. Anfang 2020 zählten die UNCTAD-Experten insgesamt 98 140 Fracht-, Container-, Tank-, Fähr- und Passagierschiffe, die weltweit im Einsatz waren. Ihr gemeinsames Frachtvolumen belief sich auf 2,06 Milliarden Tonnen. Davon entfiel ein Anteil von 43 Prozent auf Massengutfrachter, dem weiterhin größten Geschäftsfeld. Öltanker machten mit einem Frachtvolumenanteil von 29 Prozent die zweitgrößte Sparte aus. Im Vergleich zur Handelsflotte aus dem Jahr 2000 (Frachtvolumen 800 Millionen Tonnen) hat sich das verfügbare Frachtvolumen damit innerhalb von zwei Jahrzehnten mehr als verdoppelt.

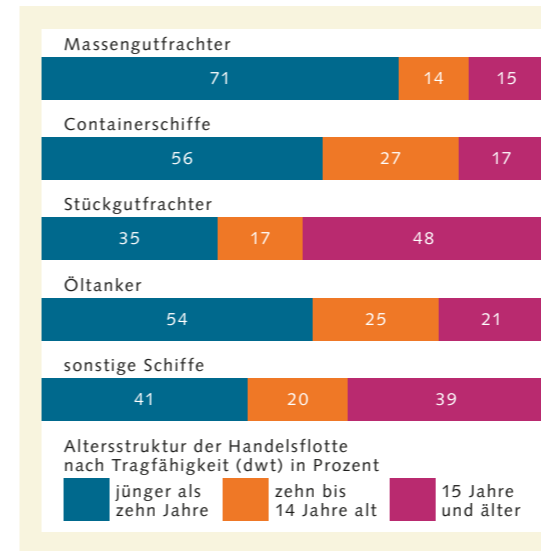
Die Menge der zu transportierenden Waren ist nicht im selben Umfang gestiegen. Die Folge sind Überkapazitäten, infolge derer die Frachtpreise sinken und die Gewinne der Reedereien schrumpfen, vor allem in der

Containerbranche. Diese seit Jahren andauernde Entwicklung hat in der Containerschifffahrt dazu geführt, dass kleinere Reedereien aufgekauft wurden und größere Reedereien Allianzen mit Marktkonkurrenten eingegangen sind. Mittlerweile kontrollieren drei große Zusammenschlüsse über 80 Prozent des weltweiten Containergeschäfts. Wichtig ist hierbei anzumerken, dass sich die Reedereien nicht mehr nur allein um den Transport der Waren und Güter von Hafen zu Hafen kümmern. Um vor allem die großen Containerschiffe gewinnbringend bestücken zu können, versuchen die Unternehmen so früh wie möglich Kontrolle über die Transportkette zu erlangen – noch bevor die Waren den Starthafen erreichen – und diese so lange wie möglich zu behalten, im Idealfall bis zur Lieferung direkt an den Empfänger.

Infolgedessen haben sich Reedereien zu multimodalen Logistikunternehmen entwickelt. Diese organisieren nicht nur die Schiffstransporte, sondern betreiben vielerorts auch Containerhafenterminals. Außerdem übernehmen sie den Weitertransport der Container in das Hinterland und betreiben auch dort Containerdepots. Von Bedeutung ist diese Entwicklung vor allem für Länder und Regionen abseits der großen Handelsrouten. Ihnen stehen nämlich weniger gut ausgebaute Handelsinfrastrukturen zur Verfügung, weshalb sie häufig auch höhere Frachtkosten zahlen als Länder entlang der Transitstrecken.

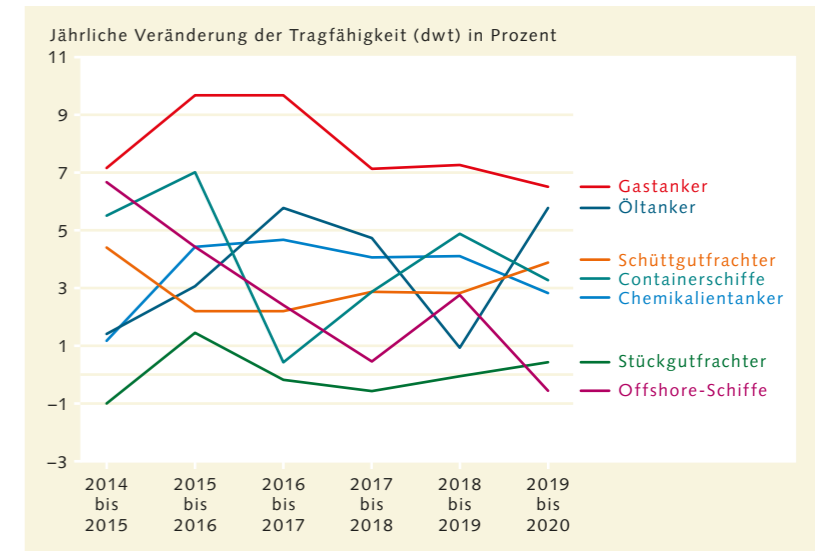
Die hohen Investitionen der Reedereien in größere Container- und Massengutfrachter spiegeln sich auch in der Altersstruktur der internationalen Handelsflotte wider. Ihr Durchschnittsalter betrug Anfang des Jahres 2020 etwa 21,3 Jahre. Sortiert nach Alterskategorien aber zeigt sich, dass vor allem Massengutfrachter, Containerschiffe und Öltanker zehn Jahre und jünger sind. Die Flotte der Frachtschiffe und Schiffe anderen Typs (Fähren und andere) wurden dagegen kaum erneuert; diese Schiffstypen waren im Jahr 2019 in der Regel älter als zehn Jahre.

Investitionen asiatischer Reedereien haben in den zurückliegenden Jahren auch dazu geführt, dass China, Singapur und Hongkong in die Top-5-Liste der Schiffseignernationen aufgestiegen sind. Gemeinsam mit Griechenland (Platz 1) und Japan (Platz 2) besitzen Schiffseigner aus diesen Ländern so viele Schiffe, dass sie mehr als die Hälfte des weltweit verfügbaren Frachtvolumens transportieren.



4.6 > Reedereien haben in den vergangenen Jahren vor allem in den Neubau von Massengutfrachtern und Containerschiffen investiert. Daher gibt es hier viele neuere Schiffe.

Registriert aber ist der größte Teil der Handelsflotte (70 Prozent der Frachtkapazität) unter ausländischer Flagge, weil damit bislang eine Menge finanzieller und regulatorischer Vorteile einhergingen. Offene Schiffsregister erleichterten es Reedereien beispielsweise, ausländische Besatzungen anzustellen und Steuern zu sparen. Schiffs-eigner entscheiden sich heutzutage aber auch aus anderen Gründen für ein Ausflaggen ihrer Schiffe. Ist ein Schiff beispielsweise bei einem Register mit einem weltweit guten Ruf geführt, nehmen Schiffsinspektionen im Hafen weniger Zeit in Anspruch, wodurch die Reederei jedes Mal Geld spart. Immer wichtiger aber wird auch die Frage nach modernen Sicherheitsvorkehrungen (Cybersicherheit) und zertifizierten Prozessen. Beides wird benötigt, um den reibungslosen Ablauf der Transporte sowie eine Akzeptanz beim Kunden langfristig zu garantieren. Die Schiffseigner wählen daher stets jenes Register oder jene Flagge, deren Dienstleistungen am besten zum eigenen Geschäftsprofil passen und die am Ende am günstigsten sind. Schiffe, die heutzutage noch unter nationaler Flagge fahren, tun dies größtenteils, weil sie staatlichen Firmen oder Institutionen gehören, staatliche Subventionen erhalten oder aber Transportleistungen in einem anderen Land erbringen, welches den Zugang zu seinem Binnen-



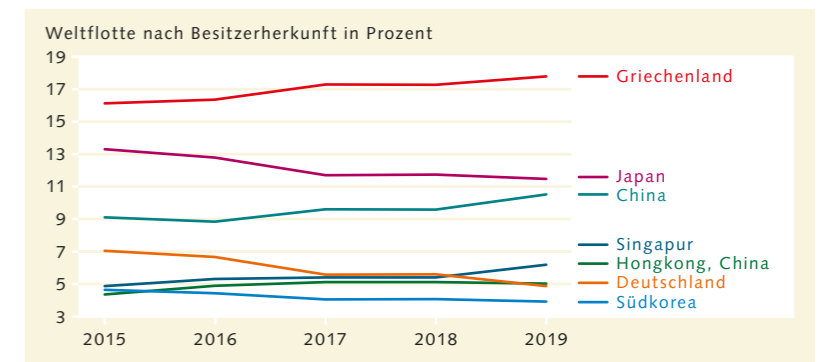
markt auf Dienstleister aus bestimmten Nationen beschränkt hat.

Führende Flaggenstaaten sind Panama, Liberia und die Marshallinseln, gefolgt von Hongkong (China) und Singapur. Sie und die vielen anderen Flaggenstaaten stehen zunehmend in der Pflicht, geltende Schifffahrtsvorschriften sowie Sicherheits-, Umwelt-, Arbeits- und Sozialstandards auch tatsächlich durchzusetzen.

Ob Flaggenstaaten und Schiffsregister dieser Rolle gerecht werden, wird in Europas Häfen beispielsweise durch Schiffskontrollen nach gemeinschaftlichen Standards des Pariser Übereinkommens zur Hafenkontrolle

4.7 > Die Situation auf den Handelsmärkten diktiert, welche Schiffstypen gebraucht werden. Im Zeitraum 2019 bis 2020 wuchsen vor allem die Flotten der Gas- und Öltanker.

Ausflaggen
Beim Ausflaggen wird das Schiff nicht im Heimatland der Reederei registriert, sondern in einem anderen Staat, ohne dass sich dabei auch die Eigentumsverhältnisse am Schiff ändern. Gründe sind oft Kostenersparnisse sowie die Möglichkeit, ausländisches Personal einzustellen.



4.8 > Fast 40 Prozent aller Handelsschiffe gehören Personen oder Unternehmen mit Sitz in Griechenland, Japan oder China. Der Anteil aller anderen Nationen liegt im einstelligen Bereich.

(Paris Memorandum of Understanding on Port State Control, Paris MoU) überwacht. Ihm sind mittlerweile 27 europäische Staaten beigetreten.

Jeder Mitgliedstaat meldet die Ergebnisse seiner Schiffskontrollen an das Komitee des Paris MoU, welches eine jährlich aktualisierte Bewertungsliste für Flaggenstaaten und Schiffsregister herausgibt. Akteuren, die auf dieser Liste in der Kategorie „weiß“ geführt werden, konnten vergleichsweise wenig Verstöße nachgewiesen werden. Staaten und Register in der Kategorie „grau“ sind ihren Aufsichtspflichten nur mäßig nachgekommen; Akteuren in der Kategorie „schwarz“ bescheinigen die Kontrolleure große Versäumnisse.

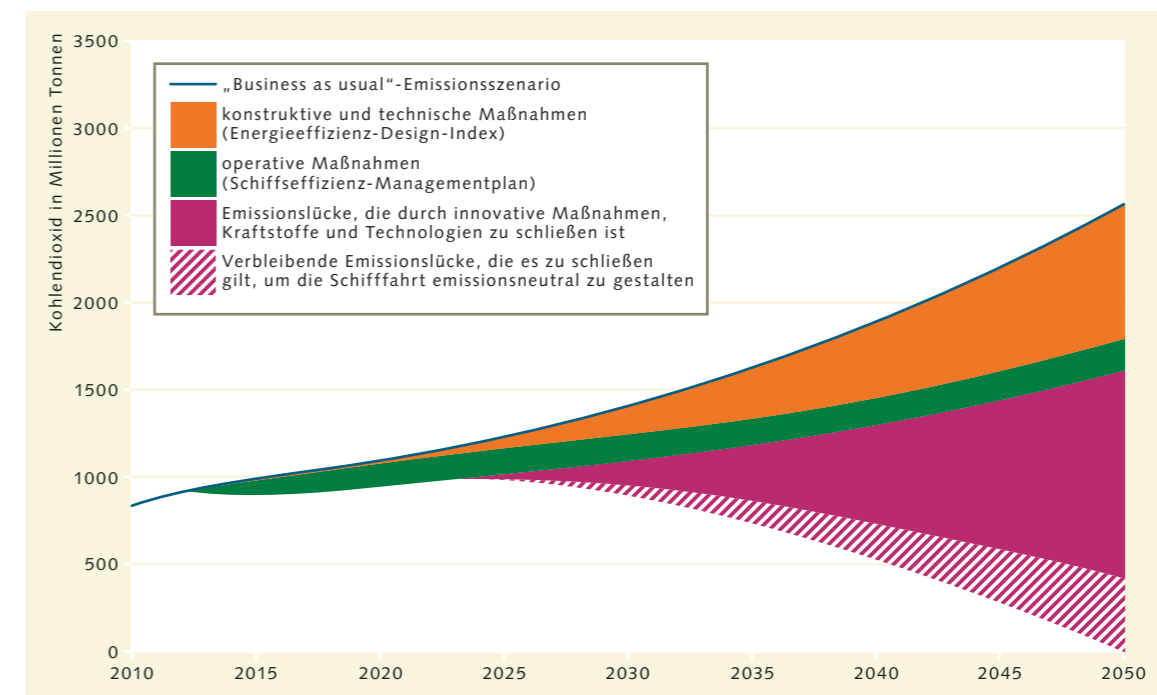
Im Jahr 2019 führten Mitgliedstaaten des Paris MoU fast 18 000 Schiffsinspektionen durch. Dabei gab es bei mehr als der Hälfte sachliche Beanstandungen. 526-mal wurden Schiffe im Hafen festgesetzt, um eine Weiterfahrt unter den gegebenen Umständen zu verhindern. 27-mal wurden Schiffe mit einem Hafenverbot belegt – etwa, weil sie trotz Festsetzung ausgelaufen waren, auferlegte Reparaturen nicht durchgeführt wurden oder aber innerhalb

von drei Jahren dreimal bei Kontrollen festgesetzt worden waren. Auf seiner aktuellen Bewertungsliste führt das Komitee derzeit 41 Flaggenstaaten in der Kategorie „weiß“, 16 in der Kategorie „grau“ und 13 auf der untersten Stufe „schwarz“. Zu den Hochrisiko-Nationen gehören demzufolge die Komoren, Albanien und Togo, gefolgt von Moldawien, Tansania und der Ukraine.

Obwohl Flaggenstaaten zunehmend gefordert sind, Auflagen und Regeln durchzusetzen, spielt bei den Transporten selbst immer weniger eine Rolle, woher die Beteiligten kommen. Die Handelsschifffahrt ist ein durch und durch internationalisiertes Geschäftsfeld. Der Betrieb eines Schiffes kann Menschen und Maschinen aus mehr als zwölf Ländern zusammenbringen – zum Beispiel, wenn ein Schiff, das in Korea gebaut wurde und griechischen Schiffseignern gehört, von einem dänischen Reeder gechartert wird, der dann über einen Agenten auf Zypern eine philippinische Besatzung anheuert. Das Schiff ist derzeit in Panama registriert, in Großbritannien versichert und transportiert im Linienverkehr in Deutschland hergestellte Waren von einem Hafen in den Niederlanden nach



4.9 > Ruß, Schwefeloxide, Feinstaub: Mit ihren Abgasen verpesteten Schiffe jahrzehntelang die Luft. Eine Belastung waren vor allem jene Wasserfahrzeuge, die Schweröl als Treibstoff einsetzten. Seit Januar 2020 aber gilt eine neue Vorschrift: Kraftstoff muss jetzt schwefelarm sein.



4.10 > Um den Kohlendioxid ausstoß der Handelsschifffahrt bis zum Jahr 2050 zu halbieren, setzt die Internationale Seeschifffahrts-Organisation auf eine Vielzahl technischer Neuerungen. Ihren Berechnungen zufolge reicht es nämlich längst nicht aus, die Schiffe nur energie- und damit treibstoffsparender zu betreiben.

Argentinien, wobei die Terminals in beiden Häfen von Firmen aus Hongkong und Dubai betrieben werden. Die für den Terminalbetrieb notwendige Software und IT-Leistungen wiederum liefert eine Firma aus Indien. Diese Globalisierung funktioniert allerdings nur, weil entscheidende Faktoren der Handelsschifffahrt wie etwa die Containergröße, Informations- und Datensysteme sowie Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen weltweit vereinheitlicht werden und vielerorts dieselben Standards gelten.

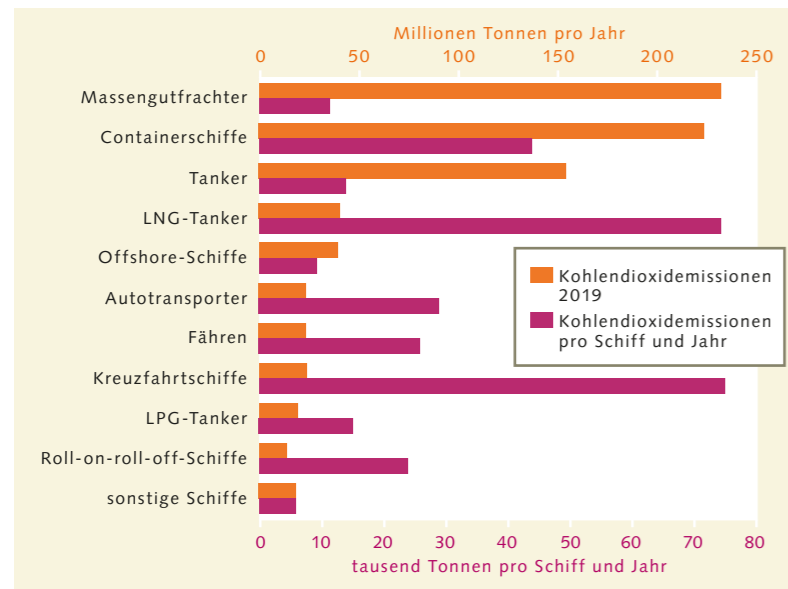
Wege in eine emissionsfreie Schifffahrt

Güter und Waren mit dem Schiff über den Ozean zu transportieren, ist bis heute die energieeffizienteste Form des internationalen Warentransportes. Dennoch verursachte die motorengetriebene Schifffahrt in den zurückliegenden zehn Jahren mehr und mehr Treibhausgasemissionen, denn bislang werden nahezu ausschließlich Dieselmotoren eingesetzt. Dabei nutzen Seeschiffe entweder Schweröl oder Marinediesel als Treibstoff. Nach Angaben der Internationalen Energieagentur (International Energy Agency, IEA) wurden in der internationalen Schifffahrt im Jahr 2019 folgende Kraftstoffe verwendet: Schweröl in

einem Umfang von 180 Millionen Tonnen Erdöläquivalent; destillierte Treibstoffe wie Schiffs- oder Marinediesel in einem Umfang von 45 Millionen Tonnen Erdöläquivalent sowie Erdgas, hauptsächlich in Form von Flüssigerdgas, in einem Umfang von 0,1 Millionen Tonnen Erdöläquivalent.

Bei der Verbrennung dieser Treibstoffe entstehen hohe Treibhausgasemissionen. Nach Angaben der Internationalen Seeschifffahrts-Organisation (International Maritime Organization, IMO) verursachte die internationale Schifffahrt – Fischerei und Handelsschifffahrt in nationalen und internationalen Gewässern zusammengekommen – im Jahr 2018 Treibhausgasemissionen in Höhe von 1076 Millionen Tonnen Kohlendioxidäquivalent (CO₂e) – ein Plus von 9,6 Prozent im Vergleich zum Jahr 2012 mit 977 Millionen Tonnen. Damit macht die Seefahrt mittlerweile 2,89 Prozent der weltweit vom Menschen freigesetzten Treibhausgasemissionen aus. Würde sich das Wachstum der Schifffahrtsbranche bis zur Mitte des Jahrhunderts auf die gleiche Art und Weise fortsetzen wie bisher, sagen Experten eine weitere Zunahme der schiffsbasierten Kohlendioxidemissionen um 50 bis 250 Prozent voraus.

Kohlendioxidäquivalent (CO₂e)
CO₂-Äquivalent (CO₂e) wird als Einheit für Treibhausgasemissionen verwendet, die sowohl Kohlendioxid als auch weitere Treibhausgase wie Methan und Lachgas umfassen. Deren Wirkung auf die Erwärmung der Erdatmosphäre wird dabei in die äquivalente Menge von Kohlendioxid (CO₂) umgerechnet, damit die Erwärmungswirkung eines Treibhausgasgemisches durch eine einzige Zahl angegeben werden kann.



4.11 > Experten der UNCTAD führen Buch darüber, welche Schiffstypen und Flotten wie viel Kohlendioxid ausstoßen. Ihre Bilanz für das Jahr 2019 zeigt: Massengutfrachter hatten die höchsten Flottenemissionen, weil es so viele von ihnen gibt. Kreuzfahrtschiffe waren Spitzenreiter in der Einzelwertung.

Eine solche Entwicklung würde zwangsläufig dazu führen, dass das im Pariser Klimaabkommen von 2015 verbriefte Ziel, die globale Erwärmung bis zum Jahr 2100 auf unter zwei Grad Celsius zu beschränken, verfehlt würde. Daher gilt für die Schifffahrt wie für alle anderen Sektoren die Maßgabe, ihre Treibhausgasemissionen drastisch zu reduzieren. Erste Pläne in diese Richtung gibt es bereits. Die IMO beschloss im April 2018, die Menge aller Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 so weit zu reduzieren, dass sie sich im Vergleich zum Jahr 2008 halbieren; die Menge der Kohlendioxidemissionen soll bis zu diesem Zeitpunkt schon um 70 Prozent reduziert werden. Das Langfristziel aber lautet, Emissionen vollständig zu vermeiden.

Die Entwicklung hin zu einer emissionsfreien Schifffahrt verlangt eine radikale Transformation des Sektors. Experten der Weltenergiebehörde und der UNCTAD kommen nämlich zu dem Schluss, dass emissionsmindernde Maßnahmen wie langsames Fahren oder aber eine verbesserte Auslastung der Schiffe bei Weitem nicht ausreichen, um den Treibhausgasausstoß der Schifffahrt wirkungsvoll zu senken. Stattdessen werden sowohl alternative Antriebsformen als auch neue Treibstoffe zum Einsatz kommen müssen, deren Verbrennung keine oder nur sehr geringe Mengen Treibhausgase freisetzt.

Die Zeit aber drängt: Schiffe mit emissionsfreien Antrieben müssen nach Ansicht der Getting to Zero Coalition, einer Initiative der Privatwirtschaft, spätestens im Jahr 2030 eingesetzt werden, soll das Ziel einer emissionsfreien Schifffahrt langfristig erreicht werden. Genau an diesem Punkt aber befindet sich der Sektor derzeit in einem Dilemma, welches die Akteure selbst als Systemblockade bezeichnen. Die Problemlage gestaltet sich wie folgt:

Die internationale Meeresschifffahrt ist ein kapitalintensiver Industriesektor, dessen hohe Investitionen, etwa in den Neubau eines Schiffes, sich erst über viele Jahre hinweg auszahlen. Das heißt, Investoren haben ein Interesse daran, dass Schiffe möglichst lange im Einsatz sind. Der Wettbewerb ist hoch, die Gewinnmargen gelten als vergleichsweise klein. Außerdem hängt das Wohlergehen der gesamten Branche davon ab, dass weltweit ausreichend Schiffstreibstoff zur Verfügung steht.

Die Entwicklung alternativer Treibstoffe aber ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ausreichend weit vorangeschritten, was potenzielle Investoren verunsichert. Zudem ist absehbar, dass mögliche alternative Kraftstoffe zunächst einmal teurer sein werden als Treibstoffe auf Erdölbasis. Diese Aussicht wiederum stellt die Wettbewerbsfähigkeit von Schiffen mit neuen Technologien infrage, sofern sich die Marktbedingungen nicht verändern. Denkbar in diesem Zusammenhang wäre zum Beispiel, die Umstellung auf neue emissionsärmere oder -freie Treibstoffe zu fördern, indem eine internationale CO₂-Steuer erhoben wird.

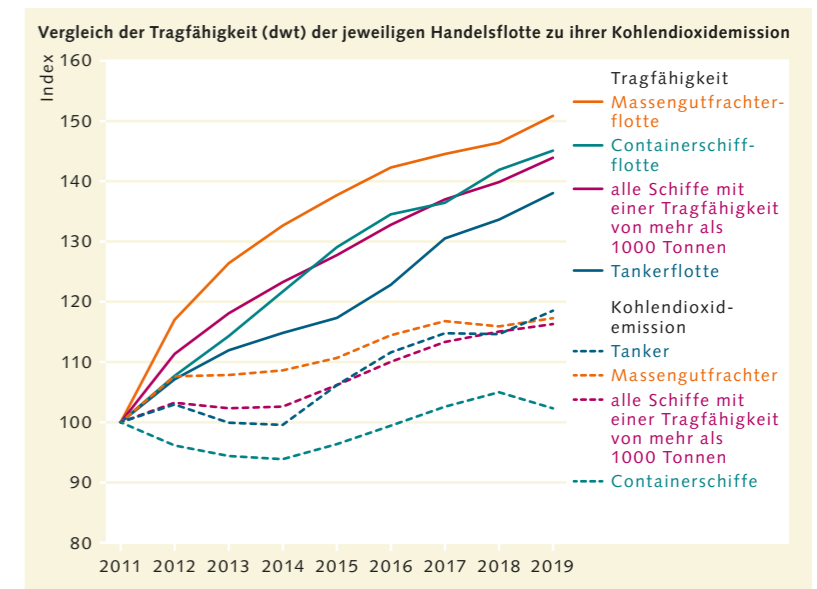
Viele Akteure der Schifffahrtsbranche selbst befürworten einen solchen Schritt, wenn er flächendeckend und somit für alle Wettbewerbsteilnehmer im gleichen Maß gilt. Den meisten ist längst bewusst, dass Schiffs-kraftstoffe bislang viel zu günstig gehandelt werden und die Branche bis jetzt auf keinerlei Weise für die entstehenden Langzeitschäden durch die Schiffsemissionen zahlt. Experten des Internationalen Währungsfonds befürworten eine Kohlendioxidsteuer ebenfalls. Ihren Berechnungen zufolge könnte eine Steuer von 75 US-Dollar für jede Tonne von freigesetztem Kohlendioxid die schiff-fahrtsbedingten Emissionen bis zum Jahr 2040 um 25 Prozent senken und Einnahmen von 150 Milliarden US-Dollar generieren, die dann in Forschung und Entwicklung investiert werden könnten.

Denselben Ansatz verfolgen die Internationale Schifffahrtskammer (International Chamber of Shipping, ICS) und andere Organisationen aus der Branche. Sie schlagen ein gemeinsames IMO-Förderprogramm für Forschung und Entwicklungen von emissionsfreien Antrieben und Treibstoffen vor. Finanziert werden soll es durch Schiffscharterer, indem diese eine feste Abgabe auf jede Tonne getankten Treibstoff zahlen. Auf diese Weise würden etwa fünf Milliarden US-Dollar zusammenkommen – Geld, welches im Forschungsbereich dringend benötigt wird.

Der Leitgedanke hinter diesem Ansatz lautet: Je höher die Abgaben auf Kohlendioxidemissionen und je günstiger neue Technologien sind, desto eher werden Schiffseigner ihre konventionelle Flotte durch Schiffe mit emissionsarmen Antrieben ersetzen. Die IMO sammelt bereits seit Januar 2019 Angaben über den Treibstoffverbrauch der internationalen Handelsflotte. Schiffe mit einer Brutto-raumzahl von 5000 und mehr (Größenangabe für Schiffe) müssen einmal jährlich melden, wie viel Treibstoff sie für welche Transporte verbraucht haben. Ziel dieser Datenerfassung ist es, sowohl den Energieverbrauch als auch das Emissionsvolumen der Schifffahrt besser abschätzen zu können.

Um deren Dekarbonisierung voranzutreiben, bedarf es aber vor allem Geld. Für eine Halbierung ihrer Emissionen bis 2050 muss die Schiffsbranche einer Studie des Global Maritime Forum zufolge im Zeitraum von 2030 bis 2050 etwa ein bis 1,4 Billionen US-Dollar investieren. Für eine vollständige Dekarbonisierung der Branche wären etwa 1,4 bis 1,9 Billionen US-Dollar erforderlich. Nur zum Vergleich: Allein im Jahr 2018 investierten Regierungen und Wirtschaft weltweit 1,85 Billionen Dollar in den Energiesektor. Solche Summen sind demzufolge nicht völlig undenkbar.

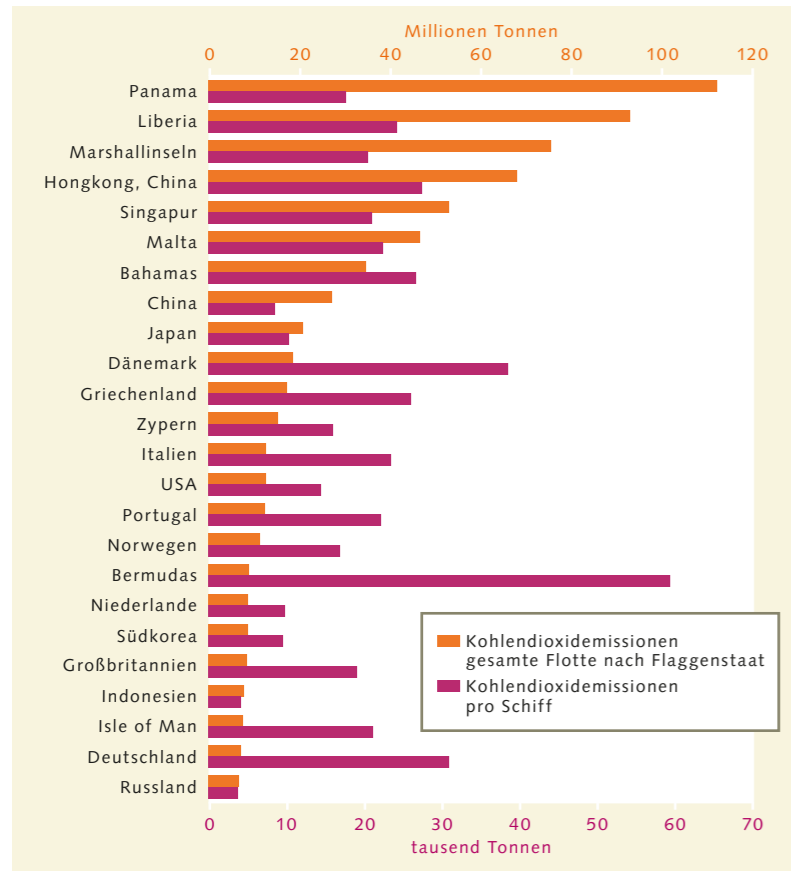
Gegen zunehmende Investitionen spricht bislang allerdings, dass in der Schiffsbranche nicht der Investor oder Schiffseigner selbst von den technischen Neuerungen profitieren würde, sondern die Unternehmen, welche die Schiffe für Transporte chartern. Als Grundsatz gilt nämlich in der internationalen Schifffahrt, dass der Charterer den Treibstoff bezahlt – und im Fall der Fälle eben auch die Steuer auf Treibhausgasemissionen. Der Schiffseigner müsste zwar die Umrüstung bezahlen, Nutznießer der daraus resultierenden Vorteile aber wären andere.



Schiffseigner und Investoren haben außerdem ein starkes Interesse daran, dass ihre Fahrzeuge möglichst lange im Dienst sind, um die entsprechenden Gewinne abzuwerfen. Experten der UNCTAD haben deshalb einmal nachgerechnet: Würden Schiffe auch künftig so lange im Einsatz bleiben, wie es bisher der Fall war, wären im Jahr 2051 vermutlich noch fast 30 Prozent der heutigen Flotte von Offshore-Versorgungsschiffen im Dienst; mehr als 20 Prozent aller Fähren und Passagierschiffe und weit mehr als zehn Prozent aller Frachter. Emissionsarme Technologien müssten deshalb so schnell wie möglich auf den Markt kommen, damit möglichst wenige der Neubauten noch mit konventionellen Motoren ausgestattet werden, schlussfolgern die UNCTAD-Autoren. Der Bericht eines großen Herstellers von Schiffstreibstoffen bringt es noch klarer auf den Punkt. Dort heißt es: 2030 ist morgen – und 2050 nur ein Schiffsleben weit weg.

Aufgrund dieser komplexen Interessenlage und der stetig wachsenden Dringlichkeit von Emissionsreduktionen fordern Fachleute der Transportbranche klare Vorgaben von der Politik und den Schifffahrtsverbänden. Gebraucht werden ein weltweit geltendes Regelwerk und ein sicheres Wettbewerbsfeld, in dem grüne Technologien nicht nur den wirtschaftlich erfolgreichsten Unternehmen vorbehalten sein dürfen. Stattdessen müsste es internationale Investitionsanreize geben, die anfängliche Wettbe-

4.12 > Seit dem Jahr 2011 ist die Ladekapazität der Handelsflotte deutlich stärker gestiegen als ihre Gesamtemissionen. Das heißt, Waren und Güter mit einem voll beladenen Megafrachter zu transportieren, verursacht weniger Treibhausgase, als würde man zwei Schiffe auf die Reise schicken.



4.13 > Die Treibhausgasemissionen eines Schiffes werden der Klimabilanz seines Flaggenstaates zugerechnet. Während die Gesamtemissionen der in Deutschland registrierten Schiffe nur einen kleinen Teil ausmachen, sind sie pro Schiff gerechnet besonders hoch. Es handelt sich nämlich vor allem um Containerschiffe.

werbensnachteile (alternativer Treibstoff teurer als Schiffsdiesel oder Schweröl) auffangen. Denkbar wären zum Beispiel Steuererleichterungen für Investitionen in nachhaltige Schiffstechnik.

In einer Umfrage nach Lösungsansätzen haben führende Akteure der internationalen Handelsschifffahrt im Sommer 2020 die folgenden fünf Handlungsfelder als prioritär bestimmt:

1. Die Nachfrage nach emissionsarmen Schiffstransporten steigern

Um Investoren und Reedereien Sicherheit zu geben, muss die Nachfrage nach emissionsarmen Schiffstransporten gesteigert werden. Charterunternehmen und Kunden müssten Langzeitverträgen und grünen Liefervereinbarungen zustimmen. Staatseigene Unternehmen und Großkonzerne mit ambitionierten Emissionszielen könnten hier den Anfang machen.

2. Einheitliche Regeln und Fristen

Um Wettbewerbs- und Chancengleichheit zu garantieren, braucht die Schifffahrtsbranche weltweit einheitlich geltende Regeln und Fristen für die Einführung emissionsreduzierender Maßnahmen. Wichtig sei dafür auch, neue Richtlinien der Internationalen Seeschifffahrts-Organisation IMO, die für 2023 erwartet werden, mit führenden nationalen und regionalen Schifffahrtsbehörden abzustimmen.

3. Sektorengrenzen überschreitende Forschung und Entwicklung

Für die Entwicklung emissionsarmer Schiffstechnologien muss die Branche über ihre eigenen Sektorengrenzen hinaus denken und Forschungsk Kooperationen mit Akteuren eingehen, die außerhalb der Schifffahrtsbranche an ähnlichen Fragestellungen arbeiten. Diese Akteure können beispielsweise aus der Energie- oder Automobilbranche kommen. Benötigt werden außerdem viel mehr Kapital und Expertise, um die Technologien voranzutreiben und gleichzeitig die für deren Produktion und Betrieb erforderlichen Infrastrukturen bereitzustellen.

4. Pilotprojekte ausbauen

Wichtige Fortschritte könnten erzielt werden, indem grüne Pilotprojekte unter normalen Wettbewerbsbedingungen getestet werden – auf ausgewählten Transportstrecken und einschließlich aller Akteure wie Kunden, Charterunternehmen, Reedereien, Schiffseigner und Hafenvertreter. Besonders geeignet für solche Praxistests wären Containerschiffe, die im Linienverkehr auf kürzeren Routen fahren.

5. Koordinierte Selbstverpflichtung der gesamten Schiffsindustrie

Um die Wirksamkeit bestehender Klimaschutzinitiativen zu erhöhen, müssen die Ziele und Maßnahmen der verschiedenen Anstrengungen zusammengeführt und verstärkt werden. Diese Aufgabe könnte ein gemeinsam ins Leben gerufenes Steuergremium übernehmen, dessen Hauptaufgabe es wäre, den Ideen Taten folgen zu lassen und den Sektor aus seiner derzeitigen Entwicklungsstarre zu befreien.

Die wichtigsten internationalen ordnungspolitischen Regelwerke bezüglich Luftverschmutzung und Treibhausgasemissionen in der Seeschifffahrt				
Name	Geografische Reichweite	Jahr der Einführung	Beschreibung	Regulatorischer Akteur
IMO-Auftaktstrategie	Global	2018 verabschiedet	Reduzierung der absoluten Treibhausgasemissionen aus der Schifffahrt um mindestens 50 Prozent bis 2050 gegenüber 2008; Reduzierung der CO ₂ -Emissionen pro Transport um mindestens 40 Prozent bis 2030; zusätzliche Anstrengungen in Richtung 70 Prozent bis 2050	IMO
Datenerfassungssystem (Data Collection System, DCS) für Brennstoffverbräuche	Global	2019	Alle Schiffe ab 5000 Bruttoreaumzahl (BRZ), die in der internationalen Seefahrt betrieben werden, müssen Verbrauchsdaten und andere Daten für den Brennstoffverbrauch nach Brennstoffart erfassen. Die Flaggenstaaten müssen die Daten sammeln, aggregieren und an die IMO übermitteln	IMO
Einreichung von CO ₂ -Emissionsberichten (MRV)	Schiffe, die EU-Häfen anlaufen	2018	Unternehmen müssen einen CO ₂ -Emissionsbericht einreichen für alle Fahrten, die Schiffe unter ihrer Verantwortung in der Europäischen Union machen	Europäische Kommission
EU-Emissionshandlungssystem (ETS)	Schiffe, die EU-Häfen anlaufen	2022 (erwartet)	Vorschlag, die Schifffahrt als Bestandteil des Green Deal in das ETS einzubeziehen	Europäische Kommission
Energieeffizienzkennwert (Energy Efficiency Design Index, EEDI)	Global	2013 in Kraft gesetzt	Erfordert eine Mindestenergieeffizienz pro Tonne Ladung und Seemeile für große Schiffsneubauten und schreibt abhängig vom Schiffstyp Verbesserungsschritte vor: zehn Prozent im Jahr 2015, 20 Prozent im Jahr 2020 und 30 Prozent im Jahr 2030 im Vergleich zur durchschnittlichen Leistung von Schiffen, die zwischen 2000 und 2010 gebaut wurden	IMO
Schiffsbetriebsplan zum Energieeffizienzmanagement (Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEMP)	Global	2016 verabschiedet	Überwacht die Energieeffizienz an Bord, verordnet die Sammlung und Meldung relevanter Daten und etabliert Mechanismen zur Effizienzsteigerung des bestehenden Schiffsbetriebes	IMO
Weltweit geltender Schwefelgrenzwert	Global	Januar 2020	Begrenzt den Schwefelgehalt des verwendeten Brennstoffes an Bord von Schiffen, die außerhalb der Schwefelemissionsüberwachungsgebiete (SECAs) verkehren, auf einen Höchstwert von 0,5 Prozent. Bei Schiffen, die nicht über Nassabscheider für die Abgasreinigung verfügen, darf der Schwefelgehalt im Brennstoff 0,5 Prozent nicht überschreiten	IMO
Emissionsüberwachungsgebiete (Emission Control Areas, ECAs)	Ostsee, Nordsee, Karibisches Meer, nord-amerikanische Seegebiete	Jeweils in Kraft gesetzt in den Jahren 2005, 2006, 2012 und 2014	Für in diesen Gebieten operierende Schiffe gelten strengere Anforderungen hinsichtlich des Ausstoßes von SO _x und NO _x als in globalen Gewässern. Insbesondere ist in SO _x -ECAs ein maximaler Schwefelgehalt von 0,10 Prozent im Schiffsbrennstoff vorgeschrieben, und für in NO _x -ECAs operierende Schiffe gelten die NO _x -Standards der Stufe III	IMO

Anmerkungen: IMO = Internationale Seeschifffahrts-Organisation (engl. International Maritime Organization); MRV = Messung, Berichtswesen, Verifizierung (engl. monitoring, reporting and verification); SO_x = Schwefeloxide; NO_x = Stickoxide

4.14 > In den zurückliegenden zwei Jahrzehnten haben die IMO und die EU-Kommission bereits eine Reihe von Schritten unternommen, um die Emissionen der Handelsschifffahrt zu reduzieren. Ihre wichtigsten Initiativen sind hier gelistet.

Was treibt die Schiffe von morgen an?

Eine der Hürden auf dem Weg in eine emissionsarme Schifffahrt sind die fehlenden Fortschritte in der Entwicklung emissionsfreier Treibstoffe und Antriebssysteme. Für Transporte auf Binnengewässern oder über kurze Distanzen in Küstengewässern bieten sich batteriebetriebene Elektromotoren an. Berichten zufolge sind derzeit weltweit etwa 250 Schiffe mit einem Elektro- oder Hybridantrieb im Einsatz oder werden gerade gebaut. Norwegen beispielsweise will bis 2022 etwa 80 elektrisch betriebene Fähren in den Linienverkehr aufnehmen. Elektrische Antriebe werden mittlerweile aber auch schon in Schleppern sowie in Aquakultur- und Fischereifahrzeugen verbaut. Erste Kreuzfahrtunternehmen haben ebenfalls angekündigt, neue Schiffe mit großen Batteriesystemen auszustatten, die einen Hybridantrieb ermöglichen. Außerdem sollen Kreuzfahrt- und andere Schiffe bei Hafensbesuchen öfter mit Strom von Land versorgt werden. Durch diese Maßnahme allein ließen sich bis zu elf Prozent der Treibhausgasemissionen in der internationalen Seeschifffahrt vermeiden.

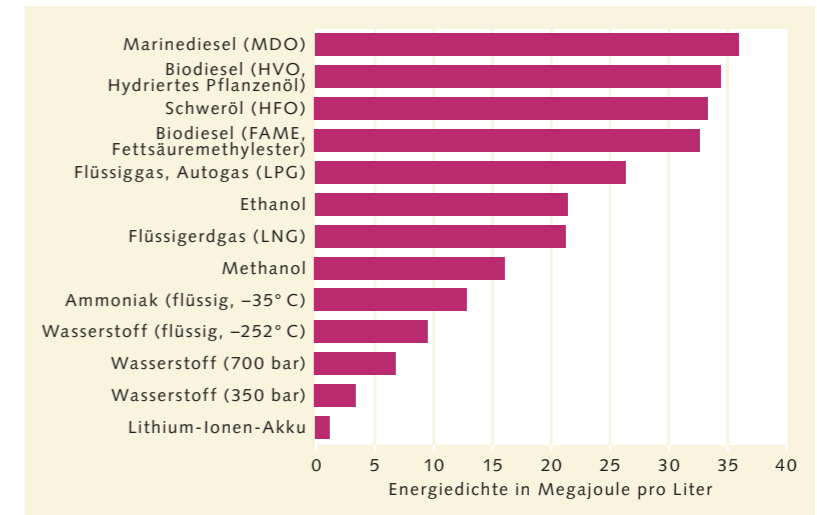
Für die Hochseeschifffahrt aber, welche etwa 85 Prozent aller Treibhausgasemissionen in der Schifffahrt ausmacht und auf Treibstoffe mit hoher Energiedichte angewiesen ist, gibt es bislang keinen alternativen Kraftstoff, mit dem eine Halbierung der Emissionen bis 2050 denkbar wäre. Für den Übergang setzen Reedereien wie das französische Unternehmen CMA CGM auf Flüssiggas (Liquefied Natural Gas, LNG). Dahinter verbirgt sich Erdgas, welches auf minus 161 Grad Celsius heruntergekühlt wird, sich dabei verflüssigt und im Volumen auf ein Sechshundertstel der Ausgangsmenge schrumpft – das heißt, aus 600 Liter Erdgas wird ein Liter Flüssiggas. So kann es platzsparend transportiert und gelagert werden. Für die Verbrennung im Schiffsmotor wird LNG dann wieder in Gas umgewandelt. Vorher aber werden ihm noch unerwünschte Bestandteile wie Kohlendioxid, Stickstoff und Wasser entzogen, sodass LNG zu fast 100 Prozent aus reinem Methan besteht. Diese Reinigung ist einer der Gründe, weshalb mit LNG betriebene Schiffe wie der Riesenfrachter „Jacques Saadé“ von CMA CGM bis zu 20 Prozent weniger Kohlendioxid, 99 Prozent weniger Feinstaubpartikel und 85 Prozent weniger Stickstoffoxid aus-

stoßen als vergleichbare Frachter, die mit Schweröl fahren. Durch die Umstellung auf LNG reduziert sich demzufolge in erster Linie der Schadstoffausstoß.

Die Emissionseinsparungen aber reichen bei Weitem nicht aus, um das IMO-Ziel oder die Ziele des Pariser Klimaabkommens zu erreichen. Deshalb wird LNG auch nur als Brückentechnologie betrachtet, wobei selbst diese Sichtweise mittlerweile umstritten ist. Umwelt- und Klimaschutzler kritisieren, dass bei der Erdgasverbrennung zwar weniger Kohlendioxid freigesetzt wird als bei der Verbrennung von Schweröl; dafür entweichen bei der Produktion, Lagerung und beim Transport von LNG so große Mengen des Treibhausgases Methan, dass die Treibhausgaswirkung der LNG-Nutzung insgesamt mindestens gleich, wenn nicht höher ausfällt als bei der Nutzung von Erdöl. Experten fordern daher eine verbesserte Treibhausgasbilanzierung aller Schiffstreibstoffe, die Emissionen bei der Produktion ebenso berücksichtigt wie Emissionen durch die Verbrennung – auch bei Biokraftstoffen.

Schiffsentwickler weltweit testen derzeit mehrere neue Kraftstoffe, darunter Wasserstoff, Ammoniak, Methanol und Biokraftstoffe. Noch aber stoßen sie bei allen Alternativen an technische oder aber an kommerzielle Grenzen. Die neuen Treibstoffe sind bislang teurer als Schweröl. Außerdem ist ihr Wirkungsgrad geringer, weshalb große Mengen notwendig sind, deren Lagerung oder Speicherung wiederum sehr aufwendig und strengen Sicherheitsvorschriften unterworfen ist. Hinzu kommt, dass in vielen Häfen die Infrastruktur fehlt, um entsprechende Mengen alternativer Treibstoffe zu bunkern.

Gebraucht werden deshalb neue energieeffiziente Antriebssysteme sowie Tankanlagen, die groß genug sind, um die erforderlichen Treibstoffmengen zu speichern. Derzeit verbraucht die internationale Handelsflotte pro Jahr Energie in einer Größenordnung von 3,3 Petawattstunden. Diese Menge würde ausreichen, um die Großstadt New York mehr als 60 Jahre lang mit Elektrizität und Wärme zu versorgen. Laut Berechnungen der Internationalen Energieagentur (IEA) könnten bis zum Jahr 2070 mehr als 80 Prozent des in der Handelsschifffahrt benötigten Treibstoffes aus nachhaltig erzeugtem Biodiesel, Ammoniak und Wasserstoff bestehen. Diese Entwicklung setzt allerdings voraus, dass zu diesem Zeitpunkt rund 13 Prozent des weltweit produzierten Wasserstoffes in der



Schifffahrt zum Einsatz kommen werden und die Energieeffizienz der Transporte weiter gesteigert wird. Die Fachleute des Global Maritime Forum wiederum setzen vor allem auf nachhaltig erzeugtes Ammoniak als Schiffstreibstoff der Zukunft, weil er kostengünstiger zu produzieren und zu speichern ist als Wasserstoff.

Erste Versuche für energieeffizientere Schiffstransporte laufen bereits. Die Reederei Mærsk beispielsweise installierte im August 2018 zwei sogenannte Flettner-Rotoren für Testzwecke auf ihrem Tankschiff „Mærsk Pelican“. Dabei handelt es sich um zwei große Zylinder, die wie Segelmasten senkrecht auf dem Schiffsdeck angebracht werden. Streicht der Wind über die sich drehenden Zylinder, entsteht eine Kraft von bis zu drei Megawatt, die das Schiff im rechten Winkel zur Windrichtung vorantreibt. Im ersten Jahr ihres Einsatzes halfen die Rotoren dem Tanker, 8,2 Prozent Treibstoff und 1400 Tonnen Kohlendioxidemissionen einzusparen. Das IMO-Ziel ist damit noch lange nicht erreicht; die Reederei aber entschloss sich, die Rotoren zu behalten und den Tanker weiterhin mit Unterstützung des Windes fahren zu lassen.

Beim Antrieb moderner U-Boote funktioniert schon, was sich die meisten Experten für künftige Handelsschiffe wünschen. Die Tauchboote nutzen die Brennstoffzellentechnologie und fahren mit Wasserstoff, der in sogenannten Metallhydridspeichern eingelagert ist. In der zivilen Schifffahrt wurden Brennstoffzellen bisher als Energielieferanten für die Bordversorgung erprobt und bewiesen

4.16 > Um Schiffsmotoren anzutreiben, werden Kraftstoffe mit hoher Energiedichte benötigt. Die Übersicht zeigt: Im Vergleich zum Marinediesel haben emissionsärmere Alternativen wie Wasserstoff weniger als halb so viel Power.

4.15 > Keine schwarzen Rußwolken mehr: Das Containerschiff „Jacques Saadé“ der französischen Reederei CMA CGM wird mit Flüssiggas betrieben und ist der bislang größte Frachter mit einem solchen alternativen Antrieb.



4.17 > Jede Emissionseinsparung zählt. Aus diesem Grund werden in der Schifffahrtsbranche eine Reihe von operativen Maßnahmen und technischen Neu- oder Weiterentwicklungen diskutiert. Welche Energie- und damit auch Treibstoffeinsparungen mit ihnen einhergehen, zeigt diese Übersicht.

Energieeffizienzlösung		Einsparung von Energie und Treibhausgasemissionen
Design- und Technologieoptionen		
Konstruktionsänderungen und strukturelle Optimierung	Erhöhung der Ladekapazität der Schiffe	10 Prozent (für größere Schiffe) bis 25 Prozent (für kleinere Schiffe)
	Vergrößerung des Verhältnisses der Gesamtlänge zur größten Schiffsbreite	3 bis 5 Prozent
	Höherfester Stahl, Materialsubstitution	0 bis 1 Prozent
Verringerung des Reibungswiderstandes der Rumpfoberfläche	Textur der Rumpfoberfläche	2,5 bis 7,5 Prozent
	Luftschmierertechnologie	0 bis 13 Prozent
	Wirbelausgleich und Verringerung der Grenzschichtablösung	1 bis 3 Prozent
Steigerung der Antriebseffizienz	Pre-Swirl-Statoren	2 bis 6 Prozent
	Post-Swirl-Statoren	2 bis 6 Prozent
	Hocheffiziente Propeller	3 bis 10 Prozent
Integration erneuerbarer Energien	Segel	Bis 30 Prozent, sofern anwendbar
	Flettner-Rotoren	Durchschnittlich 8 und bis zu 20 Prozent im besten Fall, breitere Anwendbarkeit als Segel
	Solarstrom	0 bis 1 Prozent
Verbesserungen an der Maschinenausrüstung (Haupt- und Hilfsmotoren)	Messung und Steuerung der Leistung des Hauptmotors	1 bis 2 Prozent
	Abwärme-Rückgewinnung	5 bis 11 Prozent (bei hoher Motorleistung)
	Hybridisierung des Antriebes und Optimierung von Motorgröße, Leistung und Lasten (einschließlich Derating)	0 Prozent (gleichmäßige Motorlast) bis 24 Prozent (dynamische Last)
Operative Verbesserungen		
Verringerte Fahrtgeschwindigkeit		Reduzierung des stündlichen Kraftstoffverbrauches um 27 Prozent bei einer Reduzierung der Fahrtgeschwindigkeit um 10 Prozent
Wetterrouting		2 bis 5 Prozent
Rumpfformoptimierung (Trimm/Tiefgang)		1 bis 2 Prozent
Zustandsmanagement und Wartung von Rumpf und Propeller		3 bis 12 Prozent
Schiffssystemmanagement – umfasst Reduzierung des Energieverbrauches an Bord, Messung des Kraftstoffverbrauches und Berichterstattung		Ermöglicht energiesparende Technologieentwicklungen
Allgemeines Energieeffizienzmanagement – umfasst die Anwendung des IMO-Schiffsbetriebsplanes zum Energieeffizienzmanagement (Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEMP)		Ermöglicht energiesparende Technologieentwicklungen

dabei eine größere Effizienz als vergleichbare Diesellaggregate. Allerdings werden die Brennstoffzellen dabei nicht mit Wasserstoff betrieben, sondern mit anderen Treibstoffen wie Methanol, Erdgas oder Dieselmotoren. Diese Kraftstoffe sind leichter verfügbar und lassen sich häufig auch einfacher speichern.

Der Einsatz von wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen für den Schiffsantrieb befindet sich dagegen noch in einer frühen Erprobungsphase – mit Anwendungen auf kleineren Passagierschiffen, Fähren oder Sportbooten. Brennstoffzellen, die groß genug sind, um große Handelsschiffe anzutreiben, gibt es noch nicht. Ein Grund dafür mag sein, dass die entsprechende Antriebstechnik sowie der Kraftstoff Wasserstoff immer noch deutlich teurer sind als ein Schiffsdieselmotor, der mit Schweröl betrieben wird.

Seehäfen im Klimawandel

Welche drastischen Auswirkungen der Klimawandel mittlerweile hat, erlebt die internationale Schifffahrtsbranche vor allem in den Häfen, den Knotenpunkten der internationalen Transportketten, deren exponierte Lage in flachen Küstengebieten oder Flussmündungen sie besonders anfällig macht. Müssen Häfen aufgrund von Extremwetterereignissen ihren Betrieb einstellen, kommt der gesamte Gütertransport zum Erliegen – mit drastischen Folgen. Als in den USA im August 2005 drei Häfen wegen Hurrikan Katrina schließen mussten, über die sonst 45 Prozent aller landwirtschaftlichen Erzeugnisse ein- und ausgeführt werden, stiegen landesweit die Preise für Lebensmittel um drei Prozent. Hurrikan Harvey im Jahr 2017 hatte Berichten zufolge ähnliche Auswirkungen auf die Kraftstoffpreise.

Eine Umfrage des Magazins „The Economist“ kam zu dem Ergebnis, dass mehr als die Hälfte der weltweit gehandelten Waren Häfen passieren, die infolge des Klimawandels einem hohen Risiko ausgesetzt sind, wobei Häfen in Flussmündungen oder -läufen oftmals mit anderen Klimafolgen zu kämpfen haben als Hochseehäfen direkt an der Küste. Wissenschaftler wiederum sehen ein steigendes Schadensrisiko für alle 136 Megahafenstädte der Welt. Zu den für Häfen folgenschwersten Auswirkungen des Klimawandels zählen:

Überflutungen infolge steigender Meeresspiegel und zunehmender Sturmflutereignisse

Die Folgen steigender Wasserpegel beschränken sich nicht nur auf einen Verladestopp für die Dauer der Überflutungen, sondern umfassen auch langfristige Schäden an Verladeanlagen, Containern, Lagerhallen und Bahnschienen im Hafenhinterland. Einer Studie aus dem Jahr 2018 zufolge werden bei einem Meeresspiegelanstieg von einem Meter bis zum Jahr 2100 vermutlich mehr als 60 Prozent aller europäischen Hochseehäfen überflutet sein – Extremhochwasser von bis zu drei Metern über Normalhöhen mit eingerechnet. Viele Hochseehäfen in Griechenland, Großbritannien und Dänemark werden sogar schon im Jahr 2080 womöglich Gefahr laufen, überflutet zu werden.

Starkregenfälle und daraus resultierende Hochwasserstände oder Sturzfluten

Extreme Regenfälle können zu steigenden Wasserpegeln und damit zu Sturzfluten, Überschwemmungen und Küstenerosion entlang von Flüssen führen. Beschädigt werden dabei oft nicht nur Straßen, Brücken und Bahnverbindungen, die für Häfen wichtig sind, sondern auch die Hafenanlagen selbst. Schlechte Sicht, nasser Untergrund und starke Strömungen in Häfen in Flusslage erhöhen zudem die Gefahr von Unfällen beim Be- und Entladen von Schiffen. Ein weiteres Problem sind Sedimentverlagerungen und Veränderungen von Flussbetten, die den Schiffsverkehr beeinträchtigen können.

Steigende Temperaturen, Hitzewellen und große Trockenheit

Steigende Lufttemperaturen sowie Hitzewellen gefährden nicht nur die Gesundheit von Passagieren und Schiffs- oder Hafenpersonal; extreme Wärme setzt auch Bahnschienen, Straßen und anderen asphaltierten Flächen zu, von denen es in Häfen jede Menge gibt. Außerdem sinken bei lang anhaltender Trockenheit die Wasserstände in Flüssen, was den Betrieb von Hafenanlagen an Flussläufen erschwert. In der Arktis taut im Zuge der Erwärmung der Dauerfrostboden (Permafrost) auf, wodurch Bauten wie Hafenanlagen den Halt verlieren. Gleichzeitig erodieren die Fluss- und Meeresküsten, wodurch der Hafenbetrieb vielerorts stark beeinträchtigt wird.

Metallhydridspeicher Wasserstoff lässt sich speichern, indem man ihn mit bestimmten Metalllegierungen in Kontakt bringt. Diese reagieren mit dem Wasserstoff zu einem sogenannten Metallhydrid, welches den Wasserstoff in seinem Metallgitter chemisch bindet. Um den Wasserstoff wieder freizusetzen, muss dann nur Wärme zugeführt werden. Auf diese Weise lässt sich mehr als zehnmals so viel Wasserstoff speichern wie in einem reinen Druckspeicher.

Hafen Rotterdam: Hochwasser als kalkulierbares Risiko

Europas größter Handelshafen Rotterdam (Niederlande) verfolgt seit dem Jahr 2008 ein ambitioniertes Programm, um sich an die Folgen des Klimawandels anzupassen. Im Mittelpunkt steht dabei der Hochwasserschutz, den die Hafenbetreiber in enger Zusammenarbeit mit der Stadtverwaltung, der niederländischen Regierung und im Hafengebiet ansässigen Firmen angehen.

Ausgehend von Berechnungen, wonach der Meeresspiegel im Hafengebiet im Zeitraum von 1990 bis 2100 um 35 bis 85 Zentimeter steigen wird, untersuchten die Projektpartner das Flutrisiko für alle Teil-



4.18 > Droht dem Großraum Rotterdam eine Sturmflut, schließen sich diese kreisbogenförmigen Tore des Maeslant-Sperrwerkes. Es schützt sowohl die Stadt als auch ihren Hafen vor Hochwasser.

gebiete des Hafens und erstellten detaillierte Maßnahmenpläne. Überflutungsbedrohte Stromtrassen beispielsweise wurden wasserfest gemacht oder angehoben; gefährdete Gebäude mit Hochwasserschutztechnik ausgestattet. Außerdem gibt es mittlerweile sogenannte Disaster Management Plans, mit deren Hilfe sichergestellt werden soll, dass im Falle eines Hochwassers alle Arbeiten ordnungsgemäß eingestellt und im Anschluss schnellstmöglich wieder aufgenommen werden können. Bei Neubauten muss das Risiko künftig regelmäßig auftretender Hochwasser von Anfang an mitgedacht und entsprechende Schutzvorkehrungen eingeplant werden.

Die Hafenbehörde hat sich außerdem das Ziel gesetzt, die durch den Hafen- und Industriebetrieb entstehenden Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 um 95 Prozent zu reduzieren. Immerhin machen die Emissionen der Unternehmungen auf dem Hafengelände ein Fünftel der Gesamtemissionen der Niederlande aus. Erreicht werden soll dieses ehrgeizige Ziel durch:

- eine Elektrifizierung vieler Prozesse, die dann mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden;
- das Auffangen und Verarbeiten oder Speichern von Kohlendioxid, welches bei der Verarbeitung fossiler Rohstoffe entsteht;
- den Einsatz von Biomasse in Industrieprozessen, in denen bislang fossile Rohstoffe als Rohmaterial verwendet wurden;
- den flächendeckenden Einsatz alternativer, emissionsarmer Kraftstoffe wie grünem Wasserstoff;
- die Einführung einer Kreislaufwirtschaft.

Durch die Digitalisierung vieler Informationsflüsse sollen die rund 30 000 Schiffe, die den Hafen Rotterdam pro Jahr anlaufen, effizienter abgewickelt werden. Dazu gehört auch das frühzeitige Versenden genauer Ankunftszeiten an die Schiffe. Wissenschaftliche Untersuchungen im Hafen von Rotterdam hatten gezeigt: Hätten alle im Jahr 2018 ankommenden Containerschiffe bis zu zwölf Stunden vorher gewusst, wann sie im Hafen erwartet werden (sogenannte „just in time arrivals“), hätten die Schiffsführungen die Fahrtgeschwindigkeit ihrer Schiffe so weit reduzieren können, dass Treibstoff- und Emissionseinsparungen von vier Prozent möglich gewesen wären. Ein weiterer Testlauf im Dezember 2020 ergab sogar Einsparungen von acht bis neun Prozent, wenn die Schiffsführungen bis zu 24 Stunden vor Hafenanlauf genaue Instruktionen erhalten und die Geschwindigkeit ihres Schiffes entsprechend anpassen.

Extremer Wind und Wellen

Stürme und hohe Wellen haben katastrophale Auswirkungen. Sie treiben die Küstenerosion voran, über- oder unterspülen Hafenanlagen und beschädigen Kräne, Fahrzeuge und andere exponierte Technik. Außerdem muss während schwerer Stürme der Ladebetrieb eingestellt werden, was zu steigenden Kosten und finanziellen Verlusten für die Hafenbetreiber führt. Betroffen sind vor allem Häfen entlang der Zugbahnen tropischer Wirbelstürme. Im Jahr 2017 beispielsweise verursachten die beiden Hurrikane Irma und Maria allein in Häfen, Flughäfen sowie im Straßensektor der Britischen Jungferninseln Schäden und Verluste in Höhe von 252 Millionen US-Dollar. Hurrikan Sandy legte eine Woche lang den Betrieb einer der größten Containerhäfen der USA lahm und verursachte dadurch wirtschaftliche Schäden und Folgekosten in Höhe von bis zu 50 Milliarden US-Dollar.

Welche Schutz- und Anpassungsmaßnahmen Hafenbetreiber vornehmen können, hängt von der Gefahrensituation ab. Extremereignisse wie Stürme oder heftige Hitze erfordern andere Lösungen als klimabedingte Bedrohungen, die schleichend voranschreiten – wie etwa der Zerfall der arktischen Permafrostküsten oder dauerhafte Überflutungen infolge der steigenden Meeresspiegel.

Bei Ersteren sind Schutzmaßnahmen gefragt, die das Risiko sofort reduzieren. In der Regel sind diese aber sehr teuer, vor allem weil die Infrastruktur vieler Häfen vergleichsweise alt und den neuen Klimabedingungen nicht gewachsen ist.

Bei Letzteren dagegen werden Langfriststrategien benötigt, bei denen auch die Politik mitentscheiden muss. Vielerorts geht es nämlich um die grundsätzliche Frage, ob der Hafen angesichts des steigenden Meeresspiegels überhaupt eine Zukunft hat. Die möglichen Handlungsoptionen lauten: schützen, anheben oder umziehen – und jede birgt Nachteile. Der Bau großer Schutzmauern führt zu Küstenerosion, zerstört küstennahe Riffe und andere Lebensräume – und ist zudem sehr teuer. Das Anheben von Hafenterminals macht nur Sinn, wenn auch alle anderen Hafenanlagen mitwachsen können. Anderenfalls ist ein problemloser Betrieb kaum möglich. Die Entscheidung, einen Seehafen zu verlagern, wiederum setzt voraus, dass es einen alternativen Standort gibt – mit Hafenzufahrten, die tief genug sind für die Containerrie-

sen, und mit genügend Raum, um sich an die weiterhin steigenden Wasserpegel anzupassen. Die Kosten und Umweltfolgen eines solchen Neubaus müssten ebenfalls abgewogen werden.

Häfen als geopolitische Außenposten

Häfen nehmen zweifelsohne eine Schlüsselstellung im Netz der globalen Warenströme ein. Wer sie kontrolliert, steuert nicht nur die Ein- und Ausfuhr von Gütern in bestimmten Regionen und nimmt damit Einfluss auf deren Märkte und wirtschaftliche Entwicklung. Häfen erfüllen auch strategische Zwecke – beispielsweise wenn sie als Anlauf- und Versorgungspunkt für ausländische Seestreitkräfte dienen. Bis in die 1980er-Jahre waren die Häfen der Welt vornehmlich in öffentlicher Hand. Ihr Betrieb wurde entweder von den jeweiligen Stadtverwaltungen oder direkt vom Staat organisiert. Mit dem Aufkommen der Containerschiffahrt aber wurde immer häufiger Kritik an der öffentlichen Verwaltung laut. Die Häfen arbeiteten ineffizient und würden viel zu langsam auf die neuen Bedürfnisse der Transportbranche reagieren, hieß es. Die Weltbank empfahl den Küstenstaaten und -metropolen, ihre Häfen zu privatisieren, indem sie Konzessionen an Betreiberfirmen vergaben, die genügend Expertise und Kapital besaßen, um die Anlagen und den Hafenbetrieb in jenem Tempo zu modernisieren, in dem sich auch die Schifffahrtsbranche selbst wandelte und die globalen Warenströme wuchsen.

Viele Akteure folgten diesem Rat und legten die Kontrolle über ihre Häfen oder einzelne Ladeterminale in die Hände von Betreiberfirmen. Kleinere solcher Firmen gab es auch früher schon. Die Privatisierung vieler Häfen weltweit aber ermöglichte einigen von ihnen den Aufstieg zu global agierenden Weltkonzernen, unter ihnen die Unternehmensgruppe A. P. Møller-Mærsk, zu der nicht nur der große Terminalbetreiber APM Terminals, sondern auch die weltgrößte Reederei Mærsk gehört. A. P. Møller-Mærsk betreibt mittlerweile Containerterminals rund um die Welt und kann auf diese Weise sein Schifffahrts- und Terminalgeschäft ausgesprochen kosteneffizient miteinander verzahnen.

Die Modernisierung der Häfen trägt Früchte: Containerschiffe im Linienverkehr verbringen mittlerweile

4.19 > Seitdem die China Ocean Shipping Company (COSCO) im Hafen von Piräus das Sagen hat, laufen mehr Containerschiffe beladen mit Waren aus Asien den griechischen Mittelmeerhafen an.



weniger als 24 Stunden in einem Hafen. In den modernsten Häfen dauert das Be- und Entladen von Containerschiffen sogar nur 14 bis 15 Stunden. Die Schiffe können demzufolge schnell ihre Fahrt fortsetzen, was Zeit und Geld spart. Die Terminal- und Hafenprivatisierung hat jedoch auch ihre Schattenseiten. Westliche Sicherheitsexperten kritisieren zum Beispiel, dass China mithilfe von Investitionen in europäische, afrikanische und südasiatische Handelshäfen die Kontrolle über diese Standorte erlangt und sich quasi Vorposten in Regionen errichtet, in denen es bislang keinen Einfluss gehabt habe. Die Volksrepublik verneint solche geopolitischen Ambitionen. Gleichzeitig aber baut es seinen Einfluss seit Jahren aus.

Die China Ocean Shipping Company (COSCO), eigentlich eine große Reederei, ist gemessen an der Zahl der verladenen Container mittlerweile der größte Terminalbetreiber der Welt. Die Firma ist weltweit an 61 Hafenterminals beteiligt und kontrolliert unter anderem den griechischen Mittelmeerhafen Piräus, in dessen Ausbau und Infrastruktur sie Berichten zufolge fünf Milliarden US-Dollar investierte. Der Containerumschlag in Piräus ist seit der Über-

nahme durch COSCO um mehr als 700 Prozent gewachsen, vor allem weil chinesische Containerriesen, die über den Sueskanal das Mittelmeer erreichen, hier entladen und die Waren von kleineren Schiffen auf den gesamten Mittelmeerraum verteilt werden (englisch: transshipment). Außerdem investiert COSCO in Bahntrassen, auf denen Waren von Griechenland aus auf den Balkan und nach Osteuropa transportiert werden können. Eine solche Direktverteilung von Piräus aus spart Zeit und ist kostengünstiger, als die Containerriesen bis nach Rotterdam oder Hamburg fahren zu lassen und die Güter von dort an ihren Bestimmungsort zu liefern. Experten gehen daher davon aus, dass Piräus schon bald der betriebsamste Hafen des Mittelmeerraumes sein dürfte.

Ein zweiter großer chinesischer Hafenbetreiber ist China Merchants Group. Die staatseigene Firma mit Sitz in Hongkong betreibt nach eigenen Angaben 41 Häfen in 25 Ländern und Regionen, darunter den Hafen in Sri Lankas Hauptstadt Colombo, einem der am häufigsten von Schiffen angelaufenen und profitabelsten Containerhäfen der Welt. China Merchants Group organisiert außerdem

Meereisrückgang in der Arktis: immer häufiger freie Fahrt

Der Klimawandel verändert die Schifffahrt vor allem in der Arktis, wo der starke Rückgang des Meereises neue Schifffahrtswege öffnet. Das gilt insbesondere für die russischen Randmeere des Arktischen Ozeans sowie für die Gewässer Alaskas. Überall dort, wo das Meereis weicht, können Fischkutter in bislang unberührte Fischgründe vorstoßen; Bohrschiffe oder Plattformen jene marinen Erdgas- und Erdöllagerstätten ausbeuten, die bislang nicht zugänglich waren; Kreuzfahrtunternehmen Schiffsreisen Richtung Nordpol anbieten und Reedereien und Handelsunternehmen zum Teil erhebliche Zeit- und Kostenersparnisse verbuchen, weil sie ihre Waren und Güter über die kürzeren arktischen Seewege von Nordeuropa nach Nordostasien verschiffen können.

Noch ist der Schiffsverkehr in der Arktis eher regional ausgerichtet und ein Großteil der Fahrten findet nach wie vor im Sommer und Herbst statt, wenn die Küstengewässer eisfrei und die Unfallrisiken gering sind. Vor allem Russland aber unternimmt seit einigen Jahren große Anstrengungen, die auch als Nördlichen Seeweg bezeichnete Nordostpassage durch seine arktischen Küstengewässer auszubauen und somit auch für transarktische Fahrten attraktiver zu machen. Neue Eisbrecher sollen die Schifffahrtsrouten auch im Winter offen halten. Durch den Ausbau von Häfen und angebundenen Schienennetzen soll der Abtransport von Rohstoffen aus der russischen Arktis erleichtert werden. Der Schiffsverkehr auf dem Nördlichen Seeweg hat infolgedessen explosionsartig zugenommen.

Im Jahr 2017 transportierten Schiffe rund 10,7 Millionen Tonnen Fracht durch die russischen Küstengewässer. 2018 waren es 20,18 Millionen Tonnen und 2019 rund 31,5 Millionen Tonnen. Auf transarktische Fahrten von Europa nach Asien oder umgekehrt entfiel dabei jedoch immer nur ein Bruchteil, denn noch sind Transporte durch arktische Gewässer mit hohen Zusatzkosten verbunden – etwa für eistaugliche Schiffe und eine speziell ausgebildete Besatzung. Außerdem sind die russischen Randmeere zum Teil so flach, dass nur kleinere Schiffe die eisfreien Passagen durchfahren können, was die Kosten pro Tonne Fracht in die Höhe treibt.

Schifffahrtsexperten gehen deshalb davon aus, dass Reedereien und Handelsunternehmen erst dann in einen transarktischen Linienverkehr über den Nördlichen Seeweg investieren werden, wenn gewinnbringende Transporte garantiert sind. Das wird Modellierungen zufolge für kleinere Frachtschiffe frühestens im Jahr 2035 möglich sein, für größere vermutlich erst ab 2051. Bis dahin werden die Warentransporte von Europa nach Nordostasien und zurück weiter über den viel längeren südlichen Seeweg führen – das heißt vom Mittelmeer über den Sueskanal und den Indischen Ozean.



4.20 > Der Schiffsverkehr auf der Nordostpassage beschränkt sich bislang vor allem auf regionale Transporte sowie auf Flüssiggastransporte aus der Arktis nach Europa oder Ostasien. Je weiter und früher im Jahr das Meereis jedoch zurückweicht, desto attraktiver wird die Alternative zur Sueskanalroute. Im Januar 2021 gelang drei LNG-Tankern erstmals eine Passage im Winter ohne Hilfe eines Eisbrechers. Weitere solcher Fahrten werden folgen.

Kreuzfahrttourismus: Vergnügen auf Kosten von Umwelt, Mensch und Meer

Als in den 1960er- und 1970er-Jahren immer mehr Transatlantikreisende vom Schiff auf das Flugzeug umstiegen, brauchte die Passagierschiffahrt eine neue Geschäftsidee, mit der sie Menschen zurück auf ihre Schiffe locken könnte. US-amerikanische Reeder setzten auf die Spiel- und Vergnügungssucht ihrer Landsleute. Diese hatte schon Las Vegas groß gemacht. Warum sollten nicht auch Schiffe als Kombination aus Hotel, Bar und Casino funktionieren? Das Konzept ging auf: Blackjack, Poker und die Aussicht, an Bord zollfrei einkaufen zu können, zogen die Menschen in immer größer werdenden Scharen auf das Meer und begründeten mit dem Kreuzfahrttourismus den seit den 1990er-Jahren am stärksten wachsenden Reisesektor weltweit. Nach Angaben des Branchenverbandes CLIA (Cruise Lines International Association, Weltverband der Kreuzfahrtindustrie) stieg die internationale kreuzfahrttouristische Nachfrage im Zeitraum von 1990 bis 2018 von 3,8 Millionen auf 28,5 Millionen Passagiere – die Hälfte davon aus Nordamerika, jeweils ein Viertel aus Europa und der restlichen Welt. Das Wachstum hielt an bis zum Ausbruch der Coronapandemie im Jahr 2020, als die Passagierzahlen auf knapp sieben Millionen fielen.

Zu diesem Zeitpunkt waren nach Angaben des deutschen Umweltbundesamtes weltweit mehr als 500 Kreuzfahrtschiffe im Einsatz, die größten von ihnen mit Platz für mehr als 6000 Passagiere und 2200 Besatzungsmitglieder. Diese schwimmenden Städte verkehren bis heute vor allem in der Karibik und auf dem Mittelmeer. Aber auch auf Nebenstrecken in Asien, Europa und den Polarregionen nahm der Verkehr bis 2020 deutlich zu, sodass Experten mittlerweile von einem globalen Industriezweig sprechen. Im Jahr 2018 beschäftigte die Kreuzfahrtbranche weltweit 1,18 Millionen Mitarbeiter und generierte einen gesamtwirtschaftlichen Mehrwert in Höhe von rund 150 Milliarden US-Dollar.

Ein Großteil der Kreuzfahrteinnahmen fließt in die Kassen dreier Unternehmensgruppen: die Norwegian Cruise Line Holdings, die Royal Caribbean Group sowie die Carnival Corporation & plc. Sie kontrollieren zusammen 77 Prozent des Marktes. Alle drei Unternehmen haben die touristische Wertschöpfungskette inzwischen derart perfektioniert, dass die Küstenorte, welche die Schiffe anlaufen, kaum noch vom Massentourismus profitieren. Die Passagiere verbringen nur kurze Zeit an Land und essen, trinken, shoppen und vergnügen sich größtenteils an Bord, obwohl in den meisten Fällen die Zielstädte oder -nationen im Falle von Inselstaaten den Ausbau der Hafen- und Versorgungsanlagen finanzieren und somit ein Anlegen der Schiffe überhaupt erst ermöglicht haben.

Einzig und allein die Städte, welche als Start- und Zielhafen fungieren, profitieren heutzutage noch in größerem Maß von den Schiffsreisenden, doch auch hier haben die Reedereien mittlerweile Cruise Terminals sowie Taxi- und Buslinien übernommen, welche die Urlauber am Anfang der Reise zum Schiff und am Ende wieder zurück zum Bahnhof oder Flughafen bringen. In der Karibik haben die Reedereien sogar Inseln gekauft, um Landgänge anbieten zu können und gleichzeitig alle damit verbundenen Gewinne abzuschöpfen.

Den Preis für die Expansion der Kreuzfahrtbranche zahlen die Zielorte und vor allem die Umwelt. Zu den schwerwiegendsten Folgen zählen:

- **Ein hohes Müllaufkommen:** Auf großen Kreuzfahrtschiffen fallen pro Tag durchschnittlich 4400 Kilogramm Müll an, die häufig in Transithäfen entladen werden und die lokalen Mülldeponien oder -verbrennungsanlagen völlig überlasten. Immer wieder gibt es außerdem Berichte, dass Schiffe ihre Abfälle auch auf hoher See entsorgen.
- **Große Mengen Abwasser:** Unzureichend geklärte Abwässer tragen Nährstoffe sowie Krankheitserreger wie Enterobakterien und -viren in das Meer ein, mit vielschichtigen Folgen für die maritimen Lebensgemeinschaften.
- **Viele Abgase:** Kreuzfahrtschiffe setzen durch das Verbrennen fossiler Treibstoffe große Mengen an Gasen, Feinstaub und anderen Schadstoffen frei. Da die Motoren vielerorts auch im Hafen laufen müssen, um das Schiff mit Elektrizität zu versorgen, litt bislang vor allem die Luftqualität in den Hafentädten unter der enormen Verschmutzung. Ein Beispiel: Kreuzfahrtschiffe der Carnival Corporation setzten im Jahr 2017 – also noch vor der Treibstoffneuregelung durch die IMO – allein in europäischen Gewässern zehnmal mehr Schwefeloxide frei als die über 260 Millionen Personenkraftwagen, die auf europäischen Straßen verkehren.
- **Viel Ballastwasser:** Auch das Ballastwasser von Kreuzfahrtschiffen enthält Abwässer, Öl und ölhaltige Substanzen sowie Bakterien und Organismen aus anderen Regionen der Welt. Wird dieses Wasser bei Bedarf in das Meer entlassen, hat dies viele, größtenteils unvorhersehbare Folgen für die lokalen Ökosysteme.
- **Enorme Lärm- und Lichtverschmutzung:** Kreuzfahrtschiffe sind nachts hell erleuchtet und abgesehen von den kurzen Zwischenstopps für Landpartien immer in Fahrt. Daraus resultieren eine enorme Licht- und Lärmbelastung insbesondere für Meeresorganismen und Seevögel.

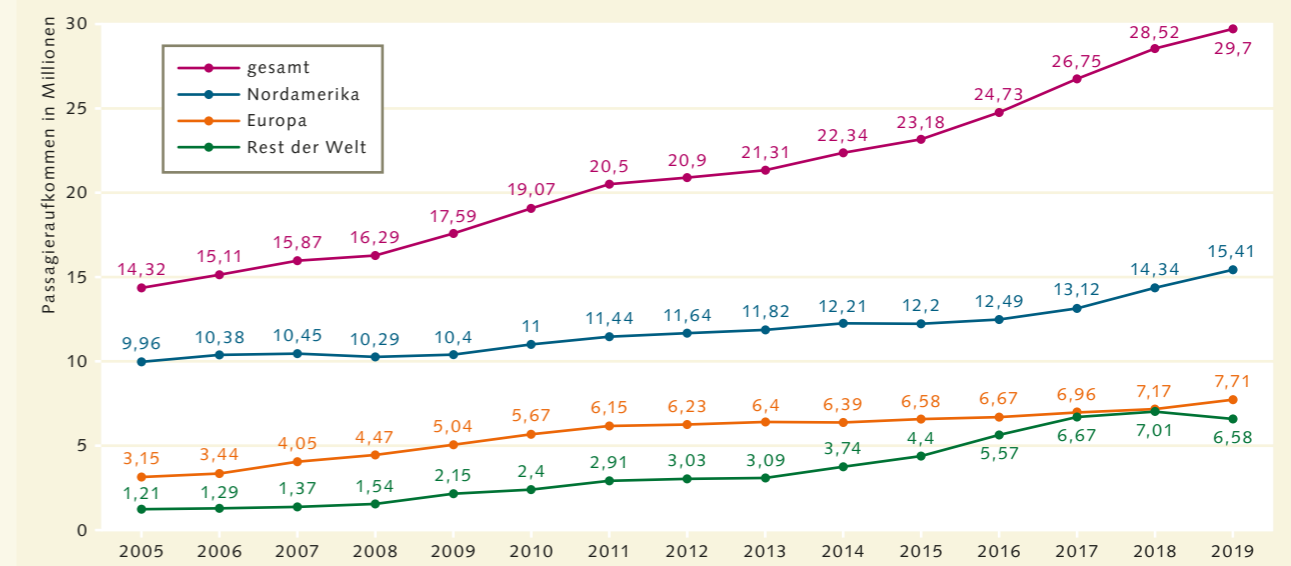
Die US-Umweltbehörde EPA schätzte vor einigen Jahren, dass an Bord eines Kreuzfahrtschiffes mit mehr als 3000 Betten pro Tag rund 80 000 Liter Schmutzwasser, eine Tonne Müll, mehr als 640 000 Liter Grauwasser, etwa 24 200 Liter ölverschmutztes Bilgenwasser, mehr als elf Kilogramm Batterien, fluoreszierende Lichter und Medizinabfälle sowie pro Passagier vier Plastikwasserflaschen anfallen. Wenn man vor diesem Hintergrund bedenkt, dass etwa 70 Prozent der von Kreuzfahrtschiffen angelaufenen Häfen in Gebieten mit besonders hoher mariner Artenvielfalt liegen, wird deutlich, wie groß das Schadenspotenzial bei unsachgemäßer Entsorgung dieser Abfälle und Abwässer ist.

Die Branche reagiert mit technischen Neuerungen auf die Umweltschutzvorgaben der IMO sowie auf die viele Kritik von Wissenschaftlern und Umweltschützern. Schadstoffärmere Kraftstoffe (vor allem LNG), Abgasfilter, Abwasseraufbereitungs- und Müllverbrennungsanlagen, der Verzicht auf Einweggeschirr sowie eine Landstromversorgung bei Hafentopps sollen die Umweltbilanz des Massentourismus auf dem Meer verbessern. Fachleute bezweifeln jedoch, dass sich dieses Geschäft wirklich nachhaltig betreiben lässt. Schlussendlich bringen die Schiffe mittlerweile Abertausende Menschen an Orte, die einem derart großen Besucheransturm in der Regel nicht mehr gewachsen sind. Das gilt nicht

nur für kleine Karibikinseln, sondern auch Touristenmetropolen wie Venedig, Barcelona und Palma de Mallorca. Und verliert eine Destination ihre Anziehungskraft, etwa weil die Korallenriffe abgestorben sind oder die Insel im Müll versinkt, zieht die Kreuzfahrtskarawane weiter und sucht sich ein neues, noch unbelastetes Traumziel.

Kritisiert werden häufig auch die Arbeitsbedingungen auf den Schiffen. Die meisten Beschäftigten erhalten nur Kurzfristverträge und arbeiten zum Teil für einen Niedriglohn. Als die Schiffe während der Coronapandemie weltweit festgesetzt wurden, durften zudem viele Beschäftigte nicht in ihre Heimatländer zurückreisen. Sie saßen ohne Lobby und Lohnfortzahlung auf den Schiffen fest.

Inwiefern sich die Branche von dem Passagiereinbruch infolge der Coronapandemie erholen wird, bleibt abzuwarten. Einige Marktkenner sprechen von einem möglichen Ende der goldenen Ära, andere sehen gute Chancen einer Renaissance. Die Entscheidung, ob der Massentourismus auf dem Meer weiterhin eine Zukunft hat, hängt letztlich von einer Millionenkundschaft ab, die sich ihren Traum von einer Seereise erfüllen und nur wenig oder gar nicht darüber nachdenken möchte, welchen sozialen, ökologischen und ökonomischen Fußabdruck der Kreuzfahrttourismus hinterlässt.



4.21 > Bis zum Ausbruch der Coronapandemie vermeldete die Kreuzfahrtbranche in jedem Jahr neue Passagierrekorde. Gut die Hälfte der Urlauber kam dabei aus Nordamerika, ein Viertel aus Europa und ein weiteres Viertel aus der restlichen Welt.

den Betrieb im Hafen von Dschibuti – einem der Hauptversorgungshäfen für US-amerikanische und andere internationale Seestreitkräfte, die am Horn von Afrika im Kampf gegen Piraterie eingesetzt werden. Vielen westlichen Sicherheitsexperten ist dieser Umstand ein Dorn im Auge.

Direkte Nebenwirkungen der Schifffahrt

Während die Treibhausgasemissionen der internationalen Schifffahrt das Meer auf indirekte Weise verändern, indem sie die globale Erwärmung vorantreiben, haben die Transportfahrten über den Ozean auch ganz direkte Auswirkungen. Zu den wichtigsten zählen:

- die Lärmbelastung durch Propeller-, Motoren- und andere Schiffsgeräusche;
- die Verschmutzung der Meeresumwelt durch Abgase und das illegale Verklappen von Abwässern und Müll;
- das Einschleppen fremder Arten durch Anhaftungen am Schiffsrumpf oder durch das Ballastwasser;
- die Belastung des Meeres durch giftige Antifouling-Anstriche;
- Kollisionen mit großen Meeressäugern.

Lärm im Meer

Das Meer ist kein stiller Lebensraum, vor allem nicht in jenen Regionen, wo Wind, Gezeiten oder Strömungen die Wassermassen bewegen und wo das Leben pulsiert. Wale singen und klicken, mehr als 800 bekannte Fischarten trommeln, grunzen oder bellen, Seepferdchen knirschen mit ihren Schädelknochen, Knallkrebse schnappen mit ihrer großen Schere. Sie alle erzeugen Töne, um mit Artgenossen zu kommunizieren und sich gegebenenfalls vor Gefahren zu warnen, um den idealen Partner zur Fortpflanzung zu finden, um zu navigieren oder aber um Beute zu machen. Akustische Signale abzugeben und selbst hören zu können sind somit überlebenswichtige Fähigkeiten für viele Meereslebewesen – angefangen bei den kleinsten, dem Zooplankton, bis hin zu den größten Meeressäugern.

Die Verständigung mit Lauten funktioniert im lichtdurchfluteten Oberflächenwasser ebenso wie in dunkler Tiefe oder in trüben Gewässern und ist unter normalen Bedingungen ausgesprochen effektiv, denn Schallwellen

breiten sich im Wasser fünfmal schneller aus als in der Luft und verlieren dabei so gut wie keine Energie. Das heißt, Töne können in tiefen Meeren unter Umständen Tausende Kilometer weit wandern – eine Eigenschaft, die sich unter anderem Bartenwale zunutze machen. Ihre Gesänge sind über Hunderte Kilometer weit hörbar. Kleinere Meeresbewohner wie die in der Nordsee beheimatete Fleckengrundel (*Pomatoschistus pictus*) dagegen erzeugen vergleichsweise leise Töne, wenn sie bei der Partnersuche einem potenziellen Kandidaten etwas mitteilen wollen. Dafür rücken die Fische dann auch entsprechend dicht zusammen und kommunizieren über Kurzstrecken von etwa zwei Körperlängen.

Mit Tönen erfolgreich zu kommunizieren wird aber für die meisten Meerestiere immer schwieriger, weil sich zum natürlichen Klangteppich des Meeres immer mehr menschengemachte Geräusche gesellen. Forscher unterscheiden zwei Geräuschkategorien. Die erste umfasst Lärm, der als unbeabsichtigtes Nebenprodukt einer menschlichen Tätigkeit entsteht. Dazu gehören die Motoren- und Propellergeräusche aller motorbetriebenen Boote und Schiffe, aber auch Lärm, verursacht durch Baumkurren und Netze, die bei der Grundschleppnetz-fischerei eingesetzt werden. Außerdem laute Bauarbeiten für Brücken, Bohrplattformen, Hafen- und Windkraftanlagen sowie Explosionen bei Übungen der Seestreitkräfte.

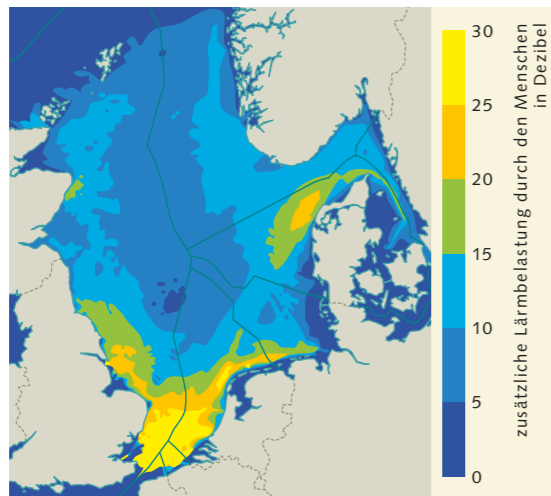
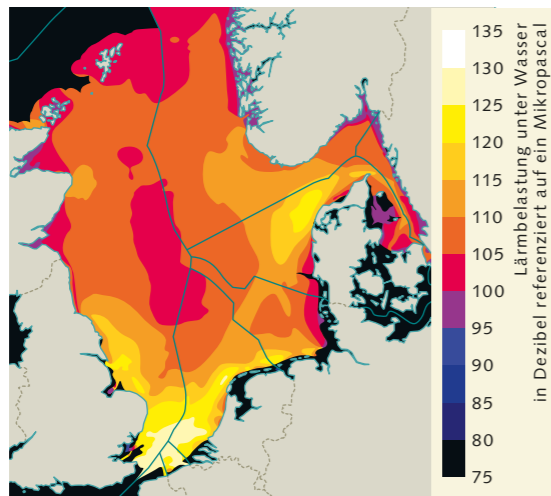
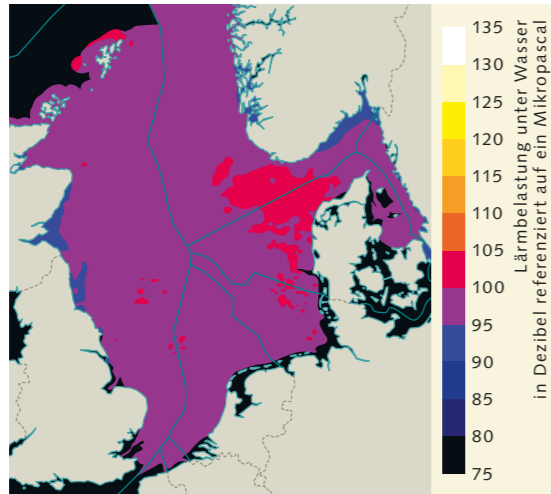
In die zweite Kategorie gehören Töne, die absichtlich erzeugt werden, weil der Mensch mit ihnen Unterwassermessungen vornimmt. Fischer beispielsweise suchen mit Echoloten nach Fischschwärmen; Geologen und Geophysiker setzen sogenannte Luftpulser (Schallkanonen) ein, um die Schichtung des Meeresbodens zu untersuchen, und die Erdölindustrie sucht mit den gleichen Mitteln nach bislang unentdeckten Lagerstätten unter dem Meer.

Im Extremfall entsteht bei jeder dieser Aktivitäten ein derart starker Lärm, dass dessen Schallwellen den Meeresbewohnern körperlichen Schaden wie Gehörverlust zufügen oder sogar die Tiere töten können – etwa beim Auslösen der Luftpulser, die bei der Suche nach Erdöl und -gas zum Einsatz kommen. Rammarbeiten für Brücken und Windturbinen erreichen eine Lautstärke, dass es Fischen in unmittelbarer Nähe die Schwimmblase zerreißt. Das Zooplankton stirbt derweil in so großer Zahl,



4.22 > Beim Bau der „Harmony of the Seas“, dem größten Kreuzfahrtschiff der Welt, wurde auch an den Badespaß gedacht. Die beiden roten Röhren messen jeweils 66 Meter und sind die längsten Wasserrutschen auf einem Schiff.

4.23 > Die Nordsee ist von Natur aus ein lauter Ort. Wind und Wellen verursachen einen natürlichen Unterwasserlärmpegel von bis zu 100 Dezibel, wie die oberste Karte zeigt. Durch menschliche Aktivitäten, vor allem aber durch die Schifffahrt, steigt diese Lärmbelastung um bis zu 30 Dezibel (mittlere und untere Karte). Besonders laut ist es entlang der Schifffahrtsstraßen im Ärmelkanal sowie vor der Einfahrt in die Ostsee.



dass Wissenschaftler inzwischen seine Sterblichkeitsrate als Maß für Begleituntersuchungen verwenden.

Die Forschenden unterscheiden in der Regel zwischen Impulslärm und dauerhaftem Lärm. Ersterer hält zwar nur für kurze Zeit an, ist dafür aber für die Meereslebewesen nicht vorhersehbar. Das heißt, die Tiere können ihr Verhalten kaum anpassen. Bei dauerhaftem Lärm dagegen ist eine Anpassung theoretisch möglich. Er entsteht beispielsweise bei der Rohstoffförderung, tritt vor allem aber in viel befahrenen Meeresgebieten sowie in Hafennähe auf. Lärmmessungen europäischer Forscher in der Nordsee haben ergeben, dass der regelmäßige Schiffsverkehr im Ärmelkanal und darüber hinaus den natürlichen, vom Wind geprägten Geräuschpegel in der südlichen Nordsee von 100 Dezibel auf 130 Dezibel anhebt. Das klingt im ersten Moment nicht nach sonderlich viel, aufgrund des logarithmischen Maßstabs der Dezibelskala aber zeigt eine Steigerung der Lautstärke um drei Dezibel bereits eine Verdopplung der Schallintensität an. Nur zum Vergleich: Die Intensität eines normalen Gesprächs zwischen Menschen beträgt etwa 65 Dezibel, Schreien erzeugt etwa 80 Dezibel. Obwohl der Unterschied lediglich 15 Dezibel beträgt, wird durch Schreien ungefähr die 30-fache Intensität erreicht. Übertragen auf den steigenden Geräuschpegel in der Nordsee bedeutet das: Mit dem Schiffsverkehr ist es für die Meereslebewesen etwa 1000-fach lauter als ohne.

Um die Lautstärke von Geräuschen über und unter dem Wasser vergleichen zu können, ist jedoch aus verschiedenen messtechnischen Gründen eine Umrechnung erforderlich. Als Leitsatz gilt dabei: Gemessene Lautstärke über Wasser plus einer Konstante von 61,5 Dezibel ergibt die vergleichbare Lautstärke unter Wasser. Das heißt, ein Ton mit der Lautstärke von 70 Dezibel über Wasser ist genauso laut wie ein Ton mit 131,5 Dezibel unter Wasser. Demzufolge ließe sich der Hintergrundlärm der Schifffahrt im Ärmelkanal (130 bis 135 Dezibel) aus menschlicher Perspektive mit dem Geräuschpegel in einem Großraumbüro (etwa 75 Dezibel) vergleichen.

Für die Meeresbewohner aber bedeutet die Geräuschzunahme eine enorme Kommunikationshürde und Stress pur – vergleichbar mit zwei Menschen, die links und rechts einer viel befahrenen Autobahn stehen und versuchen, überlebenswichtige Informationen zu teilen. Lange kom-

plexe Sätze scheiden unter diesen Bedingungen aus. Stattdessen können sie sich nur noch Stichworte zubrüllen, wild gestikulieren oder die Konversation einstellen.

Meeresorganismen reagieren ganz ähnlich: Grau- und Zwergwale beispielsweise rufen lauter, wenn Schiffs-lärm zu hören ist. Fleckengrundeln stellen einen ihrer zwei Paarungsrufe ein und achten stärker auf die Balz-bewegungen des Partners; Robben und Belugawale tauchen weg und versuchen, dem Lärm zu entkommen. Infolge dieser und anderer Verhaltensänderungen fressen die Tiere weniger, was sich unmittelbar auf ihre Gesundheit und ihr Wachstum auswirkt. Sie bemerken Feinde zu spät, treffen mitunter die falsche Partnerwahl, zeugen weniger Nachwuchs oder aber sie meiden bestimmte Meeresgebiete vollends. Schiffs-lärm stört demzufolge nicht nur kurzfristig, er schadet der Meeresumwelt auch langfristig.

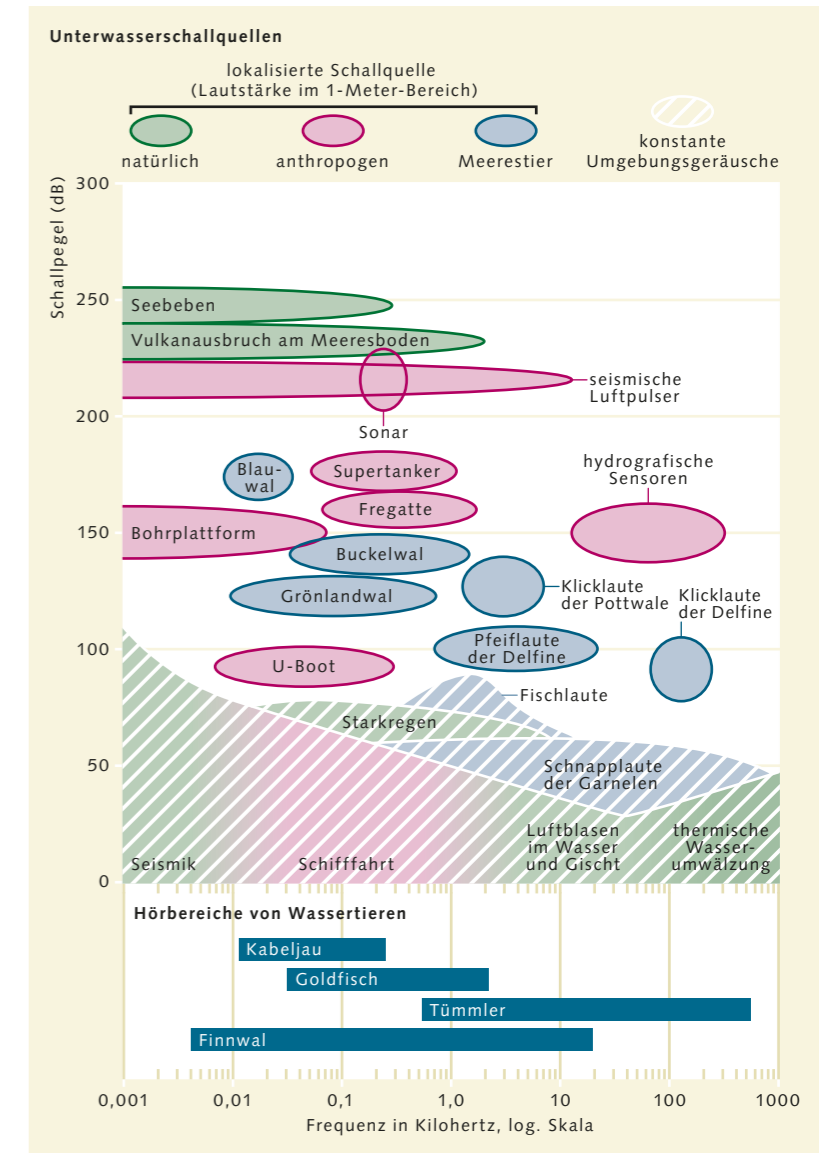
Um dieser Entwicklung Einhalt zu gebieten, hat die IMO im Jahr 2014 Richtlinien zur Eindämmung des Schiffs-lärms unter Wasser beschlossen. Diese setzen an den folgenden Lärmquellen an:

- **Gestalt der Schiffsschrauben:** Die Schiffspeller sind die größte Lärmquelle eines Schiffes, denn bei der Verwirbelung des Wassers entstehen viele kleine Luftblasen, die anschließend geräuschvoll platzen. Ihre Zahl kann durch ein verbessertes Propellerdesign verringert werden.
- **Aufhängung der Motoren und anderer Maschinenteile:** Die Übertragung des Motoren-lärms und dazugehöriger Vibrationen auf den Schiffsrumpf und das Wasser kann eingedämmt werden, indem zum Beispiel Dämpfungen in die Motoren- und Getriebe-aufhängung eingebaut und Schallschutzwände einge-zogen werden. Vibrationsdämmende Aufhängungen und Befestigungen empfiehlt die IMO auch für andere Bauteile und Geräte wie Pumpen, Rohrleitungen und Klimaanlage.
- **Gestalt des Schiffsrumpfes:** Die Lautstärke eines Schiffes wird auch durch dessen Rumpfform bestimmt, unter anderem, weil unter bestimmten Vorausset-zungen auch am Rumpf Luftbläschen entstehen kön-nen. Mithilfe spezieller Software aber können solche

Schwachstellen im Rumpfdesign schon in der Pla-nungsphase detektiert und beseitigt werden. Wichtig ist zudem, die Gestalt und Positionierung der Schiffs-schraube genau auf den Schiffsrumpf abzustimmen.

- **Fahrtgeschwindigkeit:** Die Fahrtgeschwindigkeit eines Schiffes beeinflusst dessen Lärmpegel ganz erheblich, wie groß angelegte Testversuche zeigen. Demnach reduziert sich die Geräuschbelastung um bis zu 40 Prozent, wenn die Schiffe ihre Geschwindig-keit um lediglich zehn Prozent reduzieren. Langsam-

4.24 > Vom Menschen erzeugter Unterwasserlärm deckt alle Frequenzbereiche ab, auf denen Meerestiere kommunizieren, und ist oftmals so laut, dass er deren Leben nachhaltig beeinträchtigt.





4.25 > Die Fleckengrundel mag es leise. Bei einem Laborversuch zeigte sich, dass schon eine geringe Menge an zusätzlichem Lärm ausreicht, das Paarungsritual der Fische zu stören. Die Forscher befürchten wegen der menschengemachten Geräuschbelastung der Meere negative Folgen für die Fische.

Ballastwasser
Handelsschiffe ohne oder mit nur wenig Ladung an Bord nehmen Ballastwasser auf, um ausreichend Tiefgang und damit eine verbesserte Stabilität zu gewährleisten. Bevor sie dann wieder beladen werden, lassen sie das Ballastwasser ab. Im Wasser befindliche Organismen gelangen auf diese Weise in neue Lebensräume.

fahr-Aktionen des Hafens in Vancouver belegen, dass die einheimischen Schwertwale eine bis zu 22 Prozent bessere Jagdausbeute haben, wenn Fähren, Freizeitboote, Fracht- und Fischereischiffe nur auf elf Knoten beschleunigen anstatt auf 17.

- **Schiffswartung:** Der Rumpf und die Antriebsschrauben eines Schiffes müssen regelmäßig gereinigt werden, damit auf deren Oberflächen keine Unebenheiten entstehen. Raue Stellen bremsen das Schiff, erfordern mehr Antriebskraft und bedeuten somit auch mehr Lärm auf dem Schiff und in seiner Meeresumwelt.

In der Europäischen Union gilt die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie aus dem Jahr 2008, in der festgeschrieben steht, dass spätestens ab dem Jahr 2020 Unterwasserlärm nur noch in einem so geringen Ausmaß verursacht werden darf, dass er der Meeresumwelt nicht schadet. Die Umsetzung dieser Zielvorgabe aber ist noch nicht weit vorangeschritten. Ein Beispiel: Während das Jahr 2020 längst verstrichen ist, arbeiten die zuständigen deutschen Behörden noch immer an einem Konzept, mit dem zunächst einmal der Istzustand zum Lärm im Meer erhoben werden kann. Es gibt demzufolge noch viel zu tun.

Schiffsabgase und -abfälle

Hafenstädte gehörten bislang zu den Orten mit der schlechtesten Luftqualität. Ursache waren die enormen Mengen an Schwefeloxiden, Rußpartikeln, Stickoxiden, aromatischen Kohlenwasserstoffen, Schwermetallen und anderen Schadstoffen, die bei der Verbrennung von Schweröl und Schiffsdiesel freigesetzt wurden. Schwefeloxide (SO_x) beispielsweise schaden Mensch und Umwelt. Sie verursachen nicht nur Atemprobleme und

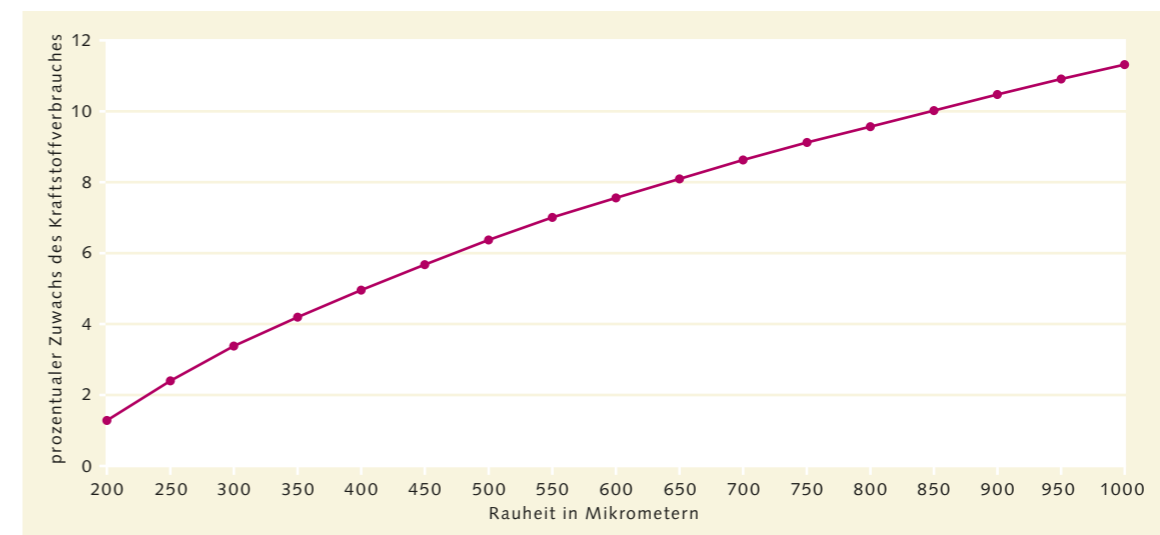
Lungenkrebs, sondern führen auch zu saurem Regen, der negative Folgen für Wälder, Nutzpflanzen und im Wasser lebende Organismen nach sich zieht. Außerdem beschleunigt er die Versauerung der Meere.

Das bislang im Seeverkehr als Treibstoff verwendete Schweröl enthielt besonders viel Schwefel. Erlaubt waren bis zu 3,5 Prozent. Diese Menge entsprach dem 3500-Fachen des im europäischen Straßenverkehr zulässigen Schwefelgehalts. Seit dem 1. Januar 2020 aber gilt eine verschärfte Regelung im Annex VI des Internationalen Übereinkommens zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe (MARPOL-Übereinkommen). Diese besagt, dass Schiffe außerhalb designierter Emissionskontrollgebiete (Emission Control Areas, ECAs) nur noch Treibstoff mit einem Schwefelanteil von maximal 0,5 Prozent einsetzen dürfen. Überschreitet der verwendete Kraftstoff diese Marke, muss das Schiff mit einer effektiven Abgasfilteranlage (Gaswaschanlage, englisch: scrubber) ausgestattet werden und diese einschalten. In der Nord- und Ostsee sowie in EU-Häfen gilt seit 2012 bereits eine Grenze von 0,1 Prozent Schwefelanteil. Die Einhaltung dieser Regeln soll von den MARPOL-Mitgliedstaaten und deren zuständigen Behörden überwacht werden. Diese haben sowohl in ihrer Rolle als Flaggenstaat als auch in der Rolle als Hafenation die Macht und Verantwortung, Schiffe zu kontrollieren und die MARPOL-Regeln durchzusetzen.

Das MARPOL-Übereinkommen regelt auch den Umgang mit Abfällen, die an Bord von Schiffen anfallen. Demzufolge darf von Schiffen bis auf definierte Ausnahmen (Nahrungsabfälle, unschädliche Ladungsrückstände, Reinigungsmittel und Zusätze sowie Tierkadaver) kein Müll ins Meer gelangen. Diese Vorschrift gilt seit Januar 2013 weltweit. In der Ost- und Nordsee sind die geltenden Vorgaben noch strenger. Der Grund: Beide Meere haben wie Australiens Great Barrier Reef den Status eines besonders sensiblen Meeresgebietes. Solche Regionen sind aufgrund ihrer einzigartigen Tier- und Pflanzenwelt, wegen bestimmter sozialer, wirtschaftlicher oder kultureller Merkmale oder aber wegen ihrer Bedeutung für die Wissenschaft besonders schützenswert. In ihrem Territorium dürfen zum Beispiel keine Tierkadaver entsorgt werden, die während des Transports anfallen. Verboten ist zudem, Nahrungsabfälle, die nicht pulverisiert wurden, im Meer zu entsorgen.

Laut MARPOL sind Schiffe mit einer Nettoraumzahl von 400 oder größer oder mit mindestens 15 Personen an Bord verpflichtet, ein Mülltagebuch zu führen. Darin muss jede Abfallentsorgung dokumentiert werden, egal ob diese auf See oder im Hafen durchgeführt wurde – einschließlich Angaben zum Zeitpunkt, zur genauen Schiffsposition, der Abfallart und der entsorgten Menge. Bei entsprechenden Schiffsinspektionen ist die Richtigkeit dieser Buchführung auch fester Bestandteil der jeweiligen Kontrollen.

Trotz der klaren Vorgaben des MARPOL-Abkommens werden noch immer erhebliche Mengen Müll und Abfall auf dem Meer entsorgt. Gründe dafür sind vor allem die illegale Müllentsorgung von Schiffen auf See, schlechte Abfallbewirtschaftungspraktiken an Bord sowie das Fehlen angemessener Auffangeinrichtungen für Schiffsabfälle und auch -abwässer in den Häfen. So manche Schiffscrew scheut sich auch, die zum Teil hohen Abfallentsorgungsgebühren in den Häfen zu zahlen, und verklappt ihren Müll lieber kostensparend auf See. Hafenbetreiber in aller Welt sind daher dazu aufgerufen, die Müllgebühren nicht als Sondergebühr zu erheben, sondern als festen Bestandteil der normalen Hafennutzungsgebühr für alle Schiffe, ganz ungeachtet dessen, ob jedes einzelne Schiff Abfall oder Abwässer ordnungsgemäß im Hafen entsorgt oder nicht. Auf diese Weise gäbe es keinen Grund mehr für illegale Müllverklappungen. Einen Nachteil aber hat diese Verfahrensweise: Berechnet sich die Höhe der Müllgebühr nicht



Gaswaschanlage
Die Reinigung der Schiffsabgase ist keine zukunftsweisende Lösung, denn dabei entsteht mit Schadstoffen und Schwermetallen belastetes Abwasser, welches die Schiffe in der Regel direkt ins Meer entsorgen. Im Jahr 2020 waren weltweit rund 4300 Schiffe mit Gaswaschanlagen ausgestattet. Sie produzierten mindestens zehn Milliarden Tonnen Abwasser pro Jahr.

mehr nach der anfallenden Abfallmenge, fehlt ein wichtiger finanzieller Anreiz, insgesamt weniger Müll an Bord zu produzieren.

Die IMO sieht auch noch großes Verbesserungspotenzial und arbeitet derzeit gemeinsam mit der Welternährungsbehörde FAO an einem neuen Aktionsplan, mit dem vor allem der schiffsbasierte Eintrag von Plastikmüll in die Ozeane reduziert werden soll. Institutionen wie das deutsche Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und die Helsinki-Kommission zum Schutz der Meeresumwelt der Ostsee (HELCOM) sammeln derzeit Beispiele vorbildhafter Konzepte und technischer Lösungen, mit denen die Abwasserentsorgung verbessert werden kann. Denn auch die Abwässer werden häufig noch auf offener See verklappt und verstärken die Überdüngung der Meere.

Fremde Arten im Gepäck

Die Schifffahrt ist eine der Hauptursachen für die Verbreitung exotischer oder ortsfremder Meereslebewesen auf der Welt. Die Einwanderer reisen entweder im Ballastwasser der Schiffe von einer Meeresregion in die nächste oder haften am Schiffsrumpf oder an einer anderen exponierten Stelle unter Wasser fest. Glaubte man bislang, dass die meisten Einwanderungen auf das Ablassen von Ballastwasser zurückzuführen sind, weiß man mittlerweile, dass vermutlich bis zu 69 Prozent aller bekannten Artenver-

4.26 > Je mehr Algen und anderes Getier auf einem Schiffsrumpf wachsen, desto rauer wird dessen Oberfläche. Das wiederum führt zu mehr Reibung zwischen Rumpf und Wasser, weshalb das Schiff am Ende auch mehr Treibstoff benötigt, um voranzukommen.

4.27 > Schon ein dünner Biofilm aus winzigen Algen und Mikroorganismen genügt, um den Rauheitsgrad eines Schiffsrumpfes zu verdoppeln. Setzen sich sogar Muscheln auf dem Rumpf fest, verzehnfacht sich die Rauheit.

Spektrum repräsentativer Zustände von Beschichtungen und Bewuchsbildungen (Fouling)	
Beschreibung des Zustandes	Durchschnittliche Rauheit der Beschichtung in Mikrometern
Hydraulisch glatte Oberfläche	0
Typisch für aufgebrachte Antifouling-Beschichtung	150
Abgenutzte Beschichtung oder dünner Biofilm	300
Starker Biofilm	600
Geringer Bewuchs mit kalkabscheidenden Organismen und Pflanzen	1000
Mittelstarker Bewuchs mit kalkabscheidenden Organismen	3000
Starker Bewuchs mit kalkabscheidenden Organismen	10000

schleppungen durch Bewuchs am Schiffsrumpf verursacht wurden.

Experten bezeichnen das unerwünschte Festsetzen von Mikroorganismen, Algen und Meerestieren an Schiffsrümpfen, Offshore-Bohrplattformen oder aber auch an Aquakulturtechnik als Biofouling. Am nächsten oder übernächsten Zwischenstopp angekommen, lösen sich die fremden Organismen dann von der Außenhaut des Schiffes oder produzieren Nachwuchs, der in die Wassersäule entkommt. Stimmen zu diesem Zeitpunkt die Umweltbedingungen in der neuen Heimat, steht einer Ansiedlung oft nichts mehr entgegen – insbesondere dann, wenn es in dem neuen Areal keine natürlichen Fressfeinde oder gefährliche Krankheitserreger gibt und die verschleppten Organismen in ausreichender Zahl vorkommen, so dass sie sich schnell fortpflanzen können.

Die Auswirkungen einer solchen Verschleppung auf die lokale Meeresumwelt können vielschichtig sein. Mal fügen sich die Neulinge problemlos in die lokalen Lebensgemeinschaften ein, ein anderes Mal stellen sie diese komplett auf den Kopf, werden zur Plage und verändern Habitate und Nahrungsnetze grundlegend – mit teilweise

katastrophalen Folgen für die lokale Meereswirtschaft und die Küstenbevölkerung.

Um die Ausbreitung fremder Arten durch die Schifffahrt einzudämmen, haben die Mitgliedstaaten der IMO zunächst ein internationales Übereinkommen zur Kontrolle und Bewirtschaftung von Ballastwasser und Sedimenten von Schiffen (International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, BWM Convention) verabschiedet. Dieses ist im September 2017 in Kraft getreten und verlangt zum Beispiel, dass Besatzungen einem auf ihren Schiffstyp zugeschnittenen Ballastwasser-Managementplan folgen und über jede Maßnahme Buch führen. Langfristig werden die meisten Schiffe zudem ein Aufbereitungssystem für das Ballastwasser vorweisen müssen. Als klare Leitlinie gilt: Wann immer möglich, sollten Schiffe ihr Ballastwasser in Meeresgebieten ablassen, die mindestens 200 Seemeilen von der nächstgelegenen Küste entfernt liegen und tiefer als 200 Meter sind.

Die Gefahr der Ausbreitung fremder Arten durch Bewuchs aber ist dadurch längst nicht gebannt. Sie zu reduzieren, erfordert einen viel breiteren und multisektoralen Ansatz. Zu vielfältig sind nach Meinung von Experten die Formen des Biofouling, zu komplex die Folgen und Möglichkeiten der Bekämpfung. Außerdem steigt mit der zunehmenden Nutzung der Ozeane durch den Menschen auch die Menge künstlicher Oberflächen im Meer, auf denen sich Organismen festsetzen, und anschließend Gefahr laufen, verschleppt zu werden. So gibt es nicht nur mehr Schiffe, Freizeitboote, Bohrplattformen oder Aquakulturtechnik, sondern zunehmend auch treibender Plastikmüll, Fischernetze und vieles mehr.

Die IMO hat deshalb Richtlinien zum Umgang mit Bewuchs herausgegeben und gemeinsam mit dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen und Partnern aus der Wissenschaft im Jahr 2018 ein großes Forschungsprogramm gestartet. Es heißt GloFouling (das „Glo“ steht für global) und zielt darauf ab, Werkzeuge und Best-Practice-Lösungen im Kampf gegen Biofouling zu entwickeln sowie Wege aufzuzeigen, auf denen Wissen zwischen Wissenschaft, Behörden und Industrie geteilt und Maßnahmenpakete von nationaler bis zur lokalen Ebene implementiert werden können. Außerdem erhoffen sich die Initiatoren, dass die erfolgreiche Reduktion von Bewuchs auf

Schiffspropellern und -rümpfen zu einer verbesserten Energieeffizienz und damit zu deutlichen Treibstoff- und Emissionseinsparungen im Seeverkehr führen wird. Studien zufolge würde die Reinigung von Schiffsschrauben und -rümpfen sowie der Einsatz bewuchshemmender Anstriche jeweils Energieeinsparungen bis zu zehn Prozent ermöglichen.

Gerade Letztere aber haben in der Vergangenheit zu schädlichen Umweltauswirkungen geführt. Effektive Antifouling-Anstriche, die in den 1960er-Jahren entwickelt wurden, enthielten Tributylzinn (TBT) und andere hochgiftige zinnorganische Verbindungen. Dabei handelt es sich um eine der giftigsten Chemikalien, die der Mensch bewusst in die Umwelt bringt. Kommen Muscheln, Seepocken, Algen mit TBT-Schiffsanstrichen in Kontakt, werden sie abgetötet. Was man lange jedoch nicht beachtete: Das Gift löste sich aus den Schiffsanstrichen – vor allem bei Hafen- und Werftarbeiten – und reichert sich im Fluss- und Meeressediment sowie in den Nahrungsnetzen an. Auf diese Weise gefährdete es nicht nur die Bodenfauna in Flüssen und Meeren, sondern mit der Zeit auch Fische, Meeressäuger und letztendlich den Menschen.

Aus diesem Grund ist die Verwendung von Tributylzinn und anderen zinnorganischen Verbindungen in Schiffsanstrichen seit dem Inkrafttreten des IMO-Übereinkommens über Bewuchsschutzsysteme (AFS-Übereinkommen, International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships) im Jahr 2008 verboten. Die Entwicklung und Erprobung effizienter, aber umweltfreundlicher Antifouling-Strategien und -Systeme ist Gegenstand der aktuellen Forschung. Bis dahin werden die Schiffsrümpfe und -propeller alle sechs bis sieben Monate gereinigt – entweder von Tauchern und Robotern auf dem offenen Meer oder aber bei Zwischenstopps in der Werft.

Auf Kollisionskurs

Zusammenstöße mit Schiffen und anderen Wasserfahrzeugen stellen mittlerweile eine der größten Gefahrenquellen für Wale dar. Für Arten wie den Atlantischen Nordkaper (*Eubalaena glacialis*), dessen Wanderroute entlang der US-amerikanischen Ostküste viel befahrene Schifffahrtslinien kreuzt, geht es dabei um das nackte Überleben. Von

diesen Bartenwalen gibt es nämlich mittlerweile nur noch etwa 400 Tiere weltweit. Jedes getötete Tier macht ein Aussterben dieser Art wahrscheinlicher. Stark gefährdet sind nach Aussage der Internationalen Walfangkommission (International Whaling Commission, IWC) Buckelwale im Arabischen Meer, Finn- und Pottwale im Mittelmeer, Blauwale vor Chile und Sri Lanka, Brydewale im Golf von Mexiko sowie die Grauwale vor der Westküste Nordamerikas und Walpopulationen rund um die Kanaren.

Kollisionen zwischen Walen und großen Schiffen wie Tankern, Kreuzfahrtschiffen oder Frachtschiffen verlaufen in der Regel vom Menschen unbemerkt, was eine Quantifizierung des Problems so schwierig macht. Die Tiere tragen jedoch schwere äußere und innere Verletzungen davon, die häufig zum Tod führen. Der Unfall selbst kann meist erst dann erfasst werden, wenn die Kadaver an die Küste gespült und Untersuchungen zur Todesursache vorgenommen werden. Dokumentiert sind vor allem Zusammenstöße zwischen Großwalen und Schiffen jeder Art. Kleinere Arten wie Schwertwale oder Delfine sind jedoch genauso gefährdet wie Grau-, Blau- oder Buckelwale.

4.28 > Reinigungsroboter wie der in Skandinavien entwickelte HullSkater sollen Schiffsrümpfe künftig ohne viel Aufwand von Bewuchs und Dreck befreien. Der Besatzung erspart das Gerät so unter anderem den Einsatz von Tauchern.

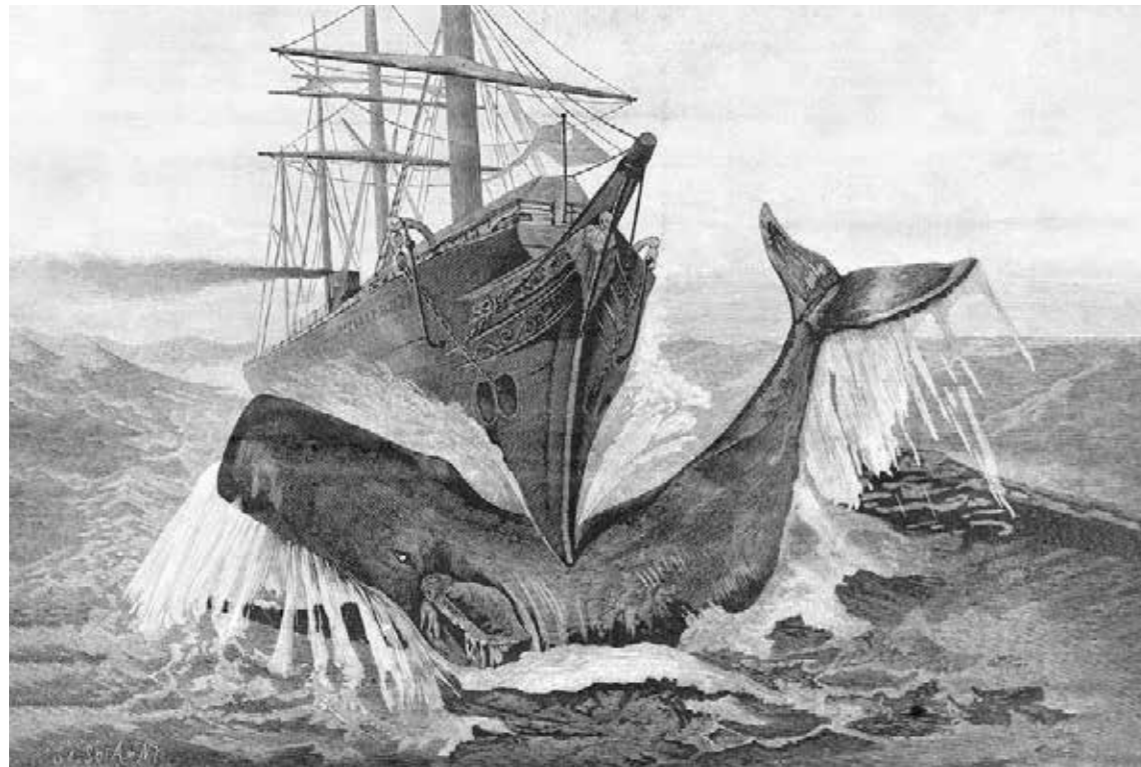


Um das Risiko von Zusammenstößen mit Schiffen zu reduzieren, hat die IWC in den zurückliegenden 20 Jahren folgende Maßnahmen vorgeschlagen und zum Teil auch schon umgesetzt:

- die Erstellung einer internationalen Datenbank über Kollisionen zwischen Schiffen und Walen;
- die Entwicklung technischer Warnsysteme wie zum Beispiel Wärmemesssysteme zur Identifikation von Walblas; Bojen mit automatischer Detektion von Walen und Mikrofonssysteme, welche Wale lokalisieren und deren Anwesenheit in Echtzeit an ein Informationssystem melden;
- die Identifikation sogenannter Hochrisikogebiete, in welchen besondere Vorkehrungen zum Schutz der Wale gelten – so zum Beispiel in den Gewässern der Kanarischen Inseln, vor der US-Ostküste sowie in der Gerlachstraße an der Antarktischen Halbinsel (Kreuzfahrttourismus);
- die Identifikation von Walpopulationen, die durch Schiffsunfälle in ihrem Bestand gefährdet sind;

- die Entwicklung von Leitlinien, mit denen die Schifffahrt das Risiko von Zusammenstößen mindern kann.

Letztere empfehlen, Gebiete mit hohem Walaufkommen von vornherein zu umfahren oder die Reiseroute so vorausschauend zu planen, dass Zusammenstöße möglichst vermieden werden. Im stark von Großwalen frequentierten Golf von Maine beispielsweise genügte es, die vorgeschriebene Schiffsroute in den Hafen von Boston um wenige Kilometer Richtung Norden zu verlegen, um das Kollisionsrisiko für die seltenen Nordkaper um 58 Prozent und jenes für die restlichen Bartenwale um 81 Prozent zu reduzieren. Schließt sich ein Umfahren der Territorien der Wale aus, sind Schiffe zum Teil angewiesen, ihre Fahrtgeschwindigkeit auf weniger als zehn Knoten zu reduzieren. Mit dem Tempo sinkt nämlich auch die Gefahr eines Zusammenstoßes. Spezielle Beobachter auf der Schiffsbrücke sowie Informations- und Warnsysteme wie das vor der US-Ostküste eingesetzte Whale Alert können außerdem dazu beitragen, dass Tiere rechtzeitig entdeckt und Unfälle vermieden werden.



4.29 > Die Gefahr, dass Schiffe mit Meeressäugern zusammenstoßen, besteht, seit der Mensch zur See fährt. Diese Zeichnung aus dem Jahr 1886 zeigt die Kollision des niederländischen Dampfschiffes „Waesland“ mit einem Wal und erschien damals im US-Magazin „Scientific American“.

Conclusio

Eine Schlüsselbranche unter Druck

Die internationale Handelsschifffahrt war in den vergangenen Jahrzehnten stets auf Wachstum gepolt. Größer, schneller, immer mehr, so lautete das Motto der Branche, die zwischen 80 und 90 Prozent aller weltweit gehandelten Waren und Güter transportiert und damit das Rückgrat unserer globalen Konsumgesellschaft darstellt. Die dabei entstehenden Klima- und Umweltauswirkungen nahm sie lange Zeit billigend in Kauf – die eigene Schlüsselrolle und die stetig wachsende Bedeutung der Schifffahrt für die globalen Produktions- und Lieferketten machten es möglich.

Mit der Unterzeichnung des Pariser Klimaabkommens und dem weltweit gestiegenen und weiter steigenden Bewusstsein für die Öko- und Klimabilanz des Transportwesens aber steht auch die Seeschifffahrt an einem Scheideweg. Ihr oberstes Gremium, die Internationale Seeschiffahrts-Organisation IMO, hat das Ziel ausgegeben, die Treibhausgasemissionen der Handelsflotte bis zum Jahr 2050 um die Hälfte zu reduzieren – verglichen mit den Emissionen aus dem Jahr 2008. Die Kohlendioxidemissionen im Speziellen sollen um 70 Prozent gesenkt werden.

Operative Anpassungen wie zum Beispiel eine Reduktion der Fahrtgeschwindigkeit oder regelmäßige Reinigungen des Schiffsrumpfes haben zwar einen klaren Einspareffekt. Sie allein aber werden nicht ausreichen, um das Emissionsziel zu erreichen. Stattdessen bedarf es einer radikalen Transformation des gesamten Sektors. Gefragt sind zunächst einmal große Investitionen in die Entwicklung neuer Antriebssysteme und alternativer Treibstoffe zu dem bisher sehr verbreiteten Schweröl und Schiffsdiesel. Ammoniak und Wasserstoff scheinen bislang die vielversprechendsten Ersatzkraftstoffe, auch wenn wirklich brauchbare Lösungen für die Hochseeschifffahrt noch fehlen.

Anschließend gilt es, die Flotte mit den neuen Technologien auszustatten oder von Grund auf zu erneuern – ein Schritt, der ebenfalls viel Geld kosten wird.

Um Forschung und Entwicklung voranzutreiben sowie Investoren die notwendige Planungssicherheit zu gewähren, bedarf es weltweit einheitlicher Regularien, einer gemeinschaftlichen Steuer auf Treibhausgasemissionen sowie strikter Kontrollen durch die Flaggen- und Hafenstaaten. Gleichzeitig stehen die Küstenstaaten vor der Herausforderung, ihre Häfen gegen die Folgen des fortschreitenden Klimawandels abzusichern. Angesichts steigender Wasserpegel und der Zunahme von Wetterextremen haben hierbei vor allem der Schutz vor Sturm, Hochwasser und Hitze oberste Priorität. Auch versucht man intensiv dem Problem der Küstenerosion in vielen Regionen Herr zu werden. International führende Häfen wie Rotterdam beschließen zudem eigene Klimaziele und entwickeln Strategien, mit denen die hohen Treibhausgasemissionen des Hafenbetriebes und aller dazugehörigen Industrien drastisch reduziert werden können.

Zunehmend in den Fokus rücken außerdem die direkten Umweltauswirkungen der Schifffahrt wie zum Beispiel die Belastung durch Abgase, Abfälle, Abwässer, Lärm und eingeschleppte Arten. Einige dieser Problemfelder sind seit Jahrzehnten bekannt und werden nach und nach durch internationale Regelungen angegangen. Anderen wiederum kommt die Wissenschaft erst jetzt auf die Spur – so etwa der Lärmbelastung durch Schiffsverkehr, die viel weiter reichende Auswirkungen auf die Meeresumwelt hat, als man bislang annahm.

Vergleichsweise neu auf der Agenda ist auch die Gefahr von Kollisionen mit großen Meeressäugern. Wie verschiedene Studien zeigen, versprechen eine vorausschauende Routenplanung sowie ein langsames Fahren in Gebieten mit hoher Tierdichte die größten Erfolge.

5 Energie und Rohstoffe aus dem Meer

> Heutzutage interessieren sich Industrie und Wirtschaft für eine breite Palette an Rohstoffen aus dem Ozean – angefangen von Sand, Erdöl und Erdgas bis hin zu den riesigen Erzvorkommen in der Tiefsee, deren industrieller Abbau derzeit vorbereitet wird. Zeitgleich treiben Staaten und Unternehmen den Ausbau der grünen Stromproduktion auf dem Meer voran. Aus Sicht des Ozeans bedeuten beide Entwicklungen vor allem eines: noch mehr großflächige Eingriffe des Menschen.



Tiefseebergbau: Die Pläne nehmen Gestalt an

> Seit mehr als 140 Jahren weiß der Mensch, dass in der Tiefsee der Ozeane wertvolle Rohstoffe wie Nickel, Kupfer, Kobalt und Seltene Erden lagern. Diese abzubauen aber war bislang technisch kaum möglich und zudem unrentabel. Mit dem Kampf gegen den Klimawandel steigt jedoch die Nachfrage nach diesen Metallen und Mineralien enorm, und es stellt sich die Frage, ob diese weiterhin nur an Land oder bald auch im Meer abgebaut werden. Erste Fördertests in der Tiefsee hat es bereits gegeben, allerdings sind die Folgen für die Umwelt noch nicht ausreichend erforscht.

Das Fundament des technologischen Fortschritts

Mobiltelefone, Internet und Streaming-TV sind mittlerweile genauso wenig aus unserem Alltag wegzudenken wie Autos mit E-Motor, Windkraftanlagen und der Batteriespeicher für den Strom aus der hauseigenen Photovoltaikanlage. Die zunehmende Digitalisierung und Elektrifizierung unseres Lebens haben jedoch ihren Preis. Für die Herstellung der notwendigen Technik und den Ausbau der Netze werden jede Menge Metalle und insbesondere jene aus der Gruppe der Seltenen Erden benötigt. Wolfram lässt Telefone vibrieren, Gallium und Indium sind für die Leuchtdiodentechnologie (LED) in Lampen erforderlich, Halbleiter brauchen Siliziummetall und Wasserstoffbrennzellen benötigen Metalle der Platingruppe.

Hinzu kommen mineralische Rohstoffe wie Kupfer, Nickel, Kobalt, Lithium und Tellur, die wie alle anderen

auch in aufwendigen Bergbauverfahren dem Erdreich entnommen werden müssen. Im Zuge dessen wird in der Regel nicht nur die Umwelt in großem Ausmaß zerstört; in so manchen Ländern führt der Abbau von Rohstoffen auch zu Korruption, Krieg und Vertreibung mit schwerwiegenden Folgen für die einheimische Bevölkerung – vor allem, wenn der Bergbau auf unkontrollierte oder illegale Weise erfolgt.

Diese Folgen wiegen umso schwerer, wenn man bedenkt, dass die Nachfrage nach diesen Metallen und Mineralien im Zuge der Klima-, Energie- und Verkehrswende steigen wird. Nur zwei Beispiele: Bereits heute ist absehbar, dass die Europäische Union im Jahr 2030 bis zu 18-mal mehr Lithium und fünfmal mehr Kobalt für die Herstellung von Elektrofahrzeugen und für die Energiespeicherung benötigen wird als im Jahr 2020. Die Nachfrage nach Seltenen Erden, die in Permanentmagneten,

etwa für Elektrofahrzeuge, digitale Technologien oder Windgeneratoren zum Einsatz kommen, könnte sich nach Angaben der Europäischen Kommission bis 2050 verzehnfachen. Wie aber soll dieser steigende Bedarf gedeckt werden?

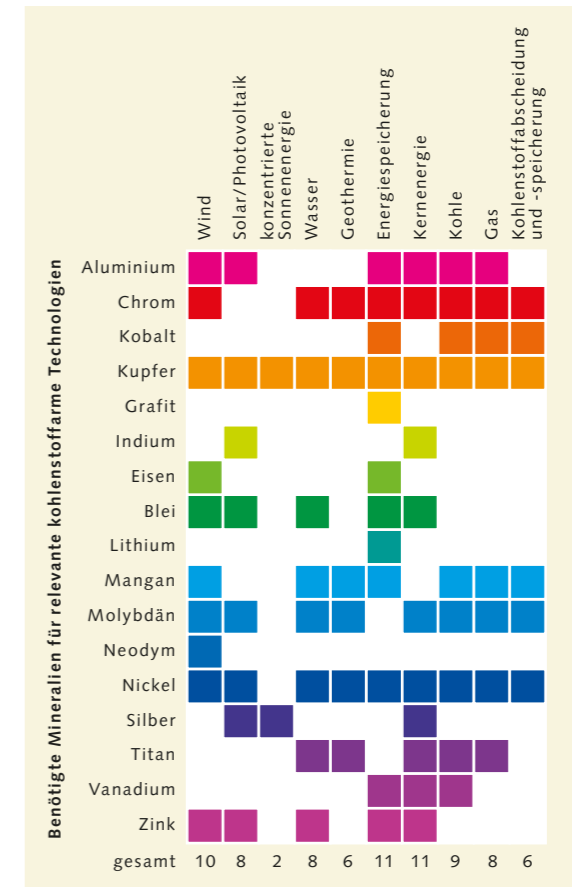
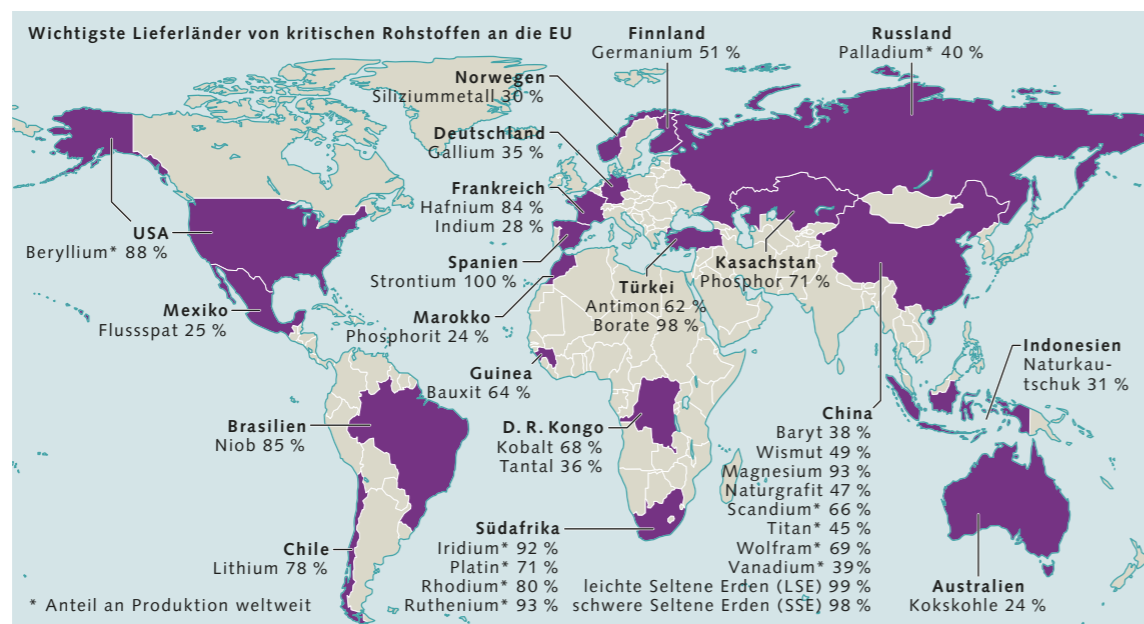
Bislang gibt es nur zwei Gebiete auf der Erde, in denen der Mensch bislang noch keinen kommerziellen Bergbau betreibt. Das eine Areal umfasst die Antarktis, also alle Gewässer und Landmassen südlich des 60. Breitengrades Süd. Für diese Region verbietet das Umweltschutzprotokoll zum Antarktisvertrag (Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty) sowohl den Abbau mineralischer Rohstoffe als auch die Förderung sogenannter Energierohstoffe. Zu Letzteren gehören fossile Rohstoffe wie etwa Kohle, Erdöl und Erdgas. Das zweite noch vom kommerziellen Bergbau verschonte Gebiet ist der Meeresboden in der Tiefsee – gemeint ist hier der Untergrund der Weltmeere in einer Wassertiefe von mehr als 200 Metern.

Die weltweit steigende Nachfrage nach mineralischen Rohstoffen aber lässt die Ozeane zunehmend in den Fokus der Bergbauindustrie rücken. In der Tiefsee kommen nämlich gleich mehrere Metalle und auch Seltene Erden in kommerziell vielversprechenden Mengen vor. Geologen unterscheiden drei verschiedene Arten abbaubarer Tiefsee-Erzvorkommen, die im Gegensatz zu Lagerstätten an Land allesamt eine Vielzahl verschiedener Metalle enthalten: Manganknollen, kobaltreiche Eisen-Mangan-Krusten und sogenannte Massivsulfide.

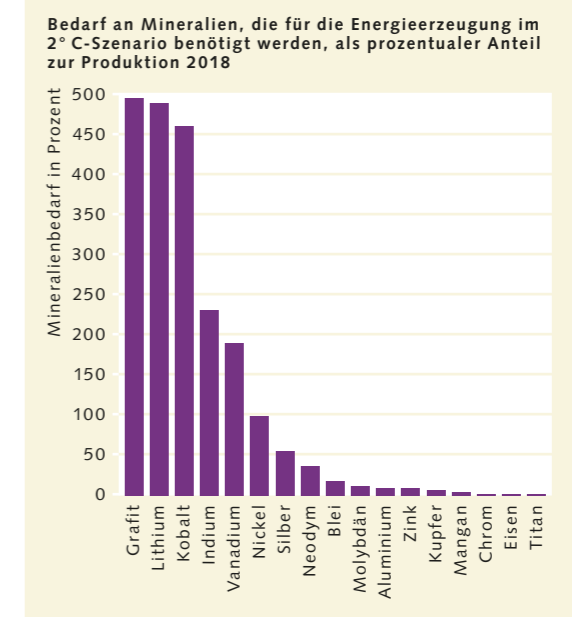
Manganknollen

Als Manganknollen werden schwarzbraune, rundliche und meist zwiebelschalenartig aufgebaute mineralische Körper bezeichnet, die einen Durchmesser von ein bis 15 Zentimetern besitzen. Sie bilden sich in erster Linie in den von Sedimenten (Partikelablagerungen) bedeckten Tiefseeebenen der Ozeane in einer Wassertiefe von 3500 bis 6500 Metern. Für ihre Entstehung bedarf es sauerstoffreichen Tiefenwassers sowie eines Kerns oder eines Nukleus, an dem sich dann über einen Zeitraum von mehreren Millionen Jahren sowohl Eisen- und Manganoxide als auch zahlreiche Neben- und Spurenmetalle wie Nickel, Kobalt, Kupfer, Titan, Molybdän und Lithium in vielen Schichten anlagern.

5.1 > Die Europäische Union muss viele der in Europa benötigten kritischen Rohstoffe importieren und ist dabei auf Lieferungen aus einigen wenigen Ländern angewiesen. Besonders groß ist die Abhängigkeit von Nationen wie China (99 Prozent aller leichten Seltenen Erden) und der Türkei (98 Prozent der benötigten Borate).



5.2 > Die globale Energiewende kann nur gelingen, wenn ausreichend mineralische Rohstoffe vorhanden sind. Für den Bau von Windturbinen, Photovoltaikanlagen und Energiespeichern werden bis zu elf verschiedene Metalle benötigt.



5.3 > Will die Menschheit die Erderwärmung bis zum Jahr 2100 auf zwei Grad Celsius begrenzen, muss sie ihren Energiesektor komplett umbauen. Nach Angaben der Weltbank wird infolgedessen vor allem der Bedarf an Grafit, Lithium, Kobalt und Indium für die Herstellung von Energietechnologien bis zum Jahr 2050 deutlich ansteigen.



5.4 > Manganknollen wachsen, indem sich über einen Zeitraum von Jahrtausenden im Meer- oder Porenwasser gelöste Metalle in konzentrischen Ringen um einen Nukleus herum anlagern. Auf diese Weise entstehen ihre rundliche Form und der zwiebelschalentypische Aufbau.

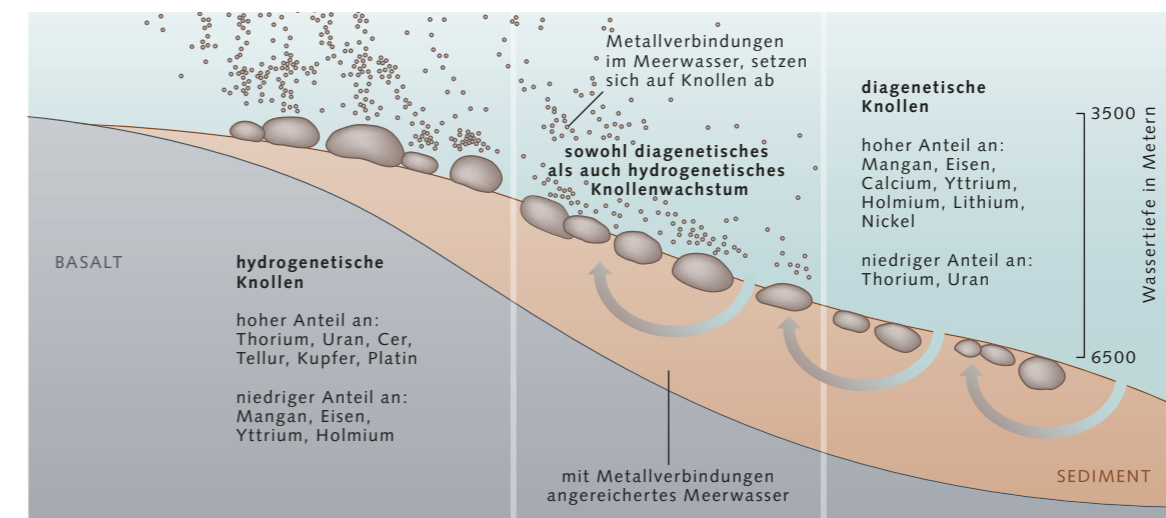
Als Nukleus dient in der Regel ein Stück verfestigtes Sediment oder ein Knollenbruchstück, gelegentlich auch Basalt- und andere Gesteins- oder Muschelschalenbruchstücke. Wissenschaftler haben allerdings auch schon Knollen gefunden, die sich um den ausgefallenen Zahn eines Hais herum gebildet hatten oder deren Kern aus den Innenohrknöchelchen eines Wales bestand. Die Metalle wiederum sind auf natürliche Weise im Meerwasser und im Porenwasser der Sedimente gelöst und werden durch sogenannte diagenetische und hydrogenetische Prozesse auf den Manganknollen abgelagert.

Bei der diagenetischen Anreicherung geschieht dies durch Ausfällung der Metalloxide aus dem sogenannten Porenwasser, welches durch die oberen Sedimentschichten des Meeresbodens zirkuliert. In diesem Porenwasser ist unter anderem Mangan gelöst, das infolge von Konzentrationsunterschieden nach oben diffundiert und aus dem Meeresboden austritt. Bei Kontakt mit dem sauerstoffreichen Ozeanwasser wird es oxidiert, was zur Ausfällung von Manganoxiden führt. Diese reichern sich dann in konzentrischen Ringen um den Nukleus an. Andere im Porenwasser gelöste Metalle, einschließlich Kupfer und Nickel, werden in das Manganoxid eingeschlossen. Sie stammen vor allem aus der mikrobiellen Zersetzung des organischen Materials im Meeresboden. Außerdem werden sie freigesetzt, wenn sich die im Sediment abgelagerten Kalk- oder Silikatschalen abgestorbenen Planktons auflösen. Manganknollen beziehen in der Regel mehr als 80 Prozent

ihrer Metalle aus dem Porenwasser. Diese stete Materialzufuhr erlaubt ihnen, zu wachsen – allerdings nicht mehr als einige Zentimeter in einem Zeitraum von einer Million Jahre.

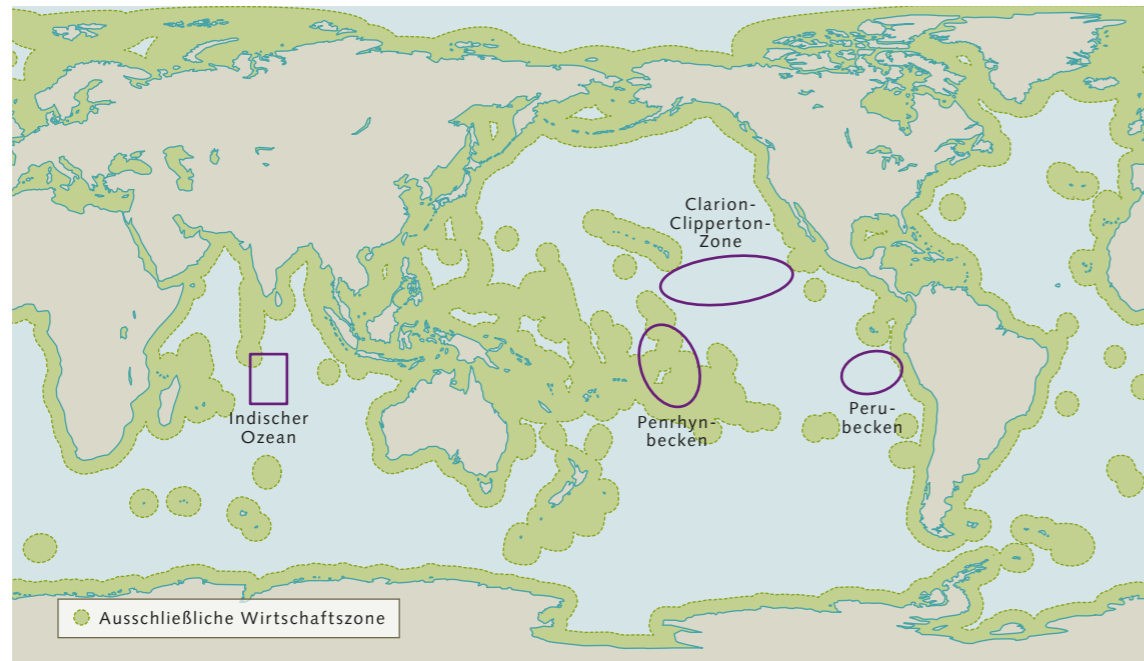
Die meisten Manganknollen wachsen aber auch infolge hydrogenetischer Prozesse, das heißt durch die Ausfällung sogenannter Kolloide (Teilchen mit einer Größe von einem Nanometer bis einem Mikrometer) aus hydratisierten Mangan- und Eisenoxiden direkt aus dem Meerwasser. Manganknollen, die nur oder größtenteils durch hydrogenetische Bildung entstehen, treten an Hängen oder Gipfeln untermeerischer Vulkane (englisch: seamounts) auf. Ihre Zusammensetzung wird durch die Chemie des Wassers und durch biogeochemische Prozesse zwischen Meerwasser und den darin enthaltenen Partikeln gesteuert. Hydrogenetisch gebildete Knollen wachsen sehr langsam. Ihr Durchmesser nimmt nur um einige Millimeter pro einer Million Jahre zu. Sie reichern jedoch mehr Kobalt und Seltene Erden an als Knollen diagenetischen Ursprungs.

Die Manganknollen liegen lose auf dem Meeresboden, meist zu ein bis zwei Dritteln im Sediment eingesunken. In einigen Gebieten finden sich nur einige wenige Knollen pro Quadratmeter Fläche; in anderen sind es bis zu 1000 Stück. Das größte und wirtschaftlich interessanteste Vorkommen befindet sich im sogenannten Manganknollengürtel der Clarion-Clipperton-Zone (CCZ). Diese liegt im äquatornahen Bereich des Nordpazifiks, zwischen



5.5 > Manganknollen wachsen zum einen durch die Ausfällung von Metalloxiden aus dem Porenwasser der Meeresedimente (diagenetische Anreicherung), zum anderen durch die Ausfällung von Mangan- und Eisenoxiden direkt aus dem Meerwasser (hydrogenetische Anreicherung). Beide Prozesse können gleichzeitig stattfinden.

5.6 > Die wirtschaftlich interessantesten Manganknollenvorkommen befinden sich in der nordpazifischen Clarion-Clipperton-Zone, im Perubecken, im westpazifischen Penrhynbecken sowie im zentralen Indischen Ozean.



Hawaii und Mexiko. Andere bedeutende Manganknollenvorkommen finden sich im Perubecken (Südostpazifik), im Penrhynbecken (Westpazifik) sowie im zentralen Indischen Ozean.

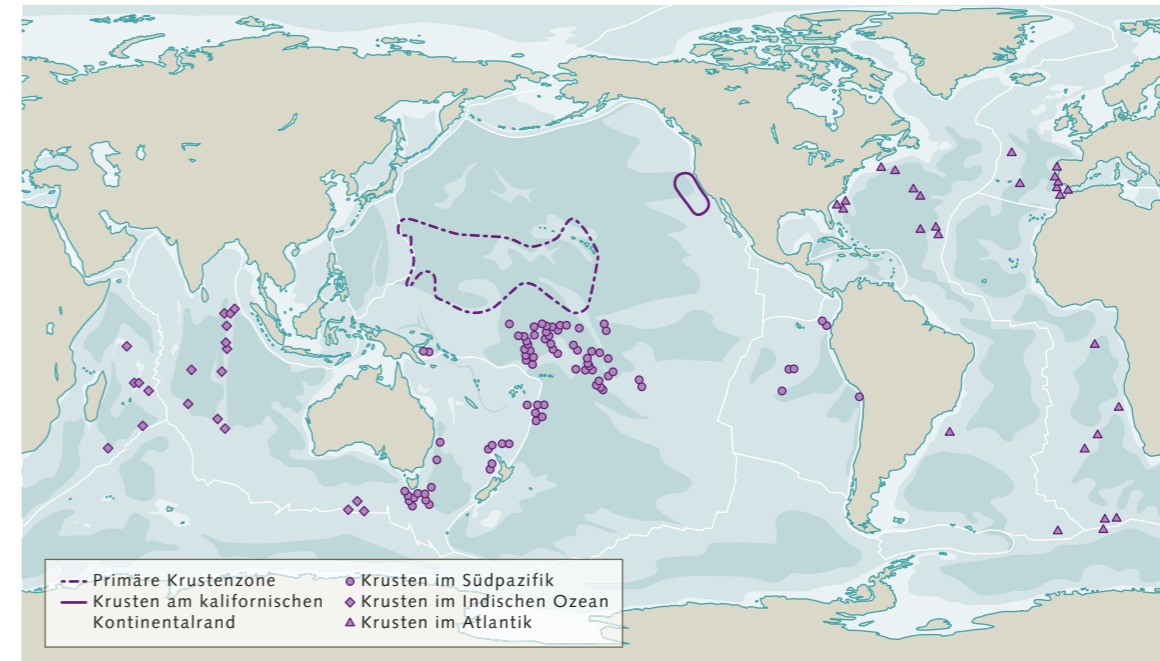
Der pazifische Manganknollengürtel in der Clarion-Clipperton-Zone ist mit einer Fläche von etwa fünf Millionen Quadratkilometern (ca. 5000 Kilometer lang und 1000 Kilometer breit) größer als die Europäische Union. Etwa drei Viertel dieses Tiefseereals bestehen aus flachem Meeresboden. Auf der restlichen Fläche ragen Unterseevulkane empor, einige in Höhen von bis zu 1000 Metern. In den Tiefseeebenen wiederum gibt es Gebiete, in denen nahezu ausschließlich große Knollen mit einem Durchmesser von vier bis 15 Zentimetern liegen, und andere, in denen fast alle Knollen kleiner als vier Zentimeter sind. Die kleinen Knollen bedecken etwa 85 Prozent der Tiefseeebenen in der Clarion-Clipperton-Zone. Gebiete mit großen Knollen machen rund zwölf Prozent aus, und die restlichen drei Prozent der Fläche sind frei von Knollen. In besonders knollenreichen Arealen liegen die Erzklumpen so dicht an dicht, dass sie pro Quadratmeter Fläche in der Regel ein Nassgewicht zwischen 15 und 30 Kilogramm auf die Waage bringen. Schätzungen zufolge lagern in der Clarion-Clipperton-Zone Knollenvorkommen

mit einem Gesamtgewicht von 25 bis 40 Milliarden Tonnen Nassgewicht.

Wirtschaftliches Interesse erregen diese wegen ihres hohen Gehaltes an Mangan (30 Gewichtsprozent), Nickel (1,4 Gewichtsprozent), Kupfer (1,1 Gewichtsprozent) und Kobalt (0,2 Gewichtsprozent). Alle vier Metalle werden unter anderem für die Herstellung von Kommunikationstechnik sowie für die Stahlveredelung und die Herstellung von Elektroautos benötigt. Neben Nickel und Mangan ist vor allem Kobalt ein unverzichtbarer Bestandteil moderner Lithium-Batterien und wird bislang vor allem in der Republik Kongo abgebaut. Im Vergleich zu allen bekannten Lagerstätten an Land aber finden sich in den Manganknollen der Clarion-Clipperton-Zone allein etwa 3,4- bis fünfmal mehr Kobalt; 1,8- bis dreimal mehr Nickel und 1,2-mal mehr Mangan. Außerdem enthalten die Knollen vergleichsweise hohe Anteile der Spurenmetalle Titan, Molybdän und Lithium.

Kobaltreiche Eisen-Mangan-Krusten

Kobaltreiche Eisen-Mangan-Krusten sind harte Überzüge aus Eisen- und Manganoxiden, die sich auf den Hängen von Unterseevulkanen bilden und wie hydrogenetisch wachsende Manganknollen ihre Metalle überwiegend aus



5.7 > Eisen-Mangan-Krusten gibt es vor allem in jenen Meeresregionen, wo die ozeanische Kruste am ältesten ist und die Erzverkommen demzufolge am längsten wachsen konnten. Das ist zum Beispiel im Westpazifik der Fall.

dem umgebenden Meerwasser aufnehmen. Im Gegensatz zu den flachen Tiefseeebenen lagert sich an den Vulkanhängen nämlich keine Sedimentschicht ab. Meeresströmungen spülen herabsinkende Partikel ziemlich schnell davon, sodass die Eisen-Mangan-Krusten nur äußerst langsam wachsen können – pro eine Million Jahre etwa ein bis fünf Millimeter.

In den Krusten reichern sich verschiedene Metalle an, die für die Herstellung moderner Energieversorgungs-, Computer- und Kommunikationssysteme benötigt werden. Dazu gehören Kobalt, Titan, Molybdän, Zirkon, Tellur, Bismut, Niob, Wolfram, Seltene Erden sowie Platin. Das seltene Halbmetall Tellur beispielsweise wird sowohl für die Cadmium-Tellur-Legierungen in der Dünnschicht-photovoltaik eingesetzt als auch für Bismut-Tellur-Legierungen in Computerchips.

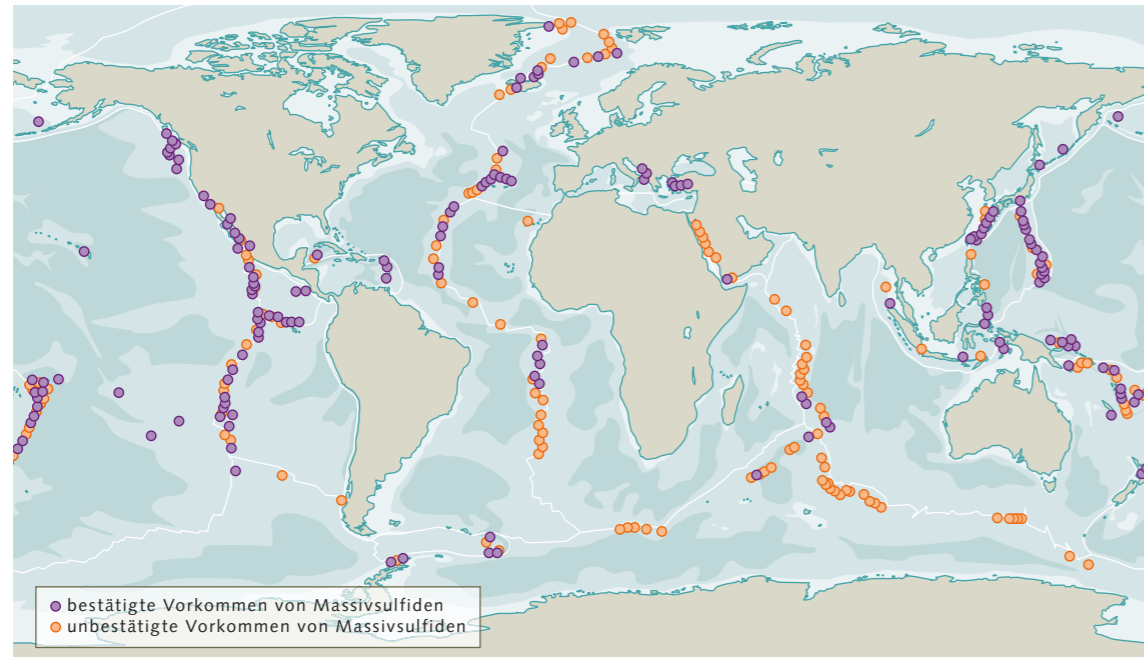
Rund zwei Drittel der für den Tiefseebergbau interessanten Vorkommen kobaltreicher Eisen-Mangan-Krusten befinden sich im Pazifischen Ozean, 23 Prozent im Atlantik und rund elf Prozent im Indischen Ozean. Als wirtschaftlich interessant gelten Vorkommen in Wassertiefen von 800 bis 2500 Metern. Die bekannten Krusten sind in der Regel drei bis sechs Zentimeter dick, im Ausnahmefall auch mal bis zu 26 Zentimeter, sodass Experten von 60 bis

120 Kilogramm Erz pro Quadratmeter Hangfläche ausgehen. Das weltweite Gesamtvorkommen kobaltreicher Eisen-Mangan-Krusten wird auf 40 Milliarden Tonnen geschätzt, wobei nach bisherigem Stand des Wissens jedoch nur die Hälfte gewinnbringend abgebaut werden könnte. Detailliert untersucht sind bislang allerdings weit weniger als ein Zehntel der bekannten Vorkommen.

Massivsulfide

Als marine Massivsulfide (englisch: Seafloor Massive Sulfides) bezeichnet man Metall-Schwefel-Verbindungen (Metallsulfide), die an heißen Quellen am Meeresboden in Wassertiefen von 1600 bis 4000 Metern entstehen. Diese Hydrothermalvorkommen sind an vulkanische Strukturen gebunden und kommen daher vor allem an tektonischen Schwachstellen der Erdkruste vor – so zum Beispiel an Mittelozeanischen Rücken, in sogenannten Backarc-Spreizungszonen sowie an Inselbögen. Sie entstehen durch das Zirkulieren von Meerwasser durch die oberen drei Kilometer der ozeanischen Kruste. Das Meerwasser wird dabei durch tiefer liegende Wärmequellen (Magmakammern) aufgeheizt und verwandelt sich in eine heiße, saure und hochkonzentrierte Lösung, die Metalle aus den vulkanischen Gesteinen lösen kann.

5.8 > Massivsulfide bilden sich an heißen Quellen, die wiederum nur an tektonischen Schwachstellen der Erdkruste auftreten – so zum Beispiel an Mittelozeanischen Rücken, in sogenannten Backarc-Spreizungszonen sowie an Inselbögen. Als abbaufähig gelten bislang nur die Erzvorkommen an erkalteten Hydrothermalquellen.



Die heiße Hydrothermallösung steigt anschließend an gewissen Stellen aus dem Meeresboden auf. Kommt sie in Kontakt mit dem kalten, sauerstoffreichen Meerwasser, werden die gelösten Metalle in Form von Metallsulfiden ausgefällt. Dazu gehören zum Beispiel Pyrit, Chalkopyrit und Sphalerit.

Durch das fokussierte, nach oben gerichtete Ausströmen der Hydrothermallösung an den heißen Quellen entstehen spektakuläre schornsteinartige Gebilde, die sogenannten Schwarzen Raucher (englisch: Black Smoker). Diese erreichen eine Höhe von 20, 30 oder sogar noch mehr Metern. Irgendwann aber werden die Schornsteine instabil und brechen zusammen; anschließend bildet sich ein neuer Schlot, der abermals in die Höhe wächst, bis auch dieser zusammenbricht. Durch diese stete Abfolge bilden sich Metallsulfidhügel am Meeresboden, die durch interne chemische Reaktionen bei der Vermischung der Hydrothermallösung mit eindringendem Meerwasser weiter verändert und verfestigt werden. Diese Erzvorkommen können bis zu mehrere Hundert Meter im Durchmesser und einige Zehner Meter dick werden. Darüber hinaus können die hydrothermalen Lösungen ihre Metallfracht aber auch unterhalb des Meeresbodens ausfällen. Sie bilden dann sogenannte Stockwerksvererzungen.

Die marinen Massivsulfide bilden das moderne Gegenstück zu den fossilen vulkanischen Massivsulfidlagerstätten an Land. Letztere sind wichtige Lieferanten für Kupfer, Zink, Blei, Silber und Gold. Die gleichen Metalle finden sich auch in den Massivsulfidlagerstätten am Meeresboden. Darüber hinaus enthalten die Vorkommen im Meer weitere Neben- und Spurenmetalle, die für moderne Hochtechnologieanwendungen wichtig sind. Dazu gehören Kobalt, Antimon, Indium, Selen, Tellur, Gallium, Germanium, Bismut und Molybdän.

Wissenschaftler kennen bislang mehr als 630 aktive Hydrothermalquellen, an denen sich nachweislich Metallsulfide anreichern. Allerdings setzen sich Hydrothermalfelder immer aus aktiven und inaktiven Bereichen zusammen. Inaktiv bedeutet hierbei, dass keinerlei hydrothermale Lösungen aus dem Meeresboden austreten. Für einen möglichen Abbau von Massivsulfiden kommen aus zwei Gründen nur diese inaktiven Bereiche infrage: Zum einen geht man bislang davon aus, dort weniger Gefahr zu laufen, seltene Ökosysteme der Tiefsee zu zerstören als an aktiven Quellen; zum anderen würden die in aktiven Bereichen austretenden, mehrere Hundert Grad Celsius heißen und stark sauren Lösungen wahrscheinlich die Abbaugeräte schnell beschädigen.

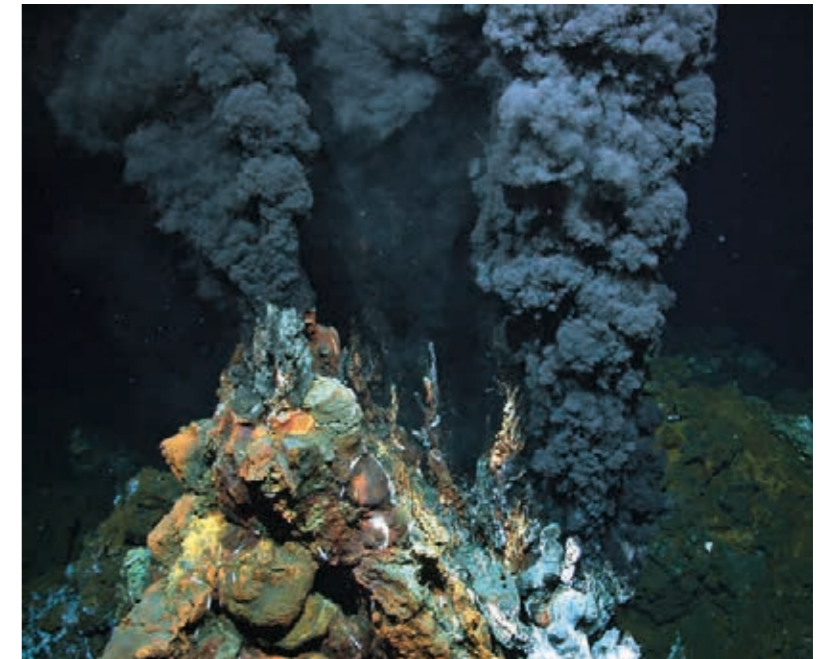
Bisher sind nur wenige ausschließlich inaktive Massivsulfidvorkommen bekannt. Dies liegt daran, dass inaktive Vorkommen viel schwieriger zu finden sind als die aktiven Quellen. Letztere können vergleichsweise leicht anhand der chemischen Signatur und der Partikel lokalisiert werden, welche die austretenden hydrothermalen Lösungen im umgebenden Meerwasser erzeugen.

Wächterin über das Erbe der Menschheit

Rund 81 Prozent aller bekannten Manganknollenfelder, 46 Prozent der Eisen-Mangan-Krusten und 58 Prozent der Massivsulfide befinden sich in internationalen Gewässern und fallen somit nicht in die Zuständigkeit einzelner Nationen. Sie gehören stattdessen zum gemeinsamen Erbe der Menschheit, als welches Artikel 136 des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen (United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS) den Meeresboden außerhalb jeder Ausschließlichen Wirtschaftszone definiert.

Verwaltet wird dieses Erbe, das rund 42 Prozent der Erdoberfläche umfasst, von der Internationalen Meeresbodenbehörde (International Seabed Authority, ISA) mit Sitz in Kingston, Jamaika. Sie reguliert und überwacht alle Aktivitäten zur wirtschaftlichen Nutzung des internationalen Meeresbodens und dessen Untergrundes. Außerdem obliegt es der ISA, den im Seerecht verankerten Interessenausgleich zwischen Industriestaaten und Entwicklungsländern voranzubringen. Da bislang noch kein Tiefseebergbau im industriellen Maßstab stattfindet, bestehen ihre zwei Kernaufgaben derzeit darin, Lizenzen zur Exploration der Tiefseelagerstätten zu vergeben und zu überwachen sowie die Regeln zum künftigen Abbau zu erarbeiten und verabschiedete Rechtsgrundlagen stetig zu aktualisieren. Bis heute sind 167 Staaten und die Europäische Union der ISA beigetreten.

Einen Antrag auf eine Explorationslizenz können sowohl staatliche als auch private Unternehmen stellen. Voraussetzungen sind allerdings, dass der Antragsteller eine Gebühr von 500 000 US-Dollar zahlt und der Heimatstaat des Unternehmens – der sogenannte Sponsoring State – diesen Antrag unterstützt. Außerdem muss der Staat ein eigenes Meeresbergbaurecht verabschiedet und



in Kraft gesetzt haben, mithilfe dessen er die Einhaltung der Lizenzpflichten sowie die finanzielle und technische Leistungsfähigkeit des Unternehmens jederzeit überprüfen kann. Die nationalen Regelungen zum Meeresbergbau dürfen dabei nicht hinter den internationalen Regelungen zurückstehen. Der Sponsoring State haftet nämlich für Tätigkeiten des von ihm unterstützten Lizenzinhabers. In Deutschland ist das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) mit Sitz in Hannover für die Überwachung der Explorationstätigkeiten zuständig.

Deutschland selbst besitzt durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Explorationslizenzen für zwei Gebiete in internationalen Gewässern. Die erste Lizenz gilt seit dem Jahr 2006 für die Erkundung von Vorkommen von Manganknollen. Das dazugehörige Gebiet besteht aus zwei Flächen, die sich beide in der Clarion-Clipperton-Zone im Pazifik befinden. Das erste Areal liegt im zentralen Bereich des Manganknollengürtels; eine zweite, etwa 60 000 Quadratkilometer große Fläche im östlichen Teil der Zone. Von Letzterer kommen etwa 20 Prozent des Gebietes für einen Abbau der Manganknollen infrage, weil nur dort der Meeresboden flach genug ist und die Knollen in ausreichend hoher Dichte vorkommen, sodass sich ein Abbau lohnen würde.

5.9 > Wo heiße Hydrothermallösung aus dem Meeresboden aufsteigt und sich mit kaltem, sauerstoffreichem Meerwasser vermischt, werden Metallsulfide ausgefällt. Diese lagern sich ab und bilden mit der Zeit spektakuläre schornsteinartige Gebilde, die sogenannten Schwarzen Raucher.

Die zweite deutsche Explorationslizenz umfasst ein 10 000 Quadratkilometer großes Tiefseegebiet am Zentralindischen und Südostindischen Rücken im südwestlichen Indischen Ozean, in dem viele Sulfidvorkommen vermutet werden. Geologinnen und Geologen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe führen seit dem Jahr 2015 gemeinsam mit Tiefseeexperten anderer deutscher Forschungsinstitute regelmäßig Expeditionen in das Lizenzgebiet durch, um den Umfang der jeweiligen Rohstofflagerstätten zu bestimmen sowie die Artenvielfalt und Auswirkungen eines möglichen Abbaus zu untersuchen. Im deutschen Lizenzgebiet haben sie mittlerweile zwölf Sulfidvorkommen mit 30 aktiven und 34 inaktiven Lokationen (zum Beispiel Sulfidhügel mit mehreren Schornsteinen) entdeckt. Durch chemisch-physikalische Untersuchungen der Wassersäule wurden zudem Hinweise auf zwölf weitere Vorkommen gefunden.

Aus Plänen wird langsam Wirklichkeit

Seit dem Jahr 2002 hat die Internationale Meeresbodenbehörde 31 Lizenzen zur Erkundung (Exploration) des Meeresbodens nach mineralischen Rohstoffen vergeben – 19 Lizenzen für die Exploration von Manganknollen in Gebieten von jeweils etwa 75 000 Quadratkilometern, einer Fläche etwas größer als das Bundesland Bayern; fünf Lizenzen für die Erkundung von Eisen-Mangan-Krusten

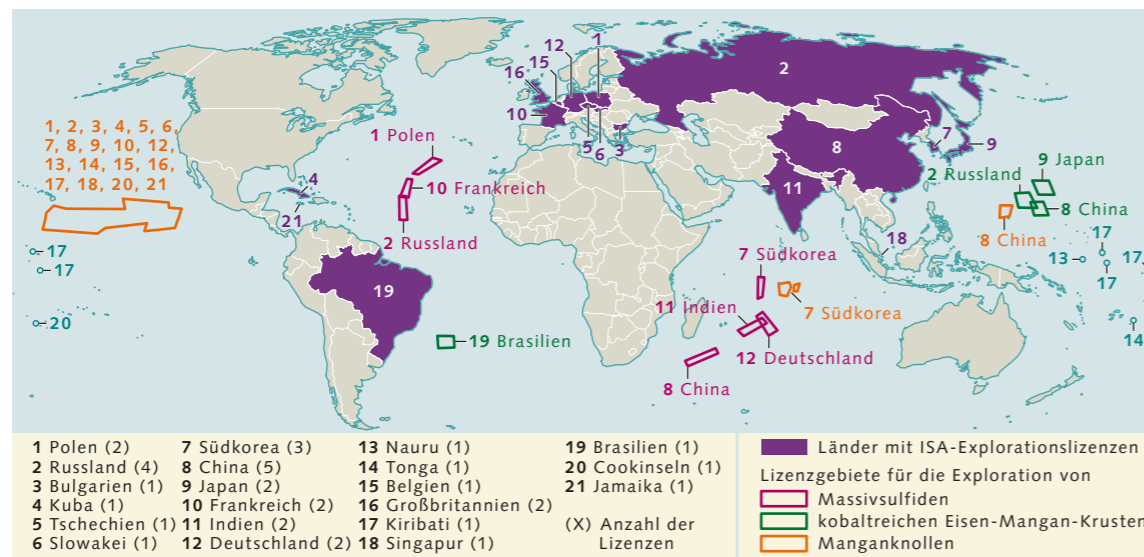
auf einer Fläche von jeweils 3000 Quadratkilometern sowie sieben Lizenzen für die Exploration von Massivsulfiden auf Flächen von jeweils 10 000 Quadratkilometern. Fasst man alle Lizenzgebiete zusammen, hat die ISA bislang eine Meeresbodenfläche von rund 1,5 Millionen Quadratkilometern für die Rohstofferkundung freigegeben – ein Areal, das so groß ist wie Frankreich, Spanien und Deutschland zusammengenommen.

Jede Lizenz hat eine Laufzeit von 15 Jahren und enthält die Option, sie mehrfach um jeweils fünf Jahre zu verlängern, sofern der Lizenznehmer die Explorationsarbeiten aus unverschuldeten Gründen nicht beenden konnte (zum Beispiel aufgrund einer Pandemie) oder wenn die weltwirtschaftliche Lage gegen einen Rohstoffabbau in der Tiefsee spricht. Inhaber einer Explorationslizenz haben außerdem ein Vorrecht auf den späteren Abbau und dürfen Technik zur Rohstoffförderung in der Tiefsee testen. Dazu benötigen sie jedoch eine Umweltverträglichkeitserklärung, die von der Rechts- und Fachkommission der ISA geprüft und anerkannt wurde.

Technik für den Tiefseebergbau

MANGANKNOLLEN: Bislang gibt es noch keinen Manganknollenabbau. In den zurückliegenden zehn Jahren aber haben mindestens fünf verschiedene Unternehmen

5.10 > Seit dem Jahr 2002 hat die Internationale Meeresbodenbehörde 31 Lizenzen zur Erkundung des Meeresbodens nach mineralischen Rohstoffen vergeben: 19 Lizenzen für die Exploration von Manganknollen, fünf Lizenzen für die Erkundung von Eisen-Mangan-Krusten sowie sieben Lizenzen für die Exploration von Massivsulfiden.



5.11 > Zwölf Meter lang, 4,5 Meter hoch, vier Meter breit und 25 Tonnen schwer ist Patania II, ein raupenähnlicher Manganknollen-Kollektor der belgischen Firma DEME-GSR. Der Prototyp wurde im Frühjahr 2021 erstmals in der Clarion-Clipperton-Zone in 4500 Meter Wassertiefe getestet.

und staatliche Institutionen die technische Entwicklung vorangetrieben und erste in Größe und Gewicht noch verkleinerte Prototypen künftiger Abbaugeräte getestet. Das koreanische Forschungsinstitut KIOST beispielsweise hat einen Kollektor für Manganknollen sowie ein Förder-system für den Transport der Knollen zur Meeresoberfläche entwickelt und beide bereits in Wassertiefen von 1200 und 1400 Metern getestet.

In eine Tiefe von 4400 Metern ging es im Jahr 2017 für das Fahrwerk des Manganknollen-Kollektors Patania I, den die belgische Firma DEME-GSR entwickelt und erfolgreich getestet hat. Sie besitzt eine Explorationslizenz in der Clarion-Clipperton-Zone und stellte ihren um ein Aufnahmesystem für Manganknollen erweiterten Kollektor Patania II im September 2018 erstmals der Öffentlichkeit vor. Ein erster Tiefseeinsatz dieses Prototypen im Lizenzgebiet (ebenfalls 4400 Meter Wassertiefe) scheiterte im Jahr 2019 aufgrund technischer Probleme mit dem Verbindungskabel zum Schiff. Ein zweiter Test im Frühjahr 2021 aber verlief erfolgreich und wurde engmaschig von europäischen Forschern überwacht, um Informationen über die Auswirkungen des Knollenabbaus auf die Meeresumwelt zu sammeln und Beobachtungssysteme zu testen.

Sowohl der belgische als auch der südkoreanische Manganknollen-Kollektor sind vom Ansatz her raupen-ähnliche Fahrzeuge, die mithilfe eines hydraulischen Auf-

nahmesystems in der Lage sind, die lose auf dem Meeresboden liegenden Knollen einzusammeln. Der indische Lizenznehmer MoES dagegen verfolgt ein mechanisches Konzept zur Knollenaufnahme und entwickelt einen beweglichen Rechen mit Widerhaken, der die Knollen künftig zusammenharken soll. Nach der Aufnahme werden die Knollen gereinigt, zerkleinert und an ein vertikales Fördersystem übergeben. Je nach Konzept werden die Knollen dann über ein Lufthebeverfahren oder mithilfe von Dickstoffpumpen zur Förderplattform an der Wasseroberfläche transportiert. Dort werden sie entwässert und für den Transport an Land auf Massengutfrachter verladen.

KOBALTREICHE EISEN-MANGAN-KRUSTEN: Für den Abbau von Eisen-Mangan-Krusten hat die China Merchants Industry Holdings (CMI) einen Prototyp entwickelt, der im Südchinesischen Meer in 1300 Metern Wassertiefe erfolgreich getestet wurde. Das Gerät konnte sich nachweislich nicht nur auf dem Meeresboden bewegen, sondern auch Eisen-Mangan-Krusten schneiden und zerkleinern. Eisen-Mangan-Krusten vom Meeresuntergrund zu lösen, ist eine technische Herausforderung, denn oft bilden die Krusten die Oberflächengestalt des Untergrundgesteins nach. Befinden sich zum Beispiel Gerölle, abgerundete Blöcke und Gesteinsplatten oder die Fließstrukturen ehemaliger Lava unter den Krusten, so formen diese

5.12 > Für den Abbau einer Massivsulfid-lagerstätte in der Bismarcksee vor Papua-Neuguinea hatte die inzwischen insolvent gegangene kanadische Firma Nautilus Minerals drei ferngesteuerte Unterwasserfahrzeuge entwickelt: eine Fräse (rechts), einen Schüttgutschneider (Mitte) und einen Kollektor (links).



genau jene Strukturen nach. Auf besonders unebenem Grund können Abbaufahrzeuge demzufolge schnell stecken bleiben. Das chinesische Fahrzeug wiederum scheint sich schreitend fortzubewegen, um Unebenheiten auszugleichen. Für das Schneiden und Zerkleinern der Krusten setzen Ingenieure auf Verfahren mit einem Hochdruckwasserstrahl oder aber rotierende Rollenmeißel, wie man sie aus der Steinkohleförderung kennt.

MASSIVSULFIDE: Ebenso schwierig dürfte es sein, Massivsulfide abzubauen, doch auch hier gibt es bereits erste Ansätze. Die inzwischen insolvent gegangene kanadische Firma Nautilus Minerals beispielsweise hat für den Abbau einer Lagerstätte von Massivsulfiden in 1600 Meter Wassertiefe in der Bismarcksee vor Papua-Neuguinea ein Verfahren mit drei ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugen entwickelt und diese auch bauen lassen. Der Fahrzeugpark besteht aus einer Fräse zur Einebnung des Meeresbodens, einem Schüttgutschneider (dem Hauptabbaufahrzeug) und einem Kollektor.

Fachleute bezweifeln jedoch, ob sich diese drei Fahrzeuge gleichzeitig sinnvoll einsetzen lassen. Die Fläche des anvisierten Erzvorkommens ist mit einem Durchmesser von wenigen Hundert Metern vergleichsweise klein. Außerdem besitzt die Lagerstätte die Form

eines Kegels. Das heißt, ihre Fläche wird mit zunehmender Tiefe immer kleiner, wodurch die Bewegungsfreiheit der Abbaugeräte stark eingeschränkt wäre. Ein weiteres Hindernis sehen die Experten in dem harten vulkanischen Gestein, welches sich in der Umgebung der Massivsulfide befindet und abgetragen werden müsste. Nautilus Minerals wollte dazu eine Rollenmeißeltechnik einsetzen; Experten stufen dieses Verfahren jedoch als schwer durchführbar ein. Dennoch: Die Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (JOGMEC) verfolgt einen vergleichbaren Ansatz. Das Unternehmen hat im Jahr 2017 einen ersten erfolgreichen Abbauersuch von Sulfiden im Okinawatrog im japanischen Hoheitsgebiet unternommen. Die Pläne zum marinen Bergbau im Okinawatrog sehen nach weiteren mehrjährigen Entwicklungs- und Erprobungsphasen eine Jahresproduktion von 1,3 Millionen Tonnen Erz vor.

Auf ein einzelnes Gerät zum Abbau von Massivsulfiden setzt ein Konsortium der deutschen Unternehmen Harren & Partner, Combi Lift und Bauer. Dessen Fachleute entwickeln ein vertikales Abbausystem, das auf dem Prinzip einer Schlitzwandfräse basiert, wie sie für rechteckförmige Gründungen im Tiefbau, aber auch im Pipeline-, Hafen- und Kanalbau angewendet wird. Die Schlitzwandfräse besteht aus einem Stahlrahmen mit gegenläufig

rotierenden Schneidradtrommeln an der Unterseite. Eine solche Konstruktion wurde im Meer bereits erfolgreich für den Abbau von Diamanten in einer Wassertiefe von 165 Metern eingesetzt.

Mit dieser Methode könnte bei einem zukünftigen Sulfidabbau weitestgehend auf den Abraum des vulkanischen Nebengesteins verzichtet und der Förderprozess auf das Erz konzentriert werden. Die Technik würde es ermöglichen, an ausgewählten Stellen bis zu mehrere Dutzend Meter tief in die Massivsulfide zu schneiden und dabei nur einen sehr kleinen Abdruck von wenigen Quadratmetern pro Schnitt auf dem Meeresboden zu hinterlassen. Experten erwarten daher deutlich geringere Umweltauswirkungen. Es käme zum Beispiel kaum zur Freisetzung von Bohrklein oder Abraum am Meeresboden. Das heißt, es könnte ein gezielter Erzabbau am Meeresboden erfolgen, ohne eine nennenswerte Suspensionsfahne zu erzeugen. Außerdem entfällt die Installation eines vertikalen Förderstranges und damit der umweltschädliche Transport von Tiefenwasser an die Wasseroberfläche. Die Erprobung eines Prototyps dieses Gerätes im Testmaßstab in einer Wassertiefe von 2400 Metern ist im deutschen Lizenzgebiet im Indischen Ozean jedoch frühestens für das Jahr 2026 geplant.

Technische Entwicklung noch nicht am Ziel

In der Theorie mögen all diese technischen Abbaukonzepte vergleichsweise einfach und machbar klingen; in der Praxis aber warten viele Herausforderungen, welchen die Abbautechnik dauerhaft standhalten muss. Dazu gehören unter anderem ein Wasserdruck von 400 bis 600 bar am Tiefseeboden, korrosives Salzwasser sowie Umgebungstemperaturen dicht am Gefrierpunkt. Die Fräsen, Knollenkollektoren und Fördersysteme sollten zudem über lange Zeiträume hinweg ohne Wartung auskommen, weil es einen großen Aufwand bedeuten würde, sie für Reparaturen an die Meeresoberfläche zu holen.

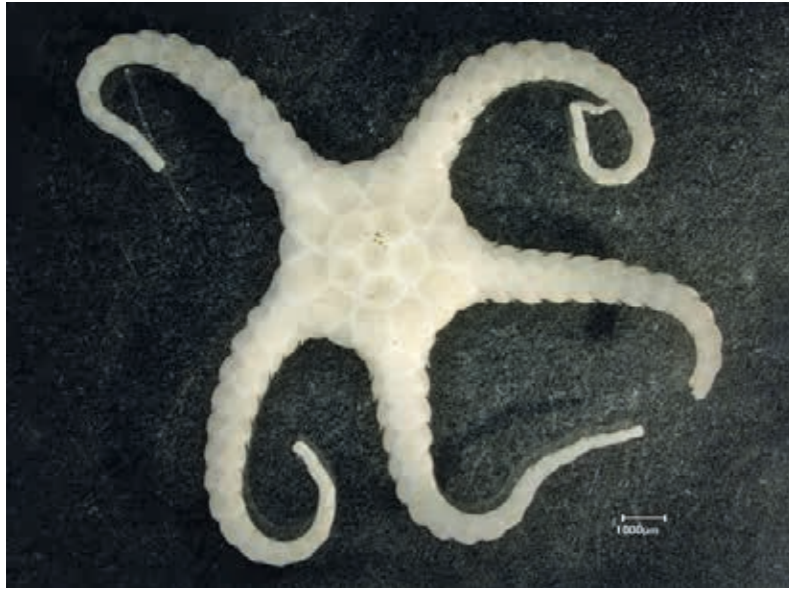
Alle bisherigen Testläufe wurden mit Prototypen im Kleinformat durchgeführt. Für eine Rohstoffförderung im industriellen Maßstab müssen nun Abbaugeräte in vier- bis fünffacher Größe gebaut und getestet werden. In den Kinderschuhen stecken auch noch Verfahren zur metallurgischen Verarbeitung von Manganknollen und -krusten.

Ein weltweit erstes Konzept zur vollständigen Verhüttung und Nutzung von Manganknollen wurde von Wissenschaftlern der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe sowie der Technischen Hochschule Aachen (RWTH) entwickelt und bereits im erweiterten Labormaßstab erfolgreich getestet. Derzeit überführen die Projektpartner das Verfahren in den industriellen Maßstab, um zum einen die Machbarkeit einer nahezu rückstandslosen metallurgischen Verarbeitung nachzuweisen. Zum anderen wollen die Fachleute herausfinden, wie ein Verhüttungswerk aussehen müsste und wie teuer es am Ende wäre, wirklich alle in den Manganknollen enthaltenen Rohstoffe zu extrahieren und zu verkaufsfähigen Zwischenprodukten zu verarbeiten.

Schätzungen zufolge werden die Kosten für die Aufbereitung und Verarbeitung der Knollen voraussichtlich die Hälfte bis zwei Drittel der gesamten Investitions- und Betriebskosten eines Tiefseebergbauprojektes umfassen. Die Investitionskosten belaufen sich auf etwa 1,5 Milliarden US-Dollar – eine Summe, die auch für die Erschließung landgebundener Vorkommen anzusetzen ist. Die Betriebskosten betragen schätzungsweise 160 bis 400 Millionen US-Dollar pro Jahr, was den Tiefseebergbau angesichts der gegenwärtigen Weltmarktpreise für Metalle vermutlich noch unrentabel macht. Die steigende Rohstoffnachfrage dürfte das Preisniveau jedoch langfristig anheben. Aufgrund dieser finanziellen und der genannten technischen Unwägbarkeiten gehen Experten davon aus, dass es mindestens weitere fünf, eher zehn Jahre dauern wird, bis marine mineralische Rohstoffe erstmals im großen Stil abgebaut werden könnten. Wie realistisch diese Annahme ist, bleibt abzuwarten.

Fortschritt oder schmutziges Geschäft?

Die zunehmende technische Machbarkeit des Tiefseebergbaus hat dazu geführt, dass der Streit über die Sinnhaftigkeit und Nachhaltigkeit der Förderung von Erzvorkommen im Meer neu entbrannt ist. Befürworter argumentieren, dass der Rohstoffbedarf der Menschheit angesichts der Umstellung von fossilen Energieträgern auf erneuerbare Energien (Stromspeicher, E-Mobilität) enorm steige. Würden die Staaten diese Nachfrage nicht befriedigen, wären ihre wirtschaftliche Entwicklung und der



5.13 > Der Schlangensterne *Amphiophiura bullata* ist eine von mehreren neuen Tiefseearten, die Forschende in den zurückliegenden Jahren in der Clarion-Cliperton-Zone entdeckt haben. Genetische Analysen ergaben zudem, dass einige der bislang unbekannt Schlangensterne zu neuen Abstammungslinien gehören, die sich seit mehr als 70 Millionen Jahren in der Tiefsee entwickelt haben.

Wohlstand ihrer Bevölkerung in Gefahr. Um den Rohstoffbedarf zu decken, müssten bestehende Bergwerkskapazitäten an Land ausgebaut oder aber neue Bergwerke eröffnet werden. Beide Maßnahmen wären mit großen Umweltauswirkungen verbunden. Unterstützer des Tiefseebergbaus verweisen daher darauf, dass:

- für den Tiefseebergbau keine Wälder gerodet, Grundwasserspiegel gesenkt und Menschen umgesiedelt oder vertrieben werden müssten; man bräuchte zudem keine aufwendigen Infrastrukturen wie etwa Straßen, Stromtrassen, Gebäude und Systeme für die Entwässerung;
- keine großen Abraumhalden entstünden, weil die Erzvorkommen direkt zugänglich wären – und nicht erst viele Tonnen Erdreich umgeschichtet werden müssten;
- beim Abbau im Meer keine Schadstoffe oder Schwermetalle freigesetzt würden, welche beim Erzabbau an Land oftmals zu großen Umweltschäden führen;
- Lagerstätten in der Tiefsee wie Manganknollen oftmals drei oder mehr Metalle in wirtschaftlich interessanten Mengen vereinen und somit verschiedene Rohstoffe an ein und demselben Ort abgebaut werden könnten; an Land müsste für jedes Metall eine eigene Lagerstätte erschlossen werden;

- nur Maschinen den Rohstoffabbau im Meer bewältigen könnten; im Gegensatz zum Bergbau an Land bestünden somit deutlich geringere Gefahren für Minenarbeiter; Kinderarbeit, die vor allem in Entwicklungsländern noch Alltag ist, könnte ausgeschlossen werden;
- der Abbau mariner Vorkommen die zunehmende Angebotskonzentration auf den internationalen Rohstoffmärkten entspannen würde. Bei vielen Metallen stammt ein Großteil der Produktion aus nur einem Land – teilweise auch aus politisch instabilen oder undemokratischen Staaten, die ihre Marktmacht als politisches Druckmittel einsetzen. Rohstoffe aus der Tiefsee würden die Abhängigkeit von diesen Nationen verringern, da ihr Abbau in internationalen Gewässern internationalem Recht unterliegt und damit auch der Kontrolle der Weltgemeinschaft.

Die Gegner des Tiefseebergbaus überzeugt diese Argumentation wenig. Sie sorgen sich zum einen um die Umweltauswirkungen der Rohstoffförderung in der Tiefsee. Zum anderen kritisieren sie die Rolle und Regelungen der Internationalen Meeresbodenbehörde und bezweifeln, dass die Einnahmen aus dem Verkauf des gemeinsamen Erbes der Menschheit vor allem auch den Menschen aus den ärmsten Entwicklungsländern zugutekämen.

Auswirkungen auf die Meeresumwelt

Über die möglichen Folgen des Tiefseebergbaus für die Artenvielfalt und die Lebensgemeinschaften am Meeresgrund ist nach 30 Jahren Forschung bereits einiges bekannt, auch wenn Forschende die Funktionsweise der Ökosysteme der Tiefsee und deren Rolle für die vielen Dienstleistungen des Meeres noch nicht vollständig ergründet haben. Auf und im Boden der an Manganknollen reichen Tiefseeebenen beispielsweise lebt eine Vielzahl beweglicher und sesshafter Organismen – angefangen bei wenige Zehntel Millimeter kleinen Fadenwürmern, die den Hauptteil der Artenvielfalt ausmachen, über Seeurken bis hin zu meterlangen Fischen. Auf den Knollen wachsen Schwämme und Tiefseekorallen, die vielen anderen Tieren Nahrung und Schutz bieten.



5.14 > Die Meeresschnecke *Chrysomallon squamiferum* ist die erste Tiefseeart, die aufgrund bevorstehender Bergbauarbeiten zur Roten Liste der gefährdeten Tierarten hinzugefügt wurde. Die Schnecke lebt an drei Hydrothermalquellen östlich Madagaskars. Zwei davon liegen in Gebieten, für die bereits Explorationslizenzen vergeben wurden.



5.15 > Kraken gehören zu den vielen Tiefseebewohnern, die unmittelbar auf Manganknollen angewiesen sind. Sie heften ihre Gelege an Schwämme, die auf den Manganknollen wachsen.

Wer wo am Meeresboden lebt, hängt von den jeweiligen Bedingungen am Meeresboden ab. Im deutschen Lizenzgebiet in der Clarion-Clipperton-Zone beispielsweise können sich die sedimentologischen und geochemischen Bedingungen am Meeresgrund über Entfernungen von weniger als 1000 Metern ändern. Außerdem durchsetzen Unterseevulkane und Hügelketten die großen Tiefseeebenen. Entsprechend angepasst sind dann auch die jeweiligen Lebensgemeinschaften.

Die Vielfalt des Lebens in der Tiefsee ist viel größer als ursprünglich gedacht. In den zurückliegenden Jahren haben Wissenschaftler nicht nur zahlreiche Arten aus der Clarion-Clipperton-Zone identifizieren und beschreiben können. Es gelang ihnen auch, mithilfe molekular-genetischer Untersuchungsmethoden einen ersten Eindruck von der Diversität der Tiefseeorganismen zu gewinnen. Diese ist so hoch, dass gern Vergleiche mit der Artenvielfalt von Regenwäldern angestellt werden. Allerdings ist die Individuendichte der meisten Arten am Meeresgrund gering, weshalb bislang nur geschätzte zehn Prozent der kleinsten Lebewesen (Meiofauna, bodenlebende Organismen, die 0,32 bis 1,0 Millimeter klein sind) und 30 Prozent der mittelgroßen Tiere (Makrofauna, Körpergröße von zwei bis 20 Millimeter) wissenschaftlich beschrieben wurden.

Bekannt sind dagegen die aus menschlicher Sicht unwirtschaftlichen Lebensbedingungen in der Tiefsee, an die sich deren Bewohner angepasst haben: Nahrung gibt es nur selten; der Wasserdruck ist hoch, die Wassertemperatur dagegen niedrig. Außerdem ist es rund um die Uhr stockdunkel. Die meisten Organismen ernähren sich von den wenigen Partikeln, die aus den oberen Meeresschichten herabsinken. Das spärliche und vor allem kurzfristig verfügbare Nahrungsangebot nach dem Absinken von Planktonblüten im Oberflächenwasser führt dazu, dass die Tiere am Meeresgrund langsam wachsen, sich erst sehr spät im Leben fortpflanzen und unter Umständen extrem lange Brutpflege betreiben.

Im Zeitraum von 2007 bis 2011 beispielsweise beobachteten US-amerikanische Wissenschaftler vor der Küste Kaliforniens ein Tiefseekraken-Weibchen der Art *Granelledone boreopacifica*, dessen Nachwuchs erst aus dem Ei schlüpfte, nachdem es sein Gelege viereinhalb Jahre lang bewacht hatte. Wenig später wiederum konnten deutsche Tiefseeforscher im Perubecken nachweisen, dass Tiefseekraken ihre Gelege auch direkt an Manganknollen legen. Die Tiere hatten ihre Eier in einer Tiefe von rund 4000 Metern an Schwämme geheftet, die auf den Manganknollen wuchsen.

Andere Forscher fanden heraus, dass im östlichen Teil der Clarion-Clipperton-Zone in etwa jeder zweite Tiefseebewohner mit einer Größe von mehr als zwei Zentimetern (Megafauna) auf die Manganknollen angewiesen ist, weil

diese den nahezu einzigen harten Untersatz bilden, auf dem sich Schwämme, Korallen & Co festsetzen können. Sollten die Knollen durch riesige Förderraupen abgebaut werden, würde dort anschließend das Substrat für eine Wiederbesiedlung fehlen – es sei denn, der Mensch führt Restaurationsmaßnahmen durch und ersetzt die Knollen durch andere Hartsubstrate. Aktuell prüfen europäische Forschende mit einer Reihe von Experimenten die Machbarkeit solcher Maßnahmen.

Größere Organismen kommen in der Clarion-Clipperton-Zone vergleichsweise selten vor. Bei Zählungen fanden Forscher gerade mal 0,5 Tiere pro Quadratmeter Fläche. Viel häufiger sind die hauptsächlich im Sediment lebenden Kleinsttiere (Mikrofauna, kleiner als 0,3 Millimeter). Sie machen mit einer durchschnittlichen Dichte von rund 300 000 Organismen pro Quadratmeter bei Weitem den Hauptbestandteil der Tiere aus. Bei einem Abbau würden allerdings nicht nur die Knollen selbst entfernt, sondern auch die oberen etwa zehn Zentimeter des Meeresbodens samt allen darauf oder darin lebenden Organismen. Wie lange die Natur anschließend bräuchte, um sich von diesem massiven Eingriff zu erholen, ist nur in Ansätzen bekannt.

In sogenannten Störungsexperimenten konnten Wissenschaftler zeigen, dass Eingriffe in das Leben am Tiefseeboden lang anhaltende, aber durchaus verschiedene Veränderungen in der Häufigkeit und Zusammensetzung der Tiere nach sich ziehen. Um den Manganknollenabbau zu simulieren, hatten Wissenschaftler beispielsweise im Jahr 1989 im Perubecken den Tiefseeboden auf einer Fläche von wenigen Quadratkilometern mit einer Egge umgepflügt. 26 Jahre später kehrten sie zurück, um das Leben auf und im umgepflügten Boden zu untersuchen. Ihr Ergebnis: Die Spuren waren noch immer deutlich zu sehen. Die biogeochemischen Bedingungen im Meeresboden hatten sich verändert, sodass überraschenderweise sogar die dort lebenden Mikroorganismen noch stark beeinträchtigt waren und laut Prognose mindestens 50 Jahre bräuchten, um sich nahezu vollständig zu erholen.

Eine Überblicksstudie aus der Clarion-Clipperton-Zone wiederum kam zum Schluss, dass nach einem Eingriff einige im Sediment lebende Arten schnell, das heißt innerhalb von Monaten bis Jahren, wieder einwandern und in ihrer Individuenzahl den ursprünglichen Zustand

sogar übertreffen, während andere Arten Jahrzehnte und damit deutlich länger brauchen. Experten ziehen daher das Fazit, dass die Wiederbesiedlung gestörter Flächen viele Generationen dauern kann. Die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft am und im Meeresboden bleibt auch Jahrzehnte nach dem Ereignis verändert, wobei sich jedoch die Forschungsergebnisse aus einem bestimmten Gebiet nicht übertragen lassen – weder auf andere Tiefseeregionen noch auf andere Mineralvorkommen (Sulfide, Krusten) im Meer.

Abgesehen vom Abtragen der obersten Meeresbodenschicht erwarten Experten allerdings noch weitere Umweltauswirkungen der bislang entwickelten Abbaufahren für Manganknollen. Zum einen wären da Störungen durch den Lärm, die Vibrationen und den Lichtschein der riesigen Förderraupen. Zum anderen ist abzusehen, dass durch das Einsammeln der Manganknollen sowie durch das Reinigen und den Abtransport des Erzes Sediment- oder Trübewolken vor allem am Meeresboden, aber auch in der Wassersäule entstehen werden. Forscher gehen davon aus, dass die derzeit in Bau befindlichen hydraulischen Knollenkollektoren pro Stunde 500 bis 1000 Tonnen Sediment am Meeresboden aufwirbeln werden. Diese Menge an Material wird vor allem dann zum Problem, wenn es sich wieder absetzt. Unter natürlichen Bedingungen beträgt die Sedimentationsrate in der Tiefsee nämlich nur wenige Millimeter pro 1000 Jahre. Die Aufwirbelungen durch den Knollenabbau aber würden diese Rate drastisch in die Höhe schnellen lassen.

Aus Versuchen und Computerberechnungen weiß man bereits, dass sich 90 bis 95 Prozent der durch die Förderraupen aufgewirbelten Sedimente in einem Umkreis von bis zu zehn Kilometern zügig wieder absetzen. Allerdings hat die neu gebildete Sedimentoberfläche eine andere Struktur und Zusammensetzung als der ursprüngliche Meeresboden und entspricht deshalb nicht mehr dem natürlichen Lebensraum. Die restlichen Partikel werden durch Meeresströmungen verdriftet und außerhalb des Abbaugbietes abgelagert. Experten gehen davon aus, dass ein industrieller Abbau der Manganknollen auch in 20 oder 30 Kilometer Entfernung zu deutlich erhöhten Sedimentationsraten führen wird.

Die Auswirkungen dieser Trübewolken und Sedimentablagerungen auf die Lebensgemeinschaften der Tiefsee

sind wahrscheinlich von Art zu Art unterschiedlich und bisher nur unzureichend erforscht. Erste Untersuchungen dazu zeigen, dass die Kleinsttiere im Sediment eine bis zu ein Zentimeter dicke Wiederbedeckung mit aufgewirbeltem Sediment vertragen. Ist diese Sedimentlage dicker, überleben weniger Tiere. Sesshafte Tiere wie Schwämme und Korallen hingegen, die in unmittelbarer Nähe zum Abbaugelände auf dem Meeresboden siedeln und für ihre Ernährung das sonst sehr klare Bodenwasser filtrieren, werden durch die Masse der herabsinkenden Sedimentpartikel bedeckt und haben deshalb nur geringe Überlebenschancen. Aber auch Kraken, Fische und die Larven vieler anderer Tiefseearten könnten unter den Sedimentwolken leiden. Wissenschaftler können zudem nicht ausschließen, dass tiefseebergbaubedingte Trübewolken die Fischerei beeinträchtigen.

Das Fazit der Wissenschaft lautet daher in Kürze: Da bis heute kein Tiefseebergbau in industriellem Maßstab stattgefunden hat und entsprechende Begleituntersuchungen fehlen, können auch noch keine realistischen Angaben zur tatsächlichen Intensität und Dauer des störenden Eingriffes sowie zu seinen Langzeitfolgen für die Lebensgemeinschaften der Tiefsee gemacht werden. Aufsichtsgremien wie die Internationale Meeresbodenbehörde haben daher nur die Möglichkeit, Regularien einzuführen, welche die Folgen von Anfang an so weit wie möglich eingrenzen. Die Minimierung großflächiger Konsequenzen erfordert die Entwicklung von Geräten mit geringen Auswirkungen und eine sorgfältige und anpassungsfähige Raumplanung für den Bergbau. Das aktuelle Wissen reicht jedoch noch nicht aus, um wirksame Schutzvorkehrungen zu treffen. Viele Gebiete der Tiefsee gelten nach wie vor als unentdeckt. Außerdem kann niemand genau sagen, welche Rolle die unterste Etage des Ozeans beispielsweise für die vielen Stoffkreisläufe der Meere und damit letztendlich auch für das Klima der Erde spielt.

Die Internationale Meeresbodenbehörde begegnet diesem Wissensdefizit, indem sie die Einhaltung des **Vorsorgeprinzips** und höchster Umweltstandards verlangt sowie regionale Umweltmanagementpläne erstellt. In der Clarion-Clipperton-Zone hat sie zum Schutz der Artenvielfalt zudem neun jeweils 160 000 Quadratkilometer große Schutzgebiete am Meeresboden eingerichtet, also rund

30 Prozent der Gesamtfläche. Allerdings ist wissenschaftlich noch nicht nachgewiesen, ob deren Fläche, Lage und Artenvielfalt ausreichen würde, gestörte Abbauflächen wieder zu besiedeln. Aus diesem Grund diskutiert die Rechts- und Fachkommission der ISA derzeit, ob weitere drei bis vier Schutzgebiete eingerichtet werden sollen, die bislang nicht berücksichtigte Lebensräume einschließen. Darüber hinaus wird international verhandelt, wo entsprechende Schutzzonen in allen anderen rohstoffreichen Gebieten auf Hoher See eingerichtet werden sollen und welche Pflichten sich dadurch für die Lizenzinhaber ergeben. Das oberste Ziel ist es, verbindliche Regularien zur sorgsam und anpassungsfähigen Raumplanung des Tiefseebergbaus zu schaffen und effektive Umweltschutzmaßnahmen auf regionaler Ebene zu treffen.

Kritik an der Internationalen Meeresbodenbehörde

Umweltschützer bezweifeln allerdings, dass die ISA ihrer Mehrfachrolle als Lizenzgeber, Bergbau-Wegbereiter, Abgabeneintreiber und oberste Kontroll- und Umweltschutzinstanz wirklich gerecht werden kann. Um alle Aufgaben ordnungsgemäß zu erledigen, seien die ISA-Gremien, vor allem aber ihr Schlüsselorgan, die Rechts- und Fachkommission, die für juristische und technisch-wissenschaftliche Fragen zuständig ist, mit viel zu wenig Mitteln und Fachpersonal für Umweltfragen ausgestattet. Außerdem gebe es fundamentale Interessenkonflikte innerhalb der Behörde, die aus den unterschiedlichen Anforderungen resultieren. Wie beispielsweise solle eine Behörde die Umwelt effektiv schützen, wenn sie gleichzeitig daran gemessen werde, in welchem Maß sie Tiefseebergbau ermögliche?

Die Umweltschutzorganisation Greenpeace wirft der ISA vor, Explorationslizenzen an verschiedene Unternehmen vergeben zu haben, die im Auftrag einiger weniger Gesellschaften aus Industrienationen agieren. Ein anschließender möglicher Tiefseebergbau in internationalen Gewässern käme so vor allem diesen Unternehmen zugute. Die vielen Risiken des Rohstoffabbaus wiederum würden vor allem Entwicklungsländer tragen: zum einen, weil diese als Sponsoring State der privaten Bergbauunternehmen auftreten; zum anderen, weil große Erzvorkom-

men in deren nationalen Gewässern liegen. Über deren Abbau hat die ISA nicht zu entscheiden, aber denkbare Bergbaufolgeschäden wie ein Zusammenbruch der Ökosysteme oder aber Auswirkungen auf die Fischerei würden somit in erster Linie die Küstenbevölkerung dieser Nationen treffen.

Andere Experten widersprechen Greenpeace: Vor allem bei Massivsulfiden und Eisen-Mangan-Krusten gebe es derzeit keine privaten Investoren und auch bei den Manganknollen seien etwa die Hälfte staatliche Lizenznehmer aus Industrie- und Entwicklungsländern. Firmen, die in internationalen Gewässern Bergbau betreiben wollen, müssten sich zudem gegen Umweltschäden versichern und in einen Umweltkompensationsfonds einzahlen. Hinsichtlich der Kritik an der ISA wird darauf verwiesen, dass die Behörde selbst alle Mitgliedstaaten auffordert, weitere Fachleute zu entsenden, um die Umweltexpertise der Kommission zu stärken.

Diese Experten loben auch die internationale Zusammenarbeit in der ISA und die Fortschritte, welche die Meeresbodenbehörde in den zurückliegenden Jahren gemacht habe. Im Juli 2000 wurden die Rechtsgrundlagen zur Prospektion und Erkundung der Manganknollen verabschiedet; im Mai 2010 wiederum folgte das Regelwerk für Massivsulfide und im Juli 2012 jenes für Eisen-Mangan-Krusten. Seit Juli 2016 verhandeln die ISA-Mitgliedstaaten nun die Abbauregularien, die Teil des sogenannten Mining Code sein werden – ein übergreifendes Regelwerk zur Erkundung und zum industriellen Rohstoffabbau, welches nach Ansicht vieler Beobachter die seltene Gelegenheit bietet, bereits im Vorfeld tatsächlicher Bergbauaktivitäten wissenschaftsbasierte Umweltschutzmaßnahmen festzulegen.

Der Mining Code reguliert die formalen Aspekte der Antragstellung, den Schutz der Umwelt über Umweltverträglichkeitserklärungen inklusive Umweltmanagement und -monitoring sowie die Öffentlichkeitsbeteiligung, den Arbeitsschutz, die Überwachung des Abbaus durch Inspektoren und den Stilllegungsplan. Außerdem soll in dem Regelwerk festgeschrieben werden, welche Gebühren und Kompensationsabgaben Bergbauunternehmen an die ISA zahlen müssen, wenn sie Rohstoffe aus internationalen Gewässern abbauen und somit allein vom gemeinsamen Erbe der Menschheit profitieren. Daran

knüpft sich dann unmittelbar die Frage, wie die möglichen Einnahmen gerecht auf alle Länder verteilt werden könnten. Das Seerechtsübereinkommen enthält nämlich die wichtige Klausel, dass der Rohstoffabbau im Meer der Förderung an Land nicht schaden dürfe. Sollten einer oder mehreren Nationen dennoch Nachteile aus dem Tiefseebergbau entstehen – etwa, weil aufgrund dessen die Rohstoffpreise sinken oder deren Erzvorkommen dann nicht mehr ausgebeutet werden und dem Staat somit Steuereinnahmen entgehen –, so müssten diese nach dem Seerechtsübereinkommen finanziell durch die ISA entschädigt werden. Wie und von wem, ist bisher ebenfalls noch nicht abschließend geklärt.

Kreislaufwirtschaft plus X – die bessere Alternative

Ob der industrielle Tiefseebergbau eines Tages Wirklichkeit wird, bleibt abzuwarten. Umweltschützer fordern ein generelles Verbot und den flächendeckenden Schutz der Tiefsee; Unternehmen und Regierungen wiederum argumentieren mit der steigenden Rohstoffnachfrage und der Notwendigkeit, die Rohstoffversorgung ihrer jeweiligen Industrie und damit auch Arbeitsplätze zu sichern. Bei all dem schwingt außerdem die Angst mit, dass einzelne rohstoffreiche Nationen eine zu große Marktmacht erhalten und diese für eine politische Einflussnahme nutzen könnten. Ein denkbarer Ausweg aus dieser Zwickmühle wäre eine Kombination verschiedener Strategien, die jedoch voraussetzt, dass sich das globale Wirtschaftssystem und das Konsumentenverhalten grundlegend ändern und beide nicht mehr ausschließlich auf Wachstum und Verbrauch angelegt sind.

Am Anfang stünde dabei immer eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft. Diese setzt unter anderem voraus, dass:

- genügend Metalle in der Kreislaufwirtschaft enthalten sind, um den Bedarf zu decken;
- Produkte so weiterentwickelt werden, dass bei ihrer Herstellung möglichst wenig mineralische Rohstoffe verwendet werden;
- Waren und Güter eine lange Haltbarkeit und Lebensdauer haben;

Heiß begehrt: Sand und Kies aus dem Meer

Während der Tiefseebergbau noch eine Zukunftsvision ist, fördern viele Staaten seit Jahrzehnten Sand und Kies aus dem Meer. Beide Lockergesteine zählen mittlerweile zu den begehrtesten Rohstoffen der Welt. Sie werden nicht nur für die Herstellung von Beton, Glas und Elektrogeräten wie Computern benötigt, sondern außerdem als Füllsand auf Baustellen und in Häfen, im Küstenschutz für Strandvorspülungen sowie für die Landgewinnung. Der Küstenstaat Singapur beispielsweise hat durch Aufspülungen mit Sand seine Fläche im Zeitraum von 1960 bis 2017 um mehr als 130 Quadratkilometer erweitert – und weitere 56 Quadratkilometer sind bis zum Jahr 2030 geplant. Für diesen Zweck hat das Land in den zurückliegenden 20 Jahren rund 517 Millionen Tonnen Sand und Kies importiert und ist damit zum weltweit größten Sandimporteur aufgestiegen.

„Sand“ ist ein Sammelbegriff für mineralische Rohstoffe mit einem Durchmesser von 0,063 bis zwei Millimetern – ganz egal, aus welchem Mineral die einzelnen Sandkörner bestehen. Kies ist gröber. Seine Korngrößen reichen von zwei bis 63 Millimetern. Der meiste Sand entsteht durch die natürliche Verwitterung von Felsgestein. Einen wichtigen Beitrag leisten aber auch Gletscher, deren Eismassen wie Hobel über Gebirgshänge rutschen, oder aber Bäche und Flüsse, die sich nahezu unbemerkt in die Landschaft fressen und große Mengen Sand davonspülen. Meist vergehen Zehntausende Jahre bis ein Felsbrocken als Sand zerkleinert am Ufer eines Flusses oder im Meer abgelagert wird. Sand entsteht allerdings auch direkt im Meer: Papageifische beispielsweise fressen Korallen und scheiden anschließend die unverdaulichen Überreste der Korallenskelette als Sand wieder aus. Ein ausgewachsenes Tier produziert so bis zu 90 Kilogramm Korallensand pro Jahr. Hinzu kommen unendlich viele Schnecken- und Muschelschalen, die von Strömung, Wellen und Wind zerrieben werden.

Die so entstehenden Sandmengen aber reichen schon lange nicht mehr aus, den Sandbedarf der Menschheit zu decken. Experten des Umweltprogramms der Vereinten Nationen schätzten im Jahr 2014, dass weltweit pro Jahr zwischen 32 und 50 Milliarden Tonnen Sand und Kies verarbeitet werden. Sollte sich dieser Verbrauch fortsetzen, was angesichts der wachsenden Weltbevölkerung und der zunehmenden Verstädterung wahrscheinlich ist, wären die natürlichen Ressourcen an Land, in Flüssen sowie im Meer in weniger als 30 Jahren erschöpft. Die Preise für beide Rohstoffe steigen bereits deutlich, in Deutschland mittlerweile um fünf bis zehn Prozent – pro Jahr.

Wie viel Sand und Kies aus den Weltmeeren entnommen werden, lässt sich nur schwer schätzen, weil die Daten immer noch nicht zentral erfasst und Sandvorkommen in vielen Flussläufen und Küstenbereichen illegal abgebaut werden. Fachleute sprechen vielerorts von einer regelrechten Sand-Mafia. Deren Geschäft wächst, weil die Nachfrage nach dem Material enorm steigt – vor allem in wirtschaftlich aufstrebenden Regionen wie China, Indien und Afrika, in denen viel gebaut wird. Eine Beispielrechnung: Für die Herstellung von Beton braucht man Zement als Bindemittel. Zu einer Tonne Zement müssen sechs bis sieben Tonnen Sand und Kies hinzugegeben werden, um zusammen mit Wasser und Zuschlagstoffen Beton herzustellen. Beton wiederum wird aufgrund des globalen Baubooms in solchen Mengen hergestellt, dass diese ausreichen würden, einmal pro Jahr eine 27 Meter hohe und ebenso breite Mauer um den gesamten Äquator zu ziehen. Rechnet man hier den Sand- und Kiesanteil heraus, wird klar, dass der Verbrauch beider Rohstoffe gigantisch ist.

Bei großen Bauprojekten müssen selbst Wüstenstaaten wie die Vereinigten Arabischen Emirate Sand importieren oder aus dem Meer fördern, denn ihr lokaler Dünen- oder Wüstensand eignet sich nicht für die Betonherstellung. Das liegt daran, dass die Sandkörner aus der Wüste zu rund geschliffen sind. Ihre Oberfläche ist zu glatt, ihre Größe zu einheitlich, als dass Zement und andere Zusatzstoffe daran haften bleiben würden. Sand aus Flüssen oder dem Meer dagegen besitzt eine kantigere Form und eine rauere Oberfläche. Er eignet sich hervorragend als Bausand.

In Großbritannien kommt heutzutage etwa jede fünfte Tonne Sand oder Kies, die in England und Wales zu Beton verarbeitet wird, aus den Küstengewässern des Inselstaates. Dennoch belegte das Land im Jahr 2018 nur Platz zwei auf der Liste der größten europäischen Meeressandproduzenten. An der Spitze standen nach Angaben des für den Nordatlantik zuständigen Internationalen Rats für Meeresforschung (International Council for the Exploration of the Sea, ICES) die Niederlande mit einer Fördermenge von rund 24,6 Millionen Kubikmetern. Dies entspricht, je nach Korngröße, einem Gesamtgewicht von 30 bis 40 Millionen Tonnen. Etwa die Hälfte wurde für Vorspülungen an der Nordseeküste und auf den niederländischen Inseln verwendet. Damit werden in jedem Jahr Sandmassen ausgeglichen, die durch die Herbst- und Winterstürme an der Nordsee fortgespült worden sind. Insgesamt wurden

in Europa im Jahr 2018 rund 54,13 Millionen Kubikmeter Sand und Kies aus dem Meer entnommen.

Meeressand und -kies kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn es an Land keine geeigneten Vorkommen gibt. Allerdings ist der Abbau von Sand und Kies im Meer in der Regel teurer als der an Land, weshalb weltweit betrachtet meist Lagerstätten an Land oder in Flussläufen bevorzugt werden. Die Auswirkungen auf die jeweilige Umwelt sind enorm. Flussbetten vertiefen sich, wodurch die Fließgeschwindigkeit zunimmt; Uferbereiche werden weggeschwemmt, Brückenpfeiler unterspült. Werden Sandbänke vor der Küste abgebaut, verlieren die dahinter liegenden Gebiete ihre wirksamsten Wellenbrecher. Folglich nehmen Überschwemmungen, Küstenerosion und Sturmschäden zu. Indonesien hat im Zuge des unkontrollierten Sandabbaus im Meer bereits 24 Inseln verloren.

Von biologischen Studien weiß man, dass die Sandförderung auch das Leben am Meeresgrund beeinträchtigt. Allein im Nordatlantik sind mehr als 48 Fischarten auf sandigen Boden als Laichplatz angewiesen, darunter auch beliebte Speisefische wie der Hering. Die Auswirkungen sind allerdings relativ kleinräumig. Schwer wiegt der Eingriff, wenn die abgebaute Sand- oder Kiesfläche die einzige weit und breit ist und abhängigen Arten der Lebensraum verloren geht. Förderlizenzen sollten deshalb erst nach eingehender Prüfung erteilt werden. Flächen, die intensiv für den Sandabbau genutzt wurden, brauchen im Durchschnitt fünf bis zehn Jahre, um vollständig wieder besiedelt zu werden. Abhängig von den lokalen Umweltbedingungen (Seegang und Sedimentbewegung) und den Wassertiefen, in denen abgebaut wurde, kann eine solche Erholungsphase aber auch Jahrzehnte dauern.

Wird in einem Areal nur kurzfristig oder gar einmalig gebaggert, stellen sich die ursprünglichen Verhältnisse im Idealfall nach zwei bis vier Jahren wieder ein. Dabei erholen sich jene Lebensgemeinschaften am schnellsten, die eine hohe Strömung oder starke Gezeiten gewohnt sind. Arten aus ruhigeren Gewässern brauchen in der Regel etwas länger. Sind durch den Sandabbau besonders tiefe Löcher im Meeresboden entstanden, in denen sich anschließend feines Material abgelagert, kann es sogar sein, dass sich dort ganz neue Lebensgemeinschaften bilden.

Aus diesen Gründen empfiehlt die Wissenschaft klare Richtlinien für den Abbau von Sand und Kies im Meer. Dazu gehören ein Förderstopp in Regionen

und zu Zeiten, in denen wichtige Fischarten laichen; ein regelmäßiger Wechsel der Förderflächen, sodass sich die Bodengemeinschaften immer wieder erholen können, sowie der Erhalt sogenannter Refugienflächen. Diese liegen zwischen den einzelnen Förderarealen und können betroffenen Bodenbewohnern als Rückzugsraum dienen.

Außerdem muss beim Sandabbau im Meer ein Kompromiss gefunden werden zwischen geringem Flächenverbrauch und der Dauer der Erholungsphase. Baut man den Sand an einer Stelle ab und erzeugt dabei ein tiefes Loch, verbraucht dieses zwar wenig Fläche; es bedarf aber auch einer langen Zeit, bis es sich wieder füllt und wieder besiedelt wird. Geht man mit dem Abbau in die Fläche und hobelt nur die oberste Bodenschicht ab, ist viel Fläche betroffen – die Regenerationszeit aber kurz, zumindest in geringen Wassertiefen. In tieferem Wasser braucht der Meeresboden länger, um sich von dem Eingriff zu erholen, denn hier bewegen und verlagern die Wassermassen weniger Sedimente als im Flachwasserbereich.



5.16 > Vor der niederländischen Insel Ameland fördert ein Saugbagger Sand vom Grund der Nordsee, mit dem der Inselstrand verbreitert werden soll.

5.17 > Diese Bilder zeigen zwei der Korallenatolle im Südchinesischen Meer, die China durch Sandaufschüttungen in Inseln verwandelt hat. Sowohl auf dem Fiery-Cross-Riff (oben) als auch auf dem Subiriff ist seit dem Jahr 2017 Militär stationiert. Die Atolle als Lebensraum für Korallen und Riffbewohner sind weitestgehend zerstört worden.



DigitalGlobe CSIS/AMTI



DigitalGlobe CSIS/AMTI

- alle entsorgten Geräte und die darin verbauten Materialien recycelt und wiederverwendet werden.

Kreislaufsysteme schonen nicht nur die Umwelt, sie bringen auch wirtschaftliche Vorteile. Durch das Recycling metallischer Abfälle und Schrotte etwa reduzieren sich die durch den Bergbau geförderten Rohstoffmengen, und in der Produktion wird sehr viel Energie eingespart. Auch wachsen die Abfallberge nicht weiter an. Recht viele Metalle lassen sich außerdem weitestgehend ohne Qualitätsverlust wiederverwerten.

Weitweit werden Rohstoffe wie Eisen, Zink, Kupfer, Gold und Silber heute schon zu 50 bis 90 Prozent wiederverwertet. Bei vielen anderen Metallen besteht noch großes Ausbaupotenzial. Fakt ist aber auch, dass elektronische Produkte und anfallende Schrotte immer komplexer werden, was das Recycling einzelner Materialien erschwert und es teilweise unwirtschaftlich macht. Eine Kreislaufwirtschaft kann zudem nur dann funktionieren, wenn die Menge der wiederaufbereiteten Rohstoffe ausreicht, um die weltweite Nachfrage zu decken.

Fachleute gehen jedoch davon aus, dass angesichts des rapiden Bevölkerungswachstums und des zunehmenden Technologiewandels in allen Teilen der Welt Metallrohstoffe auch künftig aus natürlichen Lagerstätten abgebaut werden müssen. Verbessern ließe sich die Versorgungslage aber, indem Rohstofflagerstätten umfassender erschlossen werden.

Vor diesem Hintergrund beauftragte die Europäische Kommission vor wenigen Jahren Wissenschaftler, herauszufinden, welche Mengen wertvoller Mineralien und Metalle sich in den Abraumhalden ehemaliger Bergwerke oder Tagebaue noch befinden und wie sich diese gewinnen ließen. Das Ergebnis: Die Chancen, Rohstoffe wie Chrom, Niob oder auch Vanadium in den Halden zu finden, sind groß, gerade weil in den Bergwerken an Land früher immer nur ein oder zwei Rohstoffe abgebaut wurden. Einkalkuliert werden müsste allerdings, dass einiger Aufwand zu betreiben wäre, die bislang unberücksichtigten Metalle und Mineralien bergen zu können. Am sinnvollsten wären Methoden, mit denen sich verschiedene Rohstoffe gleichzeitig extrahieren ließen, selbst wenn diese Ansätze in der Regel sehr energieintensiv sind.

Andere Forschende suchen nach Wegen, mit denen sich im Meerwasser gelöste Metalle direkt gewinnen lassen – so zum Beispiel Lithium, welches die Ozeane in einem Umfang von schätzungsweise 180 Milliarden Tonnen speichern. Die tatsächliche Konzentration des Stoffs im Meerwasser aber beträgt lediglich 0,2 parts per million. Um diesen winzigen Anteil zu extrahieren, setzen Wissenschaftler speziell beschichtete Elektroden ein, welche sie wiederholt unter Strom setzen. Als Reaktion auf die elektrische Spannung wandern die Lithiumionen aus dem Wasser in die Elektrode. Diese Methode funktioniert im Versuchsaufbau. Bis zu einer industriellen Anwendung aber ist es noch ein weiter Weg.

Einige deutsche Geologen stellten deshalb im Jahr 2017 die Frage, ob es nicht denkbar wäre, vor einer Aufnahme des technisch aufwendigen und folgenschweren Tiefseebergbaus zunächst im Untergrund der flachen, küstennahen Schelfmeere nach Erzvorkommen zu suchen. Deren Meeresgrund, der sogenannte Kontinentalschelf oder Festlandssockel, stellt eine Verlängerung des Kontinents dar, was vermuten lässt, dass Metall- oder Mineralvorkommen, die an Land in unmittelbarer Küstennähe vorkommen, auch im Meeresgrund zu finden sind. Und wahrscheinlich ließen sich diese küstennahen Ressourcen vergleichsweise einfach und mit deutlich geringeren Risiken abbauen als die Erzvorkommen in der Tiefsee. Die Geologen prognostizieren zum Beispiel große Goldvorkommen vor der Westküste Afrikas, Nickellagerstätten im Arktischen Ozean und Blei-Zink-Vorkommen im Golf von Mexiko und dem Mittelmeer. Neu wäre eine Rohstoffförderung in vielen dieser Regionen nicht. Seit mehr als 70 Jahren werden in einigen Schelfmeeren Erdöl und Erdgas gefördert; andernorts werden im Küstenbereich Sand und Kies abgebaut – allerdings auch nicht folgenlos für die empfindlichen Ökosysteme der Küstengewässer.

Das heißt: Solange der Rohstoffbedarf steigt und wirklich nachhaltige Alternativen fehlen, bleibt die Gewinnung mineralischer Rohstoffe stets eine Interessenabwägung, bei der sich die Frage stellt, wie der Nutzen im Verhältnis steht zu den teilweise nicht absehbaren Folgen für Umwelt und Mensch. Die Staatengemeinschaft steht zudem auch erstmals vor der Entscheidung, ob ein industrieller Bergbau tatsächlich auch in der internationalen Tiefsee stattfinden soll.

Trinkwasserreserven im Meeresboden

War Süßwasser früher nur in trockenen Regionen ein kostbares Gut, versiegen mittlerweile auch in vielen Küstengebieten der Erde die Seen, Flüsse, Quellen und Brunnen. Die Gründe dafür sind vielschichtig: Mancherorts regnet es im Zuge des Klimawandels weniger. Anderswo fällt der Niederschlag nicht mehr gleichmäßig über die Zeit verteilt, sondern episodenhaft als sogenannter Starkregen. Bei solchen extremen Niederschlagsereignissen läuft das meiste Wasser oberflächlich ab, weil das Erdreich es nicht schnell genug absorbieren kann. Gleichzeitig steigt der Süßwasserverbrauch, weil mehr und mehr Menschen in die Küstenregionen ziehen oder dort Urlaub machen und die Bauern mehr Flächen bewässern. Mancherorts werden Oberflächengewässer und Grundwasserreservoirs aber auch grundlos verschmutzt, etwa durch Überdüngung oder den Einsatz von Pestiziden.

Aufgrund der zunehmenden Wasserknappheit suchen Forschende seit geraumer Zeit nach neuen Süßwasserreservoirs. Ihre Suche konzentriert sich dabei vor allem auf das Meer, denn seit einigen Jahren weiß man, dass es vermutlich auf allen Kontinenten in Küstennähe auch unterhalb des Meeresbodens unerschlossene Grundwasservorkommen gibt. Die meisten Offshore-Reservoirs wurden bisher an der Ostküste der USA, an der Nordwestküste Europas sowie an der Westküste Australiens entdeckt. Schätzungen zufolge speichern alle bekannten Reservoirs unter dem Meer zusammen etwa eine Million Kubikkilometer Süßwasser. Diese Menge würde theoretisch ausreichen, das Schwarze Meer zweimal zu füllen oder die Bevölkerung Deutschlands mehr als 192 000 Jahre lang mit Trinkwasser zu versorgen.

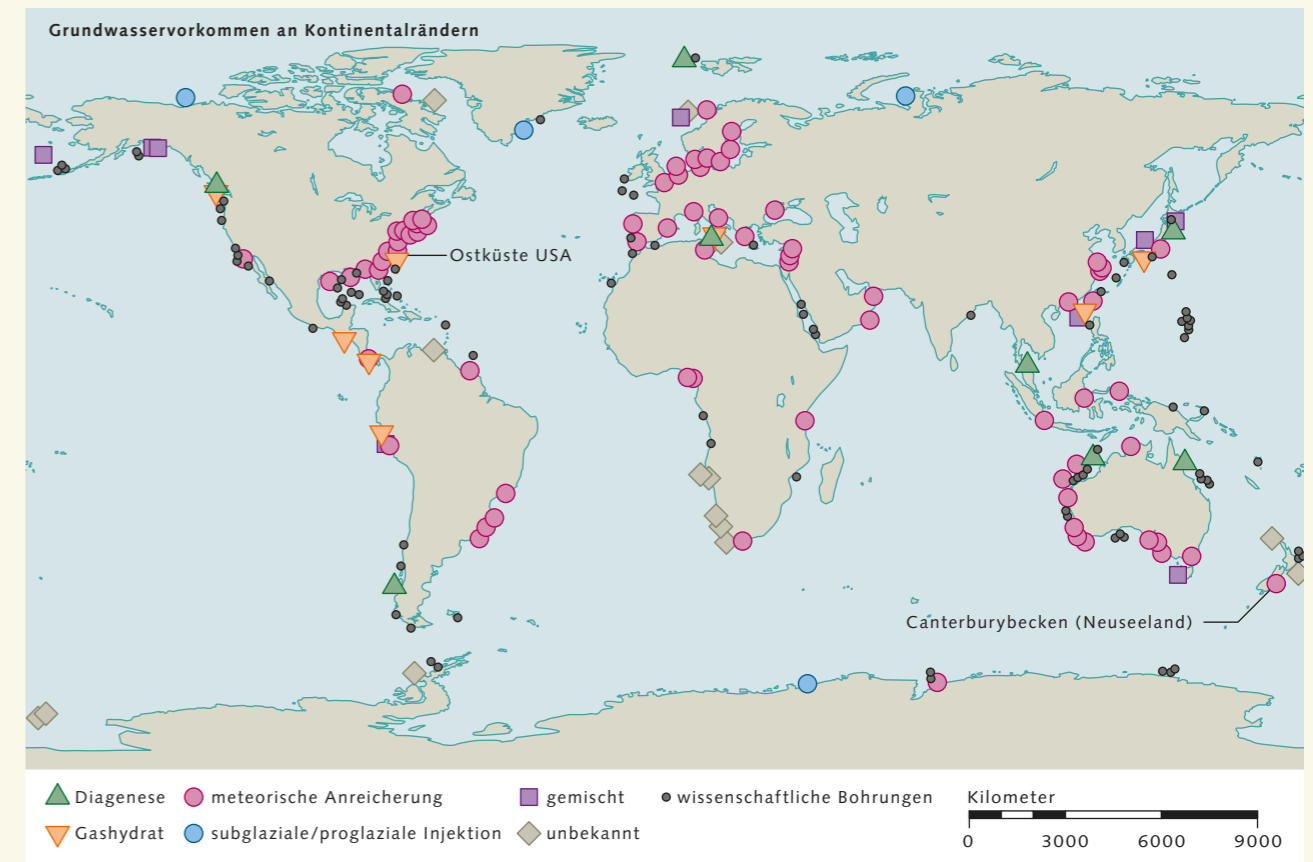
Grundwasservorkommen unter dem Meer können auf unterschiedliche Weise entstehen. Fachleute kennen mittlerweile fünf Entstehungsprozesse: Manche Reservoirs entstehen durch den natürlichen Zerfall gefrorener Gashydrate im Meeresboden; dabei wird salzarmes Wasser freigesetzt. Anderenorts sammelt sich Wasser im Untergrund, welches durch physikalische und chemische Prozesse im Zuge der Verfestigung von Sedimenten entsteht. Fachleute nennen diese Gesteinsbildung auch Diagenese. Vorkommen in ehemals von Gletschern bedeckten Küstenregionen können darauf zurückgeführt werden, dass hier einst große Eismassen vorkamen, deren Schmelzwasser in den Meeresboden gelangte und sich dort ansammelte (subglaziale/proglaziale Injektion). Einige bekannte Offshore-Reservoirs werden auch von Land aus gespeist – etwa indem Niederschläge an Land versickern und von tief liegenden Gesteinsschichten unterirdisch Richtung Meer abgeführt werden (meteorische Anreicherung 1).

Die meisten Grundwasserspeicher im Meer sind jedoch während zurückliegender Kaltzeiten wie etwa der Eiszeit vor rund 20 000 Jahren

entstanden. Damals wuchsen die Eisschilde in der Arktis und Antarktis, gleichzeitig sank der globale Meeresspiegel im Vergleich zu heute um mehr als 100 Meter. Infolgedessen fielen auf der gesamten Erde flache Küstengewässer, die sogenannten Schelfgebiete oder Kontinentalränder, trocken. Regnete oder schneite es dann auf diese Flächen, versickerte das Wasser im Erdreich und sammelte sich in harten, von Poren durchzogenen Kalkgesteinen, die das Wasser wie ein Schwamm speichern (meteorische Anreicherung 2). Als der Meeresspiegel zum Ende der Eiszeit wieder stieg, wurden die Schelfgebiete abermals überschwemmt. Die Grundwasserreservoirs in der Tiefe befinden sich seitdem jenseits der Küste und wecken vor allem das Interesse wasserarmer Staaten wie Südafrika, Mexiko, Neuseeland oder auch Malta.

In den Gewässern Maltas liegen die wasserführenden Kalkgesteine etwa 400 Meter tief im Meeresboden, wie wissenschaftliche Untersuchungen unter deutscher Leitung ergaben. Vor der neuseeländischen Küste von Canterbury (östlicher Teil der Südinsel) dagegen brauchten die Forschenden nur 20 Meter tief in den Meeresboden bohren, um auf süßwasserführendes Gestein zu stoßen. Das Grundwasserreservoir dort ist eines der flachsten der Welt. Es erstreckt sich bis zu 60 Kilometer von der Küstenlinie entfernt und umfasst bis zu 200 Kubikkilometer Wasser. Zum Vergleich: Deutschlands größter Binnensee, der Bodensee, speichert 48 Kubikkilometer Wasser. Das Grundwasservorkommen vor der neuseeländischen Küste ist somit etwa viermal so groß.

Solche detaillierten Erkenntnisse über die Süßwassersysteme unter dem Meer gewinnen Forschende, indem sie neuerdings verschiedene geophysikalische und geochemische Forschungsmethoden zusammenführen. Mithilfe der sogenannten marinen Elektromagnetik messen sie den elektrischen Widerstand des Untergrundes. Von ihm lässt sich ableiten, ob das Gestein im Untergrund Salz- oder Süßwasser in seinen Poren speichert. Salzwasser leitet hervorragend, bei Süßwasser dagegen verdreifacht sich der elektrische Widerstand. Um den Salzgehalt des Porenwassers genau zu bestimmen und das Volumen des Grundwasserkörpers abzuschätzen, kombinieren die Geologen anschließend ihre elektromagnetischen Daten mit den seismisch erfassten Schichtprofilen des Meeresbodens. Diese Zusammenführung ist in erster Linie ein statistisch-mathematisches Verfahren, bei dem numerische Modelle und Algorithmen zum maschinellen Lernen (englisch: Machine Learning Algorithms) zum Einsatz kommen. Die Methode versetzt die Fachleute in die Lage, Offshore-Süßwassersysteme außergewöhnlich detailliert zu beschreiben und zu kartieren. Genau genommen ist diese Forschung also fast ein bisschen mehr Mathematik als Geologie und Hydrologie.



5.18 > Mittlerweile hat man Grundwasservorkommen in Küstengebieten aller Kontinente gefunden. Sie entstehen durch den Zerfall gefrorener Gashydrate, durch die Verfestigung von Sedimenten (Diagenese), durch Gletscher-Schmelzwassereinträge, durch Regenwassereinspeisung von Land sowie in den meisten Fällen durch die Bildung von Grundwasserspeichern während vergangener Kaltzeiten.

Energiequelle Meer: Potenzial und Erwartungen

> Die Energiewende wird auf dem Meer vorangetrieben. Zu den Hauptakteuren gehören dabei unter anderem die großen Erdölkonzerne. Sie investieren in den Ausbau der Offshore-Windenergie und entwickeln Konzepte zur Einlagerung von Kohlendioxid im Meeresboden. Beide Technologien wecken die Hoffnung, dass die Abkehr von Kohle, Erdöl und -gas doch noch gelingen kann. Für den Ozean aber bedeutet die Entwicklung, dass viele seiner Gebiete künftig noch intensiver vom Menschen genutzt werden – und zwar dauerhaft.

Zeitenwende im Energiesektor

Energie macht unser Leben ein enormes Stück einfacher. In Form von Elektrizität bewegt sie Maschinen, Züge und immer mehr Autos. Sie erlaubt Kommunikation in Bild und Echtzeit rund um den Globus und erhellt Wohnungen oder ganze Städte, selbst wenn die Sonne längst hinter dem Horizont versunken ist. In Form von Wärme schmilzt Energie Eis und Eisenerze und sorgt bei Kälte für wohlige warme Wohnungen. Freigesetzt bei der Treibstoffverbrennung in Motoren lässt sie den Verkehr rollen und Flugzeuge fliegen.

Weil die Weltbevölkerung wächst, immer mehr Menschen eine Heizung, einen Stromanschluss und ein Fahrzeug besitzen und immer größere Bereiche des menschlichen Alltags elektrifiziert werden, steigt auch der globale Primärenergieverbrauch. Darunter verstehen Experten die insgesamt für die Versorgung der Weltwirtschaft benötigte Energiemenge. Bislang wird diese vor allem durch die Verbrennung fossiler Energieträger erzeugt. In Deutschland beispielsweise stammten im Jahr 2018 noch rund 80 Prozent der verbrauchten Energie aus Kohle, Erdgas und Erdölprodukten. Betrachtet man einzig und allein die globale Stromproduktion, werden noch immer zwei Drittel der weltweit benötigten Elektrizität durch die Verbrennung fossiler Energieträger gewonnen. Die Treibhausgasemissionen des Energie- und Verkehrssektors sind entsprechend hoch – und mehr als ein Viertel des verfeuerten Öls und Gases wurde im Meer gefördert.

Dem Energiesektor steht jedoch in zweifacher Hinsicht ein radikaler Umbau bevor. Die Netze müssen ausgebaut, modernisiert und intelligent gesteuert werden, um den wachsenden Ansprüchen gerecht zu werden. Gleichzeitig sollen erneuerbare Energiequellen wie Wind, Sonne, Biomasse und die Kraft des Wassers die angestammten

fossilen Energieträger ablösen. Der Ozean nimmt auch dabei eine Schlüsselrolle ein: zum einen als Standort für gigantische Windfarmen, zum anderen als Antrieb für Wellen- und Strömungskraftwerke. Außerdem wird diskutiert, ob ausgeförderte Erdgaslagerstätten im Meeresboden nicht der geeignetste Ort wären, um in Industrieprozessen abgeschiedenes und anschließend verflüssigtes Kohlendioxid einzulagern. Das Speicherpotenzial jedenfalls wäre enorm und interessiert gegenwärtig vor allem eine Gruppe von Unternehmen: erdöl- und erdgasfördernde Konzerne.

Erdöl- und Erdgasförderung im Meer

Viele Erdöl- und Erdgaslagerstätten der Welt liegen im Meer. Entstanden über Jahrtausende, wurden die ersten von ihnen Ende des 19. Jahrhunderts im Santa Barbara Channel vor der Küste des US-Bundesstaates Kalifornien abgeteuft – damals allerdings noch in Sichtweite zur Küste. Flachwasser und die Nähe zum Land aber sind seit mehr als 70 Jahren keine Grundvoraussetzung mehr. Aufgrund verbesserter Erkundungsverfahren, Bohr- und Fördermethoden können Erdöl und Erdgas mittlerweile selbst in Lagerstätten gefördert werden, die in Wassertiefen von mehr als 3000 Metern liegen oder aber weiter als 160 Kilometer vor der Küste. Die möglichen Bereiche der sogenannten Tief- oder Tiefstwasserförderung sind allerdings auf die Schelfmeere und somit auf die Kontinentalränder beschränkt. Die Tiefseeebenen der Ozeane, die den weitestgrößten Anteil der Meeresfläche ausmachen, sind von ozeanischer Kruste unterlagert und haben ein sehr geringes oder kein Erdöl- und Erdgaspotenzial.

Extrem sind mittlerweile auch die Bohrtiefen im Meer. Die tiefsten Ölbohrungen im Golf von Mexiko beispielsweise reichen mehr als 6000 Meter weit in den Meeresboden, wobei es Bohrplattformen gibt, deren Boh-



5.19 > Ein Versorgungsschiff des norwegischen Energiekonzerns Equinor bringt Technik für die Erdölförderung im Johan-Castberg-Ölfeld in die Arktis. Sowie das Vorkommen in der Barentssee erschlossen ist, wird es das nördlichste Ölförderfeld Norwegens sein.

rer theoretisch bis zu 11 400 Meter weit in den Untergrund vorstoßen könnten, sofern die Bedingungen dies zulassen.

Die technische Entwicklung erlaubt den Erdölunternehmen außerdem, ihre Produktion in Gebiete auszuweiten, deren teilweise extreme Wetter- oder Umweltbedingungen eine Förderung bislang verhindert haben. So errichten die beiden norwegischen Energieunternehmen Vår Energi AS und Equinor (ehemals Statoil) im Jahr 2016 die Bohr- und Förderplattform Goliat in der arktischen Barentssee und erschlossen damit das bislang nördlichste Ölfeld der Welt. Die Erschließung eines zweiten, noch weiter nördlich gelegenen Vorkommens läuft bereits. Auf dem Johan-Castberg-Ölfeld soll im Jahr 2023 die Förderung beginnen.

Erdöl und Erdgas im Meer zu fördern, ist zeit- und vor allem kostenintensiv. Von der Entdeckung einer Offshore-Erdöllagerstätte im Tiefstwasser bis zum Verkauf des ersten Öls können bis zu zehn Jahre vergehen. Die Ausgaben für die geologischen Voruntersuchungen sowie alle notwendigen Bohr- und Produktionstechnik summieren sich meist auf Milliardenbeträge. Die Entscheidung für oder gegen die Erschließung eines Offshore-Feldes fallen Unterneh-

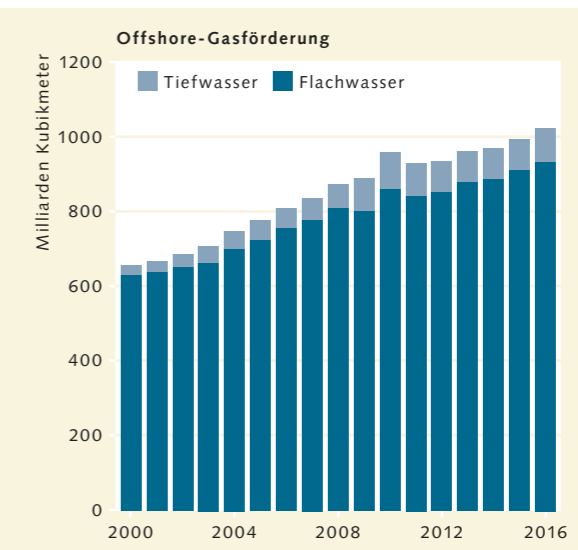
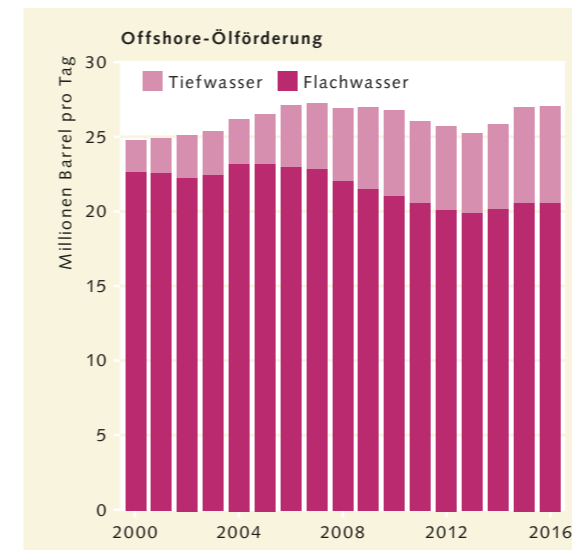
men daher nicht auf Basis des aktuellen Ölpreises, sondern mit Blick auf die zukünftige Preisentwicklung. Aus diesem Grund sind die Offshore-Produktionsmengen auch nicht so eng an die aktuelle Preisentwicklung gebunden wie die Ölfördermengen aus Lagerstätten an Land.

Die im Meer geförderten Öl- und Gasmengen machen nach Angaben der Internationalen Energieagentur IEA (International Energy Agency, auch Weltenergieagentur genannt) mehr als ein Viertel der globalen Gesamtproduktion aus. Weltweit sind mittlerweile rund 6500 Offshore-Erdöl- und Erdgasförderanlagen in Betrieb. Gefördert wird vor allem in Gewässern im Nahen Osten und Brasilien sowie in der Nordsee, im Golf von Mexiko, im Nigerdelta sowie im Kaspischen Meer. Während die Offshore-Ölfördermenge im Zeitraum von 2000 bis 2018 relativ stabil bei 26 bis 27 Millionen Barrel pro Tag gelegen hat, ist die Gasfördermenge in derselben Zeitspanne um 50 Prozent angestiegen – auf mehr als 1000 Milliarden Kubikmeter. Eine neue Entwicklung ist zudem, dass Verarbeitungsschritte wie zum Beispiel die Verflüssigung von Erdgas nicht mehr nur an Land stattfinden, sondern zunehmend auch auf Spezialschiffen auf dem Meer.

Tief- und Tiefstwasser
Der Begriff „Tiefwasser“ stammt aus einer Zeit, in der Bohrplattformen noch am Meeresboden gegründet wurden. Er bezeichnet eine Wassertiefe, ab welcher diese Gründung nicht mehr möglich war. Die dazugehörige Zahlenangabe aber verschob sich mit fortschreitender technologischer Entwicklung. Wurde in den 1990er-Jahren bereits bei einer Wassertiefe von 300 Metern von „Tiefwasser“ gesprochen, wird der Begriff heutzutage bei Wassertiefen von mehr als 500 Metern angewendet. Sprechen Rohstoffexperten dagegen von „Tiefstwasser“, meinen sie eine Wassertiefe von mehr als 1500 Metern.



5.20 > Im Cromarty Firth, einem Meeresarm an der schottischen Nordseeküste, stehen diese zwei Ölförderplattformen dicht nebeneinander. Mittlerweile stammt mehr als ein Viertel des weltweit geförderten Erdöls aus Vorkommen im Meer.



5.21 > Seit dem Jahr 2000 steigt die Menge der im Meer geförderten fossilen Rohstoffe, eine Entwicklung, die vor allem auf eine verstärkte Erdgasförderung zurückzuführen ist. Diese findet überwiegend im Flachwasser statt. Erdöl dagegen wird in zunehmendem Maß im Tiefwasser gefördert.

Vor diesem Hintergrund wird in den Meeren auch kontinuierlich nach neuen Erdöl- oder Erdgaslagerstätten gesucht. In den zurückliegenden zwei Jahrzehnten wurden die größten Vorkommen allesamt in Gebieten lokalisiert, deren Wassertiefe mehr als 400 Meter beträgt. Zusammen machen sie in etwa die Hälfte aller Öl- und Gasvorkommen aus, die im Zeitraum von 2008 bis 2018 weltweit neu entdeckt wurden. Schaut man sich jede der neuen Lagerstätten im Meer einzeln an, wird deutlich, dass nur einige ölführend sind. Mehr als die Hälfte der neu entdeckten Vorkommen wurde als Erdgasfeld eingestuft.

Trotz der vielen Neuentdeckungen wurden viele Pläne für Offshore-Neuerschließungen nach dem Deepwater-Horizon-Unglück im Jahr 2010 und dem Ölpreisverfall im Jahr 2014 erst einmal auf Eis gelegt. Gleichzeitig sank die Zahl der aktiven Förderplattformen von 320 im Jahr 2013 auf rund 220 im Jahr 2016. Ein Grund für diesen Rückgang war die enorme Ausweitung des hydraulischen Frackings an Land, vor allem in den USA. Beim Fracking werden Flüssigkeiten mit hohem Druck in tief liegende dichte Tongesteinsschichten gepresst, sodass Risse in diesen sogenannten Schiefer- oder Erdölmuttergesteinen entstehen. Anschließend können eingelagerte Vorkommen von Schiefergas und Schieferöl abgebaut werden – und das deutlich günstiger als bei den teuren Offshore-Bohrungen.

Die wachsende Konkurrenz durch das Fracking und der damit verbundene Preiskampf zwangen die Off-

shore-Industrie zu Anpassungen. Umgesetzt werden nur noch vielversprechende Bohrvorhaben, und diese sind in der Regel deutlich effizienter geplant. Das Design der Plattformen wurde vereinfacht, größtenteils standardisiert und in manchen Fällen sogar verkleinert. Gleichzeitig trägt das weltweite Überangebot an Offshore-Technik und -Dienstleistungen dazu bei, dass die Betriebskosten sinken. Warfen Ölförderanlagen in norwegischen Gewässern oder im Golf von Mexiko früher erst Gewinne ab, wenn der Marktpreis für Öl über eine Grenze von 60 bis 80 US-Dollar pro Barrel (Fass mit 159 Liter Fassungsvermögen) stieg, so sind moderne Anlagen heutzutage bereits ab einem Barrelpreis von 25 bis 40 US-Dollar rentabel.

Derzeit versuchen die Unternehmen, weitere Kosten zu sparen, beispielsweise indem sie ausgewählte Prozesse der Offshore-Förderung digitalisieren. Denn klar ist auch: Die Lagerstätte für das jeweils nächste Projekt liegt vermutlich in noch tieferem Wasser oder noch weiter von der Küste entfernt. Sie wird die Betreiber daher vor jede Menge neue Herausforderungen stellen, seien diese technischer, logistischer oder aber finanzieller Natur – wobei Überraschungsfunde in bislang nur wenig erkundeten Küstengewässern nicht ausgeschlossen sind. US-amerikanische Fachleute listeten im Jahr 2018 unter anderem folgende Punkte als wissenschaftlich-technische Hürden der Branche auf:

Methanhydrate: Am Ende entscheidet der Preis

Erdgas kommt im Meeresboden nicht nur als gasförmige Variante vor, sondern vermutlich viel häufiger als sogenanntes Gashydrat – das heißt in fester Form. Gashydrate bestehen in erster Linie aus gefrorenen Wassermolekülen, die ein festes Kristallgitter bilden. Auf den ersten Blick sehen sie deshalb auch wie Eis aus. Anders als beim Eis aber sind im Kristallgitter eines Gashydrates ein oder mehrere Gase eingeschlossen. In vielen Fällen handelt es sich dabei um Methan. Möglich sind aber auch Stickstoff, Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff, Ethan oder aber Propan.

Gashydrate stellen somit eine hochkonzentrierte Form natürlicher Gase dar. Aus einem Kubikmeter Methanhydrat beispielsweise können 160 bis 180 Kubikmeter Methangas gewonnen werden, weshalb Methanhydrate jahrzehntelang als attraktiver Rohstoff zur Energiegewinnung betrachtet wurden. Wissenschaftlichen Studien zufolge lagern weltweit zwischen 100 und 1000 Billionen Kubikmeter Methangas in Form von Hydraten im Meeresboden der Schelfmeere und Kontinentalränder. Diese Menge würde theoretisch ausreichen, den aktuellen Gasverbrauch der Welt (2019: 4,088 Billionen Kubikmeter) für mindestens weitere 24 Jahre zu decken.

Realistisch betrachtet aber ließe sich vermutlich nur ein vergleichsweise kleiner Teil dieser Vorkommen tatsächlich abbauen, denn Gashydrate bilden sich nur an den Kontinentalrändern ab einer Wassertiefe von circa 300 Metern. Die Erklärung dafür ist zweigeteilt: Zum einen rieselt nur an den Kontinentalrändern so viel organisches Material aus den oberen Wasserschichten in die Tiefe, dass die im Meeresboden lebenden Mikroben dieses im großen Umfang zersetzen und dabei Methan erzeugen können. Zum anderen ist erst ab etwa 300 Meter Wassertiefe der Druck hoch genug, dass sich aus im Sediment gebildeten Gasen und Porenwasser Hydrate bilden und stabil bleiben. Verändert sich die

Temperatur des Meeresbodens oder sinkt der Druck in der Tiefe, verflüssigt sich das Kristallgitter aus Wassermolekülen – und das eingeschlossene Gas entweicht. Dieser physikalische Prozess wird als Dissoziation bezeichnet und erklärt, warum man Methanhydrate anzünden kann. Das Feuer des Streichholzes schmilzt zuerst das Eis und entzündet anschließend das entweichende Gas.

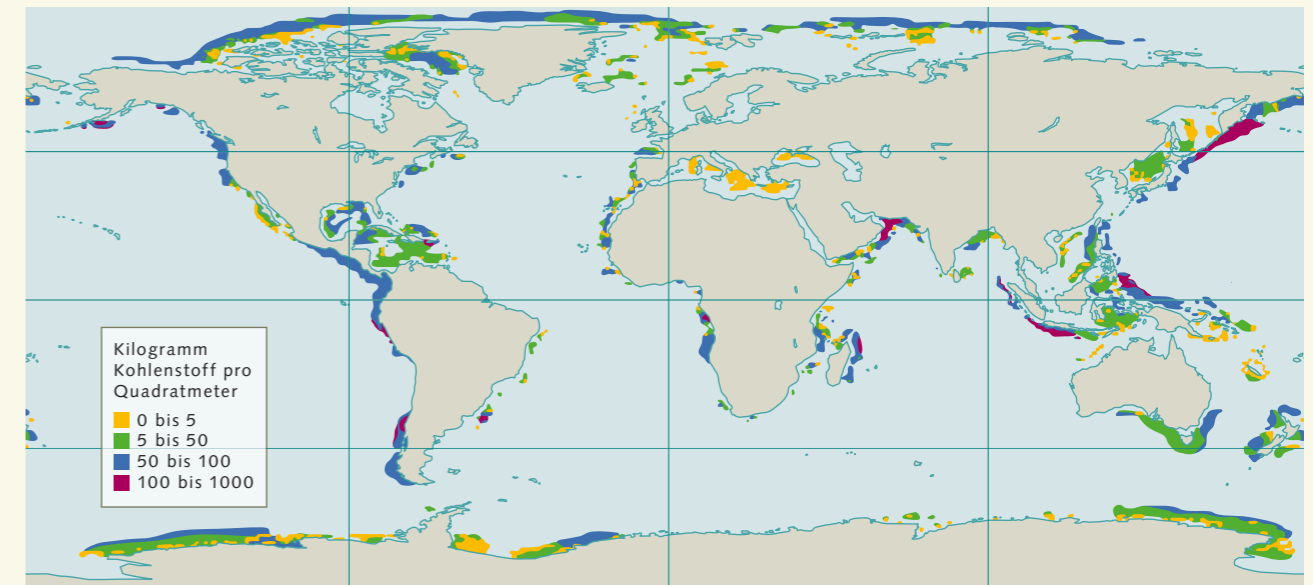
Methanhydrate abzubauen ist technisch seit geraumer Zeit möglich. Japanische, US-amerikanische und europäische Forscher



5.22 > Holt man Methanhydrate vom Meeresgrund hinauf, zerfallen sie unter Atmosphärendruck. Das frei werdende Methan lässt sich dann leicht entzünden.

haben bereits entsprechende Verfahren entwickelt und im Feld getestet. Ihre Forschungsergebnisse waren jedoch ernüchternd. Gemessen an der Förderung normalen Erdgases, verging viel zu viel Zeit, bis die angebohrten Gashydrate in der Tiefe dissoziierten und das entweichende Gas durch Rohrleitungen aufstieg. Angesichts der hohen Investitionskosten sei eine industrielle Förderung deshalb unwirtschaftlich, schlussfolgerten viele Fachleute nach den Tests. Nichtsdestotrotz investieren vor allem Japan und China weiterhin

in die Entwicklung neuer Abbaumethoden. Gelänge es, kostengünstigere Verfahren zu entwickeln, könnte beispielsweise Japan die Gashydratvorkommen in seinen Hoheitsgewässern abbauen und damit seine Abhängigkeit von Flüssiggasimporten reduzieren. Noch aber ist den beteiligten Fachleuten der entscheidende Durchbruch nicht gelungen. Angesichts der aktuellen Weltmarktpreise für Erdgas wäre der Abbau von Methanhydraten nach wie vor ein Verlustgeschäft.



5.23 > Methanhydrate kommen weltweit vor allem an den Kontinentalabhängen vor. Die größten Lagerstätten werden vor Peru und vor der Arabischen Halbinsel vermutet. Die Grafik berücksichtigt nur jene Gashydrate, deren Methan durch Mikroorganismen erzeugt wurde. Nicht berücksichtigt sind Methanmengen, die in tieferen Sedimentschichten durch chemische Umwandlung von Biomasse entstanden sind.

Blick durch dicke Salzsichten

In einigen Regionen wie zum Beispiel im Golf von Mexiko und vor der Küste Brasiliens liegen einige Erdölvorkommen in Gesteinsschichten unterhalb dicker Salzsichten. Diese bis zu zwei Kilometer dicken Salzablagerungen aber sind mit herkömmlichen seismischen Methoden kaum zu durchdringen. Gebraucht werden neue Analysetechniken und Hochleistungscomputer, die in der Lage sind, die vielen geologischen Daten auszuwerten. Ein weiteres Problem: Salz löst sich auf, wenn es mit Bohrflüssigkeit in Kontakt kommt. Unter Umständen kann es sogar das

Bohrsystem oder den Bohrschacht beschädigen. Wer durch die Salzsichten bohren will, benötigt daher neue, für Salz geeignete Technik.

Hitze- und druckbeständige Bohrtechnik

Herkömmliche Bohrtechnik kann bis zu Temperaturen von rund 175 Grad Celsius eingesetzt werden. Bei künftigen Bohrungen nach besonders tief gelegenen Lagerstätten aber könnten Umgebungstemperaturen von bis zu 260 Grad Celsius entstehen. Im Bohrschacht wäre es also heiß genug, um eine Pizza zu backen. Solche Bedingungen

bedeuten allerdings den sicheren Hitzetod für viele Sensoren und Elektroteile, die im Bohrsystem verbaut sind. Benötigt wird deshalb besonders hitzebeständige Bohrtechnik, die außerdem auch noch einen Druck aushält, der 2000-mal größer ist als der Luftdruck an der Erdoberfläche.

Neue Installations- und Beobachtungssysteme

Bei der Erdöl- oder Erdgasförderung im tiefen Wasser verzichten Unternehmen immer öfter auf schwimmende Förderplattformen. Stattdessen installieren sie einen sogenannten Bohrlochkopf am Meeresboden. Von diesem aus

fließt das Öl oder Gas dann über Rohrleitungen direkt bis zur Küste. Überwacht werden müssen die untermeerischen Anlagen aber dennoch. Gebraucht wird dazu ferngesteuerte Überwachungstechnik, beispielsweise autonom agierende Unterwasserfahrzeuge, die mithilfe von Sensoren und Kameras das Fördersystem auf Leckagen oder Schwachstellen hin untersuchen.

Sturmefeste Förderanlagen

Wirbelstürme sind vor allem im Golf von Mexiko ein zunehmendes Sicherheitsproblem, insbesondere, weil die

Hurrikane immer kraftvoller werden. Öl- und Gasförderanlagen in sturmanfälligen Gebieten rund um den Erdball müssen diesen Wetterextremen problemlos standhalten können. Der Einsatz verbesserter Technik oder die Installation ferngesteuerter Unterwassersysteme ist daher unabdingbar.

Eine weitere Herausforderung stellt die seit Jahrzehnten im Einsatz befindliche Fördertechnik dar. Nach Angaben der IEA werden bis zum Jahr 2040 weltweit etwa 2500 bis 3000 Erdöl- oder Erdgasförderanlagen ihr Lebensende erreichen. Viele von ihnen sind Stahlplattformen im flachen Wasser. Mit der Zeit aber werden auch deutlich kompliziertere Anlagen aus der Tiefsee dazukommen. Die umweltfreundlichste Art der Entsorgung wäre es, diese Anlagen komplett abzubauen und dann an Land zu verschrotten. Denkbar sind mittlerweile aber auch andere Lösungen, so zum Beispiel jene, geeignete Plattformen als Standort oder Fundament für Offshore-Windräder weiterzuverwenden.

Der Meeresboden als Endlager für Kohlendioxid

Die Idee, ausgediente Öl- oder Erdgasplattformen für die Gewinnung von Strom aus Windkraft einzusetzen, ist jedoch nur der Anfang. Angesichts der fortschreitenden Erderwärmung und des immer größer werdenden Handlungsdrucks diskutieren Regierungen und Unternehmen inzwischen intensiv, ob man Kohlendioxid nicht in ausbeuteten Erdöl- oder Erdgaslagerstätten unter dem Meer speichern und eine weitere Erderwärmung auf diese Weise verhindern könnte.

Neu sind diese Überlegungen zur sogenannten Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (carbon capture and storage, CCS) keineswegs. Entsprechende Konzepte und Ansätze existieren bereits seit mehreren Jahrzehnten. Bislang aber war es für die Industrie in der Regel immer deutlich billiger, Treibhausgase direkt in die Atmosphäre zu entsorgen, als sie aufwendig abzuscheiden und unterirdisch einzulagern.

Eine von zwei Ausnahmen bildet die Erdölindustrie selbst. Vor allem in den USA leiten erdölfördernde Unternehmen Kohlendioxid in Erdöllagerstätten, um den Druck auf das im Untergrund verbliebene Öl zu erhöhen und es Richtung Förderquelle zu pressen.

Das Kohlendioxid verbessert gleichzeitig die Fließeigenschaften des Öls, sodass es schneller gefördert werden kann. Ein Teil des eingesetzten Kohlendioxids verbleibt bei dieser Art der Ölförderung (englisch: Enhanced Oil Recovery, EOR) im Untergrund und ist somit dauerhaft eingelagert. Bislang stammen allerdings nur 30 Prozent des eingesetzten Kohlendioxids aus industriellen Abscheidungsprojekten, der restliche Teil kommt wie Erdgas aus dem Untergrund.

Norwegen geht noch einen Schritt weiter. Das Land hat bereits im Jahr 1996 eines seiner ehemaligen marinen Erdgasfelder in einen Kohlendioxid-speicher umgewandelt. Im sogenannten Sleipner-Projekt in der Nordsee wird Kohlendioxid, welches direkt vor Ort bei der Erdgasförderung mit zur Meeresoberfläche aufsteigt, aufgefangen, verflüssigt und anschließend 880 bis 1100 Meter tief im Meeresboden eingelagert. Das gleiche Konzept verfolgt der verantwortliche norwegische Erdölkonzern Equinor (ehemals Statoil) seit 2007 auch im Snøhvit-Feld in der südlichen Barentssee. Betrachtet man beide CCS-Projekte zusammen, verpresst der Konzern mittlerweile rund 1,7 Millionen Tonnen Kohlendioxid pro Jahr im Meeresuntergrund. Diese Menge entspricht in etwa den Emissionen eines kleinen Kohlekraftwerkes. Doch das ist erst der Anfang.

Das Unternehmen ist derzeit nach eigenen Angaben an mehr als 40 CCS-Projekten beteiligt und entwickelt Konzepte, mit denen es gelingen soll, Kohlendioxid bei der Industrieproduktion an Land abzutrennen, zu verflüssigen und anschließend mit Schiffen oder aber über Pipelines zu Einleitungsstationen auf dem Meer zu transportieren. Dazu gehört auch Northern Lights, ein norwegisches Großprojekt, in dem Kohlendioxid, welches bei der Zementproduktion und bei der Müllverbrennung im Großraum Oslo entsteht, abgeschieden und per Schiff zum CCS-Terminal in Øygarden an die Westküste Norwegens gebracht werden soll. Von dort soll es dann über eine 110 Kilometer lange Pipeline auf die Nordsee hinausgepumpt werden, zu einer Einleitungsstation südlich des Troll-Erdgasfeldes, welche das verflüssigte Kohlendioxid anschließend in 2500 Meter Tiefe unter dem Meeresgrund verpresst. Alle dazu notwendigen technischen Anlagen sollen im Jahr 2024 ihren Betrieb aufnehmen.

Ähnliche Pläne verfolgt eine Unternehmensgruppe in den Niederlanden. Eine ausgediente Erdgaslagerstätte vor Rotterdam (Porthos-Projekt) soll künftig als Kohlendioxid-speicher dienen und einen Teil jener 28 Millionen Tonnen Kohlendioxid aufnehmen, die jährlich im Hafen der Stadt und in dem dazugehörigen Industriegebiet freigesetzt werden. Laut Projektplan könnten jährlich zwei bis fünf Millionen Tonnen Kohlendioxid in die Porthos-Lagerstätte eingebracht werden. Ob die emissionsverursachenden Unternehmen am Ende ihren bisherigen Absichtserklärungen aber auch Taten folgen lassen und in die immer noch teure Speicherung von Kohlendioxid einsteigen werden, bleibt abzuwarten.

Groben Schätzungen zufolge kostet es mehr als 50 Euro, eine Tonne Kohlendioxid in einem Zementwerk abzuschneiden, sie auf das Meer hinaus zu transportieren und im Untergrund zu verpressen. Wirtschaftlich attraktiv werden CCS-Projekte demzufolge erst, wenn die Kosten für Kohlendioxidemissionen die Kosten der Abscheidung und Speicherung überbieten. Dazu müssten die Steuern auf Emissionen jedoch ebenso drastisch steigen wie die Preise für sogenannte Emissionszertifikate. Nach Angaben der Weltbank zahlten Unternehmen im Jahr 2019 zwischen ein und 19 US-Dollar für jede Tonne von freige-

setztem Kohlendioxid, wobei mehr als die Hälfte der Emissionen mit Abgaben von weniger als zehn US-Dollar belegt wurden.

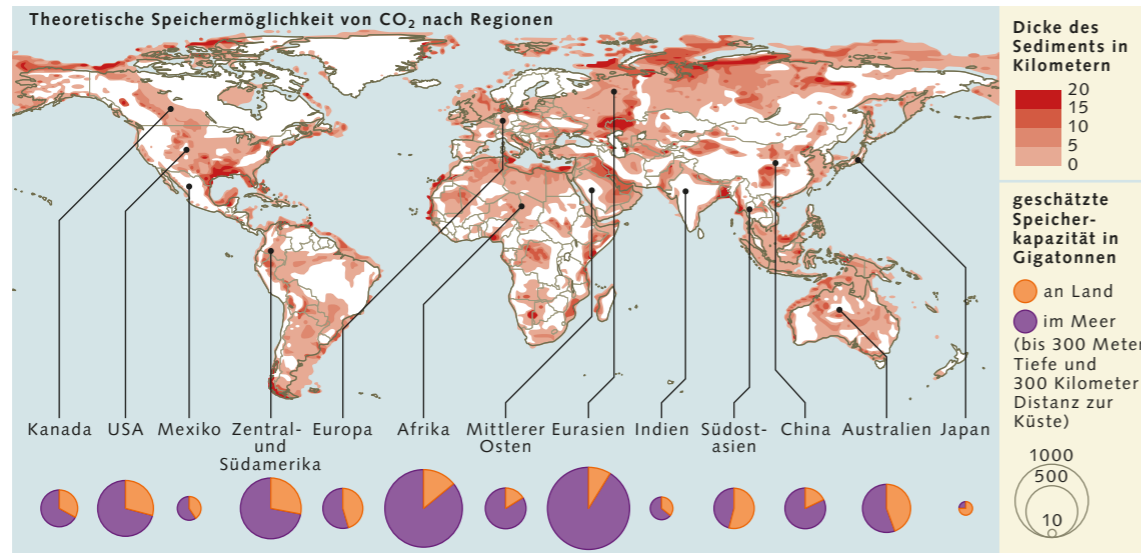
In Europa fokussieren CCS-Initiatoren bislang vor allem auf die Nordsee. Das liegt nicht nur an der Vielzahl großer Industrieunternehmen im Küstenraum, sondern auch an den idealen geologischen Bedingungen im Nordseeboden. Um verflüssigtes Kohlendioxid im Untergrund zu speichern, braucht man zunächst einmal eine dicke Sandsteinformation mit vielen großen Poren zwischen den einzelnen Sandkörnern, damit sich das eingeleitete Kohlendioxid leicht im Porenraum ausbreiten kann. Über dieser Sandsteinformation muss dann allerdings auch eine Schicht aus feinem Tongestein liegen, welche das großporige Sandgestein abdichtet und verhindert, dass das Kohlendioxid in flachere Meeresbodenschichten aufsteigen kann.

Nach der Injektion verteilt sich das verflüssigte Kohlendioxid in den Gesteinsporen und beginnt sich langsam im Porenwasser der Sandsteinformation zu lösen. Dieser Prozess allein dauert einige Hundert Jahre. Anschließend kann das gelöste Kohlendioxid mit dem umliegenden Gestein reagieren. Das heißt, es löst dieses auf und bildet unter Umständen neues Gestein (Kalk und weitere Karbonate), in welchem das Kohlendioxid dann auf Dauer fest



5.24 > Im Sleipner-Gasfeld in der Nordsee wird Kohlendioxid, das bei der Erdgasförderung mit zur Meeresoberfläche aufsteigt, direkt vor Ort aufgefangen, verflüssigt und im Anschluss 880 bis 1100 Meter tief im Meeresboden eingelagert.

5.25 > Die größten Mengen Kohlendioxid ließen sich an Land einlagern, weil dort die geologischen Voraussetzungen am besten sind. Eine Speicherung im Meeresuntergrund wird dennoch vielerorts in Betracht gezogen – unter anderem, weil mögliche Folgeschäden geringer ausfallen würden als in besiedelten Regionen.



gebunden ist. Fachleute sprechen an dieser Stelle von einer chemischen Neutralisation des Treibhausgas. Bis es so weit ist, vergehen allerdings etliche Jahrtausende.

CCS-gerechte Speichergesteine finden sich besonders häufig auf den Schelfen und in Randmeeren wie zum Beispiel der Nordsee. Deren Speicherkapazitäten allein sind so groß, dass sich darin schätzungsweise 150 Milliarden Tonnen Kohlendioxid speichern ließen, also in etwa das Dreieinhalbfache der jährlichen Gesamtemissionen aus Vor-Corona-Zeiten (2019: 42,3 Milliarden Tonnen CO₂). Weltweit gibt es mindestens 794 geologische Becken an Land und im Meer, in denen eine Speicherung von Kohlendioxid im Untergrund theoretisch möglich wäre. Deren gemeinsames Speicherpotenzial wird auf etwa 8000 bis 55000 Milliarden Tonnen Kohlendioxid geschätzt. Davon entfallen 2000 bis 13000 Milliarden Tonnen auf Meeresgebiete, wobei in dieser Rechnung nur Küstengewässer (bis 300 Kilometer offshore, maximale Wassertiefe 300 Meter) berücksichtigt und die Polarmeere ausgeschlossen wurden.

Dennoch würden selbst großflächig angelegte CCS-Projekte allein nicht ausreichen, den Kohlendioxid ausstoß der Menschheit in so engen Grenzen zu halten, dass es gelänge, das Pariser Klimaziel zu erreichen und die Erderwärmung auf deutlich unter zwei Grad Celsius zu begrenzen. Dafür braucht es eine breite Palette weiterer Maßnahmen zur Reduktion der Kohlendioxidkonzentra-

tion in der Atmosphäre. Als Übergangslösung aber kommt CCS dennoch eine Schlüsselrolle zu, sagen Fachleute der Weltenergieagentur. Das Verfahren soll vor allem in jenen Industriebereichen zum Einsatz kommen, in denen sich Kohlendioxidemissionen vorerst nicht vermeiden lassen; etwa bei der Zementherstellung, in der Stahlproduktion, in der chemischen Produktion, bei der Stromgewinnung in Biomasse- oder Kohlekraftwerken sowie bei der Erdgasförderung und -veredlung.

Nach Berechnungen der Weltenergieagentur ließen sich existierende Kraftwerke und Industrieanlagen in einem solchen Umfang mit Abtrennungstechnik ausstatten, dass in den kommenden 50 Jahren weltweit rund 600 Milliarden Tonnen Kohlendioxid aufgefangen werden könnten. Das entspricht der 17-fachen Menge der aktuellen Gesamtemissionen des Industriesektors. Das so gewonnene Kohlendioxid müsste nicht vollständig im Untergrund gespeichert werden, sondern könnte auch für die Herstellung synthetischer Treibstoffe verwendet werden. Rohstoffexperten argumentieren außerdem, dass sich mithilfe von CCS kostengünstig Wasserstoff aus Erdgas gewinnen ließe. Dieser könnte dann als emissionsarmer Treibstoff oder Energieträger für neue Anwendungen im Verkehrswesen, in der Schwerindustrie oder in Gebäuden eingesetzt werden.

Zu guter Letzt käme die Speicherung von Kohlendioxid im Untergrund aber auch für Projekte infrage, bei

denen Kohlendioxid direkt aus der Atmosphäre entnommen und anschließend verflüssigt wird (englisch: Direct Air Capture). Noch sind solche Verfahren viel zu energieintensiv und damit zu teuer. Langfristig aber gehen Experten sehr wohl davon aus, dass unvermeidbare Emissionen durch die direkte Entnahme von Kohlendioxid aus der Atmosphäre wieder ausgeglichen werden müssen. Anderenfalls bleibt das Ziel einer Nullemission nicht mehr als eine Wunschvorstellung.

Vergleicht man die Vor- und Nachteile einer Kohlendioxid-speicherung an Land mit jener im Meer, scheint der Meeresuntergrund die weniger risikobehaftete Option zu sein, weil es dort bislang kaum Infrastrukturen gibt, die ernsthaft Schaden nehmen könnten. Sollte zum Beispiel der Meeresboden leichte Erschütterungen erfahren, weil sich das Kohlendioxid im Untergrund ausbreitet, würde ein solcher Vorfall die Lebensgemeinschaften am Meeresboden vermutlich kaum stören. An Land aber könnten Häuser oder Straßen beschädigt werden. Außerdem können durch CCS-Projekte an Land dessen Grundwasserspeicher eventuell in Mitleidenschaft gezogen werden. Ihnen droht unter bestimmten Umständen eine Versalzung und Versauerung, im Zuge derer sich auch giftige Schwermetalle aus dem umliegenden Gestein lösen könnten. Im Meer wären solche Auswirkungen auf mögliche Grundwasserreservoirs zu vernachlässigen – vorausgesetzt, diese werden nicht zur Trinkwassergewinnung genutzt oder eingeplant.

Ähnlich verhielte es sich bei einem ungewollten Austritt von Kohlendioxid aus dem Untergrund. An Land würde das Treibhausgas direkt in die Atmosphäre entweichen; im Meer aber löst sich das austretende Kohlendioxid sofort im Wasser und führt zu dessen Versauerung. Ein großes Leckageexperiment europäischer Meeresforscher in der schottischen Nordsee hat jedoch ergeben, dass diese Versauerung nur kleinräumig auftritt, das heißt in einem Umkreis von zehn bis 20 Metern um die Austrittsstelle herum. Liegt diese auch noch in einem Gebiet mit spürbaren Strömungen oder Gezeiten, verdünnen diese das versauerte Wasser und begrenzen dadurch dessen unmittelbare schädliche Auswirkungen auf die marine Tier- und Pflanzenwelt.

Das Leckageexperiment diente auch dazu, herauszufinden, welche Technik zum Einsatz kommen müsste, um

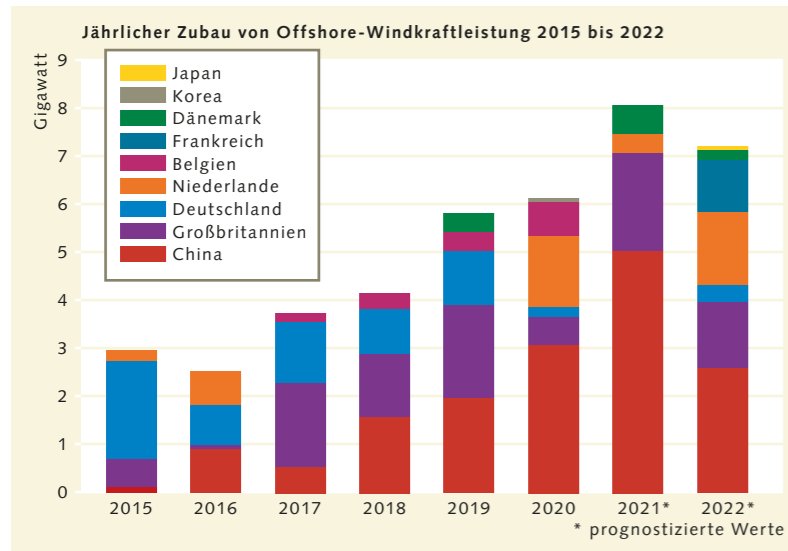
Lagerstätten von Kohlendioxid im Meeresuntergrund zuverlässig und günstig über lange Zeit hinweg zu überwachen. Die Betreiber der beiden norwegischen CCS-Anlagen im Meer führen regelmäßig seismische Untersuchungen des Untergrundes durch. Auf den dabei entstehenden Profilen des Meeresbodens können Experten verfolgen, bis in welche Gesteinsschichten das flüssige Kohlendioxid vorgedrungen ist. Ergänzend dazu bietet sich nach Auffassung der Fachleute ein Beobachtungsnetzwerk aus Geophonen und passiv lauschenden Robotersystemen an. Die Geophone würden auf dem Meeresboden verteilt werden und Geräusche von Druckausgleichsbewegungen, Rissen oder Beben im Untergrund aufzeichnen. Die Roboter hätten die gleiche Aufgabe, nur wären sie im Gegensatz zu den Geophonen beweglich. Das heißt, sie könnten den Meeresboden über der Lagerstätte abfahren und auf Anzeichen für Schwachstellen, Erschütterungen oder Leckagen untersuchen.

Vom Untergrund der Nordsee weiß man, dass er von rund 20000 Bohrlöchern durchzogen ist. Hinzu kommen auf natürliche Weise entstehende Risse, Spalten oder Schlotte. Der Untergrund ist demzufolge löchrig wie ein Sieb. Aus rund 4000 der Bohrlöcher entweicht heute schon Methan aus dem Meeresboden. In ihrer Nähe Kohlendioxid in den Untergrund einzuspeisen, würde weitere Leckagen provozieren. Es wird deshalb zumindest in der Nordsee keine leichte Aufgabe werden, potenzielle Lagerstätten für Kohlendioxid zu finden, die alle Anforderungen erfüllen. Das heißt,

- die dicht genug vor der Küste angesiedelt werden können, um hohe Transportkosten zu vermeiden;
- die in einem Meeresgebiet liegen, in dem die Kohlendioxid-speicherung rechtlich erlaubt ist;
- deren Speichergestein und darüber liegende Barriere-schicht großflächig intakt sind;
- die noch nicht anderweitig genutzt oder verplant sind – sei es als Schifffahrtsstraße, Naturschutzgebiet oder als Standort eines künftigen Windparks.

Im Falle der Nordsee bleiben da am Ende gar nicht mehr so viele Meeresflächen übrig. Dieser Umstand hat die Bundesregierung veranlasst, ein nationales Forschungsprojekt zu den Möglichkeiten und rechtlichen

Terawattstunden
Ein Terawatt entspricht 1000 Gigawatt oder einer Million Megawatt. Alle drei Einheiten beschreiben eine Leistung, die im Falle eines Windrades zum Beispiel angibt, welche maximale Energiemenge die Anlage zu einem bestimmten Zeitpunkt in das Stromnetz einspeisen kann. In Tera-, Giga- oder Megawattstunden dagegen gibt man an, wie viel Energie dieses Windrad innerhalb einer Stunde produziert – es geht hierbei also um die Frage, wie viel Strom tatsächlich innerhalb einer Stunde geflossen ist, und nicht um die Spitzenleistung.



5.26 > Die Offshore-Windbranche wächst, jedoch nicht in allen Regionen der Welt gleichmäßig. Die größten jährlichen Kapazitätzuwächse verzeichneten im Zeitraum von 2015 bis 2020 Nationen wie Großbritannien, China, Deutschland und die Niederlande.

Rahmenbedingungen von CCS-Projekten in deutschen Hoheitsgewässern ins Leben zu rufen. Die Fachleute haben im August 2021 ihre Arbeit aufgenommen; eine Zusammenfassung ihrer Ergebnisse wird für das Jahr 2024 erwartet.

Ob die großflächige Speicherung von Kohlendioxid im Meeresuntergrund am Ende tatsächlich Wirklichkeit wird in Deutschland, Europa und darüber hinaus, ist und bleibt aber in erster Linie eine ökonomische Entscheidung. Steigen die Abgaben auf Treibhausgasemissionen nicht weiter an, hat die Industrie keinerlei Anlass, in teure CCS-Projekte zu investieren und diese voranzutreiben.

Hoffungsbranche Offshore-Windkraft

Die Analyse der Internationalen Energieagentur klingt vielversprechend: Würde der Mensch in allen küstennahen, für den Bau von Windkraftanlagen geeigneten Meeresgebieten die Turbinen auch tatsächlich errichten und sie an das Stromnetz anschließen, könnten diese Offshore-Windparks zusammen rund 36 000 Terawattstunden Strom pro Jahr erzeugen. Genug, um die gesamte Wirtschaft und alle Haushalte der Welt mit Strom aus erneuerbaren Energien zu versorgen – zumindest bis zum Jahr 2040 und vielleicht auch darüber hinaus, wenn der Stromverbrauch entgegen allen Erwartungen doch nicht weiter ansteigen sollte. Zum Vergleich: Im Jahr 2019 verbrauchte

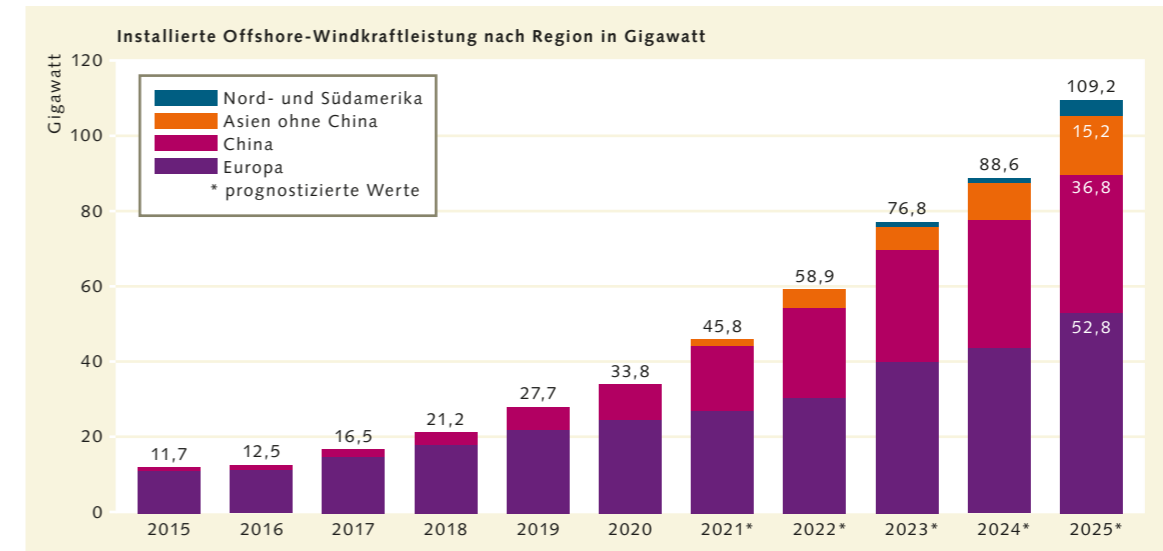
die Menschheit insgesamt 23 000 Terawattstunden Strom. Etwa 0,3 Prozent dieser Menge stammte von Windrädern auf dem Meer.

Die Dringlichkeit, Strom aus erneuerbaren Energiequellen zu gewinnen, steigt mit jedem Tag. Gründe dafür sind nicht nur der fortschreitende Klimawandel, sondern auch die zunehmende Elektrifizierung aller Lebens- und Wirtschaftsbereiche, einschließlich des Transportsektors, der Wärmeversorgung und der in zunehmendem Maß benötigten Kühlung.

Der Strom für Klimaanlagen, Heizung, Roboter, Maschinen, E-Mobilität, Computer und Mobiltelefone aber stammt derzeit noch immer zu mehr als zwei Dritteln aus Kohle- und Gaskraftwerken, obwohl grüner Strom, das heißt Strom aus erneuerbaren Energien, mittlerweile viel günstiger ist. Sein Anteil lag Ende 2018 bei 26 Prozent der global produzierten Strommenge. Wenn die Menschheit das Pariser Klimaziel einhalten will, bleiben ihr weniger als 30 Jahre, dieses Verhältnis nicht nur umzukehren, sondern die Strom- und Wärmegewinnung aus fossilen Brennstoffen bis zum Jahr 2050 vollends einzustellen.

Windkraftanlagen auf dem Meer spielen auf diesem Weg aus vier Gründen eine besondere Rolle. Erstens haben sie im Vergleich zu Windrädern an Land den großen Vorteil, dass der Wind auf dem Meer in der Regel stärker und häufiger weht. Es kann also mehr und länger anhaltend Strom erzeugt werden. Zweitens ist der Widerstand der Bevölkerung gegen Windparks auf dem Meer vielerorts kleiner als gegen Anlagen an Land. Bauprojekte haben somit eine größere Chance, genehmigt zu werden. Drittens ist das mögliche Ausbaupotenzial der Offshore-Windenergie das größte aller bekannten Technologien zur Gewinnung von Strom aus erneuerbaren Quellen. Zu guter Letzt können Offshore-Windfarmen auch in der Nähe kleinerer Inseln (wenig Landfläche, Import fossiler Brennstoffe) oder aber in abgelegenen Küstenregionen (schlechte Versorgung mit fossilen Brennstoffen) errichtet werden und somit maßgeblich dazu beitragen, energietechnisch bislang unterversorgte Gegenden mit ausreichend kostengünstigem, sauberem Strom zu versorgen – eines der 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung, formuliert von den Vereinten Nationen (englisch: Sustainable Development Goals, SDGs).

Aufgrund dieser Ausgangslage und des zunehmenden gesellschaftlichen Handlungsdrucks hat der Ausbau der



5.27 > Weltweit investieren Küstenstaaten massiv in den Ausbau der Offshore-Windenergie. Werden alle bislang geplanten Projekte umgesetzt, sind im Jahr 2025 Meereswindparks mit einer gesamten Energieleistung von rund 110 Gigawatt an die Stromnetze angeschlossen.

Offshore-Windenergie in den zurückliegenden Jahren deutlich zugenommen – getrieben vor allem durch Investitionen großer erdölfördernder Konzerne. Im Zeitraum von 2010 bis 2019 wuchs der Offshore-Windenergiemarkt um etwa 30 Prozent pro Jahr – von drei Gigawatt installierter Gesamtleistung im Jahr 2010 auf 29 Gigawatt Ende 2019. Zu diesem Zeitpunkt waren weltweit mehr als 5500 Offshore-Windkrafttrader an das Stromnetz angeschlossen.

Bis zum Jahr 2024 sollen nach Angaben der Weltenergieagentur weitere 150 Windparkprojekte auf dem Meer fertiggestellt werden, sodass ein Jahr später bereits jede fünfte Kilowattstunde Windstrom von einem Offshore-Windrad stammen wird.

Die wachsende Zahl der Windräder in der deutschen Nordsee setzte bereits im Jahr 2020 ein Achtungszeichen. Nach Angaben des Netzbetreibers Tennet lieferten die Turbinen mit einer Gesamtleistung von 6679 Megawatt über das Jahr gerechnet insgesamt 22,76 Terawattstunden Strom – eine Ausbeute, so groß wie nie zuvor. Mit dieser Energiemenge ließen sich rein rechnerisch rund sieben Millionen Haushalte ein Jahr lang mit grünem Strom versorgen.

Die Technologien und das Know-how für den Bau und den Betrieb von Windkraftanlagen auf dem Meer wurde vor allem in Deutschland, Großbritannien und Dänemark entwickelt. Die Bundesrepublik und das Vereinigte Königreich führten im Jahr 2019 auch noch die Liste der größ-

ten Offshore-Windkraftstromproduzenten an. Die größten Investitionen in den Bau neuer Windparks auf dem Meer aber tätigt derzeit China.

Größere Windräder, günstigere Strompreise

Die neueste Generation der Offshore-Windräder ist mit größeren Turbinen und vielerlei anderen verbesserten technischen Funktionen ausgestattet, um den Wind so effektiv wie möglich zu nutzen. Ein Rechenbeispiel: Wenn im Jahr 2023 vor der Küste von Yorkshire (England) das erste Teilstück der neuen Nordsee-Windfarm Dogger Bank ihren Dienst aufnehmen wird, erzeugt jede der errichteten 13-Megawatt-Turbinen mit einer vollständigen Umdrehung ihres Rotors (Rotorblattlänge: 107 Meter) ausreichend Elektrizität, um einen englischen Haushalt zwei Tage lang mit Strom zu versorgen.

Außerdem werden neue Windfarmen wie Dogger Bank in einem größeren Abstand zur Küste (100 Kilometer und mehr) errichtet, weil weiter draußen auf See bessere Windbedingungen vorherrschen. Da in tieferem Wasser eine Gründung am Meeresboden teuer und technisch schwierig ist, forcieren Betreiber von Windparks mittlerweile die Entwicklung schwimmender Plattformen, wie sie auch bei der Offshore-Erdölförderung zum Einsatz kommen. 13 Versuchsanlagen gibt es bereits weltweit, so zum Beispiel in Frankreich, Portugal, Japan, Südkorea und

Nutzungsgrad

Der Nutzungsgrad (englisch: capacity factor) einer Windkraftanlage beschreibt, welchen Anteil der maximal möglichen Energiemenge die Anlage innerhalb eines Jahres erzeugt hat. Als Maximalwert wird dabei jener Energieertrag angenommen, der produziert worden wäre, hätten das ganze Jahr hindurch optimale Windbedingungen geherrscht.

5.28 > Der technische Fortschritt macht es möglich: Moderne Offshore-Windkraftanlagen werden immer größer und höher. Mit ihren langen Rotorblättern fängt jede neue Anlage mehr Wind ein als Vorgängermodelle. Die Folge: Elektrizität aus Windenergie lässt sich in größeren Mengen und vor allem kostengünstiger erzeugen.

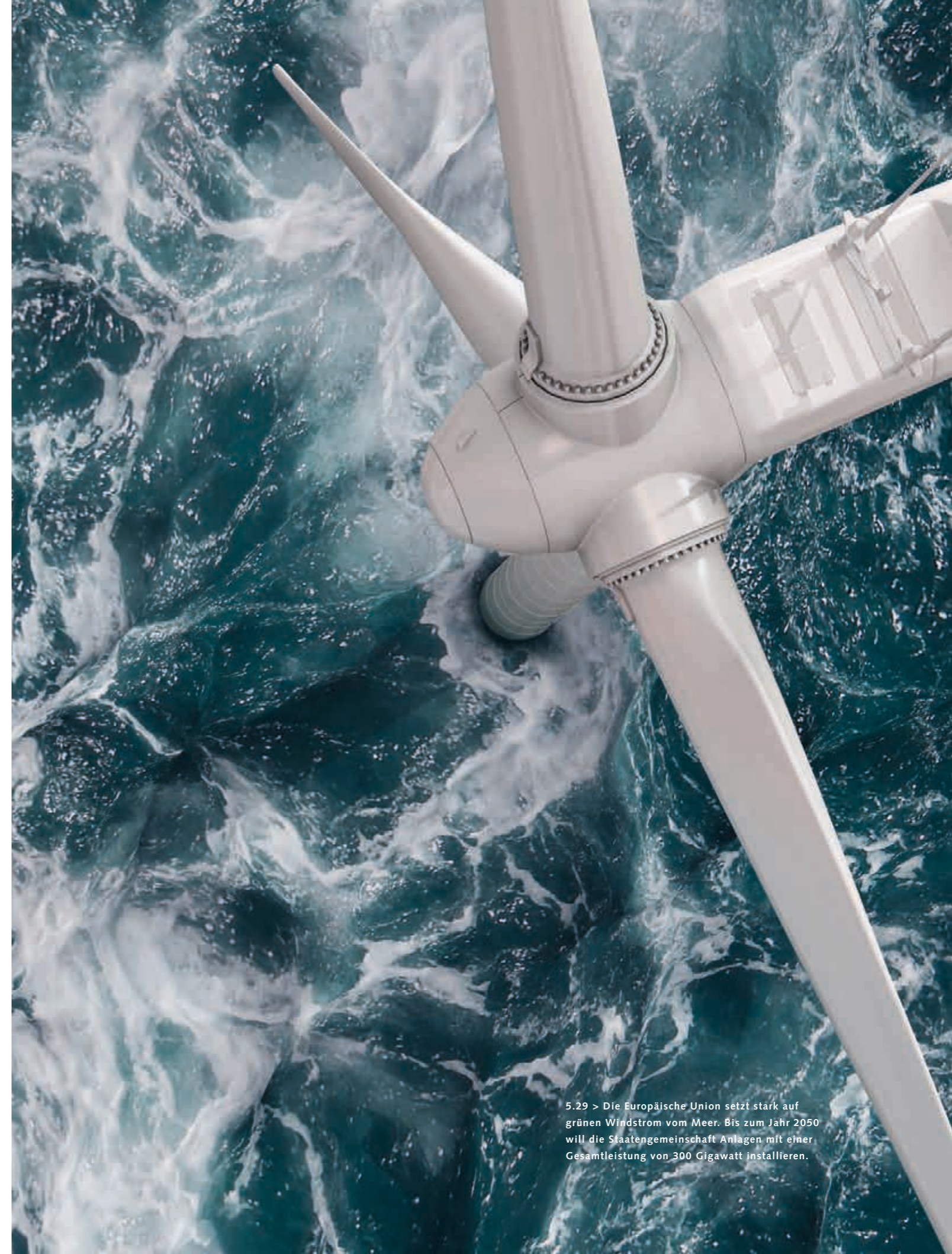
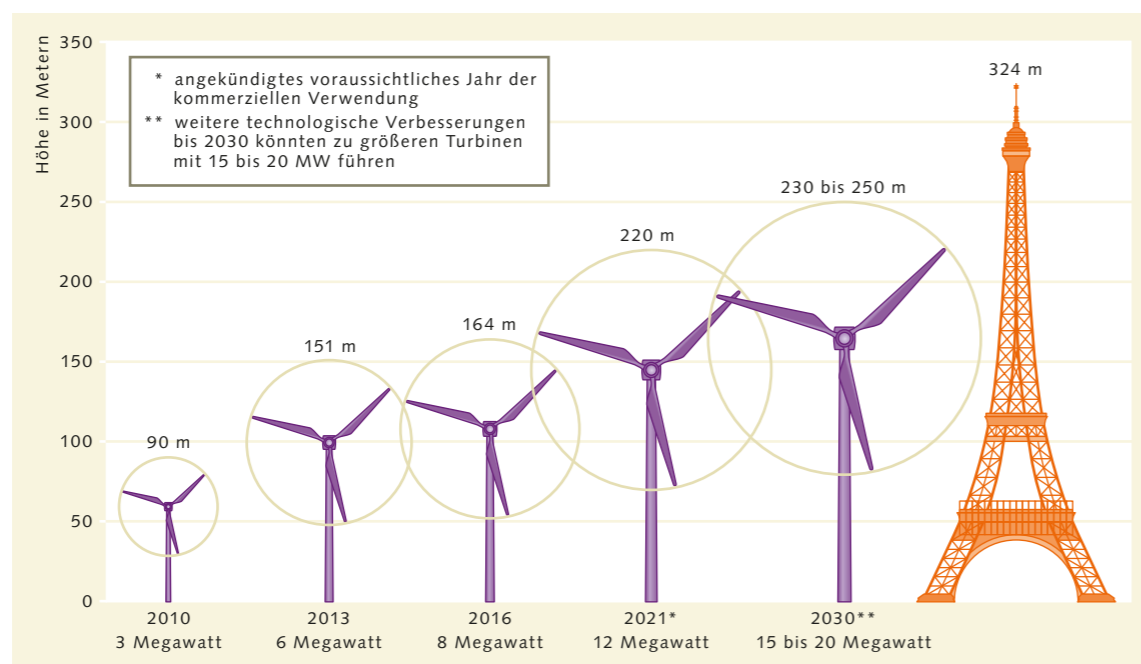
Schottland. Deren erste Leistungsbilanzen lassen hoffen. Nach Angaben des Betreibers der schottischen Anlage erzeugen die fünf schwimmenden Windkrafttrader deutlich mehr Strom als vergleichbare bodenfeste Anlagen. Fachleute gehen deshalb davon aus, dass schwimmende Windfarmen bald schon in Serie produziert werden.

Aufgrund der vielen technischen Optimierungen erreichen moderne Offshore-Windräder mittlerweile einen Nutzungsgrad von 40 bis 50 Prozent und erzeugen somit genauso effizient Strom wie so manches Kohle- oder Gaskraftwerk – und das, obwohl der Wind nicht ständig weht. Offshore-Windräder sind auch effizienter als Anlagen auf dem Land und übertreffen den Nutzungsgrad von Photovoltaikanlagen um das Doppelte. Ein weiterer Vorteil: Im Gegensatz zu Photovoltaik können Offshore-Windkraftanlagen auch nachts Strom erzeugen – und bei nahezu jedem Wetter. In Europa, den USA und China produzieren Windparks auf dem Meer vor allem in den Wintermonaten besonders viel Strom. In Indien werden zur Monsunzeit die größten Elektrizitätsmengen generiert.

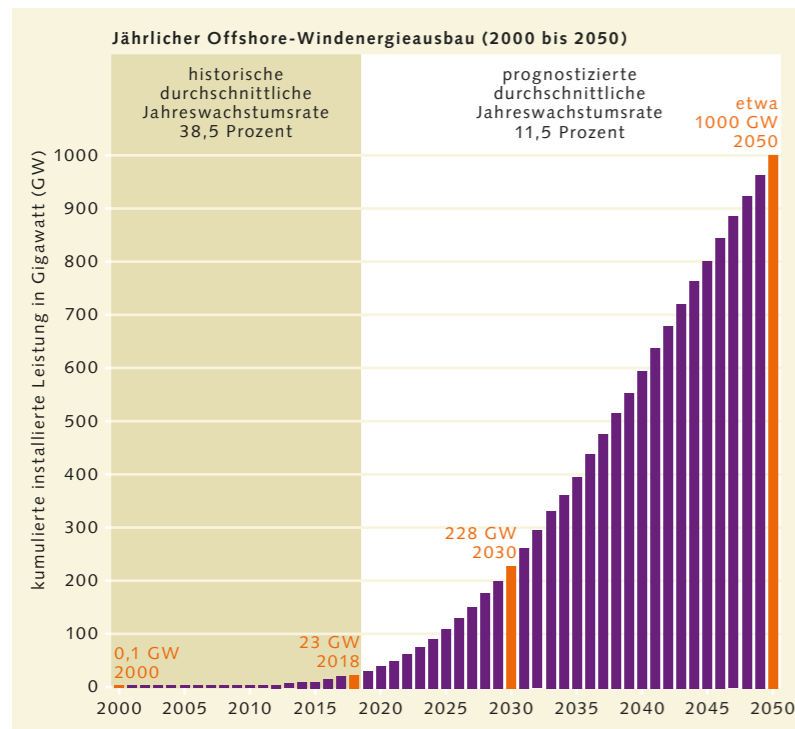
Nach Berechnungen der Weltenergieagentur dürften die Kosten für den Bau und Betrieb von Offshore-Windenergieanlagen bis zum Jahr 2030 um mehr als 40 Prozent fallen, sodass der grüne Windstrom vom Meer zu-

nächst günstiger zu erzeugen sein wird als Strom aus Kohle und Erdgas. Anschließend wird er voraussichtlich auch Strom aus Sonne und Wind an Land mächtig Konkurrenz machen. Die Fachleute der Weltenergieagentur sagen der Offshore-Windkraft daher ein großes Wachstum voraus. Bis zum Jahr 2040 soll sich die Menge der weltweit offshore produzierten Strommenge verfünffachen. Die Europäische Union allein will bis 2050 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 300 Gigawatt installieren.

Aufgrund der fallenden Preise für Windstrom vom Meer wird er zunehmend als Energiequelle für die Herstellung von grünem – sprich emissionsarmem – Wasserstoff in Betracht gezogen. Dieser wird unter anderem benötigt, um Industrie, Verkehr und die Wärmeversorgung zu dekarbonisieren, das heißt, auf emissionsarme Energieträger umzustellen. Nur ein Beispiel: Die Strommenge einer Ein-Gigawatt-Offshore-Windfarm würde nach dem heutigen Stand der Technik genügen, um so viel grünen Wasserstoff zu erzeugen, dass sich damit etwa 250 000 Wohnungen beheizen ließen. Die deutsche Bundesregierung hat im Januar 2021 ein großes Forschungsprojekt (H2Mare) in Auftrag gegeben, in dem Möglichkeiten entwickelt werden sollen, grünen Wasserstoff und seine Folgeprodukte wie Methan, Ammoniak, Methanol



5.29 > Die Europäische Union setzt stark auf grünen Windstrom vom Meer. Bis zum Jahr 2050 will die Staatengemeinschaft Anlagen mit einer Gesamtleistung von 300 Gigawatt installieren.

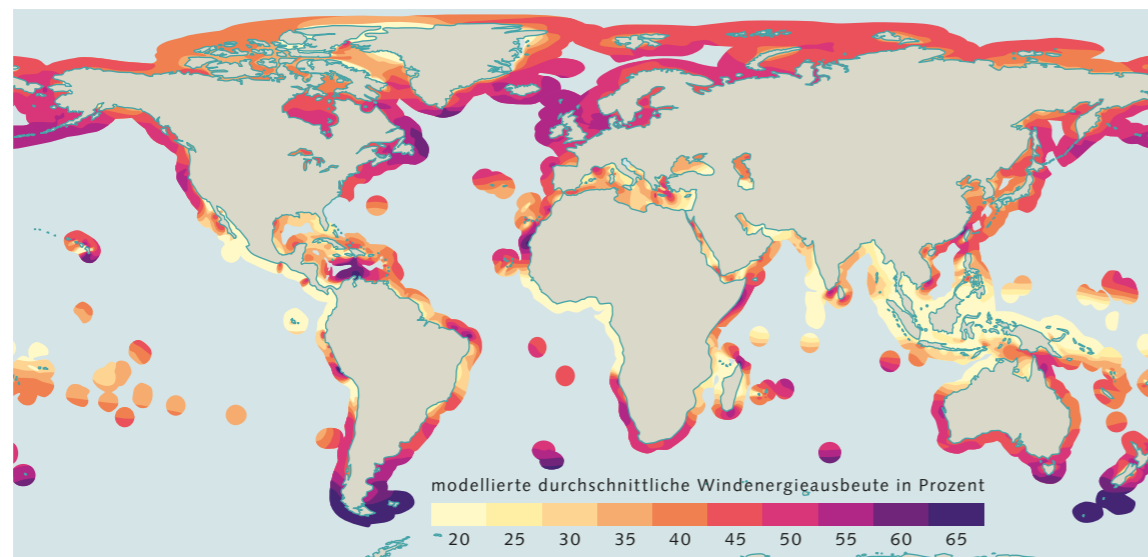


5.30 > Das Pariser Klimaziel ist nur erreichbar, wenn die Menschheit ihren Energiesektor auf erneuerbare Energieformen umstellt. Berechnungen zufolge müsste der Offshore-Windsektor dafür bis zum Jahr 2050 auf eine Gesamtleistung von rund 1000 Gigawatt ausgebaut werden.

5.31 > In den gemäßigten und höheren Breiten wehen die Winde stärker und beständiger, sodass die Windausbeute deutlich höher wäre als in den Tropen.

mithilfe von Offshore-Windrädern direkt auf See zu produzieren und dabei die Kosten der Wasserstoffproduktion gering zu halten.

Dennoch besteht kein Grund zur Euphorie: Um die Klima- und Nachhaltigkeitsziele der Staatengemeinschaft



zu erreichen, müsste der Ausbau der Windparks auf dem Meer doppelt so schnell vorangehen wie bisher geschehen. Voraussetzung dafür sind jedoch:

- der ausdrückliche politische Wille sowie eine dazugehörige Offshore-Energiestrategie,
- ein klarer Rechtsrahmen,
- hohe Investitionen und
- Fortschritte in der Wettbewerbsfähigkeit, Forschung und Technologieentwicklung.

Die Politik muss vorangehen

Der Bau von Offshore-Windkraftanlagen war lange Zeit eine nationale Angelegenheit. Je größer die Windfarmen jedoch werden und je weiter ihr Standort auf das offene Meer hinausrückt, desto öfter ist eine grenzübergreifende Kooperation mehrerer Länder gefragt – zum einen aus Gründen der Raumplanung; zum anderen, wenn es um die Frage geht, in welche Netze der grüne Strom eingespeist werden soll. Benötigt wird daher der ausdrückliche Wille jedes einzelnen Küstenstaates, den Ausbau der Offshore-Windenergie voranzutreiben sowie für Großprojekte mit anderen Nationen zu kooperieren.

Diese Willensbekundung wird manifestiert, indem einzelne Staaten oder aber Staatengemeinschaften nationale oder gemeinsame Offshore-Windkraftstrategien erarbeiten. In ihnen werden die jeweiligen Ausbauziele vorgegeben, Entwicklungspfade beschrieben und Strategien für

Forschung, Technologieentwicklung und Wissenstransfer skizziert, sodass ein langfristig verlässlicher Rahmen für Unternehmen und Investoren gegeben ist. Die Europäische Kommission beispielsweise hat ihre Strategie zur Nutzung des Potenzials der erneuerbaren Offshore-Energie im November 2020 veröffentlicht.

Ein elementarer Bestandteil der EU-Strategie ist das Bekenntnis zu einer systematischen und grenzübergreifenden Planung aller menschlichen Aktivitäten auf und im Meer (Raumplanung), bei denen eine wesentlich größere Zahl an Flächen und Standorten für die Installation bodenfester oder schwimmender Windfarmen ausgewiesen wird, ohne andere Nutzungsarten wie zum Beispiel Fischerei, Schifffahrt und Tourismus zu gefährden. Die Europäische Kommission empfiehlt den EU-Mitgliedstaaten außerdem, sich bei der Planung an Best-Practice-Beispielen zu orientieren – vor allem an erfolgreichen Pilotprojekten, die eine Mehrfachnutzung der Windfarmen oder der von ihnen besetzten Flächen erlauben; etwa durch die Kombination mit Fisch-, Muschel- oder Algenzucht in Aquakulturhaltung.

Zudem gilt es, alle von der Offshore-Windkraft Betroffenen von Anfang an in einen Dialog mit einzubeziehen. Nach Ansicht der Europäischen Kommission können Offshore-Energietechnologien nur dann wirklich nachhaltig und somit zukunftsfähig sein, wenn sie keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt haben und den wirtschaftlichen, sozialen und territorialen Zusammenhalt in der betroffenen Region nicht gefährden.

Ein einheitlicher rechtlicher Rahmen

Ein schneller Ausbau der Offshore-Windenergie erfordert Planungs- und Rechtssicherheit für alle Beteiligten sowie klar gegliederte und transparente Genehmigungsverfahren. Dazu gehören unter anderem:

- einheitliche Verfahren zur Bewertung und Minimierung möglicher Umweltauswirkungen (vor allem Lärm unter Wasser, Beeinträchtigung des Lebensraumes für Vögel und Meeressäuger, elektromagnetische Felder an Seekabeln);
- einheitliche Standards, Regularien und Genehmigungsverfahren für die Planung und die Errichtung von Offshore-Windparks;

- einheitliche Regularien zur Anbindung der Offshore-Windfarmen an das Festland und eine effiziente Stromeinspeisung in die Netze;
- einheitliche Standards und Regularien für den Betrieb und die Wartung von Offshore-Windkraftanlagen sowie zum Schutz der Sicherheit und Gesundheit aller Beschäftigten.

Hohe Investitionen

Offshore-Windräder zu errichten, verschlingt viel Geld. Wer im Jahr 2018 eine Windfarm mit einer Nennleistung von einem Gigawatt bauen wollte, musste mit Investitionen in Höhe von vier Milliarden US-Dollar rechnen. Seitdem aber sinken die Baukosten, gleichzeitig steigen die weltweiten Investitionen in Offshore-Windfarmen. Im Jahr 2020 schossen sie im Vergleich zum Vorjahr um 56 Prozent in die Höhe und beliefen sich am Ende auf 50 Milliarden US-Dollar. Die Europäische Union schätzt die Kosten für den anvisierten Kapazitätsausbau auf eine Leistung von 300 Gigawatt auf bis zu 800 Milliarden Euro.

Ein großer Teil des Geldes wird dabei für den Ausbau der Stromnetze und grenzüberschreitender Verbindungsleitungen benötigt, denn ohne sie kann der grüne Windstrom nicht weiträumig verteilt werden. Die Nordseeränderstaaten planen zudem den Zusammenschluss mehrerer Offshore-Windfarmen in Knotenpunkten oder hybriden Projekten, über deren Verbindungsnetz gleichzeitig mehrere Staaten mit Elektrizität versorgt werden.

Wettbewerbsfähigkeit, Forschung, Technologieentwicklung

Um die Kosten für grünen Strom aus Offshore-Windfarmen zu senken, bedarf es zum einen effizienter und wettbewerbsfähiger Lieferketten für alle benötigten Bauteile und Dienstleistungen. Zum anderen muss die Versorgung mit allen für den Bau der Windkraftanlagen benötigten Metallen (insbesondere den Metallen der Seltenen Erden) weit in die Zukunft gesichert werden. Es gilt außerdem, Forschung und technische Entwicklung voranzutreiben. Unbeantwortet sind bisher zum Beispiel Fragen wie:

- Wie müssen in einer großen Windfarm die einzelnen Turbinen angeordnet sein, um den Wind optimal zu nutzen und sich nicht gegenseitig zu behindern?

Grüner Wasserstoff
Wasserstoff ist ein farbloses Gas. Abhängig von seinem Ursprung trägt er jedoch verschiedene Farben in seinem Namen: Grauer Wasserstoff wird aus fossilen Brennstoffen durch die Spaltung von Erdgas gewonnen. Dabei entstehendes Kohlendioxid wird in die Atmosphäre abgegeben. Bei blauem Wasserstoff wird dieses Kohlendioxid abgeschieden und gespeichert. Es gelangt so nicht in die Atmosphäre. Grüner Wasserstoff wird durch Wasserelektrolyse mit Strom aus erneuerbaren Quellen hergestellt. Die Herstellung ist kohlendioxidfrei.

Meeresenergie: Auf diese Technologien setzt die Europäische Union

Offshore-Windräder sind nicht die einzige Technologie, um grünen Strom auf oder im Meer zu erzeugen. In dieselbe Kategorie fallen eine Reihe weiterer emissionsfreier Energietechnologien, die sich in ganz unterschiedlichen Entwicklungsstadien befinden, langfristig aber durchaus das Potenzial haben, lokal, regional oder sogar weltweit zum Einsatz zu kommen. Die Europäische Kommission berücksichtigt in ihrer Offshore-Energiestrategie die folgenden Technologien für Meeresenergie:

Strömungs- und Gezeitenkraftwerke

Strömungs- und Gezeitenkraftwerke gehören zu den technisch am weitesten entwickelten Technologien zur Stromproduktion im Meer. Sie nutzen die Fließbewegung von Wassermassen infolge der Gezeiten oder anderer natürlicher Meeresströmungen, um Elektrizität zu erzeugen.

Für Gezeitenkraftwerke in der sogenannten Staudamm-Bauweise wurden einst Meeresbuchten durch einen Deich abgetrennt. In diesem Deich wiederum installierte man große Röhren mit Turbinen, durch die das auf- oder ablaufende Wasser hindurchströmen konnte. Wann immer dies geschah, drehten sich die Turbinen und erzeugten Strom. Dieses Prinzip funktioniert in beide Richtungen, erfordert allerdings einen besonders hohen Tidenhub, den es nur an wenigen Küsten der Welt gibt. Da das Eindeichen von Buchten und Ästuarien zudem mit hohen Kosten und weitreichenden Umweltauswirkungen verbunden ist, wurden weltweit nur einige wenige Staudamm-Gezeitenkraftwerke errichtet – darunter ein 240-Megawatt-Kraftwerk in Frankreich sowie eine 254-Megawatt-Anlage in Südkorea.

Der Bau weiterer Kraftwerke dieses Typs ist unwahrscheinlich. Fachleute setzen mittlerweile auf sogenannte Meeresströmungskraftwerke, bei denen große Rotorturbinen an einem Mast oder an einem Kabel befestigt in der Strömung postiert werden. Moderne Strömungsturbinen sehen aus wie der Rotor eines Windrades und erzeugen inzwischen bis zu 1,5 Megawatt. Das bislang größte Strömungskraftwerk der Welt ist das MeyGen-Projekt im Norden Schottlands. Dessen erste vier Unterwasserrotoren nahmen im April 2018 offiziell ihren Betrieb auf und erzeugen nun verlässlich und berechenbar Strom für 2600 Haushalte.

Weitere Strömungskraftwerke befinden sich im Bau, sodass die weltweit installierte Gesamtleistung im Jahr 2025 die Ein-Gigawatt-Marke übertreffen wird. Theoretisch nutzbar wäre jedoch ein Vielfaches mehr: Experten gehen davon aus, dass sich mit Strömungs- und Gezeitenkraftwerken bis zu 1200 Terawatt Strom erzeugen ließen. Noch aber sind die Kosten für diese Art der Stromerzeugung zu hoch.

Wellenkraftwerke

Mit Wellenkraftwerken ließen sich theoretisch bis zu 29 500 Terawattstunden Strom pro Jahr erzeugen – vor allem in den windreichen gemäßigten Breiten beider Hemisphären (30. bis 60. Breitengrad). Technische Ansätze gibt es bislang einige, doch keiner konnte wirklich überzeugen. Versuchsanlagen bestehen in der Regel aus einem an der Meeresoberfläche treibenden Schwimmkörper, der am Meeresboden verankert ist und Energie erzeugt, indem er sich mit den Wellen auf und ab bewegt. Weltweit installiert sind derzeit Pilotanlagen mit einer Leistung von 2,5 Megawatt. Aufgrund von Fortschritten in der technischen Entwicklung gehen Fachleute jedoch davon aus, dass die in Wellenkraftwerken erzeugte Strommenge schon bald auf 100 Megawatt und mehr steigen wird. Die Europäische Union will ihren in Wellen-, Strömungs- und Gezeitenkraftwerken erzeugten Stromanteil bis zum Jahr 2050 auf 40 Gigawatt erhöhen.

Schwimmende Photovoltaik

Die Idee, Photovoltaikmodule auf dem Wasser zu installieren, ist nicht neu und wird vor allem in Asien bereits auf Stau- oder Baggerseen praktiziert. Die bewährte Technologie wird nun schrittweise auf das Meer übertragen. Ein niederländisches Konsortium installierte im Februar 2018 eine Pilotanlage mit 8,5 Kilowatt Leistung auf der Nordsee und plant, diese schrittweise bis auf 100 Megawatt auszubauen. Südkorea ist da schon einen Schritt weiter. Das Land errichtet derzeit eine schwimmende Offshore-Photovoltaikgroßanlage mit einer Gesamtleistung von 2,1 Gigawatt an der Südwestküste der koreanischen Halbinsel. Der erste Teil dieser umgerechnet 3,96 Milliarden US-Dollar teuren Anlage soll Presseberichten zufolge 2022 an das Netz gehen, der zweite Teil drei

Jahre später. Indien, Thailand, Vietnam, Singapur und die Seychellen treiben ebenfalls Pilotprojekte voran. Die Europäische Kommission bescheinigt der Technologie ein vielversprechendes Potenzial für Küsten und küstennahe Gebiete, verweist aber auch darauf, dass sich existierende Anwendungen auf dem Meer überwiegend in der Forschungs- oder Demonstrationsphase befinden.

Biokraftstoffe aus Algen

Im frühen Entwicklungsstadium befinden sich auch technische Lösungsansätze, mit denen Biodiesel, Biogas und Bioethanol aus Großalgen hergestellt werden können. Das Potenzial dieser Ansätze aber sei vielversprechend, urteilt die Europäische Kommission und rechnet mit einer Marktreife einzelner Technologien bis zum Jahr 2030.



5.32 > Eine der schnellsten Meeresströmungen Schottlands treibt die Unterwasserrotoren des MeyGen-Strömungskraftwerkes an. In einer ersten Phase hat die Betreiberfirma vier Turbinen am Meeresboden installiert, die seit August 2018 rund 2600 Haushalte mit Strom versorgen. Weitere Turbinen sollen folgen.

- Wie beeinflussen sich große Windfarmen gegenseitig – und wie verändern sie das lokale Wetter?
- Wie sollten Stromnetze aufgebaut und gesteuert werden, damit es gelingt, bei viel Wind große Mengen Strom aus verschiedenen Windfarmen einzuspeisen, zu verteilen und gegebenenfalls zwischenspeichern, sodass der Strom jederzeit dort verfügbar ist, wo er von Industrie und Haushalten benötigt wird?

Der massive Ausbau der Windenergie stellt Meeresforscher zudem vor die Herausforderung, zu ergründen, welche kurz- und langfristigen Umweltauswirkungen die intensive und großflächige Nutzung des Windes auf das Meer hat. Dass die Bauarbeiten eine enorme Lärmbelastung für die Meeresorganismen darstellen, weiß man seit Langem. Wie aber verändern sich zum Beispiel die windbedingte Durchmischung des Oberflächenwassers und damit auch der Sauerstoff- und Nährstoffaustausch mit tiefer liegenden Wasserschichten, wenn viele Windräder auf dem Meer den Luftstrom gewissermaßen ausbremsen? Würden in einem solchen Fall weniger Algen wachsen

und am Ende sogar weniger Biomasse produziert werden? Theoretisch wäre eine solche Kettenreaktion denkbar – ob sie allerdings auch in der Praxis abläuft, müssen Fachleute erst noch untersuchen.

Sicher ist, dass mit dem Wachstum der Offshore-Windenergiebranche weltweit neue Arbeitsplätze entstehen. In der EU arbeiten heute schon 62 000 Menschen in diesem Sektor. Nach Berechnungen der Internationalen Agentur für Erneuerbare Energien (International Renewable Energy Agency, IRENA) wird die Windenergiebranche im Jahr 2030 weltweit bis zu 3,74 Millionen Menschen beschäftigen – sowohl an Land als auch auf dem Meer. Bis zum Jahr 2050 könnte die Zahl der Mitarbeitenden auf mehr als sechs Millionen steigen. Offshore-Windfarmen liefern nicht nur einen entscheidenden Beitrag zur Umstellung unserer Energieversorgung auf Strom aus erneuerbaren Quellen; sie stellen zudem einen Schlüsselsektor der nachhaltigen Meereswirtschaft dar. Ohne Offshore-Windkraft sind eine nachhaltige Entwicklung der Welt sowie eine umfassende Dekarbonisierung unserer Wirtschaft zum jetzigen Zeitpunkt undenkbar.



5.33 > Photovoltaikanlagen werden bislang vor allem in flachen, vor Wind und Wellen geschützten Meeresbuchten errichtet. Ein Beispiel ist diese Anlage in der chinesischen Küstenstadt Zhangzhou.

Conclusio

Unsere Ozeane: voller Energie

Die Menschheit steht vor einer großen Aufgabe: Wenn es gelingen soll, die globale Erwärmung auf weit unter zwei Grad Celsius zu begrenzen, müssen die Energieversorgung der Welt und darin eingeschlossen das Transportwesen und die Wärmeversorgung auf emissionsarme oder emissionsfreie Technologien umgestellt werden. Nach bisherigem Kenntnisstand scheint eine solche Transformation ohne den Weltozean völlig ausgeschlossen. Die Weltmeere werden in gleich zwei Prozessstufen gebraucht – mit absoluter Sicherheit als Energiequelle und voraussichtlich auch als Rohstofflagerstätte.

Beim Thema Energiegewinnung aus dem Meer befindet sich die Menschheit an einer Wegegabelung. Noch immer werden neue Erdöl- und Erdgaslagerstätten im Meer erschlossen. Diese neuen Förderstätten liegen meist in größerer Tiefe als zuvor und in zunehmender Entfernung vom Land. Während die weltweiten Fördermengen für Erdöl aus dem Meer auf hohem Niveau stagnieren, steigen jene für Erdgas kontinuierlich an, sodass fossile Rohstoffe aus dem Meer mittlerweile mehr als ein Viertel der globalen Gesamtproduktion ausmachen. Gleichzeitig aber investieren weltweit vor allem erdölfördernde Konzerne in große Offshore-Windfarmen. Diese werden ebenfalls in zunehmender Distanz zur Küste errichtet, um von den besseren Windbedingungen auf offener See zu profitieren. Technische Fortschritte haben dazu beigetragen, dass moderne Windkraftanlagen deutlich größer sind als ihre Vorgängermodelle und auch deutlich mehr Strom produzieren. Infolgedessen sinken die Preise für grünen Offshore-Windstrom, und die Nachfrage steigt.

Aufgrund des hohen Windenergiepotenzials auf den Meeren zählt die Produktion von Offshore-Windenergie zu den wichtigsten Pfeilern nationaler und internationaler Strategien für eine nachhaltige Energiegewinnung. Andere Technologien wie Wellen-

und Strömungskraftwerke, Photovoltaikanlagen auf dem Meer oder die Erzeugung von Biokraftstoffen aus Algen befinden sich noch in der Entwicklungsphase. Langfristig aber müssen auch sie großflächig eingesetzt werden, um den wachsenden Strombedarf der Menschheit zu decken.

Der Ausbau der erneuerbaren Meeresenergien sowie die Stromverteilung und -speicherung gelingen jedoch nur, wenn entsprechende Kraftwerke, Stromtrassen und Batteriesysteme gebaut werden. Dafür werden immer größere Mengen an Rohstoffen benötigt, deren Förderung an Land den Lebensraum für Mensch und Tier großflächig zerstört. Eine denkbare Alternative wäre der Abbau großer Rohstofflagerstätten im Meer, insbesondere in der Tiefsee, welche im Gegensatz zu Lagerstätten an Land eine Vielzahl verschiedener Metalle und Mineralien enthalten. Das Wissen über diese Tiefseevorkommen ist in den zurückliegenden 20 Jahren deutlich gewachsen. 31 Lizenzen zur Erkundung des Meeresbodens nach mineralischen Rohstoffen hat die Internationale Meeresbodenbehörde ISA seit dem Jahr 2002 vergeben. Erste Abbautechniken wurden vor Ort getestet; parallel dazu führten Fachleute umfassende Untersuchungen zu den Umweltfolgen eines möglichen Tiefseebergbaus durch und entwickelten Überwachungssysteme. Die ISA erarbeitet und verhandelt derzeit ein Regelwerk für den Tiefseebergbau in internationalen Gewässern. Der wiederum könnte Experten zufolge in fünf bis zehn Jahren beginnen.

Umweltschützer fordern ein generelles Verbot des Bergbaus in den Meeren. Sie verweisen darauf, dass es angesichts der angespannten Rohstoffversorgungslage keine Lösung sei, weitere natürliche Ressourcenquellen zu erschließen. Stattdessen müsse der enorme Ressourcenverbrauch auf ein Minimum reduziert werden. Voraussetzung dafür ist jedoch eine grundsätzliche Umstrukturierung des auf Verbrauch angelegten Wirtschaftssystems und ein verändertes Konsumverhalten jedes Einzelnen.

6 Die Verschmutzung der Meere

> Gezielt vom Menschen eingeleitet oder unbedacht freigesetzt, erreichen Plastikabfall, Arzneimittel, giftige Schwermetalle, Insektizide und Abertausende andere Chemikalien jeden Winkel des Meeres. Die Folgen sind fatal und oftmals tödlich, vor allem für die marinen Organismen. Die einzig gute Nachricht lautet: Internationale Schadstoffverbote zeigen Wirkung. Ohne ein radikales Umdenken in Industrie und Wirtschaft aber wird die Verschmutzungskrise der Ozeane kein Ende finden.



Ein Problem gigantischen Ausmaßes

> Nach Schätzungen der Vereinten Nationen entsorgt der Mensch pro Jahr rund 400 Millionen Tonnen Schadstoffe im Meer. Spuren dieser steten Dauerbelastung sind mittlerweile in allen Regionen des Weltozeans zu finden – auf entlegenen Inseln und in den Polarregionen ebenso wie in den tiefsten Meeresgräben. Besonderen Schaden richten jene Stoffe an, die sich in der Nahrungskette anreichern – und auf diese Weise sowohl für die Meeresbewohner als auch für den Menschen zur echten Gefahr werden.

Verschmutzt bis in den letzten Winkel

Wie Wasser und Kohlenstoff wandern die meisten natürlichen Stoffe der Erde in riesigen Kreisläufen über unseren Planeten. Mal werden sie von fließendem Wasser verfrachtet, mal vom Wind. Ein anderes Mal nehmen Lebewesen sie auf und transportieren sie von einem Ort zum anderen. Oder aber geologische Prozesse sorgen dafür, dass bereits abgelagertes Material nach Jahrtausenden wieder zurück an die Oberfläche befördert wird. Die Tatsache, dass Materialien von Land in das Meer eingetragen werden, gehört demzufolge zum natürlichen Lauf der Dinge. Seit der Mensch jedoch die Erde bevölkert, Städte errichtet, weltumspannende Industrien aufbaut, intensiven Bergbau und Landwirtschaft betreibt und schätzungsweise 40 000 bis 60 000

verschiedene Chemikalien weltweit einsetzt, hat der Eintrag von Stoffen und Materialien in die Weltmeere massiv zugenommen.

Als Schadstoffe oder auch umweltgefährdende Stoffe werden dabei all jene Stoffe und Gemische bezeichnet, die selbst oder aber deren Umwandlungsprodukte geeignet sind, die Beschaffenheit von Wasser, Boden, Luft, Klima, Tieren, Pflanzen oder Mikroorganismen derart zu verändern, dass dadurch sofort oder später Gefahren für die Umwelt herbeigeführt werden. Diese Kriterien erfüllen mittlerweile viele in der Umwelt befindliche Stoffe: Experten des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (United Nations Environment Programme, UNEP) kommen in ihrem aktuellen globalen Umweltbericht (GEO-6) zu dem Schluss, dass Menschen nie zuvor in einer derart mit Schadstoffen belasteten Umwelt gelebt haben wie heute.

Die Verantwortung dafür trägt einzig und allein der Mensch: Noch immer gelangen pro Jahr bis zu 400 Millionen Tonnen Schadstoffe in Seen, Flüsse und Meere – darunter Abertausende Chemikalien, Nährstoffe, Plastik, giftige Schwermetalle, Arzneimittel, Kosmetikprodukte, Krankheitserreger und vieles andere, was dem Menschen nutzt, frei in der Umwelt aber Schaden anrichten kann. Rund 80 Prozent dieser Schadstoffe stammen aus Quellen an Land; die restlichen Einträge erfolgen durch Fischerei, Seeschifffahrt, Bohrplattformen und Aquakultur, wobei die Entsorgung schädlicher Abfälle und anderer Stoffe im Meer bis auf wenige Ausnahmen durch die Londoner Konvention aus dem Jahr 1972 und durch ihre Ergänzung, das Londoner Protokoll aus dem Jahr 1996, verboten ist.

Der Weltbiodiversitätsrat IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) listet die Verschmutzung mittlerweile als vierstärksten Motor des Artensterbens in den Meeren. Noch zerstörerischer wirken allein der Klimawandel, direkte Ausbeutungsformen wie die Überfischung und die grundsätzlich veränderte Meeresnutzung. Darunter fallen zum Beispiel die Zerstörung der natürlichen Küstensysteme und Flussdeltas, der Ausbau der marinen Aquakultur sowie die ruinöse Grundnetzschifffahrt.

UNEP-Fachleute sprechen angesichts der hohen Schadstoffkonzentrationen an Land und in den Meeren von einer globalen Verschmutzungskrise, durch welche sich die Menschheit der eigenen Lebensgrundlage beraube. Schließlich könne nur eine gesunde Natur der wachsenden Zahl an Menschen ausreichend Nahrung, Trinkwasser und andere überlebenswichtige Services bieten. Weltweit sterben heute schon dreimal mehr Menschen an den Folgen von Umweltverschmutzung als an den gefährlichen Krankheiten AIDS, Malaria und Tuberkulose zusammen.

Der stete Eintrag von Umweltschadstoffen in die Ozeane ist auf die zunehmende Produktion und Verwendung dieser Stoffe an Land zurückzuführen. Rund um den Globus werden mit jedem Jahr mehr Düngemittel hergestellt und mehr Pflanzenschutzmittel (Pestizide) verwendet, um die Ernten zu steigern und die Versorgung der wachsenden Weltbevölkerung mit Nahrungsmitteln, Pflanzenfasern, Tierfutter und Biokraftstoffen zu gewährleisten. Im Zeitraum von 2002 bis 2018 beispielsweise stieg die Menge der pro Hektar Ackerland verwendeten Pflanzenschutz-

Die Londoner Konvention und ihr Protokoll

Die Londoner Konvention aus dem Jahr 1972 gehört zu den ersten völkerrechtlichen Verträgen, die den Meeresschutz international zur Pflicht gemacht haben. Sie wurde im Jahr 1996 durch das Londoner Protokoll für diejenigen Staaten geändert, die zuvor der Konvention zugestimmt hatten. Beide Vertragswerke wurden mit dem Ziel entwickelt, das Einbringen schädlicher Abfälle und anderer Stoffe in den Ozean zu regulieren. Der Konvention sind bis zum Januar 2021 allerdings nur 87 Staaten beigetreten; dem Protokoll sogar nur 53, sodass beide keine universelle Wirkung haben.

Nichtsdestotrotz setzt die Londoner Konvention weltweit verbindliche Maßstäbe zum Meeresschutz – unter anderem, weil sie durch das UN-Seerechtsübereinkommen gestärkt wird, die weltweit von fast allen Staaten anerkannte Verfassung für die Meere. So erklärt das UN-Seerechtsübereinkommen die Standards der Londoner Konvention und potenziell auch die des Protokolls indirekt für alle Staaten als maßgebend – also auch für jene Staaten, welche die Verträge nicht unterzeichnet haben.

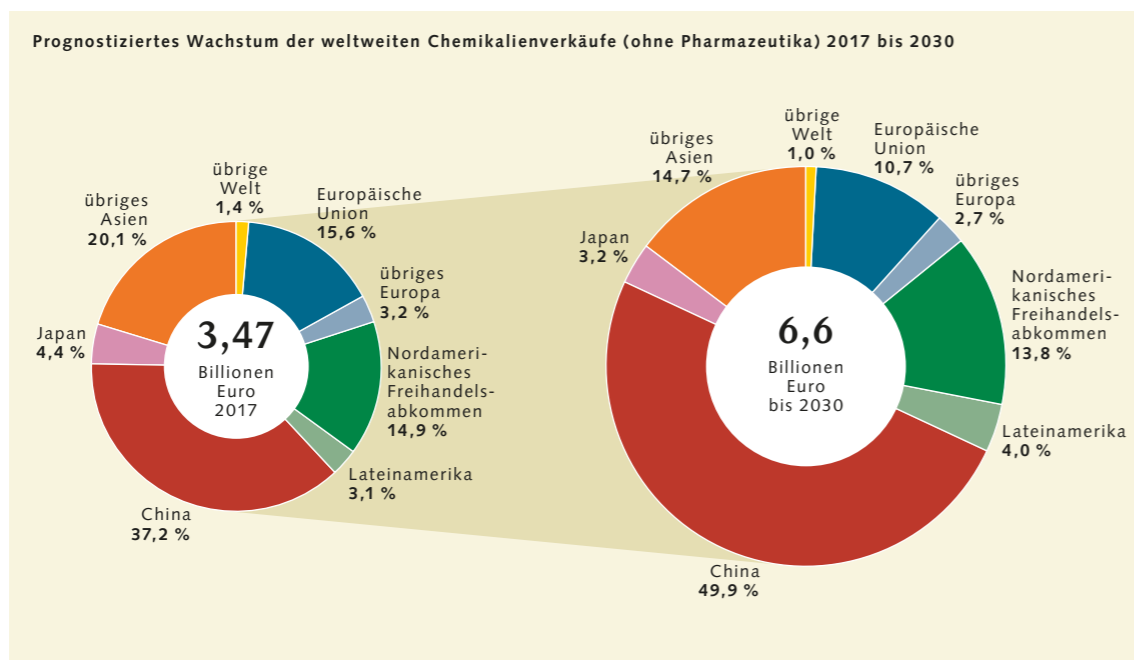
Das Londoner Protokoll trat im Jahr 2006 in Kraft und verbietet generell die Entsorgung von Abfällen im Meer. Ausgenommen von diesem Verbot sind unter anderem Baggergut, Klärschlamm, Fischabfälle, ausgediente Schiffe und Bohrplattformen sowie natürliches organisches und geologisches Material.

mittel um 30 Prozent. Zeitgleich setzten die Landwirte weltweit zwischen 13 und 56 Prozent mehr Kunstdünger ein, um den Boden ihrer Äcker mit Stickstoff, Phosphor und Kalium anzureichern.

Haushaltsprodukte, Möbel und Elektrotechnik bestehen mittlerweile immer häufiger aus Plastik und enthalten eine Vielzahl umweltschädlicher Chemikalien. Je wohlhabender die Menschen sind, desto größer werden ihre Bedürfnisse und desto mehr konsumieren sie. Unsere auf Verbrauch angelegte Lebensweise aber lässt die Müllberge wachsen, während gleichzeitig vor allem die Menschen in den Industrienationen stetig mehr Medikamente einnehmen, um Volkskrankheiten wie Diabetes oder Kopf- und Rückenschmerzen zu behandeln. Und je mehr besorgniserregende Chemikalien gehandelt werden, desto höher ist die Unfallgefahr bei Transporten, die oftmals eine akute Belastung der Umwelt nach sich ziehen – sowohl an Land als auch im Meer.

Die Vielzahl an Verwendungszwecken der bekannten Schadstoffe zeigt: Nur ein bestimmter Anteil der heute als Umweltschadstoff bekannten Chemikalien war von

6.1 > Wachstumsmarkt: Weltweit werden immer mehr Chemikalien verkauft. Nach Angaben der Vereinten Nationen werden die Umsätze des Sektors bis zum Jahr 2030 auf 6,6 Billionen US-Dollar anwachsen. Rund 70 Prozent aller Geschäfte mit Chemikalien werden dann in Asien getätigt.



Anfang an als Gift entwickelt worden, so zum Beispiel Pestizide. Viele sollten völlig andere Zwecke erfüllen und in erster Linie dem Wohl des Menschen dienen. Ihre schädliche Wirkung fiel erst auf, als diese Stoffe in zunehmendem Maß in die Flüsse, Seen und Meere gelangten, und Forschende den Zusammenhang mit Erkrankungen aquatischer Organismen erkannten.

Prognosen zufolge wird der Verbrauch all dieser Chemikalien weiter steigen, obwohl bei vielen völlig unbekannt ist, ob und welche Schäden sie in der Umwelt anrichten können. Erschwerend kommt hinzu, dass über Verbote besonders schädlicher Stoffe immer erst dann nachgedacht wird, wenn sich erste drastische Umweltauswirkungen zeigen. Welche Mengen dieser Stoffe aber bis dahin bereits in die Seen, Flüsse und Meere gelangt sind und welche langfristigen Folgen diese nach sich ziehen werden, kann zu diesem Zeitpunkt meist niemand sagen. Fakt ist jedoch, dass die Schadstoffe vom Wind oder den Meeresströmungen in wirklich jeden Winkel des Weltmeeres transportiert werden und somit auch die entlegensten oder unzugänglichsten Regionen erreichen.

Als Wissenschaftler vor einigen Jahren Tiefseeflohkrebse aus dem Marianengraben (tiefste Meeresrinne der Welt) auf Umweltschadstoffe hin untersuchten, stellten sie fest, dass die Tiere 50-mal stärker mit sogenannten persistenten organischen Schadstoffen (englisch: persistent organic pollutants, POPs) belastet waren als Krabben, welche die Forscher zum Vergleich im Mündungsgebiet eines der schmutzigsten Flüsse Chinas gefangen hatten. Ebenso hohe Vergiftungsraten wie bei den Flohkrebse aus dem Marianengraben fanden sie nur bei Tieren aus der japanischen Suruga-Bucht – einer hoch industrialisierten Küstenregion, in welcher früher im großen Stil Chemikalien mit chlororganischen Verbindungen (Chlorkohlenwasserstoffe) verwendet wurden. Mittlerweile sind zahlreiche dieser vor allem als Pflanzenschutz- oder Flammschutzmittel eingesetzten Chemikalien verboten.

Schadstoffanreicherung in der Nahrungskette

Eine eindeutige Erklärung für die hohe Schadstoffbelastung der Tiefseeflohkrebse aus dem Marianengraben konnten die Wissenschaftler nicht liefern. Denkbar wäre aber eine sogenannte Bioakkumulation der Umweltgifte.

Gemeint ist die Aufnahme eines Stoffes aus der Umwelt sowie seine anschließende Anreicherung in einem Organismus. Meereslebewesen nehmen die Chemikalien dabei nicht nur mit der Nahrung auf. Oft gelangen die Stoffe auch über die Haut oder über die Kiemen in den Organismus und lagern sich vor allem im Fettgewebe an. Diese Anreicherung wird möglich, weil sich die meisten der besorgniserregenden Stoffe zwar nicht im Wasser lösen, dafür aber gut in Fetten und Ölen. Fette wiederum sind wichtige Bausteine pflanzlicher und tierischer Zellen. Außerdem bilden Meeresbewohner Fettgewebe als Energiereserven für nahrungsarme Zeiten. Durch die Bioakkumulation von Schadstoffen aber werden Fettspeicher wie zum Beispiel der sogenannte Blubber von Walen und Robben zu wahren Giftspeichern.

Die Stärke der Bioakkumulation wird meist durch das Anreicherungsverhältnis der Chemikalie im Organismus im Vergleich zur Konzentration dieses Stoffes in der Umwelt angegeben. Nach Auskunft des deutschen Umweltbundesamtes wurden für einige stark akkumulierende Chemikalien Anreicherungsfaktoren bis zu 100 000 beobachtet. Das heißt, Tiere nehmen diese Chemikalien aus der Umwelt auf und können sie in ihrem Körper auf das bis zu 100 000-Fache der Umweltkonzentration anreichern.

Die Folgen sind mannigfaltig und von Art zu Art unterschiedlich. Die vielen Umweltgifte im Meer können:

- Krankheiten wie Krebs auslösen,
- zu Missbildungen führen,
- hormonelle Veränderungen hervorrufen (beispielsweise weibliche Fische bilden männliche Geschlechtsorgane) und damit die Fortpflanzung vieler Tierarten beeinflussen,
- die Erbanlagen eines Tieres beschädigen oder genetische Mutationen hervorrufen,
- Verhaltensänderungen verursachen,
- häufig zum Tod des kontaminierten Meeresbewohners führen.

Besonders stark betroffen sind oftmals die Raubtiere an der Spitze der marinen Nahrungsnetze. Dazu zählen Haie, Zahnwale, Robben, Seevögel und auch wir Menschen, wenn wir mit Umweltschadstoffen stark belastete Fische



6.2 > Der Tiefseeflohkreb *Eurythenes plasticus* trägt das Wort „Plastik“ im Namen. Der Grund: Als Biologen die Art zum ersten Mal im Marianengraben fingen, fanden sie im Darm eines Krebses Fasern aus Polyethylenterephthalat (PET), ein Kunststoff, der zum Beispiel in Einwegtrinkflaschen und Sportkleidung enthalten ist.

oder Meeresfrüchte verspeisen. Diese hohe Gefährdung der Räuber ist darauf zurückzuführen, dass Umweltgifte in der Nahrungskette weitergegeben werden. Der stark mit Schadstoffen belastete Flohkreb wird von einem kleinen Fisch gefressen; dieser wiederum endet im Magen eines Raubfisches und dieser wird am Ende von einem Schwertwal verspeist. Je öfter sich diese als Biomagnifikation bezeichnete Abfolge wiederholt, desto mehr Umweltgifte reichern sich bei diesem Beispiel im Körper des Schwertwales an und schädigen ihn.

Rekordverdächtige Vergiftungsraten stellten europäische Wissenschaftler vor einigen Jahren fest, als sie Gewebeproben und Berichte zur Todesursache von mehr als 1000 Streifendelfinen (*Stenella coeruleoalba*), Großen Tümmlern (*Tursiops truncatus*) und Schwertwalen (*Orcinus orca*) untersuchten. Dabei gingen sie der Frage nach, wie stark die zum Großteil tot angeschwemmten Tiere (Kadaverfunde im Zeitraum von 1990 bis 2012) mit Umweltgiften wie Chlorkohlenwasserstoffen belastet waren. Zu dieser Stoffgruppe zählen unter anderem einige Pflanzenschutzmittel (zum Beispiel Lindan, DDT) und polychlorierte Biphenyle (Industriechemikalien). Die pro-

tokollierten Vergiftungsraten übertrafen alle bis dato gemessenen Höchstwerte für Meeressäuger, obwohl die Produktion und Verwendung der besagten Giftstoffe in den USA bereits im Jahr 1979 verboten worden war, in Großbritannien im Jahr 1981 und in den Mittelmeeranrainerstaaten im Jahr 1987.

Nach Aussage der Wissenschaftler ist die enorme Giftbelastung der Tiere ein Hauptgrund gewesen, warum viele von ihnen krank und von Parasiten befallen waren. Am stärksten vergiftet waren Delfine und Schwertwale aus dem Mittelmeer. Dieses Binnenmeer sei ein Vergiftungs-Hotspot und so stark mit Chlorkohlenwasserstoffen – hauptsächlich aus der Gruppe der polychlorierten Biphenyle (PCB) –, aber auch mit anderen Umweltgiften belastet, dass die Delfin- und Schwertwalbestände seit 50 Jahren zurückgehen, vor allem, weil die Wale aufgrund des Giftes unfruchtbar wurden und kaum noch Nachwuchs auf die Welt bringen.

Die sechs Weibchen der einzigen, zum Studienzeitpunkt noch existierenden Schwerwalfamilie im Mittelmeer beispielsweise hatten im Zeitraum von 1999 bis 2011 nur fünf Kälber geboren, die älter als ein Jahr wur-

Besorgniserregende Chemikalien

Chemikalien weisen sehr unterschiedliche, sowohl die Physik als auch die Chemie betreffende (physikochemische) Eigenschaften auf und können verschiedene Auswirkungen auf Organismen haben. Besonders umweltgefährdend sind solche Stoffe, die in der Natur nicht abgebaut werden können (Langlebigkeit, Persistenz), sich in Organismen anreichern (Bioakkumulation) und giftig (Toxizität) wirken. Auch Stoffe mit hormonähnlicher Wirkung, sogenannte endokrine Disruptoren, fallen aufgrund ihrer problematischen Eigenschaften in die Kategorie „besorgniserregend“ und gelten somit als besonders gefährlich.

6.3 > Obwohl im vom Regenwald bewachsenen Norden Kolumbiens kaum Menschen leben, spült das Meer dort mit jedem Wellenschlag Abertausende Bruchstücke von Plastik an Land und verschmutzt den abgelegenen Küstenstreifen.

den. Noch weniger Nachwuchs zeugte bis zur Veröffentlichung der Studie im Jahr 2015 nur eine Gruppe von Schwertwalen, die regelmäßig vor der Nordwestküste Schottlands und im Westen Irlands gesichtet wurde. In den 19 Jahren, die Wissenschaftler diese Wale bis dahin beobachtet hatten, führten die Tiere nicht ein Junges mit sich, obwohl sowohl Schwertwalweibchen als auch -männchen der Gruppe angehörten.

Schadstoffe im Meer

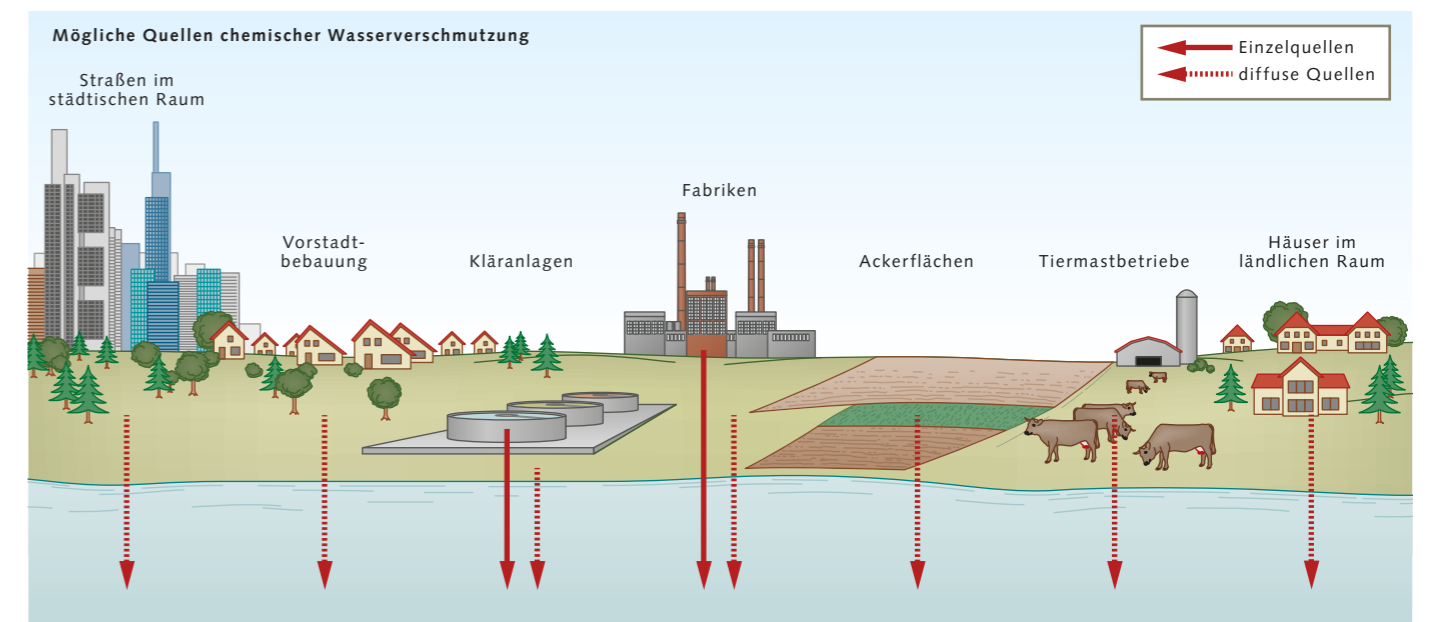
Meeresverschmutzung beginnt in acht von zehn Fällen an Land und kann nur gelegentlich auf eine Einzelquelle zurückgeführt werden (englisch: point source pollution). Zu solchen Einzelquellen gehören Chemie- oder Bergwerke, die Abfälle oder Abwässer in Flüsse oder direkt in das Meer einleiten; aber auch Schiffe, die sich vor einer Hafeneinfahrt ihres Abfalles entledigen. Als Einzelquellen gelten außerdem Klärwasseranlagen, die alle Abwässer einer Region sammeln, diese bis zu einem gewissen Grad klären und anschließend in einen Fluss oder direkt in das Meer einleiten. Hinzu kommen viele Gemeinden, die ihr Abwasser noch immer ungeklärt entsorgen, getreu dem alten Motto: Willst du Schmutz und Abfall loswerden, verteile sie im Meer.

Viel häufiger aber stammen die Umweltgifte im Meer aus diffusen Quellen. Das heißt, die Verursacher sind viele und in der Regel nicht eindeutig zu identifizieren. Hinzu kommt, dass Schadstoffe nicht nur durch direkte Einleitung ins Meer gelangen, sondern auch über die Luft oder durch Regenwasser eingetragen werden können.

An der US-Westküste haben Wissenschaftler erst vor Kurzem herausgefunden, dass eine Chemikalie, welche Autoreifen vor der Zersetzung durch Ozon schützt, dafür verantwortlich ist, dass nach starken Regenfällen bis zu 90 Prozent der in den Flussläufen schwimmenden Silberlachse (*Oncorhynchus kisutch*) sterben. Die Chemikalie ist im Reifenabrieb enthalten, der entsteht, wenn Autos über Asphalt fahren. Kommt sie dann mit Ozon in Kontakt, verändert sich ihre chemische Struktur derart, dass ein Gift entsteht. Wird der Reifenabrieb dann beim nächsten Regen von der Straße in die Flüsse gewaschen, entweicht das Gift aus dem Reifengummi und wirkt tödlich auf die Silberlachse.

Einmal ins Meer gelangt, verhalten sich die Umweltschadstoffe sehr unterschiedlich. Wasserunlösliche Stoffe wie zum Beispiel polychlorierte Biphenyle haften sich schnell an winzigen Tier- und Pflanzenresten an und sinken mit diesen zum Meeresboden – vorausgesetzt, die Partikel werden auf ihrem Weg in die Tiefe nicht von

6.4 > 80 Prozent der Schadstoffe im Meer stammen aus Quellen an Land. Experten unterscheiden zwischen Einzelquellen und diffusen Quellen. In die erste Kategorie fallen Fabriken oder Abwasserkläranlagen, die ihre Abwässer direkt in das Meer einleiten; in die zweite all jene Verursacher, welche Schadstoffe über Umwege in den Ozean eintragen.



Mikroben zersetzt oder von Tieren gefressen. Andere Stoffe wie die hochgiftigen organischen Zinnverbindungen (unter anderem Tributylzinn, TBT), die lange in Schiffsanstrichen eingesetzt wurden, verdampfen leicht und können deshalb bei der Verdunstung von Wasser an der Meeresoberfläche in die Luft übergehen. Der Wind trägt sie dann davon – so lange, bis die Stoffe mit dem Wasserdampf kondensieren und anderswo niederregnen. Dabei werden die Stoffe jedoch nur umverteilt und nicht abgebaut.

Dieser Umstand und die Tatsache, dass Meeresströmungen Schadstoffe um den gesamten Globus verteilen können, macht den Eintrag von Schadstoffen in das Meer immer zu einem grenzübergreifenden und damit zu einem internationalen Problem. Lösungen erfordern daher eine internationale Zusammenarbeit sowie gemeinsame, koordinierte Maßnahmen.

Die relevantesten im Fokus der Umweltwissenschaften stehenden Schadstoffgruppen im Meer sind unter anderem folgende:

- polychlorierte Biphenyle (PCB), Pestizide und andere Substanzgruppen, die unter dem Sammelbegriff persistente organische Schadstoffe (POPs) zusammengefasst werden,
- Pharmazeutika (Arzneimittel) sowie Hormone und hormonähnliche Substanzen,
- Schwermetalle,
- polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe,
- per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen,
- radioaktive Substanzen,
- Plastikmüll.

Persistente organische Schadstoffe

Unter dem Sammelbegriff „persistente organische Schadstoffe“ (englisch: persistent organic pollutants, POPs) wird eine große Gruppe organischer Chemikalien zusammengefasst, die Halogene wie Fluor, Chlor, Brom, Iod oder Astat enthalten können. Sie alle sind aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung in der Natur schwer abbaubar

und somit sehr langlebig. POPs werden über weite Strecken transportiert, reichern sich an organischen Schwebstoffen im Wasser sowie im Fettgewebe von Organismen an und wirken auf Menschen und Tiere giftig. Selbst sehr geringe Mengen dieser Schadstoffe können Krebs auslösen. Sie schädigen das zentrale Nervensystem von Lebewesen, schwächen deren Immunsystem und führen zu Problemen bei der Fortpflanzung. Kinder, die früher mit POPs in Berührung gekommen sind, entwickelten sich deutlich schlechter als unbelastete Altersgenossen.

Fachleute unterscheiden zwei Arten persistenter organischer Schadstoffe. Die erste umfasst die synthetisch hergestellten POPs, welche früher für ganz unterschiedliche Zwecke eingesetzt wurden und auch heute noch vielfach Verwendung finden. Die giftigen Chemikalien wurden als Pflanzenschutzmittel versprüht, dienten als Brandverzögerer, Kühl- und Lösungsmittel und wurden bei der Herstellung von Lacken, Farben, Klebstoffen, Dichtungen, Kunststoffen und Dämmmaterialien (zum Beispiel Dämmstoffe aus Polystyrol) verwendet. In die zweite Kategorie gehören POPs, die auf unbeabsichtigte Art und Weise entstehen – etwa als Nebenprodukt verschiedener Verbrennungsprozesse.

Obwohl die verheerende Wirkung dieser Schadstoffgruppe bereits in den 1960er-Jahren bekannt wurde und die Herstellung einiger POPs schon in den 1980er-Jahren auf nationaler Ebene verboten wurde, begannen erst im Jahr 1997 Verhandlungen zu einem internationalen Abkommen, welches die Produktion und Verwendung dieser Schadstoffe eingrenzen sollte. Verabschiedet wurde das sogenannte Stockholmer Übereinkommen (englisch: Stockholm Convention) im Mai 2001; in Kraft trat es am 17. Mai 2004. Bis heute sind 184 Staaten dem Abkommen beigetreten.

Sein Vertragstext listet drei Schadstoffgruppen auf:

- persistente organische Schadstoffe, die konsequent eliminiert werden sollen;
- persistente organische Schadstoffe, deren Produktion und Verwendung begrenzt werden sollen;
- persistente organische Schadstoffe, deren unbeabsichtigte Entstehung als Nebenprodukt verhindert werden soll.

Abfälle, die POPs enthalten oder damit kontaminiert sind, müssen dem Abkommen zufolge so entsorgt werden, dass die darin enthaltenen POPs zerstört oder unumkehrbar umgewandelt werden, sodass sie ihre schädlichen Eigenschaften verlieren.

Als das Abkommen im Jahr 2001 verabschiedet wurde, standen lediglich zwölf POPs, das sogenannte Dreckige Dutzend (Dirty Dozen) auf diesen Listen – darunter:

- Pestizide (Pflanzenschutzmittel und Insektizide) wie Aldrin, Chlordan, DDT, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Mirex und Toxaphen;
- Industriechemikalien wie Hexachlorbenzol und polychlorierte Biphenyle (PCBs) und
- Nebenprodukte wie Dioxine und Furane.

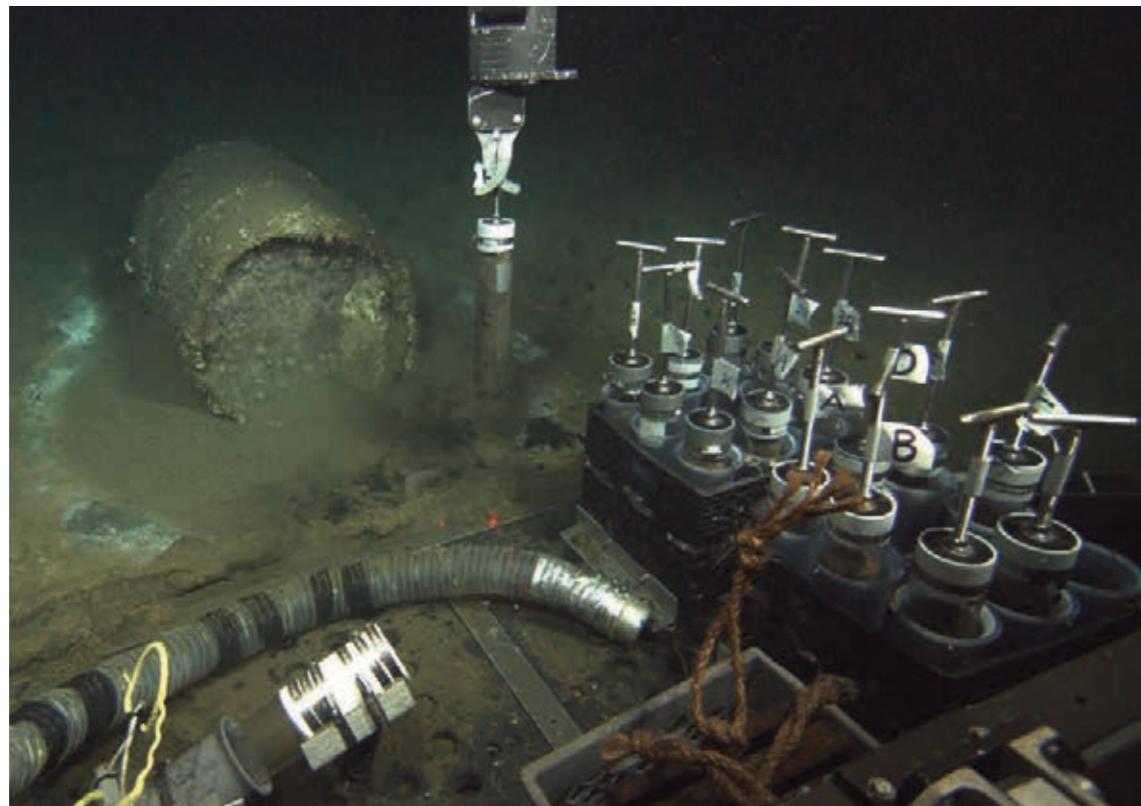
Mit dem Abkommen wurde außerdem eine Expertenkommission ins Leben gerufen, die sich jährlich trifft und Forschungsergebnisse über die Wirkungsweisen bislang ungelisteter POPs zusammenträgt und diese diskutiert. Werden diese Chemikalien als besorgniserregend – das heißt besonders gefährlich – eingestuft, gibt das Gremium Risikogutachten in Auftrag und schlägt den Mitgliedstaaten des Stockholmer Übereinkommens anschließend deren Listung vor, verbunden mit den jeweiligen Empfehlungen zur Abschaffung oder aber zu einer Begrenzung ihrer Produktion.

Seit Inkrafttreten des Stockholmer Übereinkommens sind Verbote für 19 weitere Schadstoffgruppen ausgesprochen worden. Die Arbeitsgrundlage der Expertenkommission hat sich in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten jedoch deutlich verändert. Diskutierte das Gremium in den ersten Jahren seines Bestehens vor allem Pflanzenschutzmittel, deren Herstellung bereits von vielen Nationalstaaten verboten worden war, setzt es sich inzwischen vor allem mit neueren komplexen Industriechemikalien auseinander. Diese werden häufig noch in großen Mengen eingesetzt und besitzen demzufolge eine unmittelbare wirtschaftliche Bedeutung für viele Länder. Erschwerend kommt hinzu, dass diese Stoffe erst seit so kurzer Zeit im Einsatz sind, dass kaum ausreichend Daten und Erkenntnisse über mögliche Verteilungswege und Umweltauswirkungen zusammengetragen werden können. Das genaue Schadenspotenzial wiederum wird in der Regel erst erkennbar,

Chlorkohlenwasserstoffe

Die Massenproduktion von Chlorkohlenwasserstoffen (CKW) begann im Jahr 1929 und erreichte ihren Höhepunkt in den 1960er- bis 1970er-Jahren. Rund 97 Prozent der hergestellten CKW wurden auf der Nordhalbkugel eingesetzt, weshalb die Meere der Nordhemisphäre besonders stark mit diesen langlebigen Umweltgiften belastet sind. Ende der 1990er-Jahre schätzte man, dass sechs bis sieben Prozent der Gesamtproduktion zu diesem Zeitpunkt bereits am Meeresboden eingelagert waren.

6.5 > Im Meeresgebiet zwischen der US-Metropole Los Angeles und der Insel Santa Catalina wurden im Zeitraum von 1930 bis 1972 im großen Stil Industrieabfälle in bis zu 900 Meter Tiefe versenkt, darunter Abertausende Fässer, gefüllt mit dem Insektengift DDT (Dichlordiphenyltrichlorethan). Sie sind der Grund dafür, dass sowohl der Meeresboden als auch alle höheren Lebewesen in dieser Region gefährlich hohe DDT-Konzentrationen aufweisen.

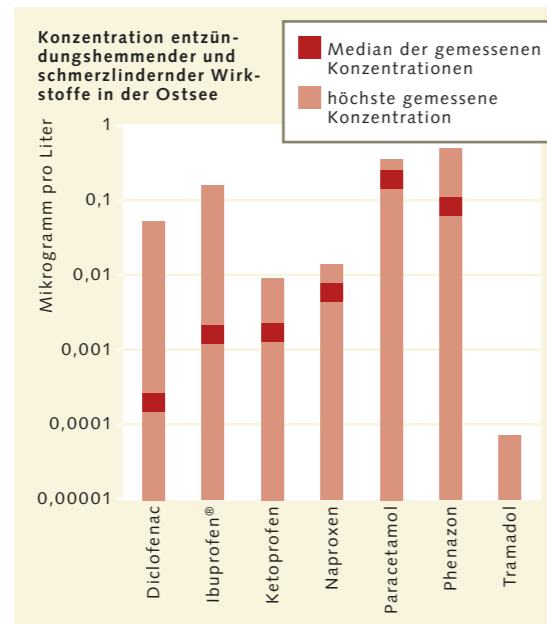


wenn es zu spät ist und bereits viel zu viele der Chemikalien in das Meer gelangt sind.

Trotzdem zeigen internationale Verbote den erwünschten Effekt: Die Konzentration jener POPs, die durch das Stockholmer Übereinkommen sowie durch nationale und supranationale Vereinbarungen verboten wurden, nimmt in den Meeren langsam ab.

Pharmazeutika (Arzneimittel)

Als Pharmazeutika oder Arzneimittel werden Chemikalien bezeichnet, die gezielt vom Menschen entwickelt worden sind, um zum Beispiel auf Zellen einzuwirken, den Hormonspiegel eines Organismus zu beeinflussen oder zu steuern, wie ein Lebewesen Nährstoffe aufnimmt und verarbeitet. Unter Umständen regulieren Pharmazeutika sogar die Kommunikation zwischen Zellen. Um ihre volle Wirkung als Medikament zu entfalten, müssen vor allem oral eingenommene Arzneimittel den Darm erreichen, wo sie in den Blutkreislauf aufgenommen werden. Zuvor aber gilt es, die saure und damit zerstörerische



6.6 > Bekannte Schmerzmittel wie Diclofenac, Ibuprofen und Paracetamol gehören zu jenen Arzneimitteln, die über Ausscheidungen des Menschen erst in das Abwasser, dann in die Flüsse und anschließend etwa in die Ostsee gelangen.

Umgebung des Magens heil zu überstehen. Aus diesem Grund werden die meisten Wirkstoffe so aufgebaut, dass sie sehr widerstandsfähig sind und nur sehr langsam oder aber gar nicht zerfallen.

Gelangen diese widerstandsfähigen Wirkstoffe in die Umwelt, bezeichnet man sie als persistente pharmazeutische Schadstoffe (englisch: environmentally persistent pharmaceutical pollutants, EPPPs), von denen eine zunehmende Gefahr ausgeht. Die antibakterielle Wirkung von Antibiotika beispielsweise kann nämlich dazu führen, dass Bakterien und Keime Resistenzen gegenüber diesen Wirkstoffen entwickeln. Das heißt, bakterielle Krankheiten lassen sich dann nicht mehr mit diesen Antibiotika behandeln. Nach Angaben der Vereinten Nationen nimmt die Zahl wirkstoffresistenter Keime zu und stellt mittlerweile eine der größten Gesundheitsgefahren für uns Menschen dar.

Arzneimittel gelangen auf ganz unterschiedliche Weise in die Meere. Sie werden auf direktem Wege eingetragen, wenn Pharmaunternehmen, Krankenhäuser und die Gastronomie ihre Industrieabfälle oder mit Wirkstoffen und Desinfektionsmitteln belastete Abwässer ungeklärt in Flüsse und Meere einleiten. Überdies wird in marinen Aquakulturanlagen arzneimittelhaltiges Futter in den Käfigen verteilt. Pharmazeutika entweichen aber auch, wenn Menschen oder Tiere Medikamente zur Behandlung von Beschwerden oder Krankheiten einnehmen – und deren aktive Wirkstoffe über den Urin oder Kot wieder ausgeschieden werden. Im Falle der Nutztiere gelangen die Wirkstoffe dann versteckt in Mist oder Gülle auf die Felder und werden vom Regen in den nächsten Bachlauf gewaschen. Der Mensch dagegen entsorgt seine Fäkalien in der Regel über die Toilette. Abwasserkläranlagen, die im Anschluss die Wirkstoffe herausfiltern, gibt es immer noch viel zu wenige. Mehr als 80 Prozent des weltweit anfallenden Brauchwassers werden nach wie vor ungeklärt in die Umwelt entsorgt. Menschliche und tierische Fäkalien stellen demzufolge die Haupteintragsquelle von Arzneimitteln in Flüsse und Meere dar.

Experten des Umweltprogramms der Vereinten Nationen schätzen, dass weltweit rund 4000 verschiedene biologisch wirksame Stoffe in Arzneimitteln für Mensch und Tier zum Einsatz kommen – in verschreibungspflichtigen Medikamenten ebenso wie in frei erhältlichen Arzneimit-

teln. Kläranlagen filtern diese Wirkstoffe nur mit einer Erfolgsquote von 20 bis 80 Prozent aus dem Abwasser. Der Rest gelangt in Flüsse und Meere. Einer groben Schätzung zufolge entlassen allein die Kläranlagen im erweiterten Ostseeraum pro Jahr etwa 1800 Tonnen pharmazeutische Reststoffe in die Umwelt. Chinas längster Fluss, der Jangtsekiang, trägt die Abwässer von mehr als 400 Millionen Menschen Richtung Meer, darin enthalten etwa 152 Tonnen Arzneimittel pro Jahr.

Die Belastung der Gewässer mit Pharmazeutika hat inzwischen solche Ausmaße angenommen, dass Wissenschaftler anhand von Wasserproben klare Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand einer Nation ziehen können. Bei einer groß angelegten Studie in den USA beispielsweise fanden Forschende im Zeitraum von 2014 bis 2017 insgesamt 111 verschiedene pharmazeutische Substanzen in Flussläufen; einige Wasserproben enthielten einen Mix aus bis zu 60 verschiedenen medizinischen Wirkstoffen. Am häufigsten identifizierten die Wissenschaftler dabei:

- das in Tabak enthaltene Rauschmittel Nikotin;
- das Diabetes- und Krebsmedikament Metformin, welches in den USA allein im Jahr 2016 etwa 81 Millionen Mal ärztlich verschrieben wurde und vom menschlichen Körper gewissermaßen in Reinform wieder über den Urin ausgeschieden wird;
- das Aufputzmittel Koffein, enthalten unter anderem in Kaffee und Energydrinks;
- das Betäubungsmittel Lidocain.

Nachweisen konnten die Fachleute außerdem pharmazeutische Stimmungsaufheller (Antidepressiva) und Antiallergiemittel, Letztere sogar in Konzentrationen, die mit den Jahreszeiten schwankten (Heuschnupfengefahr besonders hoch im Frühling).

Ähnliche Ergebnisse lieferte eine groß angelegte Studie zum Eintrag pharmazeutischer Wirkstoffe in die Ostsee, die 2017 veröffentlicht wurde. Hier führen jedoch schmerz- und entzündungshemmende Wirkstoffe wie Paracetamol, Ibuprofen und Diclofenac sowie Medikamente gegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Nervenleiden die Liste der am häufigsten detektierten Pharmazeutika an. Insgesamt konnten die Fachleute 167 verschiedene pharmazeutische Substanzen in der Ostsee

nachweisen. Als Haupteintragsquelle identifizierten die Forschenden abermals menschliche und tierische Fäkalien, deren pharmazeutische Inhaltsstoffe in den Kläranlagen nur unzureichend herausgefiltert wurden. Von 118 medizinischen Wirkstoffen, deren Filterung die Wissenschaftler in verschiedenen Kläranlagen untersuchten, wurden nur neun zu mehr als 95 Prozent aus dem Abwasser entfernt. Bei nahezu der Hälfte der Wirkstoffe lag die Filterwirkung bei weniger als 50 Prozent.

Arzneimittel wie der Entzündungshemmer Diclofenac (Wirkstoff in Voltaren und anderen Schmerzmitteln) werden biologisch abgebaut und zerfallen, wenn sie dem Sonnenlicht ausgesetzt sind. Solche Pharmazeutika reichern sich vermutlich nicht in Organismen an. Kommen sie jedoch in hoher Konzentration in Gewässern vor, richten sie durchaus Schaden an. Diclofenac beispielsweise wird verdächtigt, die inneren Organe von Fischen zu beschädigen. Aus Laborversuchen mit dem Diabetesmittel Metformin weiß man, dass es Auswirkungen auf das Verhalten Siamesischer Kampffische (*Betta splendens*) hat und das Wachstum Japanischer Reisfische (*Oryzias latipes*) beeinflusst. Arzneistoffe mit hormoneller Wirkung, wie sie unter anderem in der Anti-Baby-Pille (zum Beispiel 17-alpha-Ethinylestradiol) vorkommen, führen schon bei geringen Konzentrationen zu Geschlechtsveränderungen bei Fischen und gefährden die Fortpflanzung und den Bestand ganzer Populationen.

Einem besonderen Belastungsrisiko scheinen auch Muscheln ausgesetzt zu sein, die ja bekanntlich das Meerwasser filtrieren, um sich von darin enthaltenen Partikeln zu ernähren. Vor der Küste des US-Bundesstaates Kalifornien konnten Wissenschaftler das Antidepressivum Sertralin in etwa zwei von drei Muscheln nachweisen; im Golf von Bohai (China) enthielten 142 von 190 untersuchten Muscheln Antibiotika. Spuren von Arzneimitteln wurden aber auch in Kalmaren aus dem zentralen Pazifik, in Heringen aus dem Nordatlantik sowie in Haien aus dem östlichen zentralen Atlantik nachgewiesen. Diese Funde sprechen dafür, dass sich die pharmazeutischen Wirkstoffe im Nahrungsnetz angereichert hatten.

Besonders schwierig wird es, die Wirkungsweisen von Medikamenten im Meer nachzuweisen und auf einzelne Pharmazeutika zurückzuführen, wenn sie als Gemisch auftreten und sich gegebenenfalls in ihrer Wir-

kung verstärken. Beobachtungen einer solchen Mischtoxizität haben Forschende bereits bei Phytoplankton sowie bei einigen Süßwasserorganismen gemacht. Abschließend beantworten können Forschende die Frage nach der Wirkung von Medikamentencocktails im Meer jedoch noch nicht. Sie ist Gegenstand aktueller Forschung.

Die Wissenschaft steht außerdem vor der Herausforderung, dass sich viele Schadstoffe oft nur mit bestimmten Analysemethoden nachweisen lassen. Das heißt, die Forschenden müssen in der Regel vorher entscheiden, wonach sie suchen wollen. Sogenannte Screening-Studien, in denen alle bekannten Methoden zum Einsatz kommen, um herauszufinden, was im Meerwasser enthalten sein könnte, sind sehr aufwendig und daher eher selten. Hinzu kommt, dass der chemische Nachweis einer Substanz im Wasser allein noch keine Informationen über deren Wirkung auf die Meereslebewesen verrät. Dazu bedarf es weiterer Analysen, in denen der Einfluss auf die Organismen untersucht wird und die Wissenschaftler der Frage nachgehen, ob Tumore entstanden sind, sich Auswirkungen auf das Hormonsystem zeigen oder sich die Enzymaktivitäten von Lebewesen verändern.

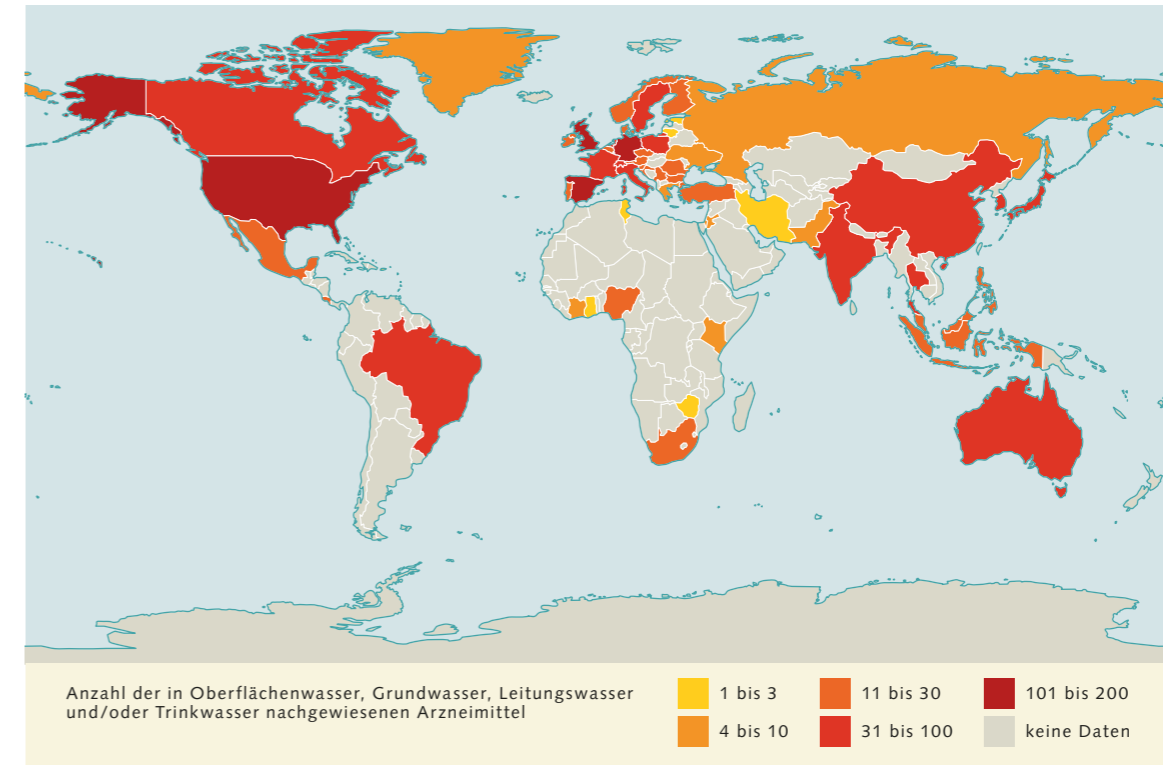
Der ansteigende Verbrauch von Arzneimitteln sowie verbesserte Messmethoden haben in den zurückliegenden Jahrzehnten dazu geführt, dass Pharmazeutika mittlerweile vermehrt in der Umwelt nachgewiesen werden. Häufig kommen sie dabei in so hoher Konzentration vor, dass sie Schaden verursachen. Aus diesem Grund werden Arzneimittel von Fachleuten des Internationalen Chemikalienmanagements zu den neu aufkommenden Politikthemen (englisch: emerging policy issues) gezählt.

Nach Definition des Strategischen Ansatzes zum Internationalen Chemikalienmanagement (Strategic Approach to International Chemicals Management, SAICM) sind Arzneimittel in der Umwelt damit ein Thema, welches:

- jegliche Phasen im Lebenszyklus einer Chemikalie betrifft,
- generell noch nicht anerkannt wurde,
- ungenügend behandelt wird,
- dem neuesten Stand der Wissenschaft entspringt,
- signifikante Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und Umwelt hat und
- ein globales Problem darstellt.

Der SAICM wurde im Jahr 2006 ins Leben gerufen. Er stellt ein völkerrechtlich nicht bindendes politisches Rahmenwerk dar, welches das Ziel verfolgt, Akteure und Sektoren aus aller Welt zusammenzubringen, um ursprünglich bis zum Jahr 2020 eine globale Chemikalien-sicherheit zu erreichen – von der Herstellung über die Verwendung bis hin zur Entsorgung einer Chemikalie. Zu den Empfehlungen, die im Rahmen eines SAICM-Workshops zum Thema Arzneimittel in der Umwelt erarbeitet wurden, gehören:

- die Entwicklung sogenannter nachhaltiger pharmazeutischer Wirkstoffe (darunter werden Wirkstoffe verstanden, die von Mensch und Tier besser aufgenommen werden und, sollten sie doch in die Umwelt gelangen, dort weniger Schaden anrichten, weil sie schneller abbaubar sind);
- die Durchführung globaler Informationskampagnen über die schädlichen Folgen von Arzneimitteln in der Umwelt, verbunden mit Hinweisen zu einer sicheren Entsorgung;
- der Aufbau weltweit funktionierender Rücknahme- und Entsorgungssysteme für abgelaufene oder nicht vollständig aufgebrauchte Arzneimittel, wodurch die illegale Entsorgung eingedämmt werden soll;
- die Errichtung ausreichend großer Abwasserkläranlagen, wo diese noch fehlen – vor allem aber in den schnell wachsenden Millionenstädten der Welt, weil gerade deren Abwässer oft hohe Arzneimittelkonzentrationen aufweisen;
- der Einsatz neuer, hocheffizienter Filtertechniken (4. Klärstufe) in vorhandenen Kläranlagen, um deren Reinigungsleistung zu erhöhen;
- der Bau spezieller Kläranlagen an Einzelquellen wie Krankenhäusern;
- eine strikte Trennung der Abwasserkanäle vom Regenwasser-Leitungssystem (auf diese Weise wird die Arzneimittelkonzentration im Abwasser nicht verdünnt, was es Kläranlagen erleichtert, die Schadstoffe herauszufiltern);
- der Aufbau flächendeckender Mess- und Beobachtungssysteme sowie internationaler Datenbanken und Netzwerke, in denen Wissen geteilt und Schutzmaßnahmen gemeinsam geplant und umgesetzt werden.



6.7 > Analysen des Grund- und Oberflächenwassers zeigen: Je entwickelter eine Nation ist, desto mehr Spuren von Medikamenten finden sich in ihrer direkten Umwelt. In Deutschland, Spanien und den USA wurden bis zu 200 verschiedene Arzneimittel nachgewiesen.

Die Europäische Union verpflichtet ihre Mitgliedstaaten in der EU-Wasserrahmenrichtlinie, Gewässer auf eine Belastung mit bestimmten Substanzen hin zu überprüfen. Diese politische Maßgabe in die Praxis umzusetzen, erweist sich jedoch häufig als schwierig, weil die vorgegebenen und notwendigen Nachweisgrenzen so niedrig sind, dass viele Labore nicht über die technischen Möglichkeiten verfügen, diese niedrigen Konzentrationen zu messen.

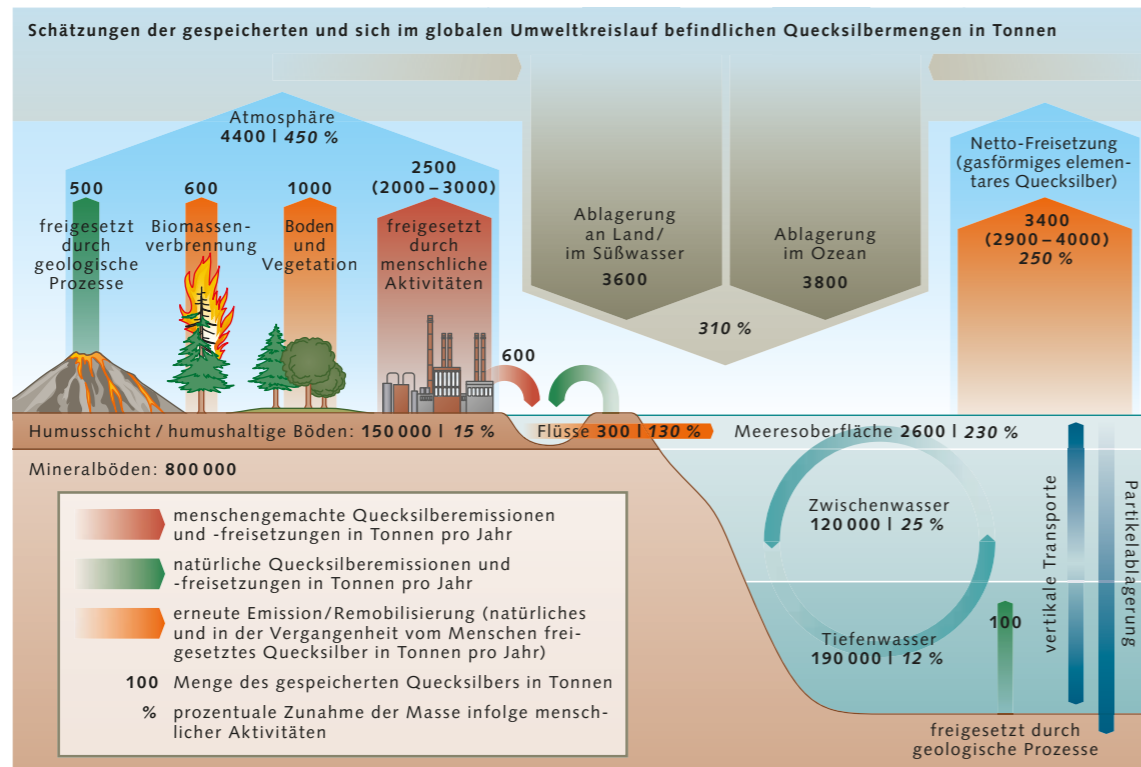
Schwermetalle

Schwermetalle sind natürlich vorkommende Bestandteile der Erdkruste, die zweierlei Wirkung entfalten. Einige von ihnen sind überlebenswichtig für nahezu alle Organismen auf der Welt, weil sie als sogenannte Spurenelemente essenziell wichtige Nährstoffe darstellen. Dazu zählen Eisen, Mangan, Molybdän, Kupfer und Zink. Andere Schwermetalle wie Blei, Cadmium und Quecksilber wiederum wirken giftig und schaden sowohl der Gesundheit des Menschen als auch der von Tieren.

In die Umwelt gelangen schädliche Schwermetalle auf ganz unterschiedliche Weise. Sie werden zum Beispiel beim Bergbau und bei bestimmten industriellen Prozessen wie der Herstellung von Plastik eingesetzt, befinden sich in Klärschlamm und Pflanzenschutzmitteln, die der Mensch ausbringt, werden in Batterien und vielerlei Messgeräten verbaut oder beim Autoverkehr und bei der Verbrennung von Kohle in die Atmosphäre geblasen. Letzteres ist ursächlich dafür, dass zum Beispiel die Quecksilberkonzentration in der Atmosphäre im zurückliegenden Jahrhundert um 300 bis 500 Prozent zugenommen hat. Das Meer erreichen diese Schadstoffe sowohl über die Flüsse und den Eintrag von Oberflächenwasser als auch über die Luft, wenn Regen die Schwermetalle aus der Atmosphäre wäscht und diese im Meer landen.

Fachleute gehen davon aus, dass bislang etwa die Hälfte des Quecksilbers, welches durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre gelangt ist, von den Meeren aufgenommen wurde. Dafür sprechen die Ergebnisse einer Studie, wonach sich die Quecksilberkonzentration im Oberflächenwasser in den zurückliegenden 100 Jahren

6.8 > Menschliche Aktivitäten wie Bergbau und die Verbrennung von Kohle führen seit dem 16. Jahrhundert zu einem kontinuierlichen Anstieg der Quecksilberfreisetzungen. Allein im Zeitraum von 1900 bis 2000 hat sich die Quecksilbermenge in der Atmosphäre mindestens verdreifacht – und mit ihr die Ablagerungen von Quecksilber an Land und im Ozean. Diese Abbildung zeigt die Quellen und Senken des giftigen Schwermetalles mit globalen Mengenangaben aus dem Jahr 2018.



verdoppelt hat. Die Belastung in mittleren Wassertiefen ist um ein Viertel gestiegen, jene des Tiefenwassers um ein Zehntel. Die jeweiligen Unterschiede erklären die Forschenden mit der Zeit, die Partikel und das Meerwasser benötigen, um von der Oberfläche in entsprechende Tiefen zu wandern.

Einmal im Meer angekommen, kann das Quecksilber dort von bestimmten Bakterienarten in Methylquecksilberverbindungen umgebaut werden. Diese metallorganischen Verbindungen sind sehr giftig, lösen sich in Fetten und sind somit in der Lage, sich in der Nahrungskette anzureichern. Zu den bekannten Folgeerscheinungen einer Methylquecksilbervergiftung bei Menschen zählen Schädigungen des Nervensystems, ein geschwächtes Immunsystem sowie Erkrankungen der Augen, der Lunge, der Leber, der Nieren, der Haut und der Herzmuskulatur.

Meeresbewohner sind in der Regel geringeren Quecksilberkonzentrationen ausgesetzt als Tiere in Seen und Flüssen. Dennoch haben Forschende in den zurückliegenden Jahrzehnten einen Anstieg der Methylquecksilberkonzentration in Meeresfischen beobachtet – etwa bei

Arten aus dem Nordatlantik und den Gewässern westlich Grönlands. Fische aus dem Meer östlich Grönlands und aus der europäischen Arktis dagegen wiesen sinkende Konzentrationen von Methylquecksilber auf. Nichtsdestotrotz kommen Experten des Umweltprogramms der Vereinten Nationen in ihrem aktuellen Quecksilber-Umweltbericht zu dem Schluss, dass die Quecksilberbelastung in aquatischen Nahrungsnetzen besorgniserregend hoch ist und eine Gefahr für die Gesundheit von Tier und Mensch darstellt. Der Klimawandel verstärkt dieses Risiko, indem sich zum Beispiel durch den temperaturbedingten Rückgang der Meereisbedeckung in der Arktis die Quecksilbertransportwege und -verteilungsmuster ändern und mancherorts mehr Quecksilber zu Methylquecksilber umgebaut wird, als dies früher der Fall war.

Angesichts dieser enormen Risiken und der weltweiten Verteilung von Quecksilber in der Atmosphäre, an Land sowie in den Meeren, hat sich die Staatengemeinschaft nach langjährigen Verhandlungen im Jahr 2013 auf ein internationales Abkommen zum Schutz der Umwelt und des Menschen vor Quecksilberemissionen verstan-

dig. Benannt wurde diese Konvention nach der japanischen Küstenstadt Minamata. Dort hatte in den 1960er-Jahren eine Chemiefabrik über lange Zeit hinweg mit Quecksilber belastete Abwässer in das Meer entsorgt, sodass sich das Gift in den Meeresfischen anreichte. Die Fische wiederum wurden von den Küstenbewohnern gefangen und verspeist. Mehr als 2200 Menschen erlitten infolgedessen eine Methylquecksilbervergiftung. Sie konnten zum Teil nicht mehr gehen, essen und stehen, weil ihr Nervensystem so schwer geschädigt worden war.

Die Minamata-Konvention trat am 16. August 2017 in Kraft. Sie ist für alle Mitgliedstaaten rechtlich bindend und wurde mittlerweile von 127 Ländern sowie der Europäischen Union unterschrieben und damit angenommen. Damit verpflichten sich die Nationen unter anderem:

- keine neuen Quecksilberminen zu eröffnen und den Abbau in alten Minen einzustellen;
- den Anteil von Quecksilber in vielen Produkten und Industrieprozessen zu reduzieren;
- ein Mess- und Beobachtungssystem für Quecksilbereinträge in Atmosphäre, Erdreich und Gewässer zu installieren;
- sicherzustellen, dass Quecksilber jederzeit sicher gelagert wird – auch dann, wenn die jeweiligen mit Quecksilber belasteten Geräte oder Produkte längst als Müll entsorgt wurden (Stichwort: Sondermüll).

Noch aber wirken sich die aus der Konvention resultierenden Regularien nicht auf die internationalen Märkte aus: Quecksilber wird in gleichbleibendem bis zunehmendem Maß abgebaut und gehandelt. Das heißt, die Produktion nimmt bislang nicht ab. Langfristig gehen Fachleute jedoch davon aus, dass sich aufgrund der Minamata-Konvention der Abbau und der Handel mit Quecksilber nachhaltig verändern werden.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Als polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (englisch: polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs; deutsche Abkürzung oft auch PAK) wird eine Gruppe von mehr als hundert verschiedenen Chemikalien bezeichnet. Diese

kommen zum einen in Kohle und Rohöl vor; zum anderen entstehen sie auch als Nebenprodukt bei der unvollständigen Verbrennung von Kohle, Erdöl, Erdgas, Holz, Müll und anderem organischen Material. Letzteres kann durchaus auf natürliche Weise geschehen – etwa bei Waldbränden und Vulkanausbrüchen. Die meisten in der Umwelt vorkommenden PAHs allerdings sind bei industriellen Verbrennungsprozessen entstanden und somit auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen.

Viele dieser Kohlenwasserstoffe haben krebserregende, erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften, was vor allem im Fall jener PAHs zum Risiko wird, die in der Natur so gut wie nicht abgebaut werden und sich in Organismen anreichern können.

Die Mehrzahl der PAHs wird aus Erdöl gewonnen und als Weichmacher bei der Herstellung von Gummi und Kunststoffprodukten verwendet. Die Schadstoffe sind deshalb zum Beispiel in Badelatschen, Fahrradgriffen, Reifen, Mousepads, Spielzeugen, aber auch in Korrosionsanstrichen enthalten. In die Umwelt gelangen diese Schadstoffe vor allem durch Stäube, an die sie gebunden sind, sowie durch den Abrieb von Gummiprodukten wie Autoreifen. Diese Partikel lagern sich anschließend auf Land- und Gewässeroberflächen ab oder werden von Regenwasser in Flüsse und Meere gewaschen.

Große Mengen PAHs werden bei Ölleckagen oder aber Unfällen mit Öltankern in das Meer eingetragen und

6.9 > Luftaufnahme eines verschmutzten Flusslaufes in der Nähe der nigerianischen Hafenstadt Port Harcourt. Die Umwelt im Nigerdelta ist durch die jahrzehntelange Ölförderung derart geschädigt, dass mögliche Säuberungs- und Aufräumarbeiten bis zu 30 Jahre dauern würden, schätzten Experten in einem 2011 veröffentlichten UNEP-Bericht.



führen dann in der Regel zu einem Zusammenbruch der lokalen marinen Lebensgemeinschaften. Ein besonders drastisches Beispiel dafür ist das Nigerdelta in Nigeria, wo internationale Ölkonzerne seit dem Jahr 1958 Ölförderanlagen betreiben. Nach Schätzungen von Umweltexperten sind bis zum Jahr 2006 etwa 1,5 Millionen Tonnen Öl und damit 3000 bis 105 000 Tonnen von giftigen PAHs in das Flussdelta gelangt – mit dramatischen Folgen für alles Leben im Wasser.

Um Mensch und Umwelt vor den schädlichen Folgen der PAHs zu schützen, verbietet die EU-Chemikalienverordnung REACH (Regulation concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, Chemikalienverordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe) die Abgabe krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe an Endverbraucher. Unter diese Regelung fallen auch acht PAH-Stoffe. Um den Eintrag von PAHs in die Umwelt zu minimieren, gelten für diese Schadstoffgruppe Regeln und Grenzwerte, die im POP-Protokoll für ferntransportierte grenzüberschreitende Luftverschmutzung, in der EG-POP-Verordnung sowie in der EU-Wasserrahmenrichtlinie festgeschrieben sind.

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen

Zur Gruppe der per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (englisch: per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS) gehören inzwischen mehr als 4700 Chemikalien, die aufgrund ihrer wasser-, schmutz- oder fettabweisenden Eigenschaften in zahllosen Produkten verwendet werden – so zum Beispiel in Outdoorbekleidung, Kochgeschirr, Papier- und Druckerzeugnissen, Teppichen, Anstrichen und in Feuerlöschschäumen. Auch sie gelangen auf vielfältige Weise in die Umwelt: bei ihrer Herstellung, ihrer Weiterverarbeitung in Erzeugnissen, beim späteren Gebrauch in Produkten und schließlich bei der Entsorgung dieser. PFAS verteilen sich über die Luft, über Flüsse und über die Meere bis in entlegene Gebiete der Erde und sind wie viele andere Chemikalien kaum abbaubar. Zudem reichern sich einige dieser Chemikalien in Tieren, Pflanzen und im Menschen an und schädigen deren Gesundheit. Fachleute haben PFAS mittlerweile überall nachgewiesen: im Boden, in allen Meeren, in der Luft, in Pflanzen

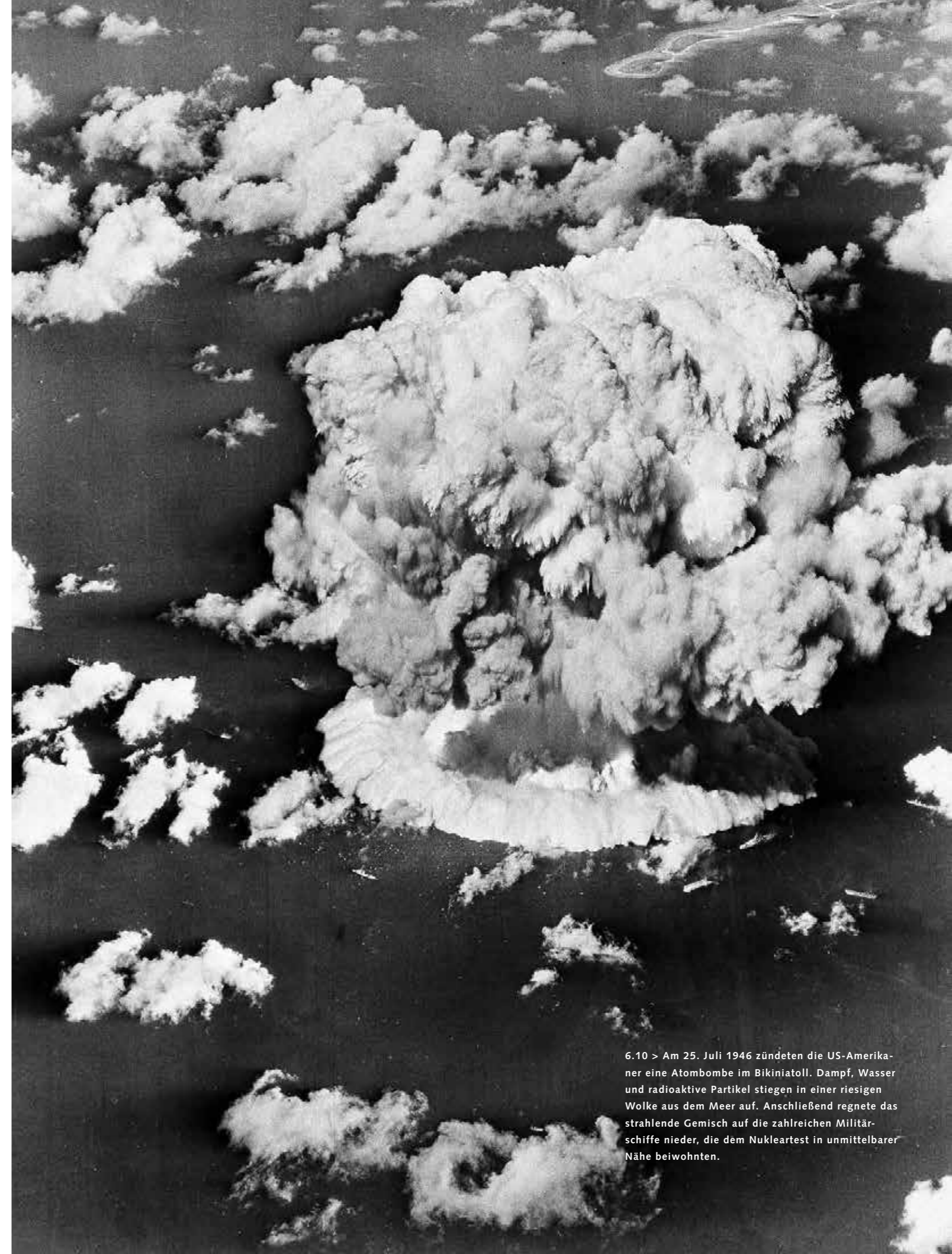
und Tieren sowie im menschlichen Blut, aber auch in der Muttermilch.

Die bekanntesten PFAS werden bereits seit den 1950er-Jahren hergestellt und verwendet. Seit einiger Zeit aber setzt die Industrie vor allem neue Formen dieser Schadstoffe ein, über deren Zusammensetzung und Umweltauswirkungen Forschende und Aufsichtsbehörden nur wenig oder keine Informationen haben. Mit chemischen Nachweisverfahren lassen sich nach Auskunft des deutschen Umweltbundesamtes etwa 40 PFAS bestimmen. Für die meisten anderen Chemikalien aus dieser Stoffgruppe liegen jedoch weder Informationen zur genauen chemischen Struktur noch analytische Methoden zum Nachweis vor, was eine Regulierung dieser Schadstoffgruppe enorm erschwert.

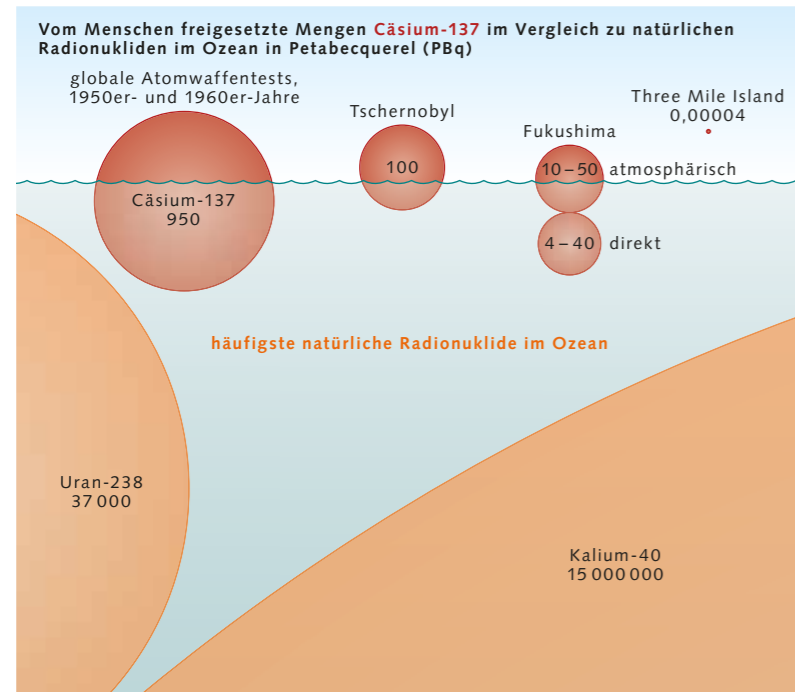
Einige PFAS fallen aufgrund ihrer besorgniserregenden Eigenschaften bereits unter die EU-Chemikalienverordnung REACH. Fachleute fordern jedoch weltweite Herstellungs- und Verwendungsverbote sowie die Entwicklung umweltfreundlicher Alternativen. Solche global geltenden Verbote sind zum Beispiel im Rahmen des Stockholmer Übereinkommens durchsetzbar. Dessen Expertengruppe hat vor Kurzem die PFAS-verwandte Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) zur Liste der verbotenen Substanzen hinzugefügt. Zeitgleich, so die Experten, müssten aber weitere PFAS in nationale und internationale Mess- und Beobachtungsprogramme aufgenommen werden, um zu überprüfen, ob regulierende Maßnahmen die erwünschten Erfolge zeigen und die Umweltbelastung durch PFAS sinkt.

Radioaktive Substanzen

Der Ozean enthält von Natur aus viele radioaktive Elemente – gemeint sind Ausgangsstoffe, deren Atomkerne instabil sind (auch Radionuklide genannt), sodass sie zerfallen oder sich umwandeln und die dabei frei werdende Energie in Form unterschiedlicher Strahlung an die Umwelt abgeben. Ein Teil dieser radioaktiven Elemente entsteht im Zuge geologischer Prozesse, etwa bei der Verwitterung von Gesteinen oder wenn kosmische Strahlung auf die Erde trifft. Zu ihnen gehören zum Beispiel Kalium-40, ein Radionuklid des chemischen Elementes Kalium. Kaliumvorkommen auf der Erde bestehen zu etwa 0,0117 Prozent aus Kali-



6.10 > Am 25. Juli 1946 zündeten die US-Amerikaner eine Atombombe im Bikiniatoll. Dampf, Wasser und radioaktive Partikel stiegen in einer riesigen Wolke aus dem Meer auf. Anschließend regnete das strahlende Gemisch auf die zahlreichen Militärschiffe nieder, die dem Nukleartest in unmittelbarer Nähe beiwohnten.



6.11 > Vergleicht man die Menge natürlich vorkommender Radionuklide im Ozean mit der Menge des vom Menschen freigesetzten Cäsium-137, fällt Letzteres deutlich kleiner aus.

um-40, das für die schwache natürliche Radioaktivität des Alkalimetalls verantwortlich ist.

Kalium-40 ist das am häufigsten im Meer vorkommende radioaktive Nuklid. Es stellt aufgrund seiner geringen Strahlung jedoch keine Gefahr für Meeresbewohner oder den Menschen dar. Anders sieht es aus bei radioaktiven Substanzen, die infolge menschlicher Aktivitäten in hoher Dosis freigesetzt werden und in die Meere gelangen. Deren Strahlendosis kann nämlich für Mensch und Tier tödlich sein, weil sie die Zellen von Lebewesen zerstört. Menschen, die hoher radioaktiver Strahlung ausgesetzt waren, erkrankten zudem häufiger an Krebs.

Ein besonders hohes Strahlungsrisiko besteht:

- bei Atomwaffentests und -einsätzen,
- bei Unfällen in Atomkraftwerken,
- wenn radioaktiv verseuchtes Kühl- oder Abwasser aus Kraftwerken oder atomaren Wiederaufbereitungsanlagen in das Meer geleitet wird,
- wenn radioaktive Abfälle im Ozean entsorgt werden,
- wenn Strahlung aus atomar betriebenen Schiffen und U-Booten austritt oder aber

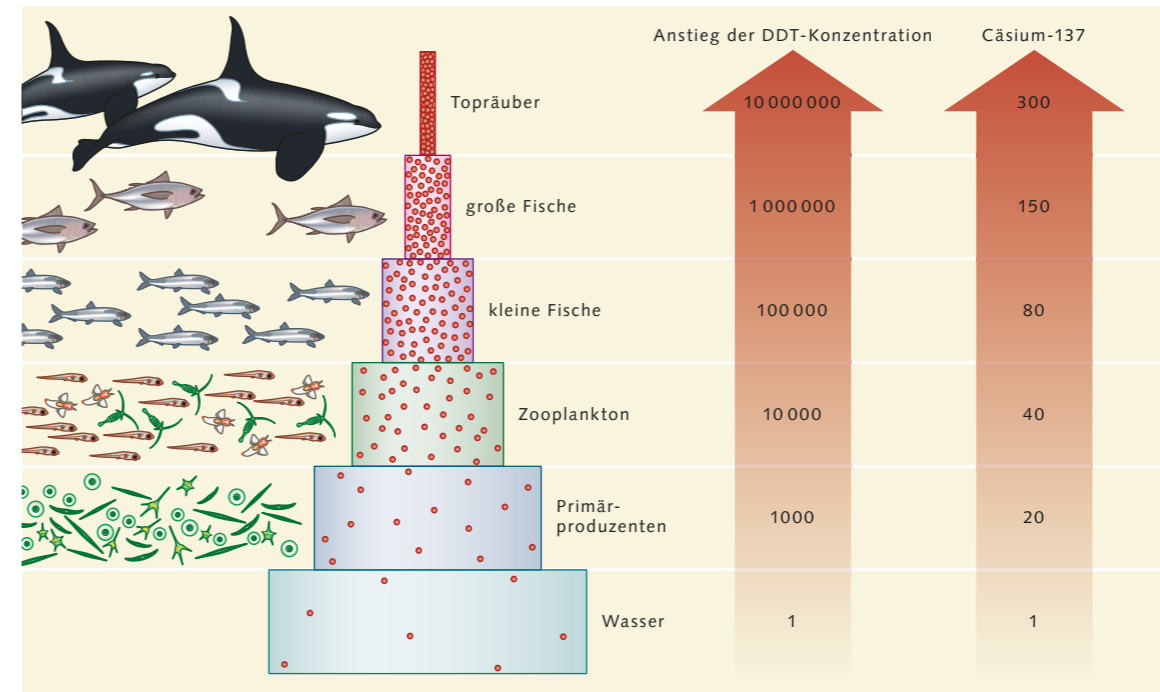
- in Medizin und Industrie zum Einsatz kommt und über Umwege ins Meer gelangt.

Der größte Eintrag radioaktiver Substanzen in die Ozeane ist bislang auf Atomwaffentests zurückzuführen. Im Zeitraum von 1945 bis 2017 wurden weltweit mehr als 2000 atomare Sprengköpfe gezündet. Anfangs fanden diese Tests noch überirdisch statt. Weil jedoch bei jeder dieser Explosionen große Mengen von radioaktivem Staub entstanden, die anschließend in vielen Teilen der Welt als radioaktiver Niederschlag herabrieselten, verlegte man die Sprengungen ab den 1960er-Jahren unter die Erde. Nichtsdestotrotz gelangten mit dem radioaktiven Niederschlag eine Vielzahl strahlender Substanzen in den Weltozean – darunter gesundheitsschädliche Radionuklide wie Cäsium-137, Strontium-90, Plutonium- und Americium-Isotope sowie weniger bedenkliche Substanzen wie Tritium, Kohlenstoff-14, Technetium-99 und Iod-129.

Die meisten dieser Substanzen lösen sich im Wasser oder werden durch dieses verdünnt. Das heißt, Meeresströmungen und -wirbel verteilen die radioaktiven Nuklide im Meer und reduzieren auf diese Weise die von ihnen ausgehende Strahlendosis. Der stetig fortschreitende Zerfall der instabilen Atomkerne trägt zusätzlich dazu bei, dass die Strahlungsaktivität der Substanzen mit der Zeit abnimmt und damit auch das von ihnen ausgehende Gesundheitsrisiko (Stichwort: Halbwertszeit).

Bei Atomwaffentests und Unfällen in Atomkraftwerken entweicht vor allem radioaktives Cäsium-137, welches bei der Kernspaltung in Kernreaktoren entsteht und eine Halbwertszeit von 30 Jahren hat. Im Zuge des Tsunami- und Reaktorunglückes im japanischen Fukushima im März 2011 beispielsweise gelangte Cäsium-137 sowohl über die Luft (radioaktiver Staub) in den Pazifischen Ozean als auch über das ins Meer laufende Grund-, Kühl- und Löschwasser. Infolgedessen stieg die Strahlenbelastung des Meeres direkt vor der Küste Fukushimas innerhalb kurzer Zeit von zwei auf mehr als 50 Millionen Becquerel pro Kubikmeter Wasser. Nur zum Vergleich: Die Weltgesundheitsorganisation empfiehlt, Trinkwasser mit einer Strahlenbelastung von mehr als 10 000 Becquerel pro Kubikmeter nicht mehr zu verwenden.

Im Meer angekommen, verdünnte und durchmischte die vor Japans Ostküste fließende Strömung Kuroshio die



6.12 > Im Gegensatz zum Insektizid DDT reichern sich gesundheitsschädliche Radionuklide wie Cäsium-137 nur in einem geringen Maß im Nahrungsnetz des Meeres an.

radioaktiven Wassermassen mit dem restlichen Meerwasser. Dieser Prozess führte dazu, dass die Cäsium-137-Belastung der Küstengewässer deutlich zurückging, bereits einen Monat nachdem das meiste radioaktiv verseuchte Wasser in den Pazifik gelangt war. Zeitgleich aber stieg die Cäsium-Belastung fernab der Küste. Die Radionuklide wanderten mit der Hauptströmung Richtung Nordamerika und erreichten dessen Westküste zwei bis vier Jahre nach dem eigentlichen Reaktorunglück. Noch im März 2019 berichteten Forschende von erhöhten Cäsium-Werten in den Gewässern Hawaiis sowie entlang der kanadischen und US-amerikanischen Pazifikküste. Die Werte an sich aber waren mit weniger als zehn Becquerel extrem niedrig und kaum besorgniserregend.

Ein Teil des Cäsium-137 aber haftete sich bereits in den Küstengewässern Fukushimas an Partikel an, die im Oberflächenwasser trieben, und sank mit ihnen zum Meeresboden. Dort wurden die strahlenden Partikel entweder von Bodenbewohnern gefressen, in den Sedimenten eingelagert oder aber von Tiefenströmungen verwirbelt und abtransportiert – unter Umständen sogar über Strecken von bis zu hundert Kilometern. Radionuklide gelangen aber auch über Umwege in die Tiefsee – etwa in Kotballen

von Fischen, Krill und anderen Meereslebewesen, die sie zuvor über das Wasser oder über die Nahrung aufgenommen hatten.

Fressen Fische oder Kleinkrebse die mit Cäsium-137 belasteten Partikel, werden die instabilen Atome überraschend schnell biologisch abgebaut. So halbiert sich die Strahlungsaktivität des Cäsiums im Körpergewebe von Fischen innerhalb von 50 Tagen – vorausgesetzt, die Tiere verlassen das verstrahlte Gebiet und sind keiner weiteren Strahlenbelastung ausgesetzt. Diese Tatsache erklärt auch, warum Thunfische, die zur Zeit des Reaktorunglückes vor der Küste Japans auf Futtersuche gegangen und anschließend Richtung Nordamerika geschwommen waren, bereits wenige Monate später eine 15- bis 30-fach geringere Cäsium-Belastung aufwiesen als Fischarten, die vor der Küste Japan verblieben waren.

Letztere wiederum waren auch ein Jahr nach dem Unglück noch so stark mit Cäsium-137 belastet, dass die Strahlungswerte bei mehr als der Hälfte der untersuchten Fische weit über dem erlaubten Maximum lagen – vermutlich auch, weil weiterhin radioaktiv verseuchtes Wasser von Land ins Meer lief. Mit der Zeit aber nahm die Strahlungsbelastung ab, sodass Japans Fischereikontrol-

Becquerel
Radioaktive Strahlung wird in der Einheit Becquerel gemessen, benannt nach dem französischen Physiker Antoine Henri Becquerel. Sie gibt an, wie viele Atomkerne pro Sekunde zerfallen. Ein Becquerel entspricht dabei jener Energiemenge, die freigesetzt wird, wenn ein Atomkern zerfällt.



6.13 > Ein Seepferdchen klammert sich vor der Küste Indonesiens an ein Wattestäbchen – im Jahr 2017 ging dieses Foto um die Welt, denn es versinnbildlicht die Verschmutzung der Meere durch den Menschen.

leure bei Stichproben im April 2015 erstmals keine erhöhten Messwerte mehr nachweisen konnten. Glücklicherweise reichert sich Cäsium auch kaum in Nahrungsnetzen an, sodass auf lange Sicht keine zusätzliche Gefahr für Delfine, Haie und andere Meeresräuber bestand.

Im Frühjahr 2021 verkündete Tepco, die Betreiberfirma des Atomkraftwerkes Fukushima, dass sie 1,24 Millionen Tonnen radioaktiv verseuchtes Kühl- und Grundwasser, welches bislang in mehr als 1000 großen Tanks an Land lagert, in den kommenden Jahren in das Meer entsorgen wird. Das Wasser sei zuvor dekontaminiert worden, heißt es von Betreiberseite. Unklar ist jedoch, wie zuverlässig diese Dekontaminierung funktioniert hat und welche radioaktiven Stoffe noch im Wasser enthalten sind. Tepco hatte jahrelang beteuert, das Wasser in den Tanks enthalte nur Tritium, eine radioaktive Form des Wasserstoffes, von der weniger Gesundheitsrisiken ausgingen als von anderen Radionukliden. Im Oktober 2018 aber musste Tepco zugeben, dass sich weitere radioaktive und für die Umwelt schädliche Stoffe im Wasser befinden. Welche aber, das hat Tepco bis heute nicht klar und offen kommuniziert. Fachleuten fällt es deshalb schwer, abzuschätzen, welche Umweltauswirkungen eine Einleitung dieser Wassermassen nach sich ziehen wird.

Plastikmüll im Meer

Die Verschmutzung mit Müll ist für viele Menschen das offensichtlichste Umweltproblem der Meere. Angeschwemmter Abfall am Strand verdirbt jedes Urlaubsgefühl; Foto- und Videoaufnahmen von Schildkröten mit Plastiktüten im Maul oder von Seepferdchen, die sich an Reinigungsstäbchen klammern, werden millionenfach in sozialen Netzwerken geteilt.

Rund drei Viertel des Mülls im Meer besteht aus Kunststoffen, umgangssprachlich auch als Plastik bezeichnet. Diese Stoffgruppe umfasst eine Reihe verschiedener Werkstoffe, die aus kohlenstoffbasierten Makromolekülen, sogenannten Polymeren, bestehen. Mehr als 90 Prozent der bekannten Kunststoffe werden aus Erdöl hergestellt, enthalten abhängig von ihrem Verwendungszweck jedoch eine Vielzahl weiterer Chemikalien, darunter zum Beispiel Weichmacher, Lösungs- und Härtungsmittel.

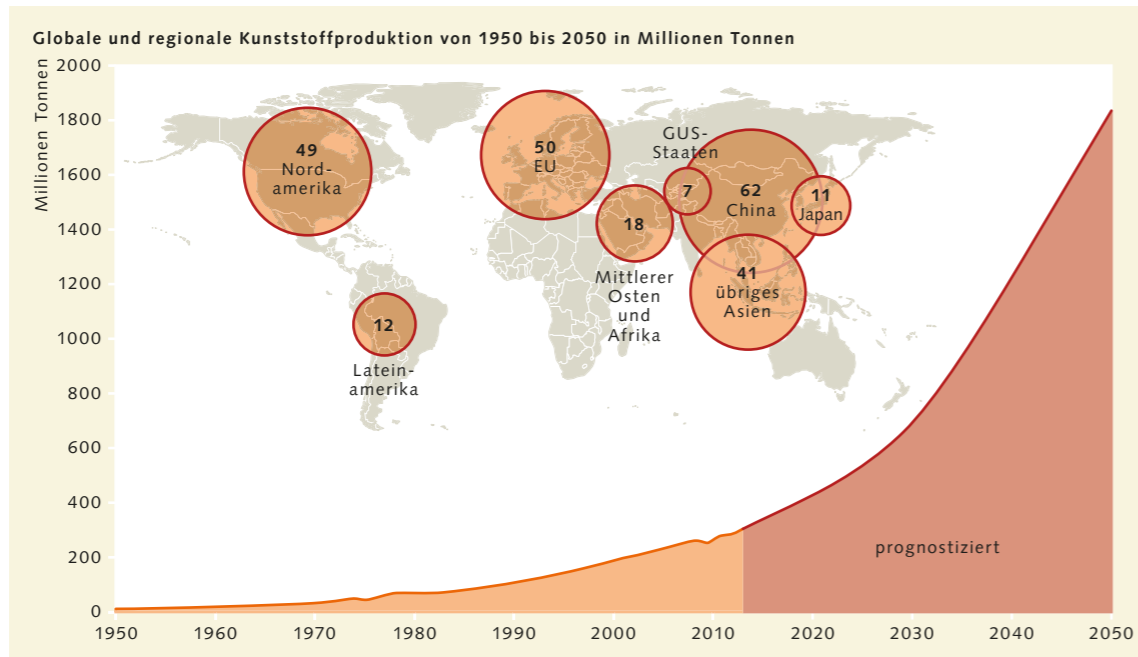
Es gibt mittlerweile eine Reihe biologisch abbaubarer Plastikarten, die in industriellem Maßstab hergestellt und eingesetzt werden. Der überwiegende Teil der Kunststoffe aber ist konventioneller Art und braucht mehrere Jahrhunderte, um auf natürliche Weise zersetzt zu werden. Gelangen solche konventionellen Kunststoffe auf Müllhalden oder werden sie in der Umwelt entsorgt, verschwinden sie nicht. Im Gegenteil: Sie sammeln sich an – und das in ausuferndem Maß.

Kunststoffe sind vielseitig einsetzbar und günstig herzustellen, weshalb die weltweite Produktion in den zurückliegenden 70 Jahren stark angestiegen ist. Wurden im Jahr 1950 noch 1,5 Millionen Tonnen Kunststoff hergestellt, waren es 2019 rund 368 Millionen Tonnen pro Jahr, also das 245-Fache. Hinzu kommen pro Jahr noch mehr als 380 Millionen Tonnen synthetische Harze und Fasern, die in der Textilherstellung eingesetzt werden und gesondert gezählt werden. Sollte sich dieser Siegeszug fortsetzen, dürfte die jährliche Kunststoffproduktion im Jahr 2050 die Zwei-Milliarden-Tonnen-Marke erreichen, wobei Harze und Fasern in dieser Kalkulation noch nicht einmal mit eingeschlossen sind.

Obwohl es mittlerweile vor allem in Europa eine Reihe von Maßnahmen gibt, Kunststoffe zu recyceln und wiederzuverwerten, wird der größte Teil des Plastiks weiterhin als Müll entsorgt, vielerorts auch auf unangebrachte Weise, sodass die Menge an Kunststoffen, die in die Meere eingetragen wird, stetig steigt. Aktuelle Schätzungen zufolge enden jährlich zwischen 8,2 und 12,2 Millionen Tonnen Kunststoff im Meer. Diese Menge entspricht etwa drei Prozent der Gesamtproduktion. Bezieht man Bäche, Seen und Flüsse in die Berechnung mit ein, landen neuer Forschung zufolge etwa elf Prozent des produzierten Plastikmülls in Gewässern; im Jahr 2016 waren das zwischen 19 und 23 Millionen Tonnen Kunststoff.

Was mit dem Plastik im Meer geschieht und vor allem welche Auswirkungen diese Verschmutzung auf die Gesundheit der Meereslebewesen und des Menschen hat, erschließt sich der Wissenschaft jedoch nur langsam. Einigkeit herrscht mittlerweile darüber, dass die Plastikverschmutzung der Meere eine global ernstzunehmende Gefahr für Mensch und Tier darstellt, weil sich Lebewesen in dem treibenden Müll verfangen können, aber auch weil die Kunststoffstücke und -partikel gefressen oder auf-

6.14 > Der kunststoffproduzierenden Industrie wird ein gigantisches Wachstum vorausgesagt. Im Jahr 2013 produzierte der Sektor noch 250 Millionen Tonnen Kunststoff pro Jahr (Karte), vier Jahre später waren es bereits 350 Millionen Tonnen. Sollte diese Entwicklung voranschreiten, werden es im Jahr 2050 rund zwei Milliarden Tonnen sein.



genommen werden und sich zudem chemische Schadstoffe an ihnen anhaften und anreichern.

Fachleute einer UN-Expertengruppe zu Müll im Meer und Mikroplastik kommen in ihrer neuesten Analyse sogar zu dem Schluss, dass Kunststoffe nicht nur den größten Anteil am Meeresmüll ausmachen, sondern im Vergleich zu allen anderen Materialien auch am langlebigsten sind und den größten Schaden anrichten. Schätzungen zufolge büßen die Ozeane infolge der Plastikverschmutzung pro Jahr Leistungen und Funktionen in einem Wert von 500 bis 2500 Milliarden US-Dollar ein.

Kunststoffe gelangen auf ganz unterschiedlichen Wegen ins Meer. Die größten Mengen werden jedoch über zwei Hauptpfade eingetragen:

- als deutlich sichtbarer Plastikabfall (Makroplastik), den der Mensch absichtlich oder unabsichtlich in der Umwelt entsorgt und der von Wind oder Flüssen in den Ozean getragen wird (dazu gehören auch im Meer entsorgte oder verloren gegangene Fischernetze, die sogenannten Geisternetze);
- mit bloßem Auge kaum zu erkennende Mikroplastikpartikel, die entweder bewusst in Produkten eingesetzt werden (so zum Beispiel in Kosmetikerzeugnis-

sen wie Duschgel und Zahnpasta) oder als unbeabsichtigte Nebenprodukte entstehen. Zu Letzteren zählen vor allem der Reifenabrieb im Straßenverkehr sowie Plastikfasern, die sich beim Waschen synthetischer Kleidung lösen.

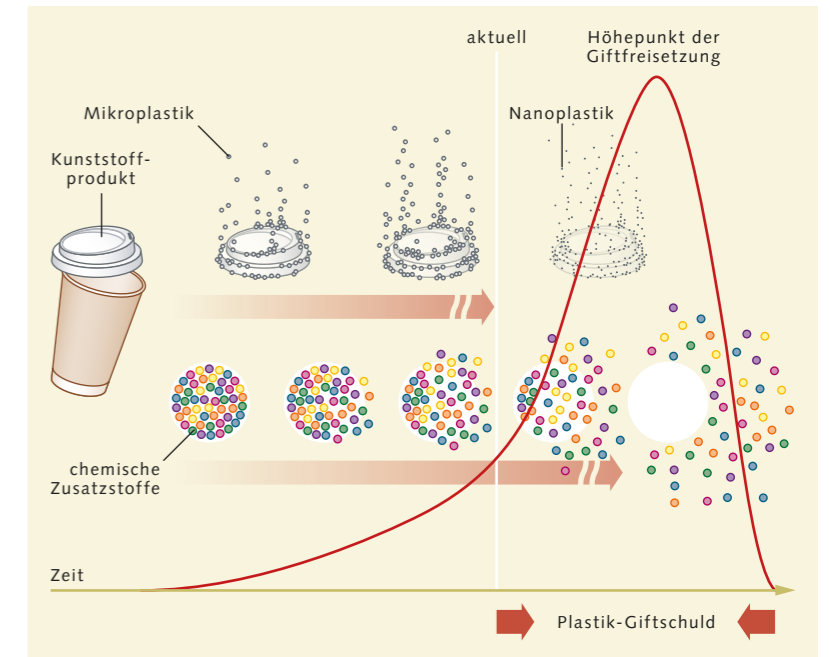
Als „Mikroplastik“ werden Kunststoffteilchen mit einer Größe von weniger als fünf Millimetern bezeichnet. Fachleute unterscheiden Mikroplastik, welches bereits als Mikropartikel in das Meer gelangt ist, und solches, das Überreste einstiger größerer Kunststoffstücke darstellt. Diese zerfallen nämlich, wenn sie Sonne und Meerwasser ausgesetzt sind, in immer kleinere Teilchen – bis hin zu Nanopartikeln mit einer Größe von weniger als einem Mikrometer.

Das Hauptproblem dabei ist: Je weiter ein Kunststoff zerbricht, desto mehr Oberfläche bieten die entstehenden Einzelteile und desto mehr im Kunststoff enthaltene Gifte und Zusatzstoffe können über diese Oberfläche in die Umwelt entweichen. Wissenschaftler sprechen deshalb von einer Giftschuld, die wir Menschen bei der Plastiknutzung eingehen. Das heißt, Kunststoffe, die wir heute entsorgen, werden erst im Lauf der Zeit ihre volle giftige Umweltwirkung entfalten.

Im Meer treibendes Makroplastik stammt häufig direkt aus den Küstenregionen, vor allem aus Küstenstaaten, in denen es noch keine ausreichend organisierte Abfallentsorgung gibt. Mikroplastikpartikel dagegen können auch aus küstenfernen Regionen stammen. Über das Abwasser gelangen sie in die Flüsse ebenso wie über das Regenwasser, welches Reifenabrieb von den Straßen wäscht. Ein Teil der Partikel wird zudem über die Luft eingetragen. Addiert man die Menge aller eingetragenen Mikroplastikpartikel, macht ihr Gewicht mittlerweile 15 Prozent der ins Meer verfrachteten Kunststoffe aus.

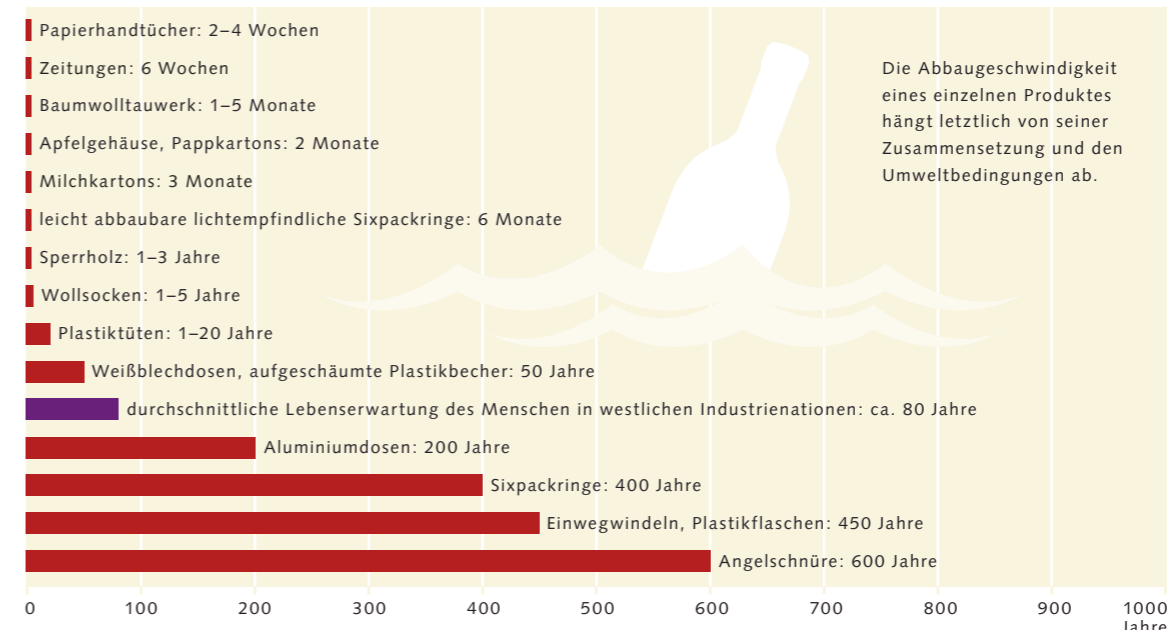
Plastik ist mittlerweile in allen Meeresregionen und in allen Wassertiefen zu finden, selbst im Meeres der Arktis. Je nach Form, Größe, Dichte, Gewicht und Algenbewuchs treiben die Kunststoffstücke an der Wasseroberfläche, in der Wassersäule oder sinken in die Tiefe.

Wohin treibender Plastikmüll verfrachtet wird und ob er sich irgendwo ansammelt, bestimmen in erster Linie die Meeresströmungen an der Wasseroberfläche sowie Wasserbewegungen durch Gezeiten, Sturmfluten oder aber Flüsse, die in die Meere münden. Computermodellierungen zufolge konzentriert sich der Plastikmüll im Meer in vielen natürlich auftretenden Meereswirbeln, vor allem aber in den fünf subtropischen Wirbeln der Ozeane. Wer jedoch glaubt, dass der Müll in diesen



Regionen so dicht treibt, dass er sich einfach einfangen ließe, der irrt. Auch in den sogenannten Müllstrudeln der Meere (garbage patches) reichern sich vor allem Mikroplastikpartikel an, die mit bloßem Auge nur schwer zu erkennen sind.

6.15 > Weil Kunststoffe ihre Gift- und Zusatzstoffe nur langsam an die Umwelt abgeben, verzögert sich deren volle schädliche Wirkung. Forschende sprechen deshalb von einer Giftschuld, die wir Menschen mit dem Gebrauch erdölbasierter Kunststoffe eingehen.



6.16 > Viele Abfälle im Meer bauen sich nur langsam ab. Besonders haltbar sind Kunststoffprodukte oder Fischleinen aus Nylon. Zwar zerbrechen viele Plastikteile in immer kleiner werdende Stückchen. Bis diese ganz abgebaut sind, vergehen aber unter Umständen Jahrhunderte (Schätzwerte).

6.17 > Ein Pottwal hat sich in einem Geisternetz verfangen und kämpft sich mit letzter Kraft an die Wasseroberfläche, um zu atmen. Nachdem dieses Foto entstand, tauchte das Tier ab und wurde trotz intensiver Suche nie wieder gesehen.



Die verheerenden Folgen von Müll im Meer

Die Plastikverschmutzung der Meere hat dramatische Ausmaße angenommen und schadet Mensch und Tierwelt auf direkte und indirekte Weise. Von Plastik verstopfte Flussmündungen und Meeresbuchten sind eine Brutstätte für Krankheiten und mindern die Lebensqualität und die Verdienstmöglichkeiten in vielen Küstenstädten. Touristen meiden solche verdreckten Orte; Fischer machen in der Müllsuppe kaum noch einen Fang; Küstengemeinden in Urlaubsregionen müssen inzwischen viel Geld ausgeben, um ihre Strände sauber zu halten. Infolge der weltweiten Plastikbelastung der Meere verbuchen allein der globale Tourismussektor, die Fischerei und die Schifffahrt jährlich Kosten und Einnahmeausfälle in einer Gesamthöhe von mindestens 13 Milliarden US-Dollar.

Die Tier- und Pflanzenwelt der Meere leidet auf unterschiedliche Weise unter der Müllverschmutzung. Probleme entstehen dadurch, dass:

- sich Lebewesen im Plastikmüll oder in entsorgten Fischernetzen und -leinen verfangen und sterben, sofern es ihnen nicht gelingt, sich wieder zu befreien;

- Meeresorganismen Kunststoffreste für Beute halten, diese fressen und anschließend mit vollem Magen verhungern – oder aber die Giftstoffe aufnehmen, die aus dem Kunststoff austreten beziehungsweise sich während der Zeit im Meer an diesem angereichert haben;
- Raubtiere des Meeres Beutetiere verspeisen, die ihrerseits Plastik im Verdauungstrakt hatten und den Kunststoff auf diese Weise aufnehmen;
- sich vor allem kleinere Meeresorganismen auf treibendem Müll festsetzen, mit ihm über weite Strecken verdriften und möglicherweise anderenorts als fremde Arten einwandern;
- Müll oder Treibnetze marine Lebensräume zerstören, indem sie sich dort ansammeln;
- chemische Schadstoffe aus den Kunststoffen austreten und ihre schädliche Wirkung im Meer entfalten.

Forschende haben bislang mindestens 700 marine Arten identifiziert, deren Leben in Gefahr gerät, wenn sie mit Plastikmüll in Berührung kommen. Für die meisten von ihnen stellen dabei größere Kunststoffteile (Tüten, Netze, Flaschen etc.) das größte Risiko dar. Mittlerweile gibt es aber auch klare Belege dafür, dass eine Vielzahl von

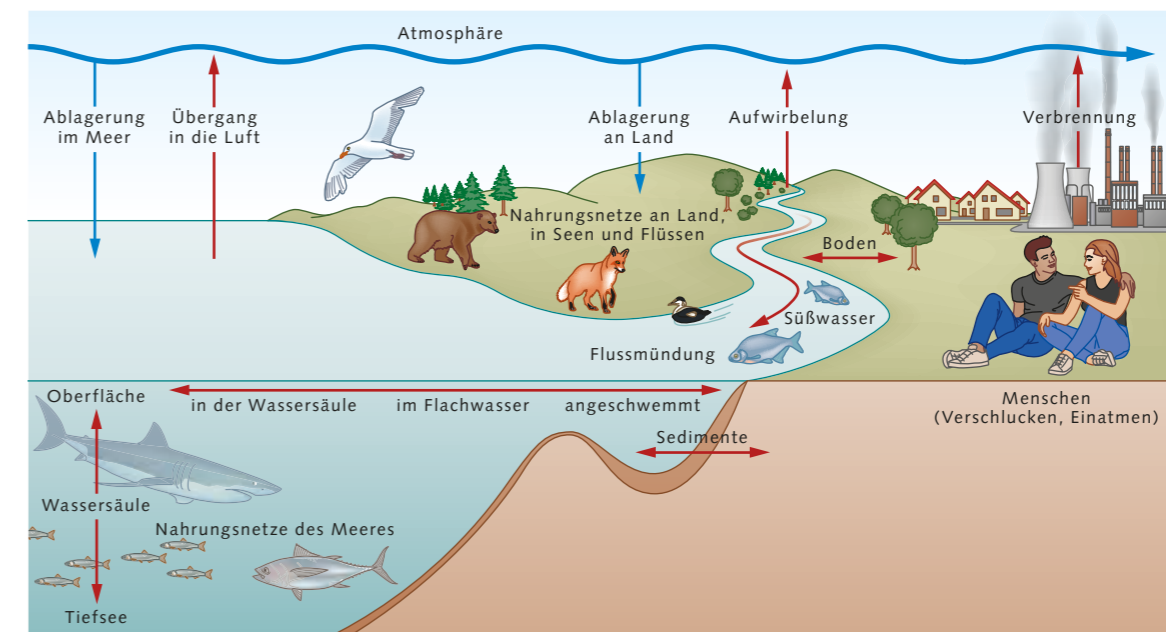
Meeresorganismen Mikroplastikpartikel aufnehmen, darunter Meeressäuger, Seevögel, Fische und Zooplanktonarten am Anfang der Nahrungsnetze. Ob die Mikroplastikpartikel jedoch auch in den Blutkreislauf und später in das Muskelgewebe des jeweiligen Tieres gelangen, hängt von der Anatomie und Funktionsweise seines Verdauungstraktes ab. Bei Experimenten mit Wolfsbarschen beispielsweise zeigte sich, dass die Speisefische nahezu alle gefressenen Mikroplastikpartikel über den Kot wieder ausschieden. Die Gefahr, dass Menschen Kunststoffpartikel aufnehmen, wenn sie Filets dieser Fischart essen, ist demnach äußerst gering.

Dennoch besteht dringender Handlungsbedarf: Ändert die Menschheit ihren Verbrauch und Umgang mit Kunststoffen nicht grundlegend, werden Schätzungen zufolge im Jahr 2040 bis zu 29 Millionen Tonnen Kunststoffmüll pro Jahr in den Ozeanen enden. Diese Menge würde ausreichen, um auf jedem Meter Küstenlinie der Welt 50 Kilogramm Plastikmüll abzuladen. Für Mikroplastikpartikel, so zeigt neue Forschung, ist der Ozean mittlerweile keine Endstation mehr. Stattdessen wandern die winzigen Plastikteilchen in riesigen Kreisläufen durch alle Ebenen des Systems Erde und sind mittlerweile in der Luft ebenso sicher nachzuweisen wie im Erdreich und in den Tiefen der Ozeane.

Ein Flickenteppich an Vorschriften

Angesichts der drastischen Auswirkungen der Plastikverschmutzung an Land und im Meer wird mittlerweile auf vielen Ebenen nach Lösungen gesucht. 108 Staaten und die Europäische Kommission traten im Jahr 1995 dem Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities (GPA) bei, in dessen Rahmen Regierungen Maßnahmen zum Schutz der Meere vor Müll, Überdüngung und verdreckten Abwässern diskutieren. Im Jahr 2012 riefen die Vereinten Nationen zudem die Globale Partnerschaft zu Meeresmüll (Global Partnership on Marine Litter, GPML) ins Leben – eine internationale Wissens- und Kooperationsplattform, der Akteure aus Politik, Wissenschaft, Industrie und Zivilgesellschaft beitreten können.

Die Umweltversammlung der Vereinten Nationen (United Nations Environment Assembly, UNEA) hat bislang vier Resolutionen zu Mikroplastik und Müll im Meer verabschiedet und im Jahr 2017 die Einberufung einer UNEA-Expertengruppe zu diesem Thema beschlossen. Diese soll innovative Handlungsoptionen auf nationaler, überregionaler und internationaler Ebene identifizieren, deren Machbarkeit bewerten und erkunden, welche Umstände die verschiedenen Akteure bislang



6.18 > Mikroplastikpartikel wandern inzwischen in einem großen Kreislauf durch die einzelnen Komponenten des Systems Erde und sind daher überall zu finden – in der Luft, im Boden, in den Gewässern und in allen Nahrungsnetzen.

Munitionsbelastete Gebiete im Meer: Kampf gegen die giftigen Altlasten des Krieges

Mehr als 75 Jahre sind seit dem Ende des Zweiten Weltkrieges vergangen. Altlasten dieses Krieges aber beeinträchtigen die Meere und Ozeane noch immer und sind mittlerweile ein ernstzunehmendes Umweltproblem geworden. Bis heute liegen nämlich Millionen Tonnen explosiver und chemischer Kampfmittel aus dem Zweiten und auch aus dem Ersten Weltkrieg am Meeresgrund und rosten vor sich hin.

Ein kleiner Prozentsatz von ihnen stammt aus Kampfhandlungen, für die Seegebiete vermint wurden. Oder rührt von Aktionen her, bei denen abgefeuerte Torpedos, Fliegerbomben oder Luftabwehrgeschosse als Blindgänger in der Tiefe versanken. Der überwiegende Teil der Kampfmittel jedoch wurde bewusst im Meer verklappt – zuerst von der deutschen Wehrmacht, die auf ihrem Rückzug sichergehen wollte, dass die ihr verbliebenen chemischen Kampfstoffe nicht den späteren Siegermächten in die Hände fallen würden. Später, als es darum ging, Deutschland nach dem Kriegsende so schnell wie möglich zu entwaffnen, versenkten die Alliierten dann Schiffsladungen voll Munition in ausgesuchten Versenkungsgebieten der Nord- und Ostsee.

Die Verklappung im Meer galt bis in die 1960er-Jahre hinein als eine sichere und kostengünstige Verfahrensweise, Kampfmittel zu beseitigen. Aus diesem Grund entsorgten britische und US-amerikanische Streitkräfte in den Folgejahren auch eigene veraltete Weltkriegsmunition im Meer. Die Briten wählten dafür Beaufort's Dyke, einen 250 Meter tiefen Graben zwischen Schottland und Nordirland, in dem Experten über eine Million Tonnen Munition vermuten. Die Amerikaner dagegen verklappten ihre Kampfmittelreste in den Gewässern vor Hawaii, Nova Scotia, Neufundland – und wahrscheinlich noch an so manch anderer Stelle.

Entsprechende Unterlagen im Ausland einzusehen, gelingt Forschenden aufgrund der militärischen Geheimhaltung nur selten. Sie wissen mittlerweile aber, dass es weltweit eine Vielzahl weiterer munitionsbelasteter Gebiete im Meer gibt – im Mittelmeer und Schwarzen Meer ebenso wie an der US-Westküste, im Golf von Mexiko, vor der Ost- und Westküste Australiens sowie rund um Japan. Allein in Munitionsversenkungsgebieten der deutschen Nord- und Ostsee lagern nach bisherigen Erkenntnissen 1,6 Millionen Tonnen Kampfmittel am Meeresgrund.

Ein globales Umweltproblem

Rostende Munition im Meer stellt somit weltweit eine Bedrohung für Mensch und Meeresbewohner dar, denn sie birgt zweierlei Gefahren. Erstens können explosive Kampfmittel noch immer detonieren – beispielsweise, wenn Minen durch Grundnetzfisherei bewegt werden oder

Bauarbeiten für Windparks beginnen, ohne dass der Meeresboden zuvor auf Altmunition untersucht wurde.

Die Explosion einer Seemine würde eine Schockwelle auslösen, die sämtliche Meeresbewohner in der näheren Umgebung tötet und auch über weite Distanzen die Blutgefäße und Lungenbläschen von Walen, Robben und anderen Meeressäugern zerfetzt. Taucher und Schiffsbesatzungen wären ebenfalls in großer Gefahr, weshalb in deutschen Gewässern vor jeder Baumaßnahme der Meeresgrund auf Kampfmittel hin untersucht werden muss. Wird Munition gefunden und ist diese transportfähig, wird sie an Bord eines Schiffes gehoben, an Land transportiert und dort vernichtet. Ist eine Hebung aus Sicherheitsgründen ausgeschlossen, wird diese Munition aufwendig behandelt, in einen Hebesack verbracht und in der Ostsee in eines der für Bauarbeiten gesperrten Versenkungsgebiete geschleppt. Eine finale Entsorgung scheidet in diesem Fall aus, weil bislang kein Verfahren existiert, mit dem sich die Kampfmittel umweltfreundlich im Meer entschärfen ließen. In der Nordsee dagegen schleppt man hochexplosive Kampfmittel mitunter auf Sandbänke, die bei Ebbe trockenfallen. Bei Niedrigwasser wird die Munition dann gesprengt, ohne großen Schaden im Meer anzurichten.

Die zweite Umweltgefahr ist chemischer Natur. Sowohl explosive als auch chemische Kampfmittel enthalten verschiedene Komponenten, die durch den zunehmenden Zerfall der metallenen Munitionshüllen immer stärker mit Meerwasser in Kontakt kommen, sich darin lösen und von den Strömungen überall im Meer verteilt werden. Der in Sprengstoff enthaltene Explosivstoff Trinitrotoluol (TNT) beispielsweise zerfällt dabei in bis zu 50 verschiedene Umwandlungsprodukte, auch Metaboliten genannt. Die zwei am häufigsten auftretenden TNT-Metaboliten sind wie der Ausgangsstoff nachweislich krebserregend und konnten bereits in Muscheln und in den Organen von Fischen aus Versenkungsgebieten der Ostsee nachgewiesen werden. Das Fischfleisch war dagegen kaum belastet.

Als Forschende aus Kiel im Jahr 2018 in verschiedenen Regionen der deutschen Ostsee Wasserproben nahmen und diese untersuchten, fanden sie in jeder der circa 1000 Proben Spuren von TNT oder seinen Metaboliten, denn der Stoff wird im Meer zunächst umgebaut und nur äußerst langsam vollständig abgebaut. Welche langfristigen Auswirkungen die sprengstofftypischen Verbindungen auf die Lebensgemeinschaften der Nord- und Ostsee haben und ab welcher Konzentration sie nachweislich Schaden anrichten, untersuchen die Forschenden derzeit in verschiedenen Projekten. Auffallend hohe TNT-Konzentrationen im Wasser konnten sie bislang nur direkt in den Versenkungsgebieten nachweisen.

Chemische Kampfmittel wurden sowohl in Fässern als auch in Form von Bomben und Granaten versenkt. Meist enthielten sie Nervengifte wie Tabun und Phosgen oder das hautschädigende Senfgas. Tabun und Phosgen werden im Meerwasser verhältnismäßig schnell abgebaut. Das flüssige Senfgas dagegen durchläuft den sogenannten Kokosnuss-Effekt. Dabei bildet es eine harte Kruste und verkapselt sich im Innern. Finden Fischer durch Zufall eine solche Senfgas-Nuss in ihrem Netzen und kommen sie mit deren flüssigen Kern in Berührung, verursacht die krebserregende Chemikalie auch heute noch so schwere Verätzungen der Haut wie vor mehr als 100 Jahren.

Die Zeit drängt: Lösungsansätze aus der Wissenschaft

Je länger die Kampfmittel im Meer liegen, desto stärker rosten die Munitionshüllen. Gleichzeitig werden die Objekte immer schwerer zu handhaben – und mehr und mehr Inhaltsstoffe lösen sich im Wasser. Wissenschaftler fordern aufgrund dieser zunehmenden Umweltrisiken den Aufbau langfristiger Beobachtungsprogramme für die Munitionsberge in den Versenkungsgebieten. Dazu gehören:

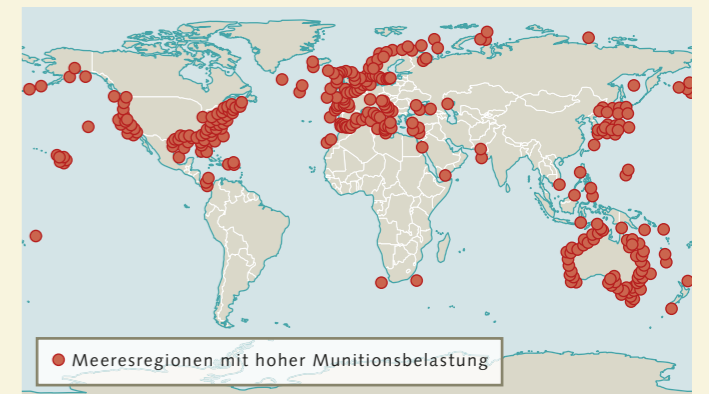
- die wissenschaftliche Auswertung historischer Aufzeichnungen zu Kampfhandlungen und zur Munitionsverklappung (Wo könnte Munition liegen?);
- die vollständige Kartierung der bekannten munitionsbelasteten Gebiete (Wie viel Munition lagert am Meeresboden?);
- regelmäßige Kontrollen der chemischen Belastung des Meeres und seiner Lebensgemeinschaften (Welche Chemikalien treten in welchen Mengen aus?);
- Begleitstudien zu den Auswirkungen von Stürmen, Meeresströmungen, Temperatur, Salz- und Sauerstoffgehalt auf die Munition (mechanische Abriebprozesse, Hüllenerfall, Verlagerung, Bedeckung durch Sedimente etc.);
- die Entwicklung neuer Methoden zur sicheren Entsorgung der Kampfmittel.

Die Forschenden haben in den zurückliegenden Jahren mehrere Verfahren zur Kartierung des Meeresbodens genutzt und verfeinert. Durch die Kombination von Fotoaufnahmen, Fächerecholot- und Magnetik-Kartierungen können die Wissenschaftler mittlerweile beeindruckend hochauflösende Aufnahmen vom Meeresgrund erstellen, auf denen Minen, Waffenkisten oder Torpedos gut von Steinen oder anderen natürlichen Objekten zu unterscheiden sind. Ähnliche Fortschritte gibt

es bei der Entwicklung schneller Analysemethoden. Mithilfe mobiler Massenspektrometer können die Wissenschaftler TNT und andere sprengstofftypische Verbindungen inzwischen im Meer detektieren.

Im nächsten Schritt wollen deutsche Experten und ihre vielen Partner ein technisches Verfahren zur sicheren und umweltschonenden Entsorgung der munitionsbelasteten Gebiete direkt auf See entwickeln. Die Idee lautet, die Munition zu heben und auf einen Ponton zu verladen. Dort würden Roboter die Munitionshülsen aufschneiden und alle chemischen Inhaltsstoffe entfernen. Das Altmetall könnte anschließend recycelt werden; die Chemikalien würde man thermisch behandeln. Bis zum Jahr 2025 wollen die Wissenschaftler den ersten Prototyp einer solchen Anlage gebaut und getestet haben.

Alle relevanten Daten aus der internationalen Forschung zur Altmunition im Meer werden Wissenschaftler in Kürze in einem kartengestützten Web-Informationsportal namens AmuCad.org zur Verfügung stellen. Das System nutzt künstliche Intelligenz und andere Datenanalyseverfahren, um Regionen mit besonderem Risikopotenzial zu identifizieren. Anhand eines Ampelsystems sollen Entscheidungsträger künftig besser erkennen können, in welchen Meeresgebieten der Munitionszerfall besonders schnell voranschreitet, aber auch, welche munitionsreichen Gebiete immer intensiver vom Menschen genutzt werden. In beiden Fällen wäre es ratsam, Beobachtungsprogramme zu installieren und Kampfmittelräumungen vorzubereiten.



6.19 > Schrotthalde Ozean: Munitionslagerstätten im Meer sind ein globales Problem. Vor allem frühere Kriegsparteien wie die USA, Japan, Großbritannien und Australien haben alte Bestände im Ozean versenkt und kämpfen nun mit den Folgen.

noch daran hindern, die Plastikflut effektiv zu bekämpfen.

Außerdem beschlossen die Regierungen der 20 größten Industrienationen im Jahr 2019, den Eintrag neuen Plastikmülls in die Meere bis zum Jahr 2050 auf Null zu reduzieren. Gelingen soll dieser Plan durch die Einführung einer Kreislaufwirtschaft für kohlenstoffbasierte Kunststoffe, ein verbessertes Abfallmanagement sowie die Entwicklung neuer, weniger umweltschädlicher Materialien. Mit dieser Zielsetzung rücken die Industrienationen auch von der jahrzehntelangen politischen Strategie ab, die Plastikverschmutzung der Umwelt als ein reines Konsumentenproblem zu betrachten – und die eigentliche Ursache, nämlich die Herstellung und vielseitige Verwendung langlebiger Kunststoffe, völlig außen vor zu lassen.

Auf überregionaler Ebene sind Vorschriften zum Umgang mit Mülleinträgen von Land mittlerweile in einer Reihe regionaler Meeresschutzabkommen festgeschrieben – so zum Beispiel in der Karibik (Cartagena-Konvention), im Mittelmeerraum (Barcelona-Konvention), im westlichen Afrika (Abidjan-Konvention) und im westlichen Indischen Ozean (Nairobi-Konvention). Die Verantwortlichen für den Ostseeraum (HELCOM-Konvention), den Nordostatlantik (OSPAR-Konvention) und die Meere

Ostasiens haben sich sogar auf konkrete Pläne einigen können, mit denen sie Mülleinträge in die jeweiligen Gewässer verhindern oder aber bekämpfen wollen. Zehn regionale Meeresabkommen verbieten zudem Schiffs- und Plattformbesatzungen, Plastikmüll im Meer zu entsorgen, und folgen damit einem internationalen Verbot, festgeschrieben im MARPOL-Abkommen, dem Internationalen Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe. Fachleute geben jedoch zu bedenken, dass regionalen Meeresinitiativen häufig das Geld, die personellen Kapazitäten sowie die Kontakte zur örtlichen Wirtschaft fehlen, um die eigenen Vorschriften und Beschlüsse auch flächendeckend und zudem wirkungsvoll durchzusetzen.

Auf nationaler Ebene ergreifen Staaten zunehmend Maßnahmen, um die Umweltverschmutzung durch Plastik einzudämmen oder aber gänzlich zu verhindern. Viele dieser Maßnahmen zielen darauf ab, die Nutzung von Einweg-Plastikprodukten wie Tüten oder Geschirr zu unterbinden, sei es durch Verkaufsverbote oder durch hohe Steuern auf die Produkte. Durch den Ausbruch der Coronapandemie zu Beginn 2020 sind jedoch viele dieser Bemühungen zum Stillstand gekommen. Aus Angst vor Ansteckung werden weltweit wieder mehr Lebensmittel in Kunststoff verpackt, Getränke nur noch in Einwegbe-

chern verkauft und generell wieder mehr Einweggeschirr ausgegeben.

Auch viele andere elementare Fragen sind weiterhin ungelöst. Eine der größten Herausforderungen lautet, weltweit funktionierende Abfallentsorgungssysteme aufzubauen. In vielen Staaten sind noch immer viel zu wenig Haushalte an lokale Müllentsorgungssysteme angeschlossen. Ohne einen solchen Anschluss jedoch können entsorgte Kunststoffprodukte weder eingesammelt noch wiederverwertet werden. Forschende haben dazu Hochrechnungen durchgeführt: Sollte es bis zum Jahr 2040 gelingen, allen im Privatsektor anfallenden Kunststoffmüll ordnungsgemäß zu entsorgen, müssten bereits seit dem Jahr 2020 pro Woche mehr als eine Million Haushalte neu an die Müllabfuhr angeschlossen werden. Eine Mammutaufgabe, die enorme Investitionen verlangt.

Experten sehen außerdem den dringenden Bedarf, dass:

- die wissenschaftlichen Beobachtungssysteme zur Müllverschmutzung verbessert werden, um zu erfahren, wo und über welche Wege Abfälle in die Umwelt gelangen;
- umweltfreundliche Alternativen für alle nicht biologisch abbaubaren Kunststoffarten entwickelt werden;
- Produzenten die Verantwortung dafür übernehmen, dass die von ihnen hergestellten Produkte am Ende recycelt und ihre Bestandteile der Kreislaufwirtschaft wieder zugeführt werden;
- unser Wirtschaftssystem grundlegend transformiert wird, sodass es die Kriterien einer nachhaltigen Entwicklung erfüllen kann. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass jeder einzelne Verbraucher sein Konsumverhalten ebenfalls grundlegend ändert.

Parallel zu diesen Entwicklungen auf politischer Ebene gibt es mittlerweile eine Vielzahl an Initiativen der Wirtschaft und Zivilgesellschaft. Dazu gehören:

Weltweite Müllsammel-Aktionen an Stränden und Flussläufen

Eine der bekanntesten Initiativen ist der Tag der Küstenreinigung (International Coastal Cleanup Day), den die

US-amerikanische Umweltschutzorganisation Ocean Conservancy seit mehr als 30 Jahren im September durchführt. Im Jahr 2019 reinigten die Meeresschützer und ihre Partnerorganisationen weltweit fast 40 000 Kilometer Küstenlinie und sammelten 9,4 Millionen Kilogramm Müll ein, darunter vor allem Lebensmittelverpackungen, Zigarettenstummel, Plastikflaschen und Plastiktrinkhalme.

Die Entwicklung neuer Technologien zur Müllsammlung und -entsorgung

Eine Vielzahl kleiner Start-up-Unternehmen entwickelt mittlerweile diverse neue Technologien, mit denen sich Kunststoffe aus dem Meer entfernen und bestenfalls gewinnbringend weiterverarbeiten lassen. Die Palette möglicher Lösungen reicht von riesigen Plastikbarrieren, die an der Meeresoberfläche treibenden Müll einfangen sollen, über Müll-Sammelboote mit großen Förderbändern bis hin zu Wasser-Filteranlagen und autonomen Müll-Robotern, die in Hafenbecken patrouillieren und Treibgut einsammeln.

Initiativen zum Ausbau der Kreislaufwirtschaft

Auch Industrie und Wirtschaft werden inzwischen aktiv. Mehr als 500 Unternehmen und Organisationen sind beispielsweise dem sogenannten New Plastics Economy Global Commitment beigetreten, einer weltweiten Initiative der Ellen-MacArthur-Stiftung und des Umweltprogramms der Vereinten Nationen. Gemeinsam wollen die Unterzeichner den Kunststoffanteil in der Verpackungsindustrie deutlich reduzieren, auf unnötige Verpackungen verzichten und gezielt auf eine geschlossene Kreislaufwirtschaft hinarbeiten, sodass Kunststoffe, die für Verpackungszwecke eingesetzt werden, niemals als Müll entsorgt werden müssen.

Fortschritte gebe es vor allem bei der Wiederverwendung recycelter Kunststoffe im Verpackungssektor, schreiben die Initiatoren in ihrem Jahresbericht 2020. Noch immer aber ließen sich viele der verwendeten Kunststoffe in einem viel zu geringen Maß recyceln. Darüber hinaus sei die Zahl der weltweit verkauften Einweg-Kunststoffartikel noch immer viel zu hoch.

Auch aus diesem Grund fordern Wissenschaftler und eine Reihe von Regierungen ein internationales Abkommen zur Eindämmung der Plastikverschmutzung unseres

6.20 > Ein elfjähriges Mädchen sammelt Plastikabfälle auf Jakartas größter Müllhalde. Offene Abfallberge wie dieser verursachen vielerlei Umweltprobleme. Methan entweicht in die Atmosphäre, giftiges Sickerwasser in den Untergrund. Der Wind weht zudem alles davon, was nicht schwer genug ist, um liegen zu bleiben.





Planeten, mit klaren gemeinsamen Zielvorgaben und Selbstverpflichtungen aller Nationen. Die Europäische Kommission und weitere hochrangige politische Institutionen unterstützen diese Forderung. Auf internationaler Ebene werden bereits seit dem Jahr 2019 Vorgespräche dazu geführt, wie ein solches Abkommen aussehen müsste. Kritiker entgegnen, dass die langfristigen Verhandlungen für ein solches Abkommen dem Kampf gegen Plastikmüll eher schaden, weil sie viele Akteure davon abhalten, sofort wirkungsvolle Maßnahmen in die Realität umzusetzen.

Die Umweltversammlung der Vereinten Nationen befürwortet daher einen Doppelsatz: Während ihre Expertengruppe ergründet, ob ein internationales Abkom-

men zielführend wäre und welche Leitlinien es setzen müsste, sollen sich Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft darauf konzentrieren, existierende nationale Regelungen umzusetzen, eine Kreislaufwirtschaft einzuführen, das Problembewusstsein in der Bevölkerung zu schärfen sowie die Forschung zum Thema Plastik im Meer auszubauen. Fakt ist nämlich zweierlei: Erstens gibt es für das riesige Plastikproblem der Menschheit nicht die eine richtige Lösung. Stattdessen wird eine Vielzahl an Maßnahmen gebraucht. Zweitens drängt die Zeit. Solange wir Menschen weiter so agieren wie bisher, wird die Plastikverschmutzung des Ozeans stark ansteigen, mit drastischen Konsequenzen für die Gesundheit all jener, die im Meer leben und von ihm profitieren.

6.21 > Die internationale Staatengemeinschaft versucht, durch eine Reihe rechtlich bindender Abkommen den Umgang mit Chemikalien und Abfällen weltweit zu regulieren. Die folgende Tabelle listet die bedeutendsten Übereinkommen, beschreibt kurz deren Ziele sowie nennt die Zahl der betroffenen Substanzen und Unterzeichnerstaaten.

Übereinkommen	Verabschiedung und Inkrafttreten	Ziele	Anzahl erfasster Chemikalien	Anzahl der Vertragsparteien (Stand: 14.1.2019)
Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen 	<ul style="list-style-type: none"> verabschiedet auf der Konferenz der Bevollmächtigten über das Protokoll zu Fluorchlorkohlenwasserstoffen des Wiener Übereinkommens zum Schutz der Ozonschicht in Montreal 1987; 1989 in Kraft getreten 	<ul style="list-style-type: none"> Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt vor schädlichen Auswirkungen, die durch menschliche Tätigkeiten, welche die Ozonschicht verändern oder wahrscheinlich verändern, verursacht werden oder wahrscheinlich verursacht werden; Schutz der Ozonschicht durch Vorsorgemaßnahmen zur ausgewogenen Regelung der gesamten weltweiten Emissionen von Stoffen, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen, mit dem Endziel, diese Stoffe auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse zu beseitigen, wobei technische und wirtschaftliche Erwägungen sowie die Entwicklungsbedürfnisse der Entwicklungsländer zu berücksichtigen sind. 	144	197
Baseler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung 	<ul style="list-style-type: none"> angenommen auf der Konferenz der Bevollmächtigten in Basel 1989; 1992 in Kraft getreten 	<ul style="list-style-type: none"> effektive Umsetzungspflichten der Vertragsparteien in Bezug auf die grenzüberschreitende Verbringung gefährlicher und anderer Abfälle; Stärkung des umweltgerechten Managements gefährlicher und anderer Abfälle; Förderung der Umsetzung eines umweltgerechten Managements gefährlicher und anderer Abfälle als ein zentraler Beitrag zur Erreichung eines nachhaltigen Wirtschaftens, der Millenniums-Entwicklungsziele von 2000 und dem Schutz menschlicher Gesundheit und der Umwelt. 	124 Abfallgruppen nach Anhang I, II und VIII Liste A sowie Abfälle nach den Kriterien der Liste gefährlicher Eigenschaften in Anhang III	187

Übereinkommen	Verabschiedung und Inkrafttreten	Ziele	Anzahl erfasster Chemikalien	Anzahl der Vertragsparteien (Stand: 14.1.2019)
ILO-Übereinkommen 170; Übereinkommen über Sicherheit bei der Verwendung chemischer Stoffe bei der Arbeit  International Labour Organization	<ul style="list-style-type: none"> verabschiedet auf der 77. Tagung der Konferenz der Internationalen Arbeitsorganisation in Genf 1990; 1993 in Kraft getreten 	<ul style="list-style-type: none"> Verminderung des Auftretens durch chemische Einwirkungen verursachter Erkrankungen und Verletzungen bei der Arbeit durch eine Bewertung aller Chemikalien in Hinblick auf ihre Gefährlichkeit; Bereitstellung eines Verfahrens für die Arbeitgeber, das ihnen gestattet, von den Lieferanten Informationen über die bei der Arbeit verwendeten Chemikalien zu erhalten; Bereitstellung von Informationen für die Arbeitnehmer über die an ihren Arbeitsstätten verwendeten Chemikalien und über geeignete Unfallverhütungsmaßnahmen, damit sie sich wirksam an den Schutzprogrammen beteiligen können; Festlegung von Grundsätzen für solche Programme, um zu gewährleisten, dass Chemikalien sicher verwendet werden. 	nicht anwendbar	21
Chemiewaffen-Konvention; Übereinkommen über das Verbot der Entwicklung, Herstellung, Lagerung und des Einsatzes chemischer Waffen und über die Vernichtung solcher Waffen 	<ul style="list-style-type: none"> verabschiedet auf der 635. Plenarsitzung der Genfer Abrüstungskonferenz 1992; 1997 in Kraft getreten 	<ul style="list-style-type: none"> Erzielung eines wirksamen Fortschritts in Richtung einer allgemeinen und vollständigen Abrüstung unter strenger und wirksamer internationaler Kontrolle, einschließlich des Verbots und der Beseitigung aller Arten von Massenvernichtungswaffen; vollständiger Ausschluss der Möglichkeit des Einsatzes chemischer Waffen, einschließlich des Verbots, Herbizide als Mittel der Kriegsführung einzusetzen; Förderung der Freiheit im Handel mit Chemikalien sowie des internationalen Austausches wissenschaftlicher und technischer Informationen über Tätigkeiten für nach diesem Abkommen nicht verbotene Zwecke; ein vollständiges und wirksames Verbot der Entwicklung, der Herstellung, des Erwerbs, der Lagerung, der Rückhaltung, der Weitergabe und des Einsatzes chemischer Waffen und die Vernichtung solcher Waffen. 	15 toxische Chemikalien und 28 Vorprodukte	193
ILO-Übereinkommen 174; Übereinkommen über die Verhütung von industriellen Störfällen  International Labour Organization	<ul style="list-style-type: none"> verabschiedet auf der 80. Tagung der Konferenz der Internationalen Arbeitsorganisation in Genf 1993; 1997 in Kraft getreten 	Weist auf die Notwendigkeit hin, sicherzustellen, dass alle geeigneten Maßnahmen getroffen werden, um <ul style="list-style-type: none"> Störfälle zu verhüten, die Risiken von Störfällen zu minimieren, die Auswirkungen von Störfällen zu minimieren. 	nicht anwendbar	18

Übereinkommen	Verabschiedung und Inkrafttreten	Ziele	Anzahl erfasster Chemikalien	Anzahl der Vertragsparteien (Stand: 14.1.2019)
Rotterdamer Übereinkommen über das Verfahren der vorherigen Zustimmung nach Inkennzeichnung für bestimmte gefährliche Chemikalien sowie Pestizide im internationalen Handel 	<ul style="list-style-type: none"> • verabschiedet auf der Konferenz der Bevollmächtigten über das Übereinkommen in Rotterdam 1998; • 2004 in Kraft getreten 	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung der gemeinsamen Verantwortung und der gemeinschaftlichen Bemühungen der Vertragsparteien im internationalen Handel mit bestimmten gefährlichen Chemikalien, um die menschliche Gesundheit und die Umwelt vor möglichem Schaden zu bewahren – und durch Erleichterung des Austausches von Informationen über die Merkmale dieser Chemikalien, durch Schaffung eines innerstaatlichen Entscheidungsprozesses für ihre Ein- und Ausfuhr und durch Weitergabe dieser Entscheidungen an die Vertragsparteien zu ihrer umweltverträglichen Verwendung beizutragen. 	50 Substanzen und Quecksilberverbindungen	161
Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> • verabschiedet auf der Konferenz der Bevollmächtigten über das Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe in Stockholm 2001; • 2004 in Kraft getreten 	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt vor persistenten organischen Schadstoffen (POPs); • Beseitigung oder Einschränkung der Produktion, Verwendung, Ein- und Ausfuhr aufgeführter POPs sowie das Ergreifen von Maßnahmen im Hinblick auf die Entsorgung und unbeabsichtigte Freisetzung von POPs. 	28 POPs und erwähnte Salze	182
Internationale Gesundheitsvorschriften (IGV) der WHO 	<ul style="list-style-type: none"> • verabschiedet von der 58. Weltgesundheitsversammlung in Genf 2005; • 2007 in Kraft getreten 	<ul style="list-style-type: none"> • Verhütung, Schutz vor und Bekämpfung der grenzüberschreitenden Ausbreitung von Krankheiten und die Einleitung von Gesundheitsschutzmaßnahmen dagegen, auf eine Weise, die den Gefahren für die öffentliche Gesundheit entspricht und auf diese beschränkt ist und die eine unnötige Beeinträchtigung des internationalen Verkehrs und Handels vermeidet (Artikel 2). 	nicht anwendbar	196
Minamata-Konvention; Übereinkommen von Minamata über Quecksilber 	<ul style="list-style-type: none"> • verabschiedet anlässlich der Konferenz der Bevollmächtigten über das Übereinkommen von Minamata über Quecksilber 2013; • 2017 in Kraft getreten 	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt vor anthropogenen Emissionen und der Freisetzung von Quecksilber und Quecksilberverbindungen. Die Verpflichtungen der Vertragsparteien beinhalten: <ul style="list-style-type: none"> • Verbot von zusätzlichem und Ausstieg aus dem bestehenden Quecksilberbergbau; • Ausstieg aus und Verringerung der Verwendung von Quecksilber in einer Reihe von Produkten und Herstellungsprozessen; • Ergreifen von Maßnahmen zur Begrenzung der Emissionen in die Atmosphäre und der Freisetzungen in den Boden und das Wasser; • eine umweltgerechte Zwischenlagerung von Quecksilber und Entsorgung von Quecksilberabfällen. 	Quecksilber und Quecksilberverbindungen	101

Conclusio

Meere voller Müll und Schadstoffe

Der Weltozean spielt nicht nur eine Hauptrolle in der Klima- und Artenvielfaltskrise der Erde. Er ist auch von der dritten globalen Umweltkrise betroffen, der flächendeckenden Verschmutzung von Land- und Meeresgebieten. Pro Jahr gelangen bis zu 400 Millionen Tonnen Schadstoffe in Seen, Flüsse und letztendlich auch in die Meere – darunter Abertausende Chemikalien, Nährstoffe, Plastik und andere Kunststoffe, giftige Schwermetalle, Arzneimittel, Kosmetikprodukte, Krankheitserreger, radioaktive Substanzen und vieles mehr.

In acht von zehn Fällen stammen im Meer identifizierte Schadstoffe aus Quellen an Land. Sie werden als Industrie- oder Haushaltsabfälle entweder direkt in Gewässer eingeleitet, entweichen aus unzureichend funktionierenden Abwasserkläranlagen, werden vom Regen aus der Luft oder von Feldern und Straßen gewaschen oder sickern aus Müllhalden in unterirdische Wasseradern oder Bachläufe. Müll und Kunststoffe werden außerdem vom Wind ins Meer getragen. Die verbleibenden Schadstoffeinträge erfolgten direkt auf dem Meer, etwa bei der Fischerei und Aquakultur oder bei der Seeschifffahrt.

Wind und Meeresströmungen transportieren Müll und Schadstoffe bis in die unzugänglichsten Regionen des Weltozeans. Spuren der Verschmutzung finden sich sowohl auf entlegenen Inseln als auch im polaren Meereis sowie in tiefen Meeresgräben. Besonders gefährlich für die marinen Lebensgemeinschaften sind jene Umweltgifte, die langlebig sind und sich in den Nahrungsnetzen anreichern. Das gilt unter anderem für die große Gruppe der persistenten organischen Schadstoffe, zu denen viele Pestizide und Industriechemikalien gehören.

Die Folgen einer Kontamination sind mannigfaltig und unterscheiden sich je nach betroffener Art und Schadstoff: Bekannte Umweltgifte verursachen Krankheiten wie Krebs; rufen Missbildungen und

Verhaltensänderungen bei Meeresorganismen hervor; beeinträchtigen die Fortpflanzung betroffener Tierarten und führen mitunter zum Tod der kontaminierten Individuen. Besonders belastet mit Umweltgiften sind in der Regel die Räuber aus der höchsten trophischen Ebene. Dazu gehören zum Beispiel Haie, Zahnwale und Robben. Tiere, die mit Plastikmüll in Berührung kommen, laufen Gefahr, sich zu verfangen oder den Kunststoff zu fressen und mit vollem Magen zu verhungern. Mittlerweile sind mindestens 700 Tierarten identifiziert, für die Plastik im Meer eine tödliche Bedrohung darstellen kann.

Mithilfe verschiedener internationaler Abkommen sowie überregionaler und nationaler Regelungen versucht die Staatengemeinschaft, den Eintrag von Schadstoffen in das Meer zu begrenzen. Das Verbot ausgewählter persistenter organischer Schadstoffe durch das Stockholmer Übereinkommen beispielsweise zeigt auch Wirkung: Die Konzentration dieser Umweltgifte im Meer sinkt. In vielen anderen Fällen aber stehen Politik und Wissenschaft vor dem Problem, dass Aufsichtsbehörden zum Teil nicht immer darüber informiert sind, welche Chemikalien in weitverbreiteten Produkten verwendet werden und welche Auswirkungen diese Inhaltsstoffe haben, sollten sie eines Tages ins Meer gelangen. Risikoanalysen, die für ein Verbot gefährlicher Stoffe benötigt werden, sind in vielen Fällen erst möglich, wenn bereits viel zu große Mengen dieser Stoffe in die Umwelt eingetragen wurden und die Forschung den Zusammenhang zwischen Schadstoffeintrag und Störung der Ökosysteme nachweisen kann.

Ein Ende der Verschmutzungskrise der Meere ist erst in Sicht, wenn ein Großteil der Haushalte und Unternehmen weltweit an eine funktionierende Abwasser- und Abfallentsorgung angeschlossen ist, Umweltgifte und kohlenstoffbasierte Kunststoffe durch biologisch abbaubare Alternativen ersetzt wurden und Chemikalien und Plastik nur noch in geschlossenen Kreislaufsystemen zum Einsatz kommen.

7 Der Wettstreit um die genetische Vielfalt der Meere

> Das Leben im Meer hat im Lauf der Evolution eine beispiellose Vielfalt genialer Formen, Funktionen und Überlebensstrategien entwickelt. Daher versprechen Natur- und Wirkstoffe aus dem Meer Fortschritte und Profite in vielerlei Wirtschaftsbranchen. Allerdings ist noch weitestgehend ungeklärt, wer überhaupt von der genetischen Vielfalt des Ozeans profitieren darf, wie sie gerecht genutzt und vor allem wie ihr Schutz langfristig garantiert werden kann.



Wirkstoffe aus dem Meer

> Die Erwartungen sind riesig: Seit den ersten Erfolgen der marinen Natur- und Wirkstoffforschung hoffen Forschende darauf, im Erbgut der Meeresbewohner Lösungen für die drängendsten Probleme der Menschheit zu finden – angefangen von Arzneimitteln gegen bislang tödliche Krankheiten über Kosmetik für ewig junge Haut bis hin zu Rezepturen für umweltfreundliche Kleber und Anstriche. Die Entschlüsselung der Erbinformationen aber ist nach wie vor aufwendig, selbst wenn moderne Hochdurchsatzverfahren den Prozess enorm beschleunigt haben.

Eine beispiellose Vielfalt

Das Leben im Meer ist einzigartig und übertrifft die Artenvielfalt an Land um ein Vielfaches. Diese Diversität ist zum einen darauf zurückzuführen, dass sich das Leben auf der Erde vor 3,7 Milliarden Jahren zunächst im Meer entwickelte und erst im Anschluss das Land eroberte. Rückblickend betrachtet, blieb den Lebensgemeinschaften des Meeres etwa dreimal mehr Zeit, die vielen Nischen des Ozeans zu erobern und sich an die entsprechenden Umweltbedingungen anzupassen als den Pflanzen und Tieren an Land. Zum anderen waren Meereslebewesen von Anfang an gezwungen, sich an besonders extreme Lebensräume anzupassen. Tiefseebewohner beispielsweise müssen mit enormem Wasserdruck, gleichbleibend tiefen Temperaturen, wenig Nahrung und anhaltender Dunkelheit zurechtkommen. Leben sie dann auch noch an einer der vielen Hydrothermalquellen, kommen extreme chemische Belastungen hinzu – so zum Beispiel ein Kohlendioxidgehalt, der die Konzentration in unserer Atemluft um das 1000-Fache übertreffen kann.

Derart herausgefordert, hat das Leben im Meer im Lauf der Evolution eine breite Palette genialer Formen, Funktionen und Strategien entwickelt und die Informationen zur Ausbildung dieser Eigenschaften im Erbgut der Meeresbewohner verschlüsselt. Schätzungsweise 2,2 Millionen verschiedene Tier-, Pflanzen- und Pilzarten leben heutzutage im Meer, etwa 230 000 von ihnen sind wissenschaftlich beschrieben. Die Zahl der Bakterien-, Archaeen- und Virenarten ist unbekannt. Man weiß aber, dass sie gemessen an ihrem Gewicht den Hauptteil des Lebens im Ozean ausmachen. Ein Tropfen Meerwasser kann bis zu 350 000 verschiedene Bakterienarten und andere Mikroorganismen enthalten.

Die genetische Vielfalt der marinen Tiere, Pflanzen und verschiedenen Mikroorganismen bildet den Grundstein

des Lebens im Ozean. Sie beeinflusst zum Beispiel, wie viel Biomasse marine Lebensgemeinschaften produzieren, in welchem Ausmaß sie sich fortpflanzen und wie widerstandsfähig sie gegenüber Stressfaktoren sind. Arten mit großer genetischer Vielfalt sind fitter, passen sich schneller an Umweltveränderungen an und erholen sich schneller nach umweltbedingten Einbrüchen der Population. Auf diese Weise bestimmt der Genpool des Ozeans also mit, wie viel Nahrung und andere Dienstleistungen das Meer dem Menschen langfristig zur Verfügung stellen kann.

Für Wissenschaftler stellt das Genom des Meeres – also die Gesamtheit aller Gene seiner Lebewesen sowie die vielen Informationen, die sie speichern – eine gigantische Bibliothek dar. In dieser suchen sie zum einen nach Informationen zur Entwicklung der marinen Lebewesen und ihrer Fähigkeiten, sich an ihren jeweiligen Lebensraum sowie dessen Veränderungen anzupassen. Im Genom verschlüsselt sind aber auch die Baupläne für die sogenannten Sekundärmetaboliten, die von besonderem Interesse für Chemiker und Molekularbiologen sind. Sekundärmetaboliten werden im Gegensatz zu Primärmetaboliten (zum Beispiel Nukleotide, Aminosäuren), welche dem Aufbau von lebenswichtigen Biomolekülen dienen (zum Beispiel DNA, Proteine), nicht als überlebenswichtig für den produzierenden Organismus angesehen. Sie können aber wichtige ökologische Funktionen haben.

Sekundärmetaboliten werden von marinen Tieren, Pflanzen, Pilzen, Bakterien, Archaeen und Viren für diverse Zwecke produziert. Sie dienen zum Beispiel als chemische Waffe für den Beutefang (marine Kegelschnecke der Gattung *Conus*), helfen aber auch bei der Kommunikation zwischen Organismen mittels chemischer Signale (Quorum Sensing bei Bakterien) oder schützen vor extremen Temperaturen, UV-Strahlung, Krankheitserregern, Bewuchs, aufdringlichen Nachbarn und Fressfeinden. Sekundärmetaboliten verbessern demzufolge spür-

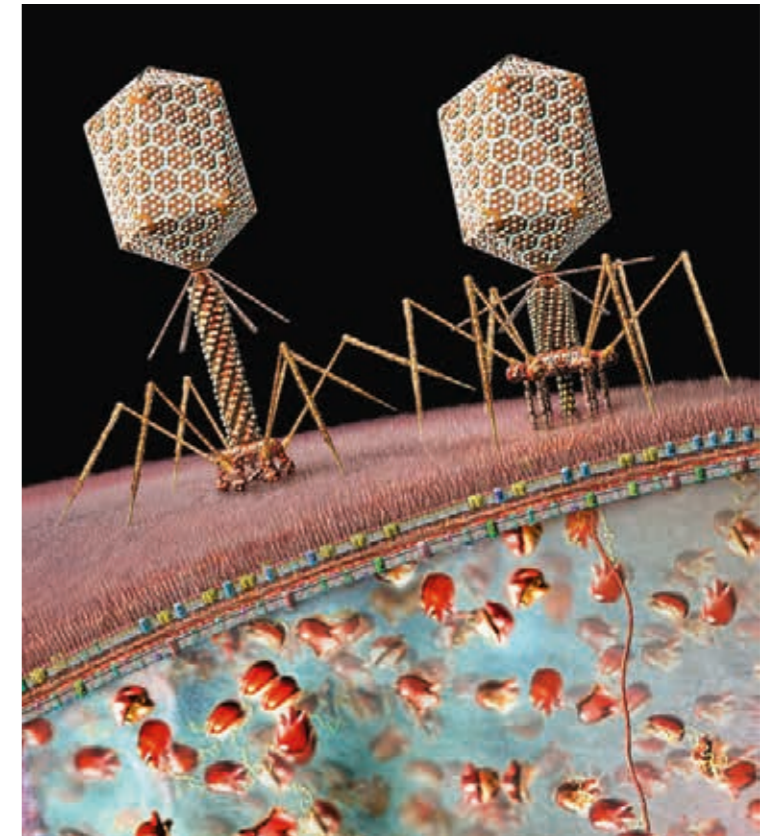
bar die Leistungs- und Anpassungsfähigkeit und somit die Überlebenschancen mariner Organismen und entwickeln in der Regel – und das ist das Besondere an ihnen – schon in sehr kleinen Mengen eine enorme Wirksamkeit.

Meeresforschende der Fachrichtung Marine Naturstoffchemie und – damit eng verknüpft – der Marinen Biotechnologie widmen sich seit gut zwei Jahrzehnten der Erforschung mariner Sekundärmetaboliten und deren Nutzung durch den Menschen als marine Natur- oder Wirkstoffe. Die in diesem Forschungszweig arbeitenden Wissenschaftler untersuchen marine Organismen auf bioaktive – das heißt wirksame – Moleküle und Inhaltsstoffe, extrahieren diese, beschreiben ihre chemische Struktur, erkunden ihre Funktion und suchen nach möglichen kommerziellen Verwendungszwecken – angefangen von der Futter- und Lebensmittelindustrie über die Kosmetikherstellung bis hin zur Arzneimittelproduktion.

Neben der molekularen Forschung untersuchen Biotechnologen, inwiefern sich Fischabfälle, Meeresalgen und Mikroorganismen als Naturprodukte für industrielle Zwecke nutzen ließen. Deutsche Wissenschaftler etwa testen derzeit, ob sich aus Großalgen essbare Lebensmittelverpackungen herstellen lassen. Diese könnten Plastikverpackungen und Einweggeschirr ersetzen und zudem mit bioaktiven Inhaltsstoffen angereichert werden, die das Lebensmittel haltbarer machen. Aus Fischresten wiederum lässt sich Collagen gewinnen, das vielfältig eingesetzt werden kann – als Nahrungsergänzungsmittel, als Mittel zur Wundheilung, als Zusatz in der Kosmetikproduktion sowie als Mittel gegen die Bildung von Biofilmen auf Oberflächen. Selbst in der Tinte von Oktopussen und Sepien vermuten Wissenschaftler wertvolle Wirkstoffe.

Die mögliche Anwendungspalette mariner Wirkstoffe ist so groß, dass Fachleute im Meer nach Lösungen für einige der größten Probleme der Menschheit suchen. Dazu gehören unter anderem:

- die Bekämpfung bislang unheilbarer Krankheiten durch die Entwicklung neuer pharmazeutischer Wirkstoffe auf Basis mariner Wirkstoffe;
- eine verbesserte Gesundheitsvorsorge, indem durch den Zusatz mariner Wirkstoffe Lebensmittel gehaltvoller, vitaminreicher oder verträglicher gemacht werden können;



- die Entwicklung biologisch abbaubarer Ersatzstoffe für Plastik und andere erdölbasierte Materialien;
- die Entwicklung umweltfreundlicher Antifouling-Anstriche, Klebstoffe und Biofilter nach dem Vorbild mariner Mikroorganismen;
- die Entwicklung neuer Methoden zur umweltschonenden Reinigung des Meeres nach Chemie- oder Ölunfällen auf Basis mariner Naturstoffe;
- die Entwicklung alternativer Energiequellen aus Naturstoffen, so zum Beispiel die Herstellung von Biotreibstoffen aus Algen.

Ihre Anfänge nahm die marine Biotechnologie in den 1930er-Jahren. Damals begann man, Carrageen und Polysaccharide (Vielfachzucker) aus Großalgen zu gewinnen und bei der Herstellung von Lebensmitteln und Kosmetikprodukten zu verwenden. Vier Jahrzehnte später, in den 1970er-Jahren, begannen Wissenschaftler intensiv nach Wirkstoffen in zumeist sesshaften Meereslebewesen wie

7.1 > Noch weiß die Wissenschaft zu wenig über die sogenannten Bakteriophagen: Viren, die auf Bakterien als Wirtszellen spezialisiert sind. Allein in einem Liter Meerwasser lassen sich zehn Milliarden von ihnen finden.

Quorum Sensing

Als Quorum Sensing wird ein bakterieller Kommunikationsprozess von Zelle zu Zelle bezeichnet, der von der Zelldichte abhängig ist und nur dann wirksam wird, wenn die Konzentration bestimmter Signalmoleküle, die von den Bakterien abgegeben werden, einen Schwellenwert im Medium überschreitet.

Grundlagen der Genetik: So werden Erbinformationen verschlüsselt

Die Erbinformationen eines jeden Lebewesens sind in seinen Chromosomen festgeschrieben. Als solche bezeichnet man mikroskopisch kleine fadenförmige Bestandteile einer jeden Zelle, deren Struktur und Fundort variieren und einen der grundlegenden Unterschiede ausmachen zwischen Viren (werden nicht zu den Lebewesen gezählt), Bakterien und Archaeen (Prokaryoten, Einzeller ohne Zellkern) sowie Pflanzen, Tieren und Pilzen (Eukaryoten, Lebewesen mit Zellkern in der Zelle).

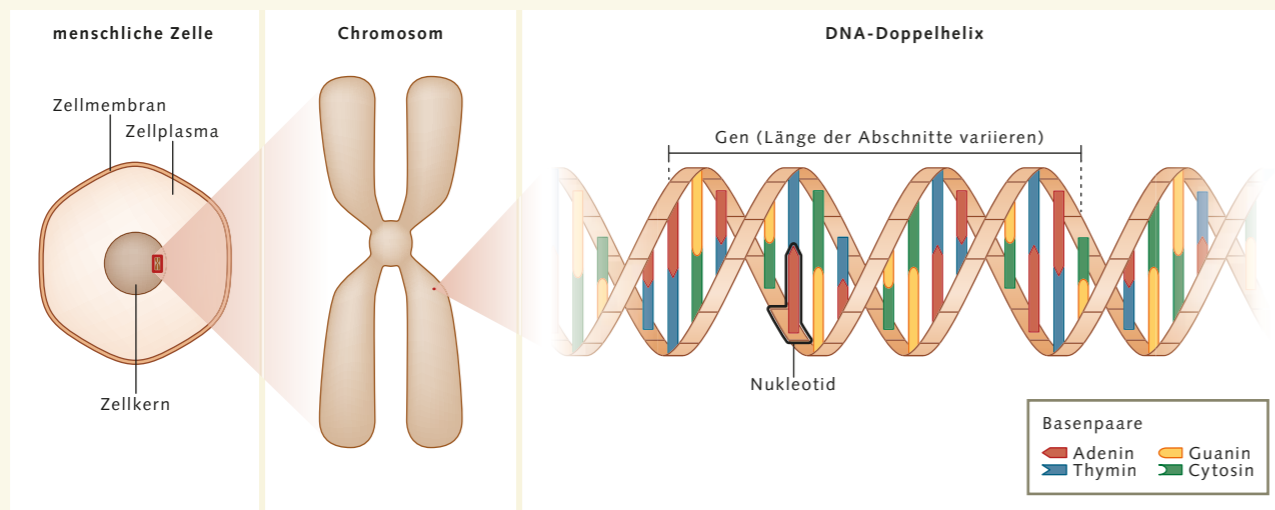
Die Chromosomen von Viren können aus DNA (englisch: deoxyribonucleic acid – deutsch: DNS, Desoxyribonukleinsäure) oder aber RNA (englisch: ribonucleic acid – deutsch: RNS, Ribonukleinsäure) bestehen. In prokaryotischen Einzellern findet sich nur ein ringförmiges Chromosom aus DNA und liegt frei in der Zelle. Tiere, Pflanzen und Pilze dagegen besitzen mehrere Chromosomen, häufig sogar in einer artspezifischen Anzahl. Diese Chromosomen bestehen hauptsächlich aus DNA, können aber auch RNA enthalten und befinden sich im Zellkern. Das heißt, sie sind von der Membran des Zellkerns umgeben.

Die Chromosomen wiederum sind nichts anderes als die eng verpackte Version des langen DNA-Moleküls, aus dem sie bestehen. Würde man zum Beispiel die 46 Chromosomen des Menschen entpacken, ergäbe ihr genetisches Material in Form von DNA-Ketten eine Gesamtlänge von ungefähr zwei Metern. Ein jedes DNA-Molekül wiederum sieht aus wie eine in sich gewundene Strickleiter. Es besteht nämlich aus zwei parallel verlaufenden, miteinander verbundenen Nucleotidsträngen. Die Leiterseile (Außenseiten) bestehen dabei aus Zuckern und Phosphaten; die Leiterstufen aus zwei miteinander verbundenen

Nucleotidbasen, wobei es auf jedem Strang genau vier Basen gibt, von der jede sich nur mit einer anderen zu einem Basenpaar verbindet – Adenin (A) mit Thymin (T) sowie Guanin (G) mit Cytosin (C). Weil sich seine zwei Nucleotidstränge schraubenartig umeinander winden, wird das DNA-Molekül auch als Doppelhelix bezeichnet.

Als Gen wiederum bezeichnet man einen bestimmten Abschnitt auf dem DNA-Molekül, welcher eine spezifische Erbinformation speichert. Wie viele Gene ein Lebewesen besitzt, unterscheidet sich von Art zu Art. Das menschliche Genom besteht aus schätzungsweise 30 000 Genen, während Wissenschaftler beim Bakterium *Escherichia coli* O157:H7 genau 5416 Gene identifizierten.

Wird in der Zelle die Information eines Gens für einen bestimmten Vorgang benötigt, spaltet sich der DNA-Doppelstrang an dem entsprechenden Abschnitt auf. Freie komplementäre RNA-Nucleotide aus der Zelle heften sich nun an die offenliegenden Nucleotidbasen des DNA-Moleküls: Adenin an Thymin, Guanin an Cytosin und umgekehrt. Der einzige Unterschied ist: Bei der RNA ersetzt Uracil Thymin als komplementäre Base zu Adenin. Die RNA-Nucleotide kopieren auf diese Weise die DNA-Information und wandern anschließend als sogenannte Botschafter-RNA (englisch: messenger RNA, mRNA) in jenen Teil der Zelle, wo die Informationen gebraucht werden. Dort wird im Zuge der sogenannten Translation die mRNA in eine Aminosäureabfolge übersetzt, aus der dann Proteine entstehen und zelluläre Prozesse in Gang gesetzt werden können. Aus diesem Grund bezeichnet man die mRNA auch als bioaktiv.



7.2 > Die Erbinformationen des Menschen sind im Zellkern gespeichert, genauer gesagt: in den 46 Chromosomen, deren einzelne DNA-Ketten aneinandergereiht eine Länge von zwei Metern ergäben.

Schwämmen und Nesseltieren, aber auch in Schnecken, Moostierchen und Manteltierchen zu suchen und diese zu extrahieren.

Mit der Forschung von damals aber ist die moderne Biotechnologie von heute kaum noch zu vergleichen: Neue Tiefseeforschungstechnik, moderne DNA-Sequenzierungs-, Replikations- und chemische Analyseverfahren sowie Fortschritte in der Bioinformatik haben den Forschungszweig revolutioniert und den Wissensfortschritt vervielfacht. Die marine Biotechnologie stellt heutzutage einen Hauptpfeiler der sogenannten Blauen Bioökonomie dar; das heißt, ganze Wirtschaftsbranchen haben sie als Grundlage. Experten sprechen von einer goldenen Ära und schätzen, dass im Jahr 2025 weltweit pharmazeutische und chemische Produkte im Wert von 6,5 Milliarden US-Dollar gehandelt werden, deren Ursprung auf die genetische Vielfalt der Meere zurückzuführen ist.

Neue Technologien revolutionieren die Forschung

Die Gesamtheit der Gene eines Lebewesens zu entziffern, gelang erstmals im Jahr 1995. Damals wurde die vollständige Genomsequenz des Bakteriums *Haemophilus influenzae* veröffentlicht. Nur sechs Jahre später entschlüsselten Forschende die Genomsequenz des Menschen nahezu vollständig. Diese bestand aus circa drei Milliarden Buchstaben (Nucleotiden) und weckte bei vielen Experten die Hoffnung, endlich den Schlüssel zum Verständnis des komplexen menschlichen Organismus in der Hand zu halten.

Schon wenig später wurde jedoch deutlich, dass die Entzifferung der Genomsequenz eines Lebewesens nur der erste große Schritt ist. Die Ausprägung der Gene hängt nämlich von zahlreichen Umweltfaktoren sowie dem komplexen Wechselspiel der Gene untereinander und mit der Umwelt ab. Zur Aufklärung dieser vielen Zusammenhänge nutzen Fachleute heutzutage bioanalytische Hochdurchsatzverfahren, die sogenannten Omics-Technologien. Diese weitestgehend automatisierten Verfahren erlauben die parallele, umfassende Untersuchung von Biomolekülen einer biologischen Probe in relativ kurzer Zeit und sind nach den jeweiligen Biomolekülen benannt (Genomik, Transkriptomik, Proteomik, Metabolomik). Das

heißt, mit ihrer Hilfe sequenzieren Wissenschaftler nicht nur die vollständige genetische Information eines Lebewesens (Genom), sondern können auch die Gesamtheit aller zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zelle vorliegenden RNA-Moleküle (Transkriptom), Proteine (Proteom) oder Metaboliten (Metabolom) entschlüsseln.

Diese genetischen Baupläne werden in digitaler Form in Gendatenbanken gespeichert und können mithilfe von Computeralgorithmen analysiert und hinsichtlich ihrer Funktionen untersucht werden. Meeresforscher identifizieren mithilfe der Hochdurchsatz-Gen(om)-Sequenzierungsverfahren nicht nur eine Vielzahl mikroskopisch kleiner Arten, die man bislang in Wasserproben stets übersehen hat. Sie erhalten auch tiefe Einblicke in die molekularen Grundlagen vieler Lebensprozesse und verstehen mehr und mehr, was alles geschehen muss, damit ein Organismus auf die für ihn typische Art und Weise leben und funktionieren kann. Dieses Wissen versetzt sie dann in die Lage, bestimmte Prozesse oder Baupläne zu kopieren oder aber Gensequenzen umzuschreiben, sodass zum Beispiel ausgewählte Bakterienarten in die Lage versetzt werden, eine Vielzahl von medizinisch wirksamen Substanzen zu produzieren, welche anschließend für die Herstellung von Medikamenten verwendet werden.

Soll die Erbinformation eines Lebewesens gezielt verändert werden, nutzen Wissenschaftler dafür die sogenannte Genschere CRISPR/Cas9. Mit ihr können sie das Erbgut von Zellen nach Wunsch bearbeiten. Das heißt, sie können Gene gezielt ausschalten, sie verändern oder sogar ersetzen. Methoden wie diese nennt man in der Fachsprache Genome Editing. CRISPR/Cas9 funktioniert bei tatsächlich allen Zellen und allen Organismen, beim Menschen ebenso wie bei Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen. Gemeinsam eingesetzt, bieten Omics-Technologien und Genschere Wissenschaftlern demzufolge nahezu unbegrenzte Möglichkeiten, die genetischen Ressourcen des Meeres zu nutzen oder durch gezielte Modifikationen der Erbsubstanz nutzbar zu machen.

Diese neuen technischen Möglichkeiten wecken Begehrlichkeiten. Je besser der Genpool des Meeres verstanden wird, desto häufiger melden Biotechnologieunternehmen Patente auf potenziell nützliche genetische Informationen an und sichern sich auf diese Weise das

7.3 > Quallen, Salpen, Kriebstierchen, Würmer, Algen und Tausende andere Planktonarten haben Forschende auf der Tara Oceans Expedition (2009 bis 2013) an mehr als 210 verschiedenen Stationen aus dem Meer gefischt. Ihr Erbgut wird nun mit modernen Hochdurchsatzverfahren analysiert.



So funktioniert die Genschere CRISPR/Cas9

Die programmierbare Genschere CRISPR/Cas9 ist eine neue, molekularbiologische Methode, mit der Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen jeden DNA-Strang an einer ganz bestimmten Stelle durchtrennen und im Zuge der anschließenden Reparatur einzelne DNA-Bausteine ausschneiden, austauschen oder auch neu einfügen und somit einzelne Gene umschreiben können.

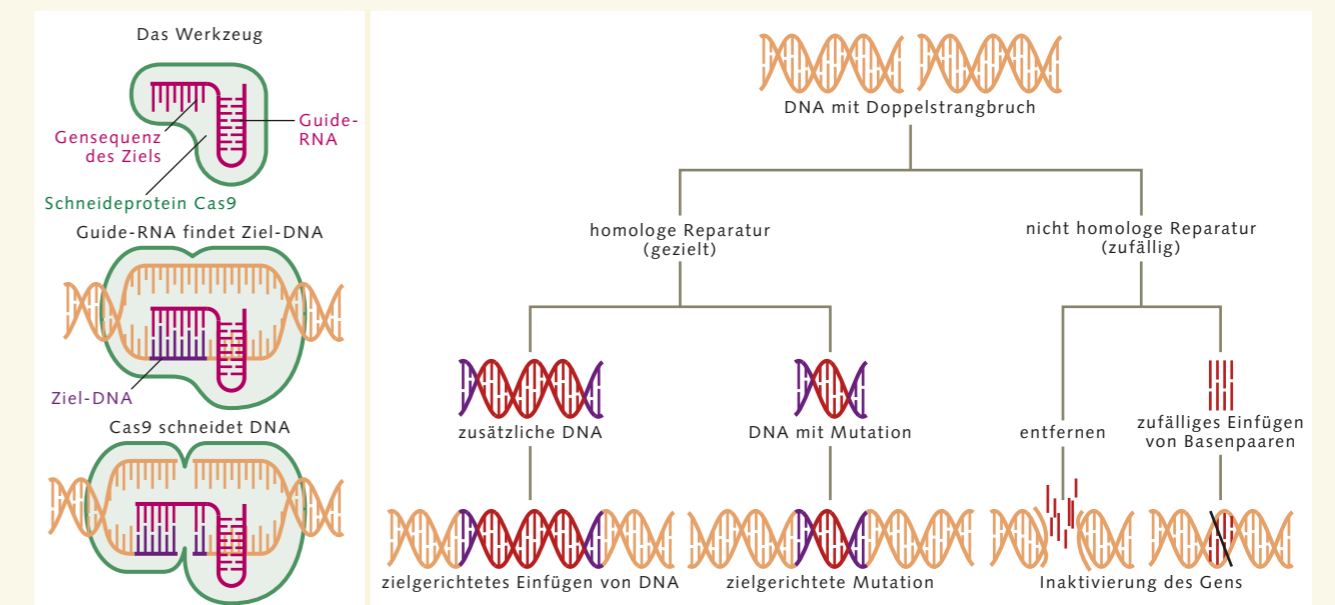
Die Abkürzung CRISPR steht dabei für die englische Bezeichnung Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats und bezeichnet Abschnitte sich wiederholender DNA (repeats). Entwickelt wurde die Genschere von den beiden Molekularbiologinnen Emmanuelle Charpentier und Jennifer Doudna, die dafür im Jahr 2020 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet wurden.

Der grundlegende CRISPR/Cas-Mechanismus stammt ursprünglich aus Bakterien. Er dient ihnen als eine Art Immunsystem, mit dem sie feindliche Viren anhand zuvor gespeicherter DNA-Fragmente erkennen und abwehren können. Dieses System machen sich die Forschenden nun zunutze. Um die Stelle zu finden, an welcher der Doppelstrang durchtrennt werden soll, versehen die Wissenschaftler das Schneideprotein Cas9 mit einem ausgewählten Zielsequenzcode (Guide-RNA). Das Protein sucht anschließend den Erbgutdoppelstrang genau nach dieser

Sequenz ab. Am Ziel angekommen, dockt es an dem Doppelstrang an und schneidet ihn durch.

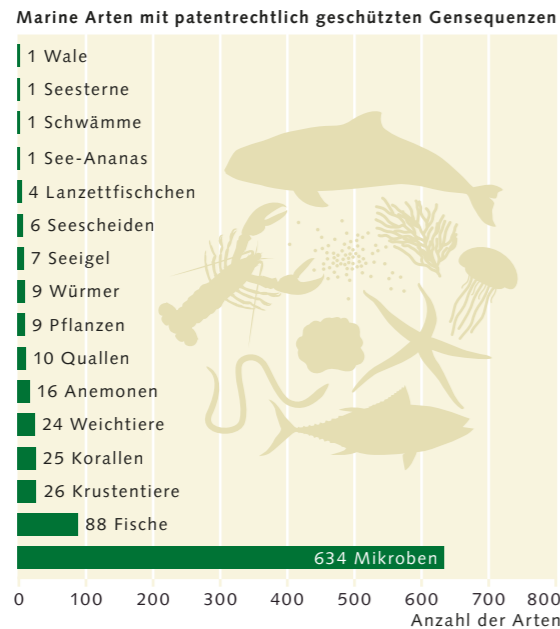
Hat Cas9 den Doppelstrang durchgeschnitten, setzt das natürliche Reparaturprogramm der Zelle ein und fügt den durchtrennten DNA-Strang wieder zusammen. Diese Reparatur kann zufällig (nicht homolog) oder gezielt erfolgen (homolog). Bei der nicht homologen Reparatur werden an der Bruchstelle einzelne DNA-Bausteine entfernt oder falsch zusammengesetzt. Dadurch kann das betreffende Gen nicht mehr richtig abgelesen werden und ist somit nicht mehr aktiv. Bei der homologen Reparatur kann an der Bruchstelle ein neuer Genabschnitt oder eine kurze neue DNA-Sequenz eingefügt und die Genfunktion so verändert werden.

Sowohl die Guide-RNA als auch das Schneideprotein Cas9 werden synthetisch hergestellt und anschließend in eine Zelle eingeführt. Im Vergleich zu anderen Genome-Editing-Verfahren lässt sich die Genschere CRISPR/Cas9 einfacher, schneller und kostengünstiger einsetzen. Sie arbeitet auch weitaus präziser als andere Methoden: Unbeabsichtigte Schnitte im DNA-Strang sind selten und lassen sich weitgehend ausschließen. Außerdem können mit CRISPR/Cas9 mehrere Genomveränderungen gleichzeitig durchgeführt werden.



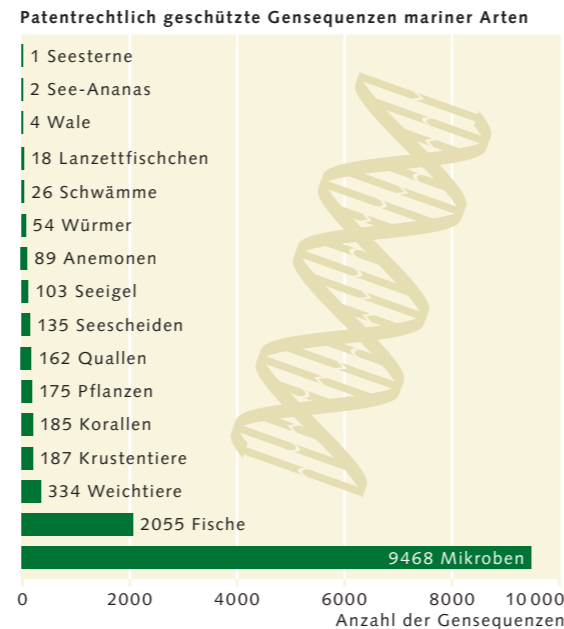
7.4 > Die Genschere CRISPR/Cas9 ist eine molekularbiologische Methode, um DNA punktgenau zu schneiden und zu verändern. Mit ihr können einzelne DNA-Bausteine eingefügt, entfernt oder modifiziert werden. Das Verfahren funktioniert bei allen Organismen und wird unter anderem in der Tier- und Pflanzenzüchtung sowie in der Biotechnologie eingesetzt.

7.5 und 7.6 > Im Oktober 2017 recherchierten Wissenschaftler, wie viele Patente bis zum damaligen Zeitpunkt auf Erbinformationen von Meeresorganismen angemeldet waren. Sie zählten rund 13 000 genetische Sequenzen von insgesamt 862 Meeresarten, deren Nutzung patentrechtlich geschützt war.



exklusive Nutzungsrecht für eine bestimmte Zeit. Als Wissenschaftler im Oktober 2017 recherchierten, wie viele Patente sich mittlerweile um Meeresorganismen und deren Erbsubstanz drehen, zählten sie 862 betroffene Arten und rund 13 000 genetische Sequenzen, deren Nutzung patentrechtlich geschützt war. Die Palette der gelisteten Arten reichte dabei von Meeresgiganten wie dem Pottwal (*Physeter macrocephalus*) und dem Riesemanta (*Manta birostris*) über Fische und Muscheln bis hin zu Winzlingen wie Archaeen und Plankton. 91 der gelisteten Arten stammten aus der Tiefsee, insbesondere aus Lebensgemeinschaften an Hydrothermalquellen.

Die in der Studie erfassten Patente waren von insgesamt 221 Unternehmen angemeldet worden. Fast die Hälfte der Patente entfiel jedoch auf einen einzigen Großkonzern, den deutschen Chemiegiganten BASF, obwohl BASF selbst keine Meeresforschung betreibt. Der Großkonzern und seine Tochterunternehmen durchsuchen stattdessen die öffentlichen Gendatenbanken nach vielversprechenden Sequenzen und überprüfen deren kommerzielles Potenzial. Die Analyse zeigte außerdem: Die Mehrheit der Patentansprüche wurde von Institutionen aus nur 30 Ländern und der Europäischen Union erhoben. Die restlichen 165 Staaten der Welt tauchten in der Statistik quasi nicht auf.



Die große Vielfalt der Meeresbewohner führt dazu, dass wirklich jede Art genetische Informationen besitzt, die sich auf die eine oder andere Art möglicherweise kommerziell nutzen ließen. Biotechnologen und Chemiker suchen derzeit vor allem nach bioaktiven Molekülen, die sich als pharmazeutische Wirkstoffe, als Nahrungsergänzungsmittel, als Düngemittel oder Energieträger, als Rohstoff für die Kosmetikherstellung sowie für verschiedene andere industrielle Anwendungen verwenden lassen.

Medizin aus dem Meer

Die Erfolgsgeschichte der Medizin aus dem Meer begann im Jahr 1945. Damals tauchte ein junger Chemiker namens Werner Bergmann vor der Küste Floridas und entdeckte einen unscheinbaren, bis dato unbekanntem braunen Schwamm im Flachwasser. Ein Kollege Bergmanns beschrieb den karibischen Schwamm wissenschaftlich und gab ihm den lateinischen Namen *Cryptotethya crypta*, heute auch bekannt als *Tectitethya crypta*. Werner Bergmann selbst extrahierte aus dem Schwamm zwei bis dahin unbekannt organische Stoffe – Spongthymidin und Spongouridin.

Der Chemiker vermutete damals schon, dass diese Stoffe eines Tages in der Medizinforschung nützlich sein

Quelle	Nutzung	Repräsentative Stämme (beispielhafte Gattungen/Arten)	Herausforderungen
Metazoa (Vielzeller)	Medikamente, Kosmetik	Chordatiere – Manteltiere (<i>Ecteinascidia turbinata</i>), Weichtiere (<i>Conus magus</i>), Schwämme – Porifera (<i>Mycale hentscheli</i>), Nesseltiere (<i>Sinularia sp.</i> , <i>Clavularia sp.</i> , <i>Pseudopterogorgia sp.</i>)	Nachhaltigkeit der Beschaffung und Verfügbarkeit
Makroalgen und Seegräser	Lebensmittel, Futtermittel, Medikamente, Kosmetik, Nutraceuticals (funktionelle Lebensmittel), Bio-dünger/Bodenverbesserer, Biomaterial, Bioremediation, Energie	Rhodophyta (Rotalgen) (<i>Euclima denticulatum</i> , <i>Porphyra/Pyropia spp.</i> , <i>Gelidium sesquipedale</i> , <i>Pterocladia capillacea</i> , <i>Furcellaria lumbricalis</i> , <i>Palmaria spp.</i> , <i>Gracilaria spp.</i>), Chlorophyta (Grünalgen) (<i>Ulva spp.</i>), Ochrophyta (Braunalgen) (<i>Laminaria hyperborea</i> , <i>Laminaria digitata</i> , <i>Ascophyllum nodosum</i> , <i>Saccharina japonica</i> , <i>Saccharina latissima</i> , <i>Sargassum</i> , <i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Alaria spp.</i> , <i>Fucus spp.</i>), Seegräser (<i>Zostera</i> , <i>Cymodocea</i>)	Nachhaltigkeit der Beschaffung und Verfügbarkeit, Ertragsoptimierung, großtechnische Verarbeitung und Transport, Disease Management
Mikroalgen	Nachhaltige Energie, Kosmetik, Lebensmittel, Futtermittel, Biodünger, Bioremediation, Medikamente	Chlorophyta (<i>Chlorella</i> , <i>Haematococcus</i> , <i>Tetraselmis</i>), Cryptophyta, Myzozoa, Ochrophyta (<i>Nannochloropsis</i>), Haptophyta (<i>Isochrysis</i>), Kieselalgen (<i>Phaeodactylum</i>)	Bioprospektierung und Ertragsoptimierung (1. Erhöhung des Verhältnisses Biomasse/Volumen, 2. Erhöhung der Ausbeute bei der Produktion der Wirkstoffe/Extrakte, 3. Verbesserung der Umwandlung von Sonnenenergie in Biomasse)
Bakterien und Archaeen	Medikamente, Kosmetik, Biomaterialien, Bioremediation, Biodünger	Actinobakterien (<i>Salinispora tropica</i>), Firmicutes (<i>Bacillus</i>), Cyanobakterien (<i>Arthrospira</i> , <i>Spirulina</i>), Proteobakterien (<i>Pseudoalteromonas</i> , <i>Alteromonas</i>), Euryarchaeota (<i>Pyrococcus</i> , <i>Thermococcus</i>)	Kultivierung nicht kultivierbarer Arten, Ertragsoptimierung
Pilze	Bioremediation, Medikamente, Kosmetik, Lebensmittel/Futtermittel, Biodünger	Schlauchpilze (Ascomycota) (<i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Cladosporium</i>)	Begrenzt Detailwissen, Ertragsoptimierung
Thraustochytride (Netzschleimpilze)	Lebensmittel/Futtermittel, nachhaltige Energieerzeugung	Bigyra (<i>Aurantiochytrium sp.</i>), Heterokonta (<i>Schizochytrium sp.</i>)	Begrenzt Detailwissen, Ertragsoptimierung
Viren	Medikamente, biologische Schädlingsbekämpfung	Mykoviren, Bakteriophagen	Begrenzt Detailwissen, Ertragsoptimierung

könnten. Wie richtig er damit lag, wurde insbesondere im Jahr 1987 deutlich, als die US-amerikanische Behörde für Lebens- und Arzneimittel (U.S. Food and Drug Administration, FDA) das erste Medikament gegen die Immunschwächeerkrankung HIV zuließ. Das Medikament hieß Azidothymidin (AZT) und war in seinem Aufbau jenen beiden Stoffen nachempfunden, die Werner Bergmann mehr als 40 Jahre zuvor aus dem Schwammgewebe extrahiert hatte. Bereits zwei Jahre nach seiner Zulassung war AZT zum teuersten Medikament der Welt aufgestiegen.

Patienten zahlten damals bis zu 8000 US-Dollar pro Jahr, was der Herstellerfirma einen Jahresgewinn von mehr als 100 Millionen US-Dollar einbrachte.

Nach dem Vorbild Bergmanns haben Forschende bis heute rund 34 000 verschiedene Sekundärmetaboliten in Meereslebewesen entdeckt, von denen viele für die Pharmaforschung von besonderem Interesse sind. Sie töten zum Beispiel Bakterien oder Viren, bekämpfen Krebstumore und Pilzkrankungen, stärken das Immunsystem, hemmen Entzündungen und Diabetes, senken die Gefahr

7.7 > Alle Meeresorganismen besitzen genetische Informationen, die sich möglicherweise nutzen lassen. Diese Tabelle zeigt einige der am intensivsten beforschten Organismengruppen, mögliche Anwendungsbereiche ihrer Wirkstoffe oder Extrakte sowie die größten Herausforderungen auf dem Weg zu einer industriellen Nutzung.

einer Herzerkrankung oder aber schützen einen Organismus vor UV-Strahlung. Chemiker und Pharmakologen, die mit Wirkstoffen aus dem Meer arbeiten, entwickeln mittlerweile 2,5-mal so viele neue Medikamente wie im Industriedurchschnitt.

Häufig stellen sie dabei synthetische Kopien der natürlichen Wirkstoffe her. Auf diese Weise kann nicht nur eine gleichbleibende Qualität des Wirkstoffs garantiert, sondern die Substanz auch in ausreichend großer Menge produziert werden. Beides sind Grundvoraussetzungen für eine industrielle Anwendung, welche die Originalsubstanzen in der Regel nur selten erfüllen. Die Sekundärmetaboliten kommen meist nur in so geringen Mengen in den jeweiligen Meeresorganismen vor, dass zum Beispiel mehrere Tonnen einer auserwählten Schwamm-, Schnecken- oder Algenart gefangen oder geerntet werden müssten, um wenige Gramm Wirkstoff zu gewinnen. Und selbst dann wäre nicht garantiert, dass die eingesammelten Exemplare den gesuchten Wirkstoff auch wirklich enthalten. Dessen Produktion hängt nämlich häufig von der Jahreszeit und dem Zusammenspiel der diversen Umweltbedingungen vor Ort ab. Nur ein paar Meter weiter oder ein paar Wochen später im Jahr können diese Bedingungen schon ganz anders aussehen und die Zielorganismen auch gut ohne den speziellen Wirkstoff auskommen.

Aus demselben Grund ist es auch eine große Herausforderung, Meeresorganismen für eine gezielte massenhafte Wirkstoffproduktion zu kultivieren. Versuche, Schwämme für die Wirkstoffproduktion in Aquakultur zu halten, sind schon mehrfach fehlgeschlagen. Und selbst in modernen Laboren lassen sich die komplexen natürlichen Lebensbedingungen des Meeres nur unzureichend simulieren. Zwar gibt es Fortschritte – unter anderem bei der Kultivierung von Mikroalgen, deren Sekundärmetaboliten bei der Entwicklung von Antibiotika und Krebsmitteln eventuell nützlich sein könnten. Dennoch gelten immer noch mehr als 85 Prozent aller Mikroorganismen als nicht kultivierbar.

Mittlerweile haben Wissenschaftler auch eine Erklärung dafür, warum gerade Schwämme, Nesseltiere und andere am Meeresboden lebende Weichtiere eine so besonders hohe Vielfalt mariner Wirkstoffe besitzen. Einmal fest am Boden verankert, können diese meist sehr langlebigen Tiere kaum mehr fliehen – weder vor aufdring-

lichen Nachbarn, die sie überwuchern wollen, noch vor Fressfeinden, lästigen Pilzen oder Algen. Die festsitzenden Tiere benötigen deshalb wirkungsvolle Abwehrstoffe. Bei deren Produktion werden sie tatkräftig unterstützt – von hoch spezialisierten Mikroorganismen, mit denen sie in enger Symbiose leben. Aus diesem Grund überrascht es heutzutage auch keinen Forschenden mehr, wenn sich herausstellt, dass Sekundärmetaboliten, die in Gewebeproben eines Schwammes oder eines anderen Weichtieres gefunden wurden, eigentlich einen bakteriellen Ursprung haben.

In manchen Fällen nehmen Meereslebewesen die Sekundärmetaboliten aber auch mit der Nahrung auf. Der Antitumorwirkstoff Kahalalide F beispielsweise wird, wie man heute weiß, von der Alge *Bryopsis spp.* hergestellt – allerdings in ausgesprochen geringer Konzentration. Gefunden aber haben Wissenschaftler diesen Wirkstoff einst in der Meeresschnecke *Elysia rufescens*. Sie frisst *Bryopsis*-Algen und reichert den Wirkstoff in ihrem Körper an. Dessen Konzentration im Schneckengewebe ist mitunter um bis zu 5000-mal höher als in den Algen.

Seit der Markteinführung des antiviralen Medikamentes AZT im Jahr 1987 hat die US-amerikanische Behörde für Lebens- und Arzneimittel insgesamt 13 Medikamente mit Wirkstoffen aus dem Meer zugelassen; weltweit gibt es 17 zugelassene Arzneimittel (Stand: März 2021). Die AZT-Vorbilder Spongothymidin und Spongouridin beispielsweise führten zur Entwicklung der beiden Wirkstoffe Vidarabin und Cytarabin, die bei der Behandlung von Blutkrebs und viralen Infektionen eingesetzt werden. Aus dem Mangroven-Manteltier *Ecteinascidia turbinata* extrahierten Forschende den natürlichen Wirkstoff Ecteinascidin 743, auch bekannt als Trabectedin. Ein Nachbau dieses Wirkstoffes ist im Medikament Yondelis enthalten, welches zur Behandlung von Krebstumoren eingesetzt wird.

Derzeit befinden sich 23 weitere Medikamente aus marinen Wirkstoffen in der klinischen Testphase. Für 313 Wirkstoffe aus dem Meer laufen vorklinische Untersuchungen, so etwa auch für acht Anti-Malaria-Wirkstoffe aus dem Meer. Fast zwei Drittel aller neuen marinen Naturstoffe werden mittlerweile aus Mikroorganismen gewonnen, was ihre zunehmende Bedeutung für die Biotechnologieforschung unterstreicht. Experten sprechen



7.8 > Das blaue Blut des Atlantischen Pfeilschwanzkrebse (*Limulus polyphemus*) wird seit den 1970er-Jahren als Reinheitstest für neue Impfstoffe benutzt. Es enthält Abwehrzellen, die besonders empfindlich auf giftige Bakterien reagieren. Sind neue Impfstoffe mit diesen kontaminiert, attackieren die Zellen die Bakterien und bilden Klumpen. Gut für die Tiere: Mittlerweile gibt es eine synthetische Alternative zu ihrem Blut.



7.9 > Die Ostsee-braunalge *Fucus vesiculosus* enthält 44 wirkungstechnisch interessante Komponenten. Deren Menge oder Konzentration aber schwankt im Lauf der Jahreszeiten. Manche Wirkstoffe produziert die Alge vor allem im Winter, andere dagegen fast nur im Sommer.

angesichts dieser Statistiken von einer Erfolgsgeschichte der marinen Biotechnologieforschung. Normalerweise müssen Forschende rund 15 000 verschiedene Sekundärmetaboliten extrahieren, aufreinigen, identifizieren und hinsichtlich ihrer biologischen Aktivität untersuchen, um darunter den einen Wirkstoff zu finden, welcher am Ende als Medikament zugelassen wird. Die Erfolgsquote der Meeresforscher liegt bei 17 Zulassungen aus 34 000 Sekundärmetaboliten. Nichtsdestotrotz ist die Entwicklung von Arzneimitteln aus Naturstoffen ein sehr teurer und langwieriger Prozess. Bis ein Medikament zugelassen wird, vergehen in der Regel 15 bis 20 Jahre.

Das kommerzielle Interesse an genetischem Material aus dem Meer wächst dennoch stetig. Die industrielle Forschung an Naturstoffen wird allerdings vor allem von mittleren und kleineren Pharmafirmen vorangetrieben. Trotz des immensen Potenzials vor allem mariner, aber auch terrestrischer Naturstoffe haben die meisten Großkonzerne ihre Naturstoff-Forschungsabteilungen in den 2000er-Jahren zugunsten sogenannter „blockbuster drugs“ geschlossen. Diese versprachen schnelle und hohe Gewinne durch große Marktanteile. Großkonzerne verfolgen heute oft die Strategie, die Fortschritte der forschenden Unternehmen genau zu verfolgen und diese meist kleine-

ren Firmen aufzukaufen, sobald sie erste vielversprechende Ergebnisse vorweisen können. Würden die Großkonzerne direkt in die Grundlagenforschung investieren, wäre die Ausbeute der Pharmakologen und Chemiker mit Sicherheit noch ein ganzes Stück größer.

Verwendung in der Kosmetikproduktion

Aufgrund ihrer vielfältigen positiven Eigenschaften werden marine Naturstoffe gern und häufig in der Kosmetikherstellung eingesetzt. Oft stammen diese dabei von Bakterien, Mikroalgen und Pilzen aus dem Meer. Im Handel befinden sich aber auch Produkte mit Wirkstoffen aus Großalgen, Fischen und Korallen. Besonders interessiert sind die Hersteller an Substanzen wie:

- Aminosäuren, die marine Organismen nahe der Meeresoberfläche vor hoher UV-Strahlung schützen. Die Kosmetikindustrie bewirbt sie häufig als Anti-Aging-Wirkstoffe;
- sogenannte Exopolysaccharide; dabei handelt es sich um Vielfachzucker, die von verschiedenen Mikroorganismen ausgeschieden werden. Als Kosmetik angewendet, erhöhen sie den Feuchtigkeitsgehalt der Haut;
- Carotinoide (fettlösliche Pigmente) und Polyphenole (sekundäre Pflanzenstoffe), die antioxidativ oder entzündungshemmend wirken, den Alterungsprozess der Haut bremsen und sie widerstandsfähiger gegen Umwelteinflüsse machen;
- Enzyme und Peptide, welche die Collagenlager in der Haut schützen und auf diese Weise ebenfalls die Hautalterung verlangsamen.

Breite Verwendung in der Kosmetikindustrie finden zum Beispiel die Alginat (Salze der Alginsäure) sowie das Polysaccharid Fucoidan aus Braunalgen, Chitin aus dem Körperpanzer von Garnelen, Pulver aus Austernschalen, Carrageen aus Rotalgen sowie Collagen und Gelatine, extrahiert aus Quallen und Fischen. Die Hersteller nutzen aber auch Extrakte aus Mikroalgen, Pilzen, Weichkorallen und Tiefseemikroorganismen, um Produkte zu kreieren, welche die Faltenbildung verhindern, der Haut Feuchtigkeit spenden und ihren Alterungsprozess verlangsamen

sollen. Trotz der hohen Produktvielfalt gehen Wissenschaftler davon aus, dass die Kosmetikindustrie längst noch nicht alle Wirkstoffe des Meeres kennt und nutzt. Es gebe noch jede Menge Spielraum für neue Entdeckungen, heißt es aus der Wissenschaft.

Marine Naturstoffe als Nahrungs- und Futterzusatz

Ihre Funktionsvielfalt macht Naturstoffe aus dem Meer zu einem beliebten Zusatz in der Lebensmittel- und Futtermittelproduktion. Chemische Komponenten, gewonnen aus Fischabfällen, Mikro- und Großalgen, marinen Bakterien und Pilzen, werden in der Industrie als natürliche Konservierungsstoffe, Pigmente, Stabilisatoren, Verdickungs- und Bindemittel, als Nahrungsergänzungsmittel sowie als Präbiotika eingesetzt. Nahrungsmitteln mit bioaktiven Zusätzen wird eine breite Palette gesundheitsfördernder Wirkungen nachgesagt. Außerdem nutzen Lebensmittel- und Getränkehersteller kalt-aktive Enzyme aus Meeresorganismen bei der Produktion hitzeempfindlicher Produkte. Diese Enzyme verhindern zum Beispiel temperaturbedingte Veränderungen eines Produktes hinsichtlich seines Geruches, seines Geschmacks, seines Aussehens und seiner Haptik. Sogenannte Frostschutzproteine wiederum werden eingesetzt, um die Qualität tiefgefrorener Lebensmittel zu verbessern. Sie unterbinden die Bildung von Eiskristallen und werden unter anderem von im Meeres lebenden Algen produziert, die auf diese Weise sicherstellen, dass sie den langen polaren Winter unbeschadet überstehen.

Hersteller von Fischfutter suchen derzeit dringend nach Alternativen für Fischmehl und Fischöl und könnten bei Mikroalgen fündig werden. Ausgewählte Arten produzieren nicht nur die essenziellen Fettsäuren, die zwar lebenswichtig sind, aber nicht vom Menschen selbst hergestellt werden können, sondern auch Aminosäuren, die für Gesundheit und gutes Wachstum der Zuchtfische benötigt werden. Außerdem sind Mikroalgen die Hauptfutterquelle für Salzwasserkrebse (*Artemia*), Rädertierchen (*Rotifera*) und Ruderfußkrebse (*Copepoda*), die wiederum als Lebendfutter für die Fischlarven benötigt werden. Forschende arbeiten daran, die Mikroalgen zu optimieren. Sie sollen so viele essenzielle Fett- und Ami-

nosäuren herstellen, dass sowohl das Zooplankton als auch im nächsten Schritt die Fischlarven bestmöglich wachsen können.

Einsatzmöglichkeiten in der Landwirtschaft

Für eine Anwendung in der Landwirtschaft kommen in erster Linie Meeresalgen infrage. Forschende untersuchen derzeit ihre Eignung als Dünge- und Futtermittel sowie als Rohstoff für die Biogasproduktion, welches wiederum als Treibstoff (Bioethanol) oder aber zur Stromproduktion eingesetzt werden kann. Kleinbauern in vielen Küstenregionen nutzen seit jeher angespülte Großalgen als natürlichen Bodenoptimierer. Regelmäßig ausgebracht, verbessern die Algen die Bodenstruktur sowie den Humus- und damit Nährstoffgehalt des Erdreiches. Dennoch sehen Wissenschaftler Verbesserungsbedarf. Sie haben unter anderem die Hoffnung, dass durch eine kontrollierte Kompostierung der Algen ihre spätere Nährstoffabgabe an den Boden und die darin wachsenden Nutzpflanzen beschleunigt werden könnten. Wenn dies gelänge, könnten kompostierte Großalgen konventionelle Düngemittel ersetzen. Infrage kämen für eine solche Verwendung eventuell die riesigen Mengen der Braunalgengattung *Sargassum*, die

7.10 > Auf der schottischen Orkneyinsel North Ronaldsay ernährt sich eine Schafrasse nahezu ausschließlich von Seegrass und Tang, die das Meer an die Felsküste spült – oder die bei Ebbe für die Tiere erreichbar sind.



7.11 > Arbeiter harken Sargassumalgen zusammen, die neuerdings in riesigen Teppichen an die Strände der Karibiknationen gespült werden und dort verrotten. Allein in Mexiko beseitigten Armee und Freiwillige im Sommer 2019 mehr als 57 000 Tonnen der stinkenden Algenberge.



das Meer inzwischen in der Karibik regelmäßig an die Küsten der Inseln und Anrainerstaaten spült. Wenn die Algenteppiche im Brandungsbereich verrotten, schaden sie nicht nur der Tourismusindustrie; die freigesetzten Nährstoffe überdüngen auch die empfindlichen Küstenökosysteme und setzen den Korallenriffen mächtig zu. Großalgen werden aber auch teilweise als Nahrung von Nutztieren akzeptiert. Einen besonderen Fall stellen in dieser Hinsicht sicher die Schafe auf der Orkneyinsel North Ronaldsay dar, deren Hauptnahrungsquelle Algen sind.

Großes Potenzial steckt aber auch in Mikroalgen und Cyanobakterien. Sie produzieren sogenannte Biostimulatoren, die das Wachstum, die Entwicklung und die Widerstandsfähigkeit von Nutzpflanzen wie Getreide fördern. Zu diesen Biostimulatoren gehören Vielfachzucker, Mineralien, Vitamine, Öle, Fette, Säuren, Pigmente und Hormone. Extrakte aus Mikroalgen werden daher zunehmend als Biodünger in der Landwirtschaft eingesetzt.

Aus dem Panzer der Eismeergarnele (*Pandalus borealis*) wiederum wird Chitin extrahiert und daraus Chitosan

hergestellt. Chitosan bindet Fette und Schwebstoffe und wird deshalb nicht nur in Medizinprodukten und Nahrungsergänzungsmitteln verwendet, sondern auch bei der Wasseraufbereitung in Kläranlagen sowie in der Getränkeindustrie vielfältig und großtechnisch eingesetzt. In der Landwirtschaft kann Chitosan als Ummantelung für Düngemittel, Pestizide, Insektizide und Herbizide dienen und aufgrund seiner Eigenschaften sicherstellen, dass die Nährstoffe oder Giftstoffe kontrolliert an den Boden abgegeben werden. Mit Chitosan werden allerdings auch Samen und Blätter ummantelt, um sie vor einem Befall durch Mikroorganismen zu schützen.

Hilfsmittel bei Umweltverschmutzungen

Die genetische Vielfalt der Meeresorganismen bietet uns Menschen eine Vielzahl an Werkzeugen für die Entgiftung oder aber Beseitigung umweltbelastender Verunreinigung – auch Bioremediation genannt. Von Schwämmen produzierte Metaboliten werden als Antifouling-Mittel im Kampf gegen den Algenbewuchs auf Schiffsrümpfen und

anderen Oberflächen eingesetzt. Verschiedene Bakterienstämme hingegen haben die Eigenschaft, Kohlenwasserstoffe, Aromaten und Kohlenhydrate besonders schnell abzubauen, und eignen sich somit für die Reinigung von överschmutztem Erdreich oder Meeresregionen. Wissenschaftler wissen auch, dass bestimmte Mikroorganismen des Meeres Enzyme herstellen, die Plastik und andere erdölbasierte Kunststoffe zersetzen können. Wie und in welchem Ausmaß die Zersetzung im Meer jedoch vonstatten geht und wie sich diese Prozesse im Kampf gegen den Müll im Meer nutzen lassen, wird noch untersucht.

Mit Enzymen aus marinen Pilzen werden mit Kupfer und Zink belastete Böden gereinigt. Die gleichen Stoffe kommen auch zum Einsatz, wenn Textilien oder Papier entfärbt werden müssen. Von Mikro- und Großalgen weiß man, dass sie Nährstoffe, Schwermetalle und sogar pharmazeutische Wirkstoffe aus dem Meerwasser filtern. Da Großalgen und Seegräser vergleichsweise günstig zu züchten sind, wird überlegt, diese großflächig als Biofilter in der Abwasserreinigung einzusetzen. Mikroalgen dagegen werden heutzutage schon bei der Bekämpfung von Schwermetallverunreinigungen verwendet. Die Reinigung läuft dabei in zwei Schritten ab. Zuerst adsorbieren die Algen die Schwermetalle – das heißt, die giftigen Stoffe sammeln sich auf der Zellwand der winzigen Organismen an. Anschließend nehmen die Algen die Schwermetalle in ihre Zelle auf und neutralisieren deren giftige Wirkung mithilfe metallbindender Peptide (organische Verbindungen).

Vom Meer inspirierte Materialien

Naturinspirierte Materialien aus dem Meer bringen eine Reihe begehrtter Eigenschaften mit sich: Sie tolerieren Salz bis zu einem gewissen Maß, halten hohem (Wasser-) Druck stand und ertragen Hitze sowie Kälte. Je nach Herkunftsort können sie auch bislang unentdeckte physikalische, chemische und biochemische Eigenschaften besitzen. Fachleute glauben, dass sich Naturstoffe aus dem Meer hervorragend für die Entwicklung von Materialien nutzen ließen, die zum Beispiel in der Medizin zum Einsatz kommen. Beispiele wären Materialien, aus denen künstliche Herzklappen, Knochenimplantate oder aber künstliche Gelenke hergestellt werden könnten.

Bis es so weit ist, müssen aber noch einige Hürden genommen werden. Benötigt werden zum Beispiel Verfahren, mit denen die jeweiligen Zielsubstanzen qualitativ hochwertig isoliert und aufbereitet werden können. Außerdem muss sichergestellt werden, dass jederzeit ausreichende Mengen der benötigten Substanzen zur Verfügung stehen und sich die Eigenschaften dieser Ausgangsstoffe im Lauf der Jahreszeiten nicht verändern.

Als wirtschaftlich interessante Quellen neuer Biomaterialien gelten unter anderem Algen, Quallen, Schwämme, Manteltiere, Muscheln und Krebstiere. Sie enthalten Vielfachzucker, Enzyme, Lipide (wasserunlösliche Naturstoffe), Pigmente, Mineralien, keramische Materialien (Bioceramics) und Gifte (Toxine), die in der Medizin Anwendung finden könnten. Bioaktive keramische Materialien beispielsweise werden aus Korallen, Kalkschalen und Seeigeln gewonnen und als Ausgangsstoffe für die Herstellung von Hydroxylapatit benutzt, dem Hauptbestandteil der anorganischen Substanz in Knochen und Zähnen.

Vorbildcharakter für Designer und Entwickler besitzen auch Glasschwämme. Diese bilden ein Skelett aus Nadeln, auch Spicula (Einzahl Spiculum) genannt, die aus hochreinem Siliziumoxid bestehen, welches sie mithilfe enzymatischer Prozesse aus dem gelösten Silizium des umgebenden Meerwassers bilden. Fachleute versuchen diese Prozesse nachzuahmen, um das gewonnene Material für medizinische oder optische Anwendungen zu benutzen. Siliziumhaltige Materialien werden aber auch in Hightechprodukten aus dem Bereich der Mikroelektronik und der Optoelektronik verwendet.

Auf Groß- und Mikroalgen setzen Forschende bei der Suche nach Alternativen für Plastik und andere Kunststoffe auf Erdölbasis. Gereinigt, behandelt, getrocknet und in Form gepresst, können Großalgen unter anderem als Einweggeschirr fungieren. Aus verschiedenen Inhaltsstoffen der Algen lassen sich aber auch Folien und andere Verpackungsmaterialien herstellen. Kohlenhydratreiche Groß- und Mikroalgen könnten außerdem als Ausgangsbasis für die Herstellung sogenannter Polylactide dienen. Aus diesen synthetischen Stoffen werden bislang die meisten biologisch abbaubaren Kunststoffe hergestellt. Da Polylactide jedoch nur sehr langsam zersetzt werden, suchen Wissenschaftler weiterhin nach besseren Optionen.

Wer darf vom Genpool des Meeres profitieren?

Die vielfältigen potenziellen Anwendungsbereiche für marine Naturstoffe sowie die Tatsache, dass ein Großteil der genetischen Vielfalt des Meeres noch gar nicht entschlüsselt ist, wirft viele Fragen auf. Wer beispielsweise darf vom Genpool des Meeres profitieren: Nur jene Staaten, die auch die teure Forschung finanzieren, oder gehört der Ozean nicht allen Menschen? Wie ließe sich der Zugang zu den wertvollen genetischen Ressourcen des Meeres international regeln – und wie kann sichergestellt werden, dass trotz einer intensiveren Nutzung des Meeres durch den Menschen der Schutz der biologischen Vielfalt im Mittelpunkt allen Handelns steht?

Die Suche nach Antworten auf diese Fragen beginnt beim Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen (United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS). Es setzt den rechtlichen Rahmen für alle menschlichen Aktivitäten auf und in den Ozeanen und Meeren. Darin eingeschlossen sind auch Themen wie Forschung, Ressourcennutzung, der Schutz der Meeresumwelt und der marinen Artenvielfalt, auch wenn UNCLOS die Artenvielfalt nicht ausdrücklich erwähnt. Entscheidend ist: UNCLOS definiert, welche Meereszonen als nationale Hoheitsgewässer gelten, und somit von den Küstenstaaten verwaltet werden, und welche Meeresteile jenseits nationaler Hoheitsgewalt liegen, die sogenannten Areas Beyond National Jurisdiction (ABNJ).

Die Wassersäule in den Meeresregionen jenseits nationaler Hoheitsgewalt wird nach UNCLOS als die Hohe See (high seas) bezeichnet, während der dazugehörige Meeresboden als das Gebiet (the area) benannt wird. Die Unterscheidung in nationale und internationale Gewässer oder Gebiete ist beim Thema mariner genetischer Ressourcen essenziell, denn für terrestrische und marine Bereiche unter nationaler Hoheitsgewalt gibt es bereits einen völkerrechtlich bindenden Vertrag – das Protokoll von Nagoya über den Zugang zu genetischen Ressourcen und die ausgewogene und gerechte Aufteilung der sich aus ihrer Nutzung ergebenden Vorteile, kurz das Nagoya-Protokoll. Es wurde auf der zehnten Vertragsstaatenkonferenz des Übereinkommens über die biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity, CBD) im Oktober 2010 von der Staatengemeinschaft angenommen,

ist am 12. Oktober 2014 in Kraft getreten und wurde bislang von 130 Nationen ratifiziert (Stand: April 2021).

Das Nagoya-Protokoll wurde einst mit der Intention verhandelt, Regelungen zu treffen, die sicherstellen, dass Profite aus dem Zugang und der Nutzung genetischer Ressourcen und diesbezüglichem traditionellem Wissen mit den jeweiligen Herkunftsländern fair geteilt werden. Es geht daher grundsätzlich davon aus, dass jeder Staat souverän über den Zugang zu den aus seinem Hoheitsgebiet stammenden genetischen Ressourcen bestimmen kann. Dennoch will das Abkommen sicherstellen, dass der Zugang zu solchen Ressourcen zu fairen und transparenten Bedingungen möglich ist. Deshalb gibt es bestimmte Mindeststandards vor, die Staaten bei der Ausgestaltung ihrer nationalen Regelungen berücksichtigen müssen.

Außerdem ist das Abkommen von der Idee geprägt, dass den Herkunftsländern das Recht zusteht, in fairer Weise an den Vorteilen beteiligt zu werden, die sich aus der Nutzung ihrer genetischen Ressourcen ergeben. Auch hier legt das Protokoll völkerrechtliche Leitlinien fest. Gleichzeitig verpflichtet das Abkommen alle Vertragsparteien, dafür Sorge zu tragen, dass der Zugang zu genetischen Ressourcen und ihre Entnahme im Einklang mit eventuellen Genehmigungserfordernissen des Herkunftslandes erfolgt sind. Die Bedingungen, zu denen ein Vorteilsausgleich stattzufinden hat, müssen schon vor der Materialentnahme mit dem Herkunftsland ausgehandelt werden.

In der Praxis jedoch bedeutet diese Rechtslage jede Menge Verwaltungsaufwand: Wenn Wissenschaftler eines Landes marine genetische Ressourcen aus den nationalen Gewässern eines anderen Staates entnehmen wollen, muss dies vorab beantragt und genehmigt werden, und zwar zusätzlich und separat zu den ebenfalls erforderlichen diplomatischen Forschungsgenehmigungen. Außerdem muss bereits Monate oder sogar Jahre im Vorfeld der Forschungsarbeiten mit dem jeweiligen Bereitstellerland geregelt werden, wie ein späterer Vorteilsausgleich aussehen würde. Denkbar sind dabei nicht nur Geldzahlungen, sondern auch das Teilen von Forschungsergebnissen sowie das Einbinden lokaler Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in das Forschungsprojekt oder die Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlern. Eine im



7.12 > Das Nadelskelett von Glasschwämmen wie der Art *Pheronema giganteum* besteht aus hochreinem Siliziumoxid, welches sie mithilfe enzymatischer Prozesse aus dem im Meerwasser gelösten Silizium bilden. Fachleute versuchen, diese Prozesse nachzuahmen, um das gewonnene Material für medizinische oder optische Anwendungen zu benutzen.

Zugang nur noch gegen Bares?

Der Streit um die öffentlichen Gendatenbanken

Bislang veröffentlichen Forschende die meisten der von ihnen entschlüsselten Erbinformationen in offen zugänglichen Datenbanken für digitale Sequenzinformationen (DSI). Diese Geninformationen dienen vergleichenden Analysen und sind für die Biodiversitätsforschung ebenso unverzichtbar wie für die Natur- und Wirkstoffforschung. Die Tatsache aber, dass Pharmakonzerne und andere Unternehmen diese frei verfügbaren Gensequenzen nutzen, um Wirkstoffe zu identifizieren, Patente anzumelden, Produkte zu entwickeln und Gewinne zu generieren, ohne dafür an die Datenerheber oder aber das Herkunftsland des genetischen Materials zu zahlen, hat in den zurückliegenden Jahren weltweit viele Kritiker auf den Plan gerufen. Deren Protest hat dazu geführt, dass derzeit im Zuge der Umsetzung des Nagoya-Protokoll darüber diskutiert wird, wie wirtschaftliche Vorteile aus der Datennutzung international gerecht ausgeglichen werden können. Im Gespräch sind sowohl Zugangsbeschränkungen als auch Gebührenzahlungen.

Die Nationale Akademie der Wissenschaften in Deutschland lehnt Zugangsbeschränkungen ab. Damit weltweit frei geforscht werden könne, müssten DSI-Datenbanken weiterhin offen zugänglich sein, heißt es in einer Stellungnahme der Akademie. Insbesondere die Coronapandemie habe gezeigt, dass der Austausch von Sequenzinformationen, in diesem Fall von neuartigen Erregern, maßgeblich zum wissenschaftlichen Fortschritt beitrage. Außerdem seien DSI-Datenbanken ein zentrales Werkzeug des Biodiversitätsschutzes, weil mit ihrer Hilfe zum Beispiel Veränderungen in Ökosystemen nachvollzogen werden können.

Dennoch befürworten die Expertinnen und Experten der Akademie einen gerechten Ausgleich von Vorteilen, die aus der Nutzung biologischer Vielfalt resultieren. Dieser müsse jedoch in einer Weise erfolgen, die weder den Biodiversitätsschutz noch die offene Wissenschaft gefährde. Schwierig sei die Situation auch deshalb, weil bisher für fast die Hälfte der bestehenden Sequenzinformationen Angaben zum Ursprung und zur Herkunft der Daten fehlten. Die wissenschaftliche Gemeinschaft müsse deshalb Lösungen entwickeln, mit denen diese Informationen künftig in den Datenbanken zur Verfügung gestellt werden können.

Ideen, wie diese Streitfrage zu lösen ist, sind auch von einer offenen Arbeitsgruppe der Biodiversitätskonvention (CBD) erarbeitet worden. Der von ihr entwickelte Rahmen soll im Oktober 2021 auf der 15. UN-Biodiversitätskonferenz im chinesischen Kunming diskutiert werden.

Grunde gute Idee, weil sie die internationale Wissenschaftskooperation fördert und Küstenstaaten in artenreichen Meeresregionen motiviert, ihre Küstengewässer aktiv zu schützen.

Der Nutzen und die Effektivität des Nagoya-Protokolls werden derzeit allerdings noch häufig durch die unterschiedliche Umsetzung der Regelungen in jedem Mitgliedsstaat beeinträchtigt. In manchen Ländern sind die Antrags- und Genehmigungsverfahren zum Nagoya-Protokoll so aufwendig und langwierig, dass Wissenschaftler auf entsprechende Forschungsvorhaben verzichten oder aber, wenn möglich, sie in Meeresregionen anderer Länder oder in internationale Meeresgebiete verlegen. Andere wiederum konzentrieren sich auf die Erforschung heimischer Gewässer.

Ein neues Abkommen soll Klarheit schaffen

Diese Erfahrungen der Wissenschaft mit den Regelungen des Nagoya-Protokoll spielen eine wichtige Rolle bei den Verhandlungen zum Umgang mit genetischen Ressourcen aus internationalen Meeresgebieten. Zur Erinnerung: Die Hohe See umfasst mehr als zwei Drittel des Weltozeans und mehr als 40 Prozent der Erdoberfläche. Sie gilt als größter Lebensraum der Erde und somit auch als größtes Reservoir der Artenvielfalt. Laut UNCLOS-Artikel 256 und 257 besitzt jeder Staat der Welt das Recht, in internationalen Gewässern zu forschen – in der Wassersäule (Hohe See) ebenso wie am Meeresboden (dem Gebiet). Theoretisch könnten also Staaten oder Konzerne jederzeit Meeresforschung in diesen internationalen Meeresbereichen betreiben, aus dem gewonnenen Probenmaterial Wirkstoffe extrahieren, diese vervielfachen und daraus Medikamente oder andere gewinnbringende Produkte entwickeln, ohne wiederum andere Länder an ihren Profiten zu beteiligen.

Um solche Vorgehensweisen zu verhindern, beschloss die Vollversammlung der Vereinten Nationen im Dezember 2017, ein neues Zusatzabkommen unter UNCLOS auszuarbeiten, welches neben allgemeingültigen Regeln zum Schutz der biologischen Vielfalt in den Meeresbereichen jenseits nationaler Hoheitsgewalt auch die Nutzung genetischer Ressourcen dort völkerrechtlich verbindlich regeln soll. Sein offizieller englischer Name lautet: International legally binding instrument under the United Nations Convention on the Law of the Sea on the conservation and sustainable use of marine biological diversity of areas beyond national jurisdiction (BBNJ).

Für die Verhandlungen wurde nach mehreren Jahren Vorbereitung eine zwischenstaatliche Regierungskonferenz mit Vertretern aller UN-Mitgliedsländer einberufen. Diese Konferenz ist bisher dreimal zusammengekommen. Ein viertes Treffen, das wegen der Coronapandemie von 2020 auf 2021 verschoben worden ist, hat bislang nicht stattgefunden. Obwohl es einen ersten Vertragsentwurf gibt, halten sich die Verhandlungsfortschritte bislang in Grenzen. Gestritten wird unter anderem über die Frage, ob die Wassersäule wie der Meeresboden in internationalen Gewässern zum gemeinsamen Erbe der Menschheit gehört und damit alle Staaten der Welt von möglichen Einnahmen profitieren sollten. Dieses Argument vertreten vor allem Entwicklungsländer, die sich eine eigene teure Meeres- und Tiefseeforschung nicht leisten können. Viele Industrienationen wiederum argumentieren, da die Wassersäule der Hohen See nicht zum Meeresboden gehöre, könne auch das Beteiligungsgebot, wie es die Internationale Meeresbodenbehörde für Gewinne aus dem Tiefseebergbau einfordert, in der Wassersäule nicht zur Anwendung kommen.

Die Europäische Union (EU) vertritt bislang den Standpunkt, dass die Meeresbereiche jenseits nationaler Hoheitsgewalt (ABNJ) zu den globalen Gemeinschaftsgütern (englisch: Global Commons) gehören – also zu jenen öffentlichen Ressourcen, die von allen Nationen der Welt genutzt werden können. Trotzdem sollte bei der kommerziellen Nutzung genetischer Ressourcen aus ABNJ auch über Ausgleichsleistungen für unbeteiligte Staaten nachgedacht werden. Als solche kämen für die EU zum Beispiel wissenschaftliche Kooperationen, Ausbildungsprogramme für Meeresforschende aus Entwicklungsländern oder aber die Förderung des Aufbaus einer meereswissenschaftlichen Infrastruktur in diesen Ländern infrage. Gewinnbeteiligungen in Form von Ausgleichszahlungen lehnt die EU jedoch ab.

Neben all diesen ganz grundsätzlichen Fragen erschweren eine Reihe von Detailfragen die Verhandlungen: Wie zum Beispiel soll sichergestellt werden, dass alle Nationen jederzeit wissen, wer genetisches Material wo in internationalen Gewässern entnimmt und was damit geschieht? Diskutiert werden bisher der Aufbau einer Informations- und Kooperationsplattform (Clearing-House-Mechanismus), auf der zum Beispiel geplante Forschungsarbeiten gemeldet werden müssen und potenzielle Kooperations-

partner zusammenfinden. Außerdem steht die Einrichtung offizieller politischer und wissenschaftlicher Gremien und eines Sekretariates im Raum, welche die Einhaltung aller im späteren Abkommen getroffenen Regelungen überwachen und koordinieren sollen.

Ungeklärt ist bisher jedoch, welche Befugnisse diese Gremien im Einzelnen haben sollen und wo ein Sekretariat angesiedelt werden könnte. Als wahrscheinlich gilt, dass unter dem neuen Abkommen eine eigene Vertragsstaatenkonferenz (Conference of the Parties, COP) eingerichtet wird. In dieser würden sich Vertreter aller Unterzeichnerstaaten regelmäßig treffen, um die Umsetzung des Abkommens zu evaluieren und eventuell notwendige Neuerungen zu beschließen oder weitere Details zu regeln.

Offen ist bisher auch, wie bei Probenahmen nachgewiesen werden kann, dass das eingesammelte biologische Material tatsächlich aus internationalen Gewässern stammt. Bei fest am Boden sitzenden Organismen mag diese Frage noch vergleichsweise leicht zu beantworten sein. Hier würden vermutlich die Koordinaten des Entnahmeortes genügen. Im Fall von Plankton oder aber wandernden Fischschwärmen wird die Herkunftsbestimmung schwieriger. Gilt in diesen Fällen ebenfalls der Ort der Probenentnahme – oder aber ist entscheidend, wo ein Meereslebewesen das Licht der Welt erblickt hat, wenn dies überhaupt bekannt ist? Für Letzteres votieren vor allem jene Staaten, deren Küstengewässer besonders artenreich sind und deren Mangrovenwälder, Riffe und Seegrasswiesen als Kindergarten für viele Arten des Meeres fungieren. Eine finale Antwort auf diese Frage aber steht ebenso noch aus wie Antworten auf Fragen zum internationalen Patentschutz und dessen Gültigkeit bei Patenten auf genetische Sequenzen aus dem Meer.

Wichtig zu wissen ist an dieser Stelle noch, dass der Zugang und die Nutzung mariner genetischer Ressourcen und mögliche faire Ausgleichsmechanismen nur eines von insgesamt vier Oberthemen ist, die das neue Abkommen zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung der biologischen Vielfalt in internationalen Gewässern regeln soll. Im Verhandlungspaket enthalten sind außerdem Regularien:

- zu gebietsbezogenen Managementmaßnahmen (Area-based Management Tools, ABMT); darunter fallen auch Meeresschutzgebiete;

- zu Umweltverträglichkeitsprüfungen (Environmental Impact Assessment, EIA);
- zum Wissens- und Technologietransfer.

Oftmals überschneiden sich diese Verhandlungspakete, beispielsweise beim Wissenstransfer und der Diskussion um einen Vorteilsausgleich bei marinen genetischen Ressourcen. Die Verhandlungsführenden stehen demzufolge vor der Aufgabe, einen Interessenausgleich über alle vier Themen zu erreichen. Im Hinblick auf marine genetische Ressourcen wird dabei entscheidend sein, dass es zum einen gelingt, allen Nationen die Möglichkeiten zu geben, genetische Forschung zu betreiben, auf internationale Datenbanken zuzugreifen und deren riesige Datenmengen zum Wohl aller zu nutzen. Gleichzeitig müssen die Regeln so ausgestaltet sein, dass Forschung weiter betrieben werden kann und nicht durch einen überbordenden technischen und administrativen Aufwand verhindert wird. Zudem muss die Staatengemeinschaft sicherstellen, dass:

- Forschung und Entwicklung in der marinen Biotechnologie nachhaltig betrieben werden,

- dabei keine ethischen und sozialen Grenzen überschritten werden und
- tatsächlich alle Bevölkerungsgruppen von biotechnologischen Lösungen wie zum Beispiel pharmazeutischen Wirkstoffen profitieren – also auch die Ärmsten und marginalisierte Gruppen wie zum Beispiel indigene Völker.

Diese Ziele können nur dann erreicht werden, wenn sowohl Erkenntnisse und Forschungsergebnisse als auch die kommerziellen Erfolge, die aus der genetischen Vielfalt des Meeres resultieren, fair geteilt werden; wenn aktuelle Regularien zum Patentschutz reformiert werden und die politischen Entscheidungsträger noch enger mit den Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft konstruktiv zusammenarbeiten. Ihre gemeinsame und wichtigste Mission muss es sein, Entscheidungen zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung der biologischen Vielfalt des Meeres auf Basis des aktuellen Wissens zu treffen, sie an den Bedürfnissen aller Menschen auszurichten und vor allem die gemeinsame Verantwortung für das Meer und seine Lebensgemeinschaften dabei nie aus den Augen zu verlieren.



7.13 > Kleinfischer wie diese Männer aus Myanmar gehören häufig zu den ärmsten Bevölkerungsgruppen. Das derzeit verhandelte Übereinkommen zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung der marinen Biodiversität in internationalen Gewässern muss sicherstellen, dass am Ende auch sie von möglichen biotechnologischen Lösungen profitieren.

Conclusio

Der Beginn einer goldenen Ära

Die biologische Vielfalt des Ozeans ist einzigartig. Getrieben durch die zum Teil extremen Umweltbedingungen hat das Leben im Meer erstaunliche Wege gefunden, sich anzupassen. Die Informationen für die artspezifischen Überlebensstrategien sind im Erbgut der Meeresorganismen verschlüsselt, darunter zum Beispiel auch die Baupläne für die sogenannten Sekundärmetaboliten, welche marine Tiere, Pflanzen, Pilze, Bakterien, Archaeen und Viren für diverse Zwecke produzieren – und die in der Regel schon in ganz geringer Konzentration eine große Wirkung entfalten.

Chemiker und Molekularbiologen interessieren sich deshalb besonders für Sekundärmetaboliten. Sie untersuchen marine Organismen auf diese bioaktiven – das heißt wirksamen – Moleküle und Inhaltsstoffe, extrahieren diese, beschreiben ihre chemische Struktur, erkunden ihre Funktion und suchen nach möglichen kommerziellen Verwendungszwecken als marine Natur- und Wirkstoffe. Dabei nutzen sie moderne DNA-Sequenzierungs-, Replikations- und chemische Analyseverfahren, die es ihnen mittlerweile erlauben, Probenmaterial innerhalb kurzer Zeit in vollem Umfang zu analysieren und alle enthaltenen Erbinformationen in digitaler Form zu speichern.

Diese neuen technischen Möglichkeiten haben zu einer Art Goldgräberstimmung in den eng miteinander verknüpften Forschungszweigen Marine Naturstoffchemie und Marine Biotechnologie geführt. Experten gehen mittlerweile davon aus, dass jeder Meeresorganismus möglicherweise genetische Informationen besitzt, die sich auf die eine oder andere Art in der Zukunft kommerziell nutzen lassen. Fachleute sprechen von einer goldenen Ära und schätzen, dass im Jahr 2025 weltweit pharmazeutische und chemische Produkte im Wert von 6,5 Mil-

liarden US-Dollar gehandelt werden, deren Ursprung auf die genetische Vielfalt des Meeres zurückzuführen ist.

Marine Natur- und Wirkstoffe kommen heute bereits vielseitig zum Einsatz – als pharmazeutische Wirkstoffe in 17 zugelassenen Medikamenten, als Nahrungsergänzungsmittel, als Düngemittel, als Rohstoff für die Kosmetikherstellung sowie für verschiedene andere industrielle Anwendungen. Ihr enormes Nutzungspotenzial wirft aber auch Fragen auf. Die drei wichtigsten lauten: Wer darf von den genetischen Ressourcen des Meeres profitieren? Wie können mögliche Wirkstoffe und erzielte Gewinne aus deren kommerzieller Nutzung allen Menschen zugutekommen? Und wie kann letztendlich angesichts des wachsenden wirtschaftlichen Interesses die biologische Vielfalt des Meeres wirkungsvoll geschützt werden?

Lösungsansätze für den Zugang und eine nachhaltige Nutzung genetischer Ressourcen aus Meeresregionen unter nationaler Hoheit sind im sogenannten Nagoya-Protokoll angelegt. Ihre Umsetzung erweist sich in der Praxis jedoch als schwierig und behindert die Forschung eher, als dass sie diese vorantreibt.

Rechtliche Vorschriften für internationale Gewässer werden derzeit als Teilaspekt eines neuen globalen Abkommens zum Schutz der Biodiversität in internationalen Meeresregionen verhandelt – und zwar auf Ebene der Vereinten Nationen. Diese Verhandlungen ziehen sich bereits über Jahre, und die aktuelle Coronapandemie hat den Prozess weiter verzögert. Außerdem rücken infolge des technischen Fortschritts stetig neue Fragestellungen mit auf die Agenda. Es bleibt abzuwarten, auf welchen Kompromiss sich die internationale Staatengemeinschaft einigt – und ob dieser die Goldgräberstimmung weiter anfeuert oder ihr zum Schutz der Meere enge Grenzen setzt.

8 Anspruch und Wirklichkeit des Meeresmanagements

> Der Mensch hat den Ozean in künstliche Zonen eingeteilt, um alleinige Besitzansprüche auf bestimmte Gebiete und ihre Ressourcen erheben zu können. Arten und Wassermassen wandern allerdings ebenso unbehelligt über die Zonengrenzen hinweg wie Wärme, Schadstoffe und Müll. Erfolgreiches Meeresmanagement braucht daher gemeinschaftliche Lösungen. Diese müssen nationen- und sektorenübergreifend gedacht werden sowie auf den Schutz und eine nachhaltige Nutzung der Meere abzielen.



Die Rechtsordnung der Ozeane

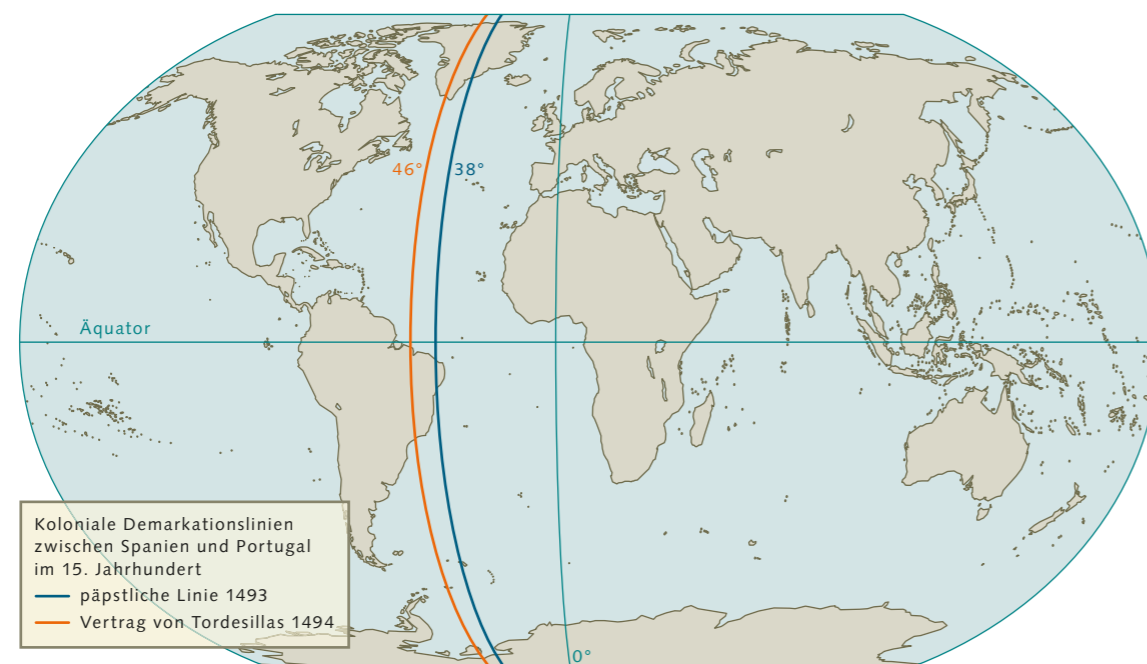
> **Wem gehört das Meer? Diese Frage stellen sich die Menschen, seit sie begonnen haben, untereinander um Fischfangrechte oder Schifffahrtswege zu konkurrieren. Eine rechtlich bindende Antwort darauf ist seit nahezu vier Jahrzehnten im UN-Seerechtsübereinkommen verbrieft. Es regelt, wer in welchen Meereszonen zu welchem Thema das Sagen hat, und verpflichtet alle Akteure, die Meeresumwelt zu schützen. Letzteres gelingt bisher kaum, was darauf zurückzuführen ist, dass Vorschriften des Seerechts in der Praxis nur unzureichend umgesetzt werden.**

Die Genese des Seerechts

Im Dezember 2022 werden 40 Jahre vergangen sein, seit sich die internationale Staatengemeinschaft auf das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen (United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS) geeinigt hat. Die Verabschiedung dieses großen Rahmenregelwerkes zur Nutzung der Ozeane gilt bis heute als historischer Meilenstein. Es beantwortet nämlich die Frage, wer welche Ansprüche auf das Meer und seine Ressourcen erheben darf und legt damit den völkerrechtlichen Grundstein für eine gemeinschaftliche und nachhaltige Verwaltung des Ozeans.

Der Weg bis zu diesem Abkommen war jedoch lang und steinig. Die Anfänge des internationalen Seerechts reichen bis in die Zeit des Römischen Reiches zurück.

Damals, im Jahr 529, erklärte der römische Kaiser Justinian I., das Meer könne wie die Luft von niemandem allein beansprucht werden. Stattdessen gehöre es allen und könne von jedem genutzt werden. Diese alsbald allgemeingültige Ansicht änderte sich, als im Mittelalter Küstenstaaten begannen, Souveränität über jene Küstengewässer auszuüben, die an ihr Königreich oder Staatsterritorium grenzten. Die Entwicklung gipfelte darin, dass die Seefahrernationen Portugal und Spanien am 7. Juni 1494 den Vertrag von Tordesillas, einer Stadt im Norden Spaniens, unterzeichneten. Mit dem Segen des Papstes Alexander VI. teilten sie darin die Welt und ihre Meere entlang einer Linie, die von Pol zu Pol verlief, unter sich auf. Spanien erhielt alle Meeresgebiete im Westatlantik, im Pazifik sowie den Golf von Mexiko; Portugal bekam den Ostatlantik, den Südatlantik und den Indischen Ozean zugesprochen.



8.1 > Ende des 15. Jahrhunderts war der Einfluss der beiden Seemächte Portugal und Spanien so groß, dass Papst Alexander VI. die Welt unter diesen aufteilte. Die Gebiete westlich der blauen Linie im Atlantik wurden Spanien zugeschlagen, die Gebiete östlich Portugal. Im Vertrag von Tordesillas wurde die Demarkationslinie korrigiert.

Nur 100 Jahre später war dieser Vertrag nicht mehr viel wert: Die von Martin Luther initiierte Reformation hatte die Kirche gespalten; neben dem katholischen Spanien und Portugal versuchten sich jetzt auch das protestantische England und die Niederlande als Seefahrernationen und Kolonialmächte zu etablieren und Handel mit Übersee zu betreiben. Der Vertrag von Tordesillas stand ihnen dabei nur im Weg. Die Niederländer etwa hinderte er daran, Schiffe über den Indischen Ozean in das von ihnen besetzte Ostindien (heutiges Indonesien) zu schicken. Der Streit eskalierte, als die Niederländer im Jahr 1603 ein portugiesisches Schiff beschlagnahmten. Um diesen Übergriff im Nachhinein zu rechtfertigen, beauftragte die zuständige niederländische Vereenigde Oostindische Compagnie (VOC) einen der besten Anwälte des Landes, ein entsprechendes Rechtsgutachten zu schreiben. Dieser Anwalt hieß Hugo Grotius (1583 bis 1645).

Geboren am 10. April 1583 in Delft, Niederlande, galt Hugo Grotius schnell als Wunderkind. Im Alter von elf Jahren durfte er sich an der Universität einschreiben, nur vier Jahre später, im Alter von 15, promovierte er und arbeitete anschließend als Diplomat und Anwalt. Dem Wunsch der Ostindien-Kompanie kam er gern nach und schrieb einen Rechtsaufsatz, von dem zu seinen Lebzeiten jedoch nur ein Kapitel veröffentlicht wurde. Es trug die Überschrift „Mare liberum“. Darin legte Grotius dar, dass das Meer im Gegensatz zum Land von niemandem besetzt oder verteidigt werden könne. Deshalb sollten alle Nationen freien Zugang zum Ozean besitzen und diesen auch frei nutzen können.

Dieser Auffassung widersprach im Jahr 1635 der englische Gelehrte John Selden (1584 bis 1654). In zwei Büchern mit dem Titel „Mare clausum“ verteidigte er den Rechtsanspruch der englischen Königsfamilie auf alle Gewässer rund um die Britischen Inseln und leitete daraus unter anderem ein exklusives Fischereirecht Englands ab. Auf Basis dessen, so argumentierte Selden, hätte das englische Königshaus auch das Recht, ausländische Fischer mit Lizenzen und Steuern zu belegen, wenn diese in englischen Gewässern fischten. John Selden stellte somit die Interessen des Küstenstaates über das Prinzip des freien, von jedermann nutzbaren Meeres.

Die von Grotius und Selden geprägten Begriffe „Mare liberum“ und „Mare clausum“ werden bis heute von See-



rechtsexperten verwendet. Ersterer, wenn es um das Prinzip des freien Meeres geht. Letzterer, wenn nationalstaatliche Besitzansprüche auf Meeresgebiete gemeint sind. Tatsächlich praktiziert aber wurde ab dem 17. Jahrhundert das Prinzip des freien Meeres – eingeschränkt durch die sogenannte Drei-Meilen-Zone. Diese ging auf den niederländischen Rechtsgelehrten Cornelis van Bynkershoek (1673 bis 1743) zurück. Ihm zufolge sollte eine Nation Hoheitsrechte über jenen Teil des Küstenmeeres beanspruchen können, den sie von Land aus mit Kanonenkugeln verteidigen konnte. Die Geschosse flogen damals etwa drei Seemeilen weit, eine Strecke von umgerechnet 5,6 Kilometern. Obwohl diese Regelung zur Drei-Meilen-Zone nirgendwo schriftlich festgelegt wurde, übernahmen

8.2 > Das Meer gehöre niemandem, und deshalb sollten alle Nationen freien Zugang zum Ozean erhalten, argumentierte der niederländische Jurist und Diplomat Hugo Grotius.

JOHN

SELDEN.



8.3 > Einen Streit um Fischereirechte nahm der englische Gelehrte John Selden zum Anlass, den Rechtsanspruch der britischen Königsfamilie auf alle Gewässer rund um die Britischen Inseln zu proklamieren. Er stellte damit die Interessen des Küstenstaates über das Prinzip des freien, von jedermann nutzbaren Meeres.

viele Staaten sie, sodass sie alsbald als Gewohnheitsrecht anerkannt wurde.

Je weiter in der Folgezeit jedoch die Fähigkeiten der Küstenstaaten zunahmen, die Meere weit über die Reichweite einer Kanonenkugel hinaus zu kontrollieren, desto häufiger wurde die Breite des Küstenmeeres von drei Seemeilen infrage gestellt. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts begannen immer mehr Staaten, ihre Hoheitsansprüche auszuweiten. Diese zahlreichen Alleingänge führten zu Spannungen zwischen Küstenstaaten und seefahrenden Nationen. Die Ausweitung der Hoheitsgewässer brachte nämlich die Gefahr mit sich, dass weltweit mehr als 100 wichtige Meerengen und Schifffahrtsstraßen unter ausschließlich nationaler Kontrolle fallen würden – darunter auch Hotspots der Handelsschifffahrt wie die Straße von Gibraltar. Die seefahrenden Nationen warben deshalb für die Freiheit des Meeres. Sie befürchteten, dass eine Vielzahl unterschiedlicher nationaler Regelungen für das Küstenmeer die internationale Seefahrt, die Fischerei und den Ressourcenabbau drastisch verkomplizieren würde. In diese Diskussionen mischten sich Stimmen, wonach Nationalstaaten nur bestimmte Aspekte in ihrem Küstenmeer selbst bestimmen sollten – etwa Regularien zum Schutz des Meeres vor Verschmutzung durch Schiffsabfälle, -abwässer oder aber Treibstofflecks. Andere Experten wiederum argumentierten, Küstenstaaten sollten alle menschlichen Aktivitäten innerhalb ihrer Hoheitsgewässer selbst regulieren dürfen.

Um Ordnung und Einigkeit in dieses Interessenwirlwarr zu bringen, veranstalteten die Vereinten Nationen in der Folgezeit drei internationale Konferenzen zum Seerecht. An der ersten Konferenz im schweizerischen Genf im Jahr 1958 nahmen 86 Staaten teil. Gemeinsam beschlossen sie vier Genfer Übereinkommen, mit denen sie eine Gebiets- und Nutzungsordnung festlegten und damit die wichtigsten Grundlagen für eine gemeinsame Rechtsordnung im maritimen Raum schufen. Die vier Übereinkommen (auch Genfer Seerechtskonventionen genannt) betrafen (1) das Küstenmeer und die Anschlusszone, (2) die Hohe See, (3) die Fischerei und die Erhaltung der biologischen Reichtümer der Hohen See sowie (4) den Festlandsockel.

Die zweite Konferenz fand im Jahr 1960 statt, abermals im Genf. Sie hatte das Ziel, Einigung zu den territo-

rialen Gewässern sowie zu Fischfanggrenzen zu erzielen. Die Verhandlungen aber endeten ergebnislos. Unter anderem gelang es den teilnehmenden Staaten zum damaligen Zeitpunkt noch nicht, sich auf die Breite des Küstenmeeres zu einigen und damit eine der drängendsten Fragen zu klären. Im Jahr 1973 luden die Vereinten Nationen erneut zu einer Seerechtskonferenz, diesmal nach New York. Es sollten Fragen zum Meeresbergbau im Mittelpunkt stehen. Die 160 teilnehmenden Nationen aber nahmen die Zusammenkunft zum Anlass, die Regeln zur Nutzung des Ozeans neu zu schreiben. Der Prozess zog sich über neun Jahre. Nach elf Verhandlungsrunden und insgesamt 585 Sitzungstagen verabschiedete die Staatengemeinschaft am 10. Dezember 1982 in Montego Bay, Jamaika, die neue Verfassung der Meere – das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen (SRÜ), welches am 16. November 1994 in Kraft getreten ist.

Ein Abkommen wie kein anderes

Das Seerechtsübereinkommen ist das wahrscheinlich komplexeste und umfassendste Vertragswerk, auf welches sich die internationale Staatengemeinschaft jemals geeinigt hat. Es umfasst 17 Teilkapitel mit insgesamt 320 Rechtsartikeln. Dazu kommen neun Anlagen mit ergänzenden Ausführungen. Das Vertragswerk führt darin nicht nur die zuvor geltenden Genfer Seerechtskonventionen zusammen, die dennoch fortgelten. Es legt außerdem verschiedene Meereszonen fest; regelt die Nutzung dieser Gebiete beispielsweise durch Schifffahrt, Fischerei und Meeresforschung; enthält Regularien zum Meeresbodenbergbau sowie zum Schutz der Meeresumwelt und gibt der Staatengemeinschaft vor, auf welche Weise Streitigkeiten zwischen zwei oder mehreren Vertragsparteien beigelegt werden müssen.

Für diese und andere Zwecke wurden mit dem UN-Seerechtsübereinkommen vier neue Institutionen ins Leben gerufen:

1. der Internationale Seegerichtshof (International Tribunal for the Law of the Sea, ITLOS) mit Sitz in Hamburg, Deutschland, dessen Zuständigkeit auf Streitigkeiten über die Auslegung und Anwendung des Seerechtsübereinkommens beschränkt ist;



8.4 > Die Richter des Internationalen Seegerichtshofes in Hamburg entscheiden nur über Rechtsstreitigkeiten, bei denen es um die Auslegung und Anwendung des UN-Seerechtsübereinkommens geht.

2. die UN-Kommission zur Begrenzung des Festlandsockels (Commission on the Limits of the Continental Shelf, CLCS), die in New York zusammentritt;
3. die Internationale Meeresbodenbehörde (International Seabed Authority, ISA) in Kingston, Jamaika;
4. die regelmäßigen Treffen von Vertretern der Unterzeichnerstaaten (Meeting of State Parties to the Convention).

Außerdem gibt es bis heute zwei ergänzende Umsetzungsabkommen:

- das Übereinkommen zur Durchführung des Teiles XI des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen, kurz auch Meeresboden-Abkommen genannt. Es wurde am 28. Juli 1994 beschlossen und enthält detaillierte Vorschriften zum Bergbau in Meeresgebieten außerhalb nationaler Hoheit.
- das Übereinkommen zur Durchführung der Bestimmungen des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen vom 10. Dezember 1982 über die Erhaltung und Bewirtschaftung von gebietsübergreifenden Fischbeständen und weit wandernden Fischbeständen (auch Fish Stocks Agreement genannt). Es wurde am 4. Dezember 1995 beschlossen und schränkt für alle Vertragsparteien die Fischereifreiheit im Hinblick auf weit wandernde Fischarten sowie auf solche Bestände ein, die sowohl innerhalb als auch außerhalb nationaler Gewässer vorkommen.

Ein drittes Umsetzungsabkommen zum Erhalt und zur nachhaltigen Nutzung der biologischen Vielfalt in internationalen Gewässern (Marine Biodiversity Beyond National Jurisdiction, BBNJ) wird derzeit von der Staatengemeinschaft verhandelt. Ziel ist es, einen verbindlichen Rechtsrahmen festzulegen, der die vielen bereits existierenden Einzelmaßnahmen zum Schutz der Artenvielfalt bündelt und sektorenübergreifend sicherstellt, dass die Ökosysteme der Hohen See geschützt und nachhaltig genutzt werden. Die Verantwortung dafür schultern bislang verschiedene Akteure, so zum Beispiel die Internationale Seeschiffahrts-Organisation (International Maritime Organization, IMO) und die Regionalen Organisationen für das Fischereimanagement. Sie alle aber verfügen nur über einen begrenzten Zuständigkeitsbereich. Außerdem fehlen bisher gemeinsame Leitlinien sowie Fortschritte durch effektive, institutionenübergreifende Zusammenarbeit auf allen Ebenen sowie über Sektorgrenzen hinweg. Mit dem neuen Umsetzungsabkommen soll sich dies ändern.

Die im UN-Seerechtsübereinkommen festgelegten Regeln und Pflichten gelten zunächst einmal für die 168 Vertragsparteien, darunter die EU (Stand: Mai 2021). Aber auch für Staaten, die dem Vertrag nicht beigetreten sind, darunter die USA, genießen die meisten Regelungen Verbindlichkeit, weil sie sich durch die fast 40-jährige Pra-

xis und Rechtsüberzeugung der Staaten als Gewohnheitsrecht verfestigt haben.

Die Aufteilung des Ozeans

Das UN-Seerechtsübereinkommen versucht einen Ausgleich zwischen den Interessen der Nationalstaaten und der Freiheit der Meere zu finden und definiert verschiedene marine Zonen, in denen der Umfang bestimmter souveräner Rechte der Küstenstaaten festgelegt ist. Dazu gehören:

- die Inneren Gewässer und das Küstenmeer eines Staates,
- die Anschlusszone,
- die Ausschließliche Wirtschaftszone,
- der Festlandsockel,
- die Hohe See und Das Gebiet.

Innere Gewässer und Küstenmeer

Als Innere Gewässer werden diejenigen salinen Gewässer definiert, die von der Basis- oder Niedrigwasserlinie aus betrachtet landeinwärts liegen. Das Küstenmeer dagegen erstreckt sich seewärts. Es hat eine Breite von maximal zwölf Seemeilen (eine Seemeile entspricht 1852 Meter). In seinen Inneren Gewässern besitzt ein Staat uneingeschränkte Hoheitsgewalt, denn sie gehören wie auch das Küstenmeer zu seinem Staatsgebiet. Die Souveränität im Küstenmeer ist ebenfalls recht umfassend. Sie erstreckt sich auf den Luftraum, die Wassersäule, den Meeresboden und den darunterliegenden Untergrund. Es ist einem Küstenstaat jedoch verboten, die friedliche Durchfahrt fremder Schiffe durch sein Küstenmeer zu behindern.

Die Durchfahrt gilt als friedlich, wenn das betreffende Schiff bei seiner Fahrt durch das Küstenmeer keinerlei Gewalt ausübt, diese auch nicht androht, den Küstenstaat nicht ausspäht und zu keinem Zeitpunkt auf andere Art und Weise eine Gefahr für die Sicherheit des Küstenstaates darstellt. Wann Letzteres der Fall ist, wird im UN-Seerechtsübereinkommen im Einzelnen definiert. U-Boote beispielsweise müssen für die Durchfahrt auftauchen und ihre Flagge hissen. Verboten sind außerdem illegale Einleitungen oder andere Meeresverschmutzungen. Der Küstenstaat darf jedoch Fahrinnen ausweisen, auf welchen die

Durchfahrt erfolgen muss, und Gebühren erheben, wenn er Leistungen erbringt, welche die Sicherheit des Schiffsverkehrs erhöhen. Bei der Ausweisung von Schifffahrtswegen und Verkehrstrennungsgebieten muss er allerdings die Empfehlungen der Internationalen Seeschiffahrts-Organisation berücksichtigen.

Ist das Küstenmeer Teil einer Meerenge oder Wasserstraße, die Gebiete der Hohen See oder verschiedene Ausschließliche Wirtschaftszonen miteinander verbindet und von der internationalen Schifffahrt genutzt wird, muss der Küstenstaat laut Artikel 37 des Seerechtsübereinkommens fremden Schiffen das Recht auf eine Transitdurchfahrt gewähren. Im Vergleich zum Recht der friedlichen Durchfahrt verfügt der Küstenstaat bei Transitdurchfahrten über noch geringeren Spielraum, diese zu beschränken. Es gilt nämlich im Grunde dieselbe Freiheit der Schifffahrt wie auf Hoher See. Letztlich ist eine Aussetzung oder Beschränkung der Transitdurchfahrt nur im Fall der Androhung oder Ausübung militärischer Gewalt durch das Schiff möglich. U-Boote dürfen Meerengen durchtauchen.

Die Grenzziehung im Küstenmeer kann durchaus politischen Zündstoff bieten. Deutschland und die Niederlande beispielsweise streiten seit Jahrzehnten über den genauen Verlauf der Staatsgrenze innerhalb des Küstenmeeres. Beide Staaten einigten sich erst im Jahr 2014 im

8.5 > Am 24. Oktober 2014 unterzeichneten der deutsche Außenminister Frank-Walter Steinmeier (rechts) und sein niederländischer Amtskollege Bert Koenders den niederländisch-deutschen Vertrag zur Regelung der Zuständigkeiten im Küstenmeer der Ems-Dollart-Region zwischen drei und zwölf Seemeilen.



sogenannten Ems-Dollart-Vertrag über die Nutzung und Verwaltung des Küstenmeeres zwischen drei und zwölf Seemeilen. Dessen Bestimmungen zufolge halten beide Staaten an ihren divergierenden Rechtsstandpunkten fest, was den Verlauf der Staatsgrenze innerhalb des Küstenmeeres betrifft. Gleichzeitig aber einigten sie sich auf ein gemeinsames Verkehrsmanagementsystem für den Schiffsverkehr im Fahrwasser von und zu Häfen beider Staaten entlang der Ems.

Mit dem Vertrag wurde außerdem eine Ständige Kommission für Schifffahrtsangelegenheiten im Fahrwasser (die sogenannte Westeremskommission) eingerichtet, die unter anderem Beschlüsse über den genauen Verlauf des Fahrwassers trifft. In Hinblick auf die nicht lebenden natürlichen Ressourcen oder aber den Bau von Anlagen, beispielsweise zur Gewinnung erneuerbarer Energien, verständigten sich die Vertragsparteien auf eine Linie, mithilfe derer geregelt wird, welche nationale Rechtsordnung anwendbar ist. Westlich dieser Linie sind die Niederlande zuständig, östlich davon Deutschland.

Anschlusszone und Ausschließliche Wirtschaftszone

An das Küstenmeer schließt sich die sogenannte Anschlusszone an. Sie darf sich maximal 24 Seemeilen über die Niedrigwasserlinie hinaus erstrecken. In dieser Zone dürfen Küstenstaaten besondere Kontrollbefugnisse ausüben und beispielsweise Zollvorschriften gegenüber Drittstaaten durchsetzen. Auf die Anschlusszone folgt die Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ), die von der Niedrigwasserlinie aus betrachtet eine Breite von 200 Seemeilen nicht überschreiten darf und nicht zum Staatsgebiet gehört. Dennoch haben die Küstenstaaten in dieser Zone das alleinige Recht, Fischfang zu betreiben, Rohstoffe zu fördern, Meeresbergbau zu betreiben oder künstliche Inseln und Anlagen wie etwa Ölbohrplattformen und Offshore-Windenergieanlagen zu genehmigen, zu errichten und zu betreiben. Der Küstenstaat verfügt in diesem Meeresgebiet zudem über Hoheitsbefugnisse in Bezug auf den Meeresschutz und die Meeresforschung. Aus diesem Grund müssen fremde Staaten grundsätzlich die Zustimmung des Küstenstaates einholen, wenn sie in dessen

Ausschließlicher Wirtschaftszone wissenschaftliche Untersuchungen vornehmen wollen. Ansprüchen des Küstenstaates auf territoriale Aneignung, das heißt Einverleibung der Ausschließlichen Wirtschaftszone in das Staatsgebiet, erteilt das Seerechtsübereinkommen eine klare Absage. Drittstaaten genießen in diesem Gebiet die sogenannte Schifffahrtsfreiheit und dürfen hier auch unterseeische Kabel und Rohrleitungen verlegen. Allerdings müssen sie dabei Rücksicht auf bereits bestehende Strukturen nehmen.

Festlandssockel

Spezielle Regelungen sieht das UN-Seerechtsübereinkommen für den sogenannten Festlandssockel vor, welcher größtenteils unterhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszone verläuft, aber dennoch als eigene marine Zone betrachtet wird. Der Küstenstaat hat im gesamten Festlandssockelbereich exklusive Rechte, solange dieser innerhalb der 200-Seemeilen-Grenze liegt. Seerechtlich kann jeder Küstenstaat den Festlandssockel von bis zu 200 Seemeilen Breite proklamieren, selbst wenn der Sockel geologisch betrachtet schmaler ist. Reicht der geologische Festlandssockel jedoch über diese 200-Seemeilen-Grenze hinaus – was bei schätzungsweise 85 Küstenstaaten der Fall ist –, kann jeder einzelne nach Artikel 76 des Seerechtsübereinkommens die äußere Grenze dieses Sockels erweitern.

Dazu muss der Küstenstaat gegenüber der UN-Kommission zur Begrenzung des Festlandssockels (Commission on the Limits of the Continental Shelf, CLCS) wissenschaftliche Daten vorlegen, aus denen sich ergibt, dass es sich bei dem betreffenden Teil des Meeresbodens und -untergrundes um die natürliche Verlängerung seines Festlandrands handelt. Diese Anforderung hat dazu geführt, dass die Kontinentalränder mittlerweile zu den am besten vermessenen Meeresregionen zählen und die Oberflächengestalt und Geologie ihres Meeresbodens weitestgehend bekannt sind. Anderswo, vor allem aber in den Tiefseeregionen, weisen die Meeresbodenkarten noch sehr viele große weiße Flecken auf. Bis zum Juni 2021 waren gerade einmal 20,6 Prozent des weltweiten Meeresbodens kartiert.

Der erweiterte Festlandssockel ist ein Hoheitsraum, in dem nur der Küstenstaat die natürlichen Ressourcen des

Meeresbodens erforschen und ausbeuten darf. Auf Gewinne aus dem Meeresbergbau in diesen Gebieten muss der Küstenstaat jedoch Abgaben an die Internationale Meeresbodenbehörde zahlen. Die Fischerei in der Wassersäule über dem erweiterten Festlandssockel ist freigegeben, ebenso die Seeschifffahrt.

Einer Erweiterung des Festlandssockels sind jedoch rechtliche Grenzen gesetzt. Die neue Außengrenze des Festlandssockels darf entweder nicht weiter als 350 Seemeilen entfernt von der Basislinie des Küstenstaates verlaufen oder nicht mehr als 100 Seemeilen über die 2500-Meter-Wassertiefenlinie hinausgehen. Eine Kombination der beiden Methoden ist zulässig.

In der Arktis, wo die Anrainerstaaten seit Jahrzehnten sich gegenseitig überlappende Gebietsansprüche erheben, verkompliziert sich die Grenzziehung dadurch, dass am Meeresboden des Arktischen Ozeans drei unterseeische Bergrücken verlaufen – der Lomonossowrücken, der Gakkelrücken und der Alpha-Mendelejew-Rücken. Aus diesem Grund kommt eine Ausnahmeregelung des Seerechtsübereinkommens zum Tragen. In Artikel 76 wird nämlich zwischen unterseeischen Bergrücken und unterseeischen Erhebungen unterschieden.

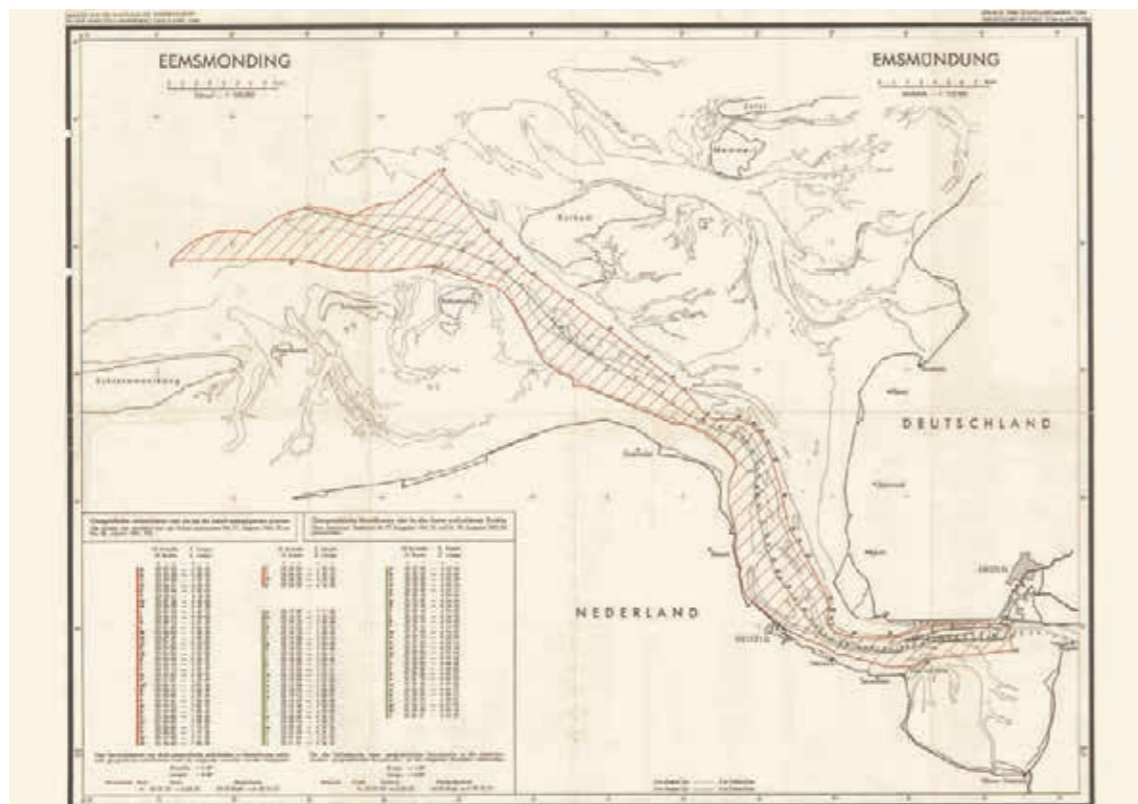
Für den Fall, dass beide mit dem Festlandssockel eines Küstenstaats verbunden sind, gelten unterschiedliche Regelungen. Verläuft der Festlandssockel in Teilen über einem unterseeischen Bergrücken, kann nur die 350-Seemeilen-Regel angewendet werden. Die Regel zur 2500-Meter-Wassertiefenlinie entfällt. Erstreckt sich der Festlandssockel jedoch über einer unterseeischen Erhebung, gelten beide Richtlinien, weil davon ausgegangen wird, dass die unterseeische Erhebung in der Regel aus dem gleichen Material besteht wie der Festlandssockel. Unterseeische Bergrücken dagegen bestehen meist aus vulkanischem Gestein und somit aus einem anderen Material als der Festlandssockel.

Diese komplexen Vorgaben des Seerechtsübereinkommens erschweren die Arbeit der UN-Kommission zur Begrenzung des Festlandssockels. Sie prüft alle eingereichten Anträge und gibt am Ende eine Empfehlung ab. Sofern der Küstenstaat die Außengrenze seiner erweiterten Wirtschaftszone der Empfehlung entsprechend anpasst, ist diese Außengrenze endgültig und verbindlich. Fraglich ist bislang, was passiert, wenn sich ein Küstenstaat der Kom-

Basislinie

Als Basislinie fungiert meist die in amtlichen Seekarten eingetragene Niedrigwasserlinie – also jene Linie, bis zu der sich das Wasser bei Ebbe zurückzieht. Da es jedoch auf internationaler Ebene weder ein einheitliches Seekartennull gibt noch jemals Position und Verlauf aller Niedrigwasserlinien verbindlich festgelegt wurden, variieren die von den Küstenstaaten zugrunde gelegten Daten der Basislinie erheblich. Im Fall von Flussmündungen, bei vorgelagerten Inseln, zerklüfteten Küsten oder bei veränderlicher Küstenlinie dürfen gerade Basislinien über die äußersten natürlichen Punkte (Landzungen, Inselketten etc.) gezogen werden.

8.6 > Der deutsch-niederländische Küstenmeerstreit geht auf unterschiedliche Ansichten zum Verlauf der Staatsgrenze in der Ems zurück. Während die Niederlande diese entlang der tiefsten Punkte des Flusses verorten, beruft sich Deutschland auf einen Lehnbrief aus dem Jahr 1464, wonach die Grenze an der westlichen Niedrigwasserlinie der Ems verlaufen soll. Die pragmatische Lösung seit 1960: ein gemeinsam genutztes Vertragsgebiet im Küstenmeer bis drei Seemeilen (seit 2014 bis zwölf Seemeilen) mit klarer Mittellinie (seit 1962), welche die Zuständigkeit der beiden Länder in bestimmten Verwaltungsfragen abgrenzt.



8.7 > Ein somalischer Pirat steht vor dem Wrack eines taiwanesischen Fischkutters, den er gemeinsam mit anderen Männern überfallen hat. Der Verdacht auf Piraterie und Menschenhandel sind zwei der wenigen Anlässe, in denen das Seerechtsübereinkommen den Einsatz von Gewalt auf Hoher See gestattet.



missionsempfehlung widersetzt und die Außengrenze in Widerspruch zur Empfehlung festlegt. Die Kommission ist nämlich kein Organ der Rechtskontrolle. Sie soll nur garantieren, dass die Grenzziehung wissenschaftlichen Standards entspricht.

Weil die Kommission chronisch unterfinanziert ist, dauern die Antragsbearbeitung und die Entscheidungsfindung in der Regel mehrere Jahre, mitunter auch mehrere Jahrzehnte. Hinzu kommt, dass die Kommission nicht zuständig ist, wenn zwei oder mehrere Küstenstaaten mit gegenüberliegenden oder aneinandergrenzenden Küsten um eine genaue Abgrenzung ihres jeweiligen Festlandsockels ringen oder sich die von ihnen beanspruchten Gebiete überlappen. In solchen Fällen verpflichtet das Seerechtsübereinkommen die beteiligten Staaten vielmehr zum Abschluss eines oder mehrerer Abgrenzungsübereinkommen. Das heißt, die beteiligten Staaten müssen diese strittigen Fragen untereinander klären. Sollte das nicht gelingen, könnte der Streit vor einem internationalen Gericht, zum Beispiel dem Internationalen Gerichts-

hof oder dem Internationalen Seegerichtshof, verhandelt werden – vorausgesetzt, die beteiligten Staaten erkennen diesen als zuständige Rechtsinstanz an.

In der Arktis haben die Verhandlungs- und Kompromissbereitschaft der Anrainerstaaten bisher ausgereicht, viele Grenz- oder Gebietskonflikte beizulegen. So einigten sich zum Beispiel Norwegen und Russland im September 2010 auf einen Kooperationsvertrag, der einen vier Jahrzehnte andauernden Streit um die Abgrenzung ihrer nebeneinanderliegenden Wirtschaftszonen und Festlandsockel in der rohstoff- und ressourcenreichen Barentssee beendete. Der darin beschlossene Grenzverlauf trägt den Ansprüchen beider Staaten zu gleichen Teilen Rechnung. Außerdem vereinbarten beide Parteien, dass sie mögliche neue, bislang unentdeckte grenzüberschreitende Ressourcenlagerstätten gemeinsam ausbeuten wollen.

Strittig war lange Zeit auch die Abgrenzung des Festlandsockels in der Nordsee, da sich hier das Meer fast vollständig über dem europäischen Festlandsockel

befindet. Der Internationale Gerichtshof wies aus diesem Grund die Streitparteien an, sich gemeinsam auf eine brauchbare Lösung zu einigen, die sicherstellen möge, dass jeder Partei möglichst alle Teile des Festlandsockels überlassen werden sollten, die eine natürliche Verlängerung ihres Landgebietes in oder unter der See darstellen, soweit dies ohne Beeinträchtigung der natürlichen Fortsetzung des Landgebietes einer anderen Partei möglich sei. Die Bundesrepublik Deutschland schloss daraufhin im Jahr 1972 ein Abkommen mit Dänemark, Großbritannien und den Niederlanden über die Abgrenzung des Anteils am Festlandsockel.

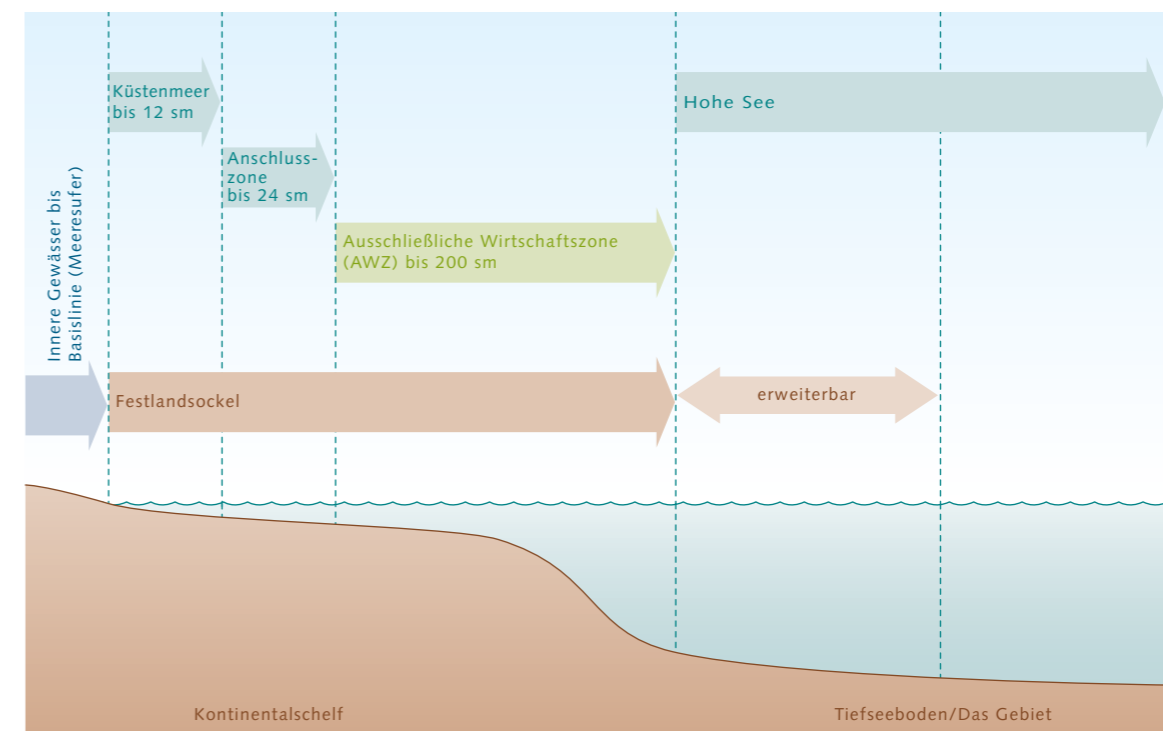
Hohe See

An der Außengrenze der Ausschließlichen Wirtschaftszone beginnt die Hohe See, die sich über die gesamte Wassersäule erstreckt, den Meeresboden aber nicht mit einschließt. Völkerrechtler bezeichnen sie auch als Staaten-gemeinschaftsraum, denn die Hohe See steht allen Staaten zur gleichberechtigten Nutzung offen und niemand kann Besitzansprüche erheben oder sich Teile der Hohen See aneignen.

Innerhalb der Grenzen der Hohen See gilt für alle Staaten die sogenannte Freiheit der Hohen See. Das heißt, diese Meeresregion darf unter anderem frei von Schiffen durchfahren und von Flugzeugen überflogen werden. Zudem ist es grundsätzlich jedem erlaubt, in diesem Gebiet zu fischen und zu forschen, auch wenn mittlerweile bestimmte Aspekte der Fischereifreiheit durch zahlreiche völkerrechtliche Verträge sowie durch das Fish Stocks Agreement genauer geregelt sind.

Alle menschlichen Aktivitäten auf Hoher See müssen laut Seerechtsübereinkommen friedlicher Natur sein. Die Staaten sind jedoch verpflichtet, Piraterie und Menschenhandel zu bekämpfen. Mit der Ausnahme von Notrufen ist es allen Schiffen zudem untersagt, aus Gebieten der Hohen See frei empfangliche Radio- oder Fernsehensendungen zu verbreiten. Kriegsschiffe dürfen zudem keine anderen Schiffe aufbringen, es sei denn, es besteht der Verdacht auf Piraterie, Menschenhandel (Sklaverei) oder sonstige, nach dem Seerechtsübereinkommen strafbare Verstöße.

Das Abkommen nimmt die Staaten außerdem in die Pflicht, beim Schutz und Erhalt der lebenden Ressourcen



8.8 > Das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen teilt das Meer in verschiedene Rechtszonen auf. Die Souveränität des Staates nimmt dabei mit zunehmender Entfernung von der Basislinie ab – siehe Tabelle nächste Seite.

	Marine Zone	Hoheitsrecht des Küstenstaates	Rechte dritter Staaten/ Freiheit der Hohen See
Teil des Staatsgebietes	Innere Gewässer Meeresgebiete zwischen dem trockenen Land und der Basislinie eines Küstenstaates.	<ul style="list-style-type: none"> unterstehen der vollen territorialen Souveränität des Küstenstaates; kein Recht der friedlichen Durchfahrt; ein Schiff, das sich in fremden Inneren Gewässern aufhält, untersteht der Jurisdiktion des Küsten- bzw. Hafenstaates; Staat darf Fischerei und Kabotage (Personen- und Güterverkehr zwischen Inlandshäfen) seinen Angehörigen vorbehalten). 	
	Küstenmeer Breite bis zu maximal zwölf Seemeilen seewärts der Basis- oder Niedrigwasserlinie.	<ul style="list-style-type: none"> Souveränität des Küstenstaates über Luftraum, Wassersäule, Meeresboden und -untergrund; Küstenstaat definiert Umweltschutzbestimmungen, darf Sicherheit in der Schifffahrt einfordern und Fahrtrinnen festlegen; besitzt nur bestimmte Eingriffsrechte bezüglich der Schifffahrt; darf aber Gebühren für bestimmte geleistete Dienste (etwa Schleppdienste) erheben. 	Recht der friedlichen Durchfahrt, auch für Kriegsschiffe in friedlicher Mission; U-Boote müssen auftauchen und Flagge zeigen.
Nicht-Staatsgebietszonen, auch küstenstaatliche Funktionshoheitszonen genannt	Anschlusszone Zone selbst darf nicht breiter als zwölf Seemeilen sein; Außengrenze darf nicht weiter als 24 Seemeilen von der Basislinie entfernt sein; Zone erstreckt sich nicht auf den Luftraum.	<ul style="list-style-type: none"> Küstenstaat ist eine Kontroll-, Vorrang- oder Monopolstellung gegenüber anderen Staaten und deren Angehörigen nur für ein bestimmtes Zuständigkeitssegment eingeräumt; Küstenstaat besitzt Kontrollrechte, die zur Verhinderung und Ahndung von Verstößen gegen seine Finanz-, Einreise- oder Gesundheitsvorschriften auf dem Staatsgebiet notwendig sind. 	
	Ausschließliche Wirtschaftzone (AWZ) Breite maximal 200 Seemeilen von Basislinie aus; Zone erstreckt sich nicht auf den Luftraum.	<ul style="list-style-type: none"> Küstenstaat übt einzelne Rechte und Hoheitsbefugnisse ausschließlich aus; Küstenstaat hat souveräne Rechte zum Zwecke der Erforschung und Ausbeutung, Erhaltung und Bewirtschaftung der lebenden und nicht lebenden natürlichen Ressourcen; nahezu alle wirtschaftlich relevanten Nutzungen werden ihm vorbehalten, unter anderem Fischerei, Windkraft, Rohstoffförderung, Bergbau; Recht auf maritime Raumplanung; Pflicht, die in der AWZ lebenden Fischbestände zu erhalten und gegen illegale Fischerei vorzugehen. 	Rechte dritter Staaten: <ul style="list-style-type: none"> Freiheit der Schifffahrt, des Überfluges und der Verlegung unterseeischer Kabel und Rohrleitungen sowie andere völkerrechtlich zulässige, mit diesen Freiheiten zusammenhängende Nutzungen des Meeres.

	Festlandssockel Das ist der Meeresboden, der sich über die gesamte natürliche Verlängerung des Landgebiets bis zur äußeren Kante des Festlandrands erstreckt; der erweiterte Festlandssockel kann maximal 350 Seemeilen von der Basislinie oder alternativ bis zu 100 Seemeilen jenseits der 2500-Meter-Tiefenlinie reichen.	<ul style="list-style-type: none"> Küstenstaat besitzt alleiniges Recht, den Festlandssockel zu erforschen und seine natürlichen Ressourcen auszubeuten (Erforschungs- und Ausbeutungsmonopol); das Recht allerdings, Meeresforschung auf dem erweiterten Festlandssockel (jenseits der 200-Seemeilen-Grenze) zu untersagen, ist eingeschränkt; Küstenstaaten sind zu Leistungen aus der Ausbeutung des erweiterten Festlandssockels jenseits von 200 Seemeilen verpflichtet, soweit sie als Entwicklungsstaaten nicht Nettoimporteure der dort gewonnenen Ressourcen sind; Küstenstaat hat das ausschließliche Recht, Bohrarbeiten für alle Zwecke zu genehmigen sowie künstliche Inseln, Anlagen und Bauwerke zu errichten (etwa Windparks). 	Gewässer über dem erweiterten Festlandssockel gehören zur Hohe See. Rechte dritter Staaten: <ul style="list-style-type: none"> Freiheit der Fischerei, der Erforschung der Wassersäule, der Schifffahrt, des Überfluges und der Verlegung unterseeischer Kabel und Rohrleitungen sowie andere völkerrechtlich zulässige, mit diesen Freiheiten zusammenhängende Nutzungen des Meeres.
Nicht-Staatsgebietszonen, auch küstenstaatliche Funktionshoheitszonen genannt	Hohe See schließt sich nahtlos an die AWZ an; umfasst die Wassersäule, aber nicht den Meeresboden.	<ul style="list-style-type: none"> keine exklusiven Nutzungsrechte; den Staaten ist es verwehrt, die Hohe See oder Teile von ihr ihrer Souveränität zu unterstellen; Gebot der Rücksichtnahme: Alle Staaten haben zur Erhaltung der lebenden Ressourcen der Hohen See beizutragen; Androhung und Anwendung von Gewalt sind in der Hohen See verboten; dieser Raum ist für friedliche Zwecke reserviert; Schiffe unterstehen auf Hoher See der Hoheitsgewalt ihres Flaggenstaates; jeder Staat darf auf Hoher See Maßnahmen gegen Schiffe ergreifen, die Seeräuberei oder Sklaverei betreiben oder ihre Flagge missbrauchen. 	<ul style="list-style-type: none"> Aneignungsverbot: Die Hohe See kann von niemandem besessen werden; es herrscht Nutzungsfreiheit, gleichberechtigt für jeden Interessenten, unter gebührender Berücksichtigung der Interessen anderer Staaten sowie der Tätigkeiten im Rahmen des küstenfernen Meeresbodenbergbaus; Freiheit der Schifffahrt (gegebenenfalls eingeschränkt durch Regeln regionaler Fischereiorganisationen); bei Konkurrenz hat der Erstkommende das Zugriffsrecht; Freiheit des Überfluges und des Verlegens von Kabeln und Rohrleitungen; Freiheit, künstliche Inseln zu errichten.
	Tiefseeboden (Das Gebiet) Meeresboden und -untergrund jenseits der Grenzen des Bereiches nationaler Hoheitsbefugnisse; beide werden als „gemeinsames Erbe der Menschheit“ definiert.	<ul style="list-style-type: none"> Aneignungsverbot: Kein Staat darf souveräne Rechte über Das Gebiet oder Teile davon beanspruchen oder ausüben. 	<ul style="list-style-type: none"> keine erlaubnisfreie Nutzung des Gebietes und seiner mineralischen Ressourcen; Genehmigungspflicht für alle Tätigkeiten (bis auf Suche nach mineralischen Ressourcen); Erforschung, Nutzung, Ausbeutung und Erlöse dieses Nicht-Staatsgebietes und seiner Ressourcen sollen allen dienen – auch nicht industrialisierten Staaten und künftigen Generationen; Tätigkeiten im Gebiet sollen deshalb umwelt-, ressourcen- und marktschonend erfolgen; ISA soll Umsetzung aller Vorgaben gewährleisten.

der Hohen See zusammenzuarbeiten – dazu zählen vor allem Fische, Meeressäuger und Seevögel. Entscheidungen zum Artenschutz oder zum Management der Ressourcen sollten auf Basis der besten wissenschaftlichen Erkenntnisse getroffen werden. Voraussetzung dafür sei aber, dass dieses Wissen auch unter allen betroffenen Staaten geteilt werde.

Diesen und anderen Meeresschutzvorgaben des Seerechtsübereinkommens kommen die Vertragsparteien jedoch nur in einem unzureichenden Maß nach. Deshalb hat sich bereits vor einiger Zeit die Erkenntnis durchgesetzt, dass das Prinzip der Freiheit der Hohen See nicht ausreicht, um die Vertragsparteien in die Verantwortung zu nehmen und zu gewährleisten, dass diese für einen ausreichenden Schutz der Meeresumwelt in internationalen Gewässern sorgen. Die Vollversammlung der Vereinten Nationen beschloss daher im Jahr 2015, die Verhandlungen zum besagten dritten Umsetzungsübereinkommen zum Schutz und Erhalt der Biodiversität in Meeresgebieten außerhalb nationaler Hoheit (BBNJ-Abkommen) aufzunehmen und somit den Handlungsspielraum und die Freiheit der Nationalstaaten zu begrenzen – vorausgesetzt, das Abkommen wird am Ende auch verabschiedet und von den Staaten ratifiziert.

Das Gebiet

Als Das Gebiet (englisch: the Area) definiert das UN-Seerechtsübereinkommen den Meeresboden und -untergrund jenseits der Festlandssockelgebiete und alle darauf oder darin lagernden Ressourcen nicht biologischen Ursprungs. Ausdrücklich ausgeschlossen von dieser Definition sind die Wassersäule und der Luftraum über dem Meer. Das Meeresbodengebiet und seine mineralischen Ressourcen werden als „gemeinsames Erbe der Menschheit“ betrachtet und dürfen nur für friedliche und nutzbringende Zwecke verwendet werden. Anders als bei der Hohen See ist eine Nutzung jedoch nicht erlaubnisfrei, sondern muss bei der Internationalen Meeresbodenbehörde beantragt werden. Diese beaufsichtigt alle menschlichen Aktivitäten innerhalb des Gebietes. Nichtsdestotrotz haben alle Staaten der Welt das gleiche Zugangs- und Teilhaberecht im Hinblick auf Das Gebiet und seine Ressourcen. Wichtig ist außerdem: Staaten haften für jegliche Aktivitäten ihrer Staatsangehörigen im Gebiet.

Eine ewige Abwägungsfrage

Die Aufteilung des Ozeans in die im Seerechtsübereinkommen definierten Zonen sorgt jedoch nur auf den ersten Blick für jene Klarheit, die sich alle Beteiligten gewünscht haben. Auf den zweiten Blick offenbart sich, dass die vom Menschen künstlich geschaffenen Zonen dazu führen, dass ein bestimmtes Meeresgebiet rechtlich unterschiedlichen Regelungen unterliegen kann – abhängig davon, wie man es nutzt. In den Gewässern der Ausschließlichen Wirtschaftszone beispielsweise gelten die exklusiven Nutzungsrechte des Küstenstaates, solange es um Fischerei und den Bau von Windkraftanlagen geht. Dieselbe Meeresfläche aber unterliegt der Freiheit der Hohen See, wenn Themen wie die Seenotrettung oder aber die Piratenabwehr in den Fokus rücken.

Verkompliziert wird die Sachlage dadurch, dass sich auch die Natur nicht an diese künstlichen Grenzen hält. Fischschwärme beispielsweise wandern zwischen den Zonen hin und her. Daraus resultiert einerseits, dass unter Umständen viele verschiedene Akteure für ein nachhaltiges Management ein und desselben Bestandes verantwortlich sind und dessen Überleben nur dann gewährleistet werden kann, wenn all diese Akteure eng zusammenarbeiten. Andererseits zeigt dieses Beispiel, dass bei Fragen zur nachhaltigen Nutzung der Meere immer wieder die Interessen der Küstenstaaten gegen die Interessen der Freiheit der Meere abgewogen werden müssen. Und selten sind Entscheidungen einfach, vor allem dann nicht, wenn Stressfaktoren wie die Auswirkungen des Klimawandels, Verschmutzung, Lärmbelastung, Küstenverbauung und Rohstoffförderung ebenfalls über jede Zonengrenze hinaus ihre schädliche Wirkung entfalten.

Regionale Meeresabkommen

Eine Sonderregelung enthält das UN-Seerechtsübereinkommen für Binnenmeere (umschlossene Meere) und halb umschlossene Meere. Zu diesen gehören wichtige Gewässer wie das Schwarze Meer, die Nord- und Ostsee, das Mittelmeer, der Persische Golf und der Golf von Mexiko. Das Abkommen verpflichtet die jeweiligen Anrainerstaaten zur Zusammenarbeit in mehreren Themenfeldern.



8.9 > Für Binnenmeere wie das Mittelmeer hält das UN-Seerechtsübereinkommen eine Sonderregelung vor: Sie verpflichtet alle Anrainerstaaten zur Zusammenarbeit in Fragen des Meeresschutzes, der Fischerei, der Forschung sowie im Umgang mit anderen Staaten und internationalen Organisationen.

Gemeinsam verantworten sie das Fischereimanagement, den Meeresschutz und die Forschung in dem jeweiligen Gewässer sowie die Zusammenarbeit mit anderen Staaten und internationalen Organisationen.

Ein europäisches Beispiel für eine solche überregionale Kooperation ist die Helsinki-Kommission (HELCOM), in deren Rahmen alle neun Ostseeränder gemeinsam mit der Europäischen Union Konzepte zum Schutz der Ostsee erarbeiten. Kernthemen sind der Erhalt der Artenvielfalt, Fischerei und Schifffahrt, Schadstoffeinträge sowie die Überdüngung des Meeres mit Nährstoffen aus den Flüssen und der Atmosphäre. Die Vertreter aller Anrainerstaaten arbeiten in fünf Arbeitsgruppen und einer Vielzahl von Expertengruppen und Projekten zusammen. Sie entwickeln Empfehlungen und Strategien, mit denen das ökologische Gleichgewicht in der Ostsee wiederhergestellt werden soll. Diese sind allerdings nicht rechtlich bindend; die Umsetzung liegt in der Verantwortung der Vertragsstaaten.

Weltweit existieren mittlerweile in mindestens 18 Meeresgebieten regionale Abkommen und Aktionsprogramme. Sie gelten als eines der wichtigsten Instrumente im internationalen Meeresmanagement, das häufig auch als Ocean Governance bezeichnet wird. Der große Vorteil regionaler Übereinkünfte ist, dass Nationen auf regionaler Ebene häufig eher bereit sind, sich auf gemeinsame Ziele und Aktivitäten zu einigen und im Zuge dessen Rechte abzugeben als auf großer, globaler Bühne. Zudem erlauben regionale Abkommen den Vertragsparteien, gebiets-spezifische Absprachen zu treffen, welche durchaus erfolgversprechender sein können als allgemeine, international geltende Regelungen.

Küstenmanagement neu gedacht

Regionale Meereskonventionen und Aktionsprogramme geben den beteiligten Anrainerstaaten einen gemeinsamen Rahmen vor und erleichtern ihnen die Entwicklung und Umsetzung eigener integrativer Managementprogramme für den Küstenraum und das Küstenmeer. Unter integrativem Küstenmanagement versteht man einen Regulierungs- und Verwaltungsansatz, bei dem der Küstenraum als komplexes, dynamisches System verstanden wird, in welchem es zu vielen Interaktionen zwi-

schen Menschen und den Ökosystemen des Meeres und des Küstenraumes kommt – und zwar über Zonen- und Sektorengrenzen hinweg. Deshalb, so lautet eines der Hauptprinzipien des integrativen Ansatzes, können die Belange des Küstenraumes nicht mehr allein innerhalb der traditionellen Sektoren geregelt werden. Viel zu oft würden sich deren Zuständigkeitsbereiche überlappen. Hinzu kommt, dass Akteure in den Sektoren Fischerei, Tourismus, Energie, Schifffahrt, Rohstoffgewinnung und Umweltschutz durchaus konkurrierende oder aber gegensätzliche Interessen verfolgen können. Die Auswirkungen der daraus resultierenden Maßnahmen gehen in der Regel immer zulasten des Meeres.

Aus diesem Grund versucht integratives Meeresmanagement, zonen- und sektorenübergreifende Leitlinien für eine nachhaltige Meeresnutzung zu entwickeln. Zur Anwendung kommt der Ansatz bisher vor allem in regionalen Aktionsprogrammen, so zum Beispiel in der Europäischen Union. Dort hat die Europäische Kommission einen integrativen Meeresrahmenplan entwickelt, der die fünf großen Themenpunkte marine Wirtschaft, Meereswissen und -daten, Meeresraumplanung, Meeresaufsicht und -kontrolle sowie spezielle Strategien für ausgewählte Meeresbecken miteinander vereint. Regionale Meeresabkommen sind jedoch keine zwingende Voraussetzung für ein erfolgreiches integriertes Küstenmanagement. Gut geplant und umgesetzt, können Küstenstaaten auch im Alleingang ihre Küsten- und Meeresverwaltung durch integrative Ansätze verbessern.

Angesichts der Meereszonierung durch das Seerechtsübereinkommen und der vielen unterschiedlichen Zuständigkeiten stößt aber auch der integrative Meeresmanagementansatz schnell an Grenzen. Ein Grund, so sagen Fachleute, sei die stetig wachsende Zahl an Akteuren, die es zu beteiligen gilt. Auf lokaler Ebene mag diese noch überschaubar sein. Mit jeder weiteren Ebene (regional, national, überregional, international) aber würde die Entscheidungsfindung komplexer, langwieriger und ineffektiver. Ein weiteres Hindernis sei der fehlende Informationsaustausch zwischen den vielen beteiligten Sektoren und Institutionen und ein fehlendes Bewusstsein vieler darüber, wie sich Maßnahmen oder Veränderungen in einem Sektor auf alle anderen Sektoren auswirken.

	Meereskonvention/Übereinkommen von	Jahr der Verabschiedung	Jahr des Inkrafttretens	Anzahl der beteiligten Staaten
Von UNEP verwaltet				
1. Mittelmeer	Barcelona	1976/1995	1978/2004	22
2. West- und Zentralafrika	Abidjan	1981	1984	22
3. Karibik	Cartagena	1983	1986	28
4. Ostafrika	Nairobi	1985	1996	10
5. Ostasiatische Meere	–	1984 (überarbeitet 1993)	Aktionsplan in Kraft	9
6. Nordwestpazifik	–	1994	Aktionsplan in Kraft	4
7. Kaspisches Meer	Teheran	2003	2006	5
Nicht von UNEP verwaltet				
8. Regionale Organisation für den Schutz der Meeresumwelt (ROPME)	Kuwait	1978	1979	8
9. Südostpazifik	Lima	1981	1986	4
10. Rotes Meer und Golf von Aden	Dschidda	1982	1985	8
11. Pazifik	Nouméa	1986	1990	19
12. Schwarzes Meer	Bukarest	1992	1994	6
13. Südasiasische Meere	–	1995	Aktionsplan in Kraft	5
14. Nordostpazifik	Antigua	2002	2010	8
Unabhängige regionale Meeresprogramme				
15. Ostsee	Helsinki	1974/1992	1980/2000	10
16. Nordostatlantik	Oslo-Paris (OSPAR)	1974/1978/1992	1998	16
17. Antarktis	Antarktis-Vertrag/-Kommission zur Erhaltung der lebenden Meeresschätze der Antarktis	1959/1980	1961/1982	32
18. Arktis	Arktischer Rat/Arbeitsgruppe zum Schutz der arktischen marinen Umwelt			8

8.10 > Regionale Meeresabkommen gelten als Kronjuwelen der Umweltdiplomatie, weil sie Kooperationen und Maßnahmen auf regionaler Ebene ermöglichen, die international kaum durchsetzbar wären. Deshalb gehören sie auch zum wichtigsten Werkzeug des Umweltprogramms der Vereinten Nationen, UNEP. Diese Tabelle listet 18 regionale Meeresabkommen und -aktionsprogramme auf, an denen sich mittlerweile insgesamt mehr als 146 Nationen beteiligen.

Neue Ansätze des Meeresmanagements

> Trotz klarer Vorgaben des internationalen Seerechts klaffen Anspruch und Wirklichkeit des Meeresmanagements auseinander. Ursachen dafür gibt es viele. Es mangelt an Geld, Wissen und dem politischen Willen, geltendes Recht umzusetzen; starre Strukturen und sich überlappende Zuständigkeitsbereiche behindern ein effektives Handeln. Diesen Käfig gilt es aufzubrechen: mithilfe neuer Akteure und Netzwerke und durch eine zielorientierte Zusammenarbeit über Ebenen-, Sektoren- und Ländergrenzen hinweg.

Ein offensichtlicher Widerspruch

Im Kern verpflichtet das UN-Seerechtsübereinkommen die Vertragsstaaten, auf regionaler, nationaler, überregionaler und globaler Ebene zu kooperieren und die Meeresumwelt auf diese Weise effektiv zu schützen. Alle dazu angewandten Maßnahmen und Konzepte müssen ihrem Inhalt nach integrativ und ihrer Wirkung nach vorbeugend und vorsorgend sein, heißt es in den Vorgaben. Warum aber, so stellt sich dann die Frage, ist der Welt-ozean in einem derart schlechten Zustand? Warum klaffen Wunsch und Wirklichkeit des internationalen Seerechts und des Meeresmanagements so weit auseinander?

Die Antworten auf diese Frage fallen durchaus unterschiedlich aus. Sie reichen vom Hinweis auf die fehlende Umsetzung vieler existierender Abkommen bis hin zur Forderung nach einem radikalen Wandel (Transformation) des Meeresmanagements. So argumentieren die Autoren des zweiten World Ocean Assessment der Vereinten Nationen, dass sich der Ozean und seine Ressourcen nur schützen und nachhaltig nutzen lassen, wenn das Seerechtsübereinkommen und seine vielen ergänzenden rechtlichen Instrumente weltweit tatsächlich umgesetzt werden. Zu diesen ergänzenden Rechtsmitteln zählen die Autoren:

- *Internationale Verträge:* Zu nennen sind an dieser Stelle internationale Abkommen zum nachhaltigen Fischereimanagement, zum Schutz vor Meeresverschmutzung durch Schiffe, zum Schutz bestimmter mariner Lebensräume oder aber Übereinkommen zum Schutz von Schiffsbesatzungen, Fischern und anderen Arbeitnehmern im marinen Sektor;
- *Regionale Verträge:* In diese Kategorie fallen die regionalen Fischereiabkommen sowie die regionalen Meereskonventionen und Aktionsprogramme;

- *Instrumente des sogenannten Soft Law:* Der Begriff „Soft Law“ umfasst Übereinkünfte, Leitlinien, Resolutionen oder Absichtserklärungen, die im Gegensatz zum „Hard Law“ nicht rechtlich bindend sind und deren Einhaltung vor Gericht auch nicht eingeklagt werden kann. Auf internationaler Ebene werden sie dennoch häufig angewendet, und Staaten schenken ihnen viel Beachtung, in erster Linie weil Soft-Law-Regelungen oft als Vorläufer für spätere Hard-Law-Regelungen in Form von Verträgen oder Abkommen dienen. Beim Thema Meeresmanagement gehören zum Beispiel die verschiedenen Fischereirichtlinien der Welternährungsbehörde FAO dazu sowie die Leitlinien für Meeresraumplanung, herausgegeben von der Zwischenstaatlichen Ozeanografischen Kommission der UNESCO (Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC). Von Bedeutung sind außerdem die Rio-Erklärung über Umwelt und Entwicklung sowie die Agenda 2030 und ihre 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung – insbesondere das Ziel Nummer 14, mit dem sich die Staatengemeinschaft dem Schutz und der nachhaltigen Nutzung der Ozeane, Meere und Meeresressourcen verschreibt.

Es sei für alle Staaten eine große Herausforderung, diese Vielzahl von Gesetzen, Richtlinien und Vorgaben umzusetzen, schreiben die UN-Experten. Allein die Zahl der internationalen Konventionen mit Bedeutung für das Meer beläuft sich mittlerweile auf mehr als 100. Für effektive Meeresmanagementmaßnahmen würden vor allem den kleinen Inselstaaten sowie den wirtschaftlich schwächsten Ländern der Welt sowohl das Fachwissen als auch die finanziellen Mittel, das qualifizierte Personal und die notwendigen Institutionen oder Behörden fehlen, so die Wissenschaftler. Die Autoren betonen zudem, dass erfolgreiches Meeresmanagement an Land beginnt.



8.11 > Baye Cheikh Mbaye aus dem Senegal beschriftet Probenflaschen im Nasslabor während einer Expedition auf dem deutschen Forschungsschiff „Heincke“. Mit knapp 55 Metern ist es das zweitgrößte Schiff in der Flotte des Alfred-Wegener-Instituts, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI).

Bereits dort müssten alle Aktivitäten so gesteuert werden, dass das Meer und seine Lebensgemeinschaften am Ende davon profitieren, anstatt wie bisher in erster Linie Schaden zu nehmen.

Den UN-Experten zufolge gibt es außerdem zahlreiche Themenbereiche, die durch existierende rechtliche Instrumente nur lückenhaft abgedeckt werden – etwa bei den Regelungen zum Umgang mit Müll im Meer oder beim Fischereimanagement. Hier müsse an vielen Stellen nachgearbeitet werden. Erschwerend kommt hinzu, dass selbst in relativ gut regulierten und kontrollierten Bereichen privatwirtschaftliche Akteure oftmals Schlupflöcher finden, die ihnen finanzielle Vorteile verschaffen, letztendlich aber auf Kosten vor allem der Menschen und der Meeresumwelt gehen.

Ein aktuelles Beispiel für ein solches Schlupfloch kommt aus dem Bereich der Seeschifffahrt. Neue Forschungsergebnisse zeigen, dass Schiffseigner aus Industrienationen wie Japan, Südkorea, den USA und Mitgliedsländern der Europäischen Union ihre Schiffe in zunehmendem Maß ausflaggen, um sie am Ende ihrer Dienstzeit

in Ländern mit schwachen Arbeitsschutz- und Umweltauflagen kostengünstig abwracken zu können. Daten aus den Jahren 2014 bis 2018 belegen, dass 80 Prozent aller ausgedienten Schiffe auf Schiffsfriedhöfen oder Abbruchwerften in Bangladesch, Indien und Pakistan auseinandergenommen wurden. Alle drei Länder sind bekannt dafür, dass Schiffe häufig direkt am Strand abgewrackt werden und dabei große Mengen Asbest, Öl und giftige Chemikalien in die Umwelt gelangen. Außerdem achten die örtlichen Arbeitgeber und Behörden bei der Schiffsdemontage nur wenig auf die Einhaltung von Arbeits- und Umweltschutzauflagen.

Die Option des Ausflaggens nutzten vor allem Schiffseigner aus Ländern der Europäischen Union: Im Zeitraum von 2002 bis 2019 stieg die Zahl der Schiffe, die unter der Flagge eines Entwicklungslandes fuhren, obwohl ihre Eigner EU-Bürger waren, von 46 auf 96 Prozent. Dieser Anstieg ist auch auf strengere Regeln zur Schiffsent-sorgung zurückzuführen, die seit dem 31. Dezember 2018 in der Europäischen Union gelten. Ihnen zufolge müssen Schiffe, die unter der Flagge eines EU-Mitgliedstaates

Ocean Panel

Als „Ocean Panel“ wird eine gemeinsame Initiative von 14 Küstenstaaten bezeichnet, die im September 2018 ins Leben gerufen wurde und das Ziel verfolgt, pragmatische Lösungen für eine nachhaltige Meereswirtschaft zu entwickeln. Dazu arbeitet die Initiative mit Vertretern aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft zusammen. Mitglieder sind Australien, Chile, Fidschi, Ghana, Indonesien, Jamaika, Japan, Kanada, Kenia, Mexiko, Namibia, Norwegen, Palau und Portugal.



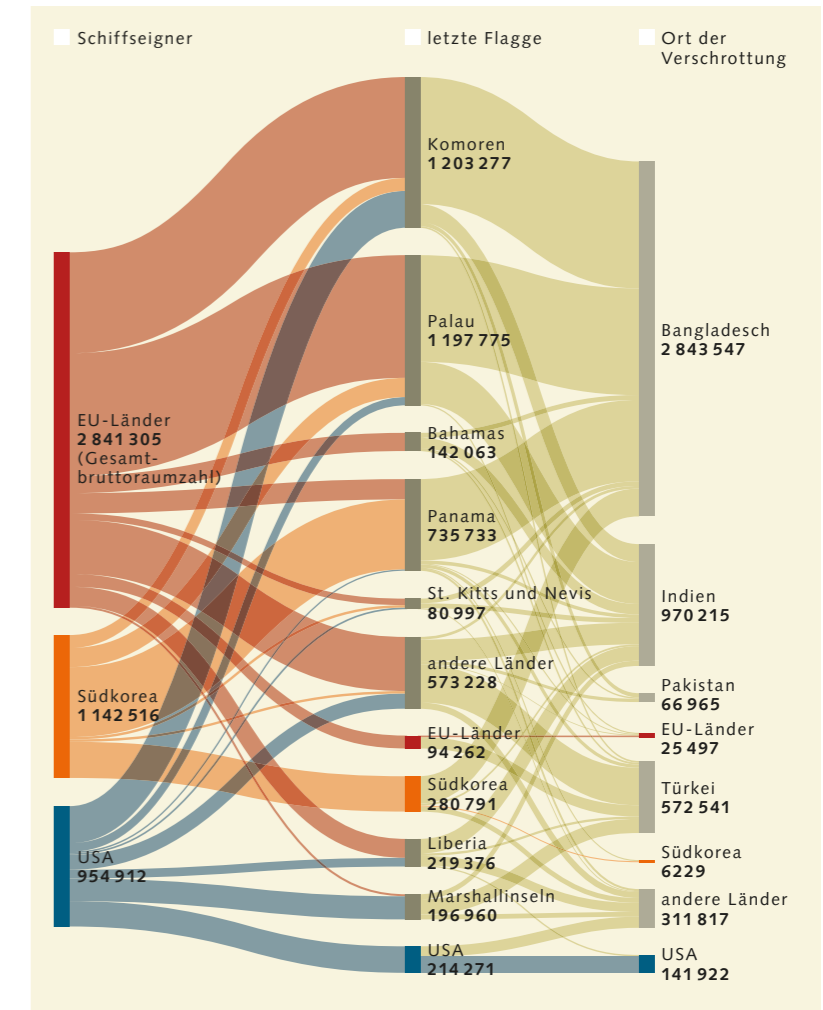
8.12 > Der Schiffsfriedhof von Chittagong in Bangladesch ist einer der vielen Orte, an denen ausgediente Fracht-, Tanker- und Containerschiffe direkt am Strand abgewrackt werden. Dabei gelangen nicht nur Asbest, Öl und giftige Chemikalien in die Umwelt. Die Schadstoffe beeinträchtigen auch die Gesundheit der rund 20 000 Mitarbeitenden auf der Abwrackwerft.

fahren, am Ende in einer Demontageanlage abgewrackt und recycelt werden, die auf einer Liste genehmigter Anlagen steht und somit nachweislich eine Reihe von Sicherheits- und Umweltstandards erfüllt. Die in der EU geforderten Standards gehen dabei über jene Anforderungen hinaus, welche die Internationale Seeschiffahrts-Organisation in ihrer umstrittenen Hongkong-Konvention zum sicheren und umweltfreundlichen Recycling von Schiffen festgelegt hat. Bereits vor der Unterzeichnung dieser Konvention im Jahr 2009 hatten mehr als 100 Umwelt- und Menschenrechtsorganisationen sowie Gewerkschaften und Vertreter zahlreicher anderer Institutionen mit einer gemeinsamen Kampagne gegen die unzureichenden IMO-Mindeststandards demonstriert und Nachbesserungen verlangt.

Radikaler Wandel benötigt

Angesichts dieser und vieler anderer Diskrepanzen zwischen Anspruch und Wirklichkeit der Ocean Governance geht eine wachsende Zahl von Fachleuten mit ihren Lösungsansätzen weit über den Standpunkt der Vereinten Nationen hinaus. Sie fordern nicht nur eine klare Umsetzung bestehender Abkommen, Gesetze und Richtlinien, sondern grundlegende Reformen des Meeresmanagements. Zu diesen Fachleuten zählen beispielsweise Experten des Weltklimarates und des Weltbiodiversitätsrates sowie eine Gruppe von Forschenden, die im Auftrag des Ocean Panel Strategien für eine radikale Neuorganisation des Meeresmanagements erarbeitet haben.

Sie alle sind der Ansicht, dass die aktuelle Situation des Ozeans einen Mentalitätswechsel erfordert – oder in anderen Worten: ein neues Verhältnis des Menschen zur Natur und insbesondere zum Ozean, geleitet von dem Bewusstsein, dass das Meer allen gehört, keiner individuellen Bereicherung dienen und nur in jenem Umfang genutzt werden soll, den seine Ökosysteme auch zu leisten imstande sind, ohne selbst Schaden zu nehmen. Alle menschlichen Aktivitäten müssten deshalb vornehmlich die Erholung und Wiederbelebung mariner Ökosysteme zum Ziel haben und nicht deren Ausbeutung. Zum anderen müssten flexible und effektive Meeresmanagementprozesse gefunden werden, die den Schutz



sowie eine nachhaltige Nutzung der Meere garantierten. Nur so könne der drohende Zusammenbruch der Lebensgemeinschaften des Ozeans und somit seiner Schlüsselfunktionen für Wirtschaft und Gesellschaft verhindert werden.

Um zu beschreiben, welche Dimensionen diese Transformation umfassen muss, greifen die Ocean-Panel-Experten auf Beispiele aus der Menschheitsgeschichte zurück. Ihrer Meinung nach ist der notwendige gesellschaftliche Wandel in etwa vergleichbar mit jenen fundamentalen Veränderungen, die dazu führten, dass Jäger und Sammler vor etwa 12 000 Jahren zu sesshaften Bauern wurden – oder aber mit jener Umwälzung, in der Europas bäuerlich geprägte Gesellschaften der Renaissance und Reforma-

8.13 > Eine Studie belegt: Ein Großteil der Schiffe, die im Jahr 2019 abgewrackt wurden, gehörte Eignern aus der Europäischen Union, Südkorea oder den USA. Diese aber ließen die alternden Frachter am Ende unter fremder Flagge fahren, sodass die Schiffe anschließend in Ländern mit laschen Umweltauflagen entsorgt werden konnten.

8.14 > Das Große Blaue Loch bildet den Eingang in ein unterseeisches Höhlensystem und gehört zu den touristischen Highlights in jenem Teil des Mesoamerikanischen Riffes, der von Belize verwaltet wird. Der integrierte Küstenmanagementplan des Landes gilt als vorbildlich. Er setzt darauf, dass gesunde, robuste Küstenökosysteme dem Menschen weitaus mehr nutzen als ausgebeutete und geschädigte.



tionszeit (Zeitraum von 1450 bis 1750) den Sprung in das Industriezeitalter meisterten. Will heißen: Um das Ziel einer nachhaltigen Meeresnutzung zu erreichen, müssen sich alle Aspekte unseres modernen Lebens grundlegend verändern. Nahezu alles muss neu gedacht und auf nachhaltige Weise neugestaltet werden. Die Belastungsgrenzen der Natur sollten der Menschheit dabei als rote Linie dienen, die es nicht zu überschreiten gilt.

Das Versagen des aktuellen Meeresmanagementsystems ist nach Meinung der Wissenschaftler darauf zurückzuführen, dass erstens die Aufgaben auf zu viele eigenständig agierende Sektoren und Institutionen verteilt sind. Zweitens fehlen Instrumente oder Anreize für ein gemeinsam abgestimmtes Vorgehen, obwohl das Seerechtsübereinkommen eigentlich den notwendigen Rahmen dafür bietet. Symptomatisch Charakter hatte demzufolge eine Inhaltsanalyse von mehr als 500 internationalen Übereinkommen zum Umweltschutz sowie zu menschlichen Aktivitäten auf den Weltmeeren. Ihren Ergebnissen zufolge beziehen sich globale Abkommen größtenteils auf einzelne Meeressektoren – etwa auf

Fischerei, Verschmutzung, Rohstoffförderung und Schifffahrt. Nur selten betrachten sie zwei oder mehrere Sektoren. Regionale Übereinkommen dagegen decken in der Regel mehrere Bereiche ab. Übergreifende Themen wie die Stärkung mariner Lebensgemeinschaften aber fänden auch dort nur am Rand Erwähnung.

Ein ähnliches Bild ergibt sich beim Blick auf die wichtigsten Institutionen des globalen und nationalen Meeresmanagements. Auch sie sind überwiegend Sektoren zugeteilt und selten über deren Grenzen hinaus zuständig. Zu ihnen gehören Institutionen, die:

- die Landnutzung im Küstenraum, im ländlichen oder im städtischen Raum steuern,
- Binnengewässer verwalten und ihre Nutzung überwachen,
- die Nutzung natürlicher Ressourcen steuern (etwa Land- und Forstwirtschaft, Bergbau, Fischerei),
- für Umweltschutz zuständig sind,
- die Entwicklung vorantreiben sollen (Wirtschaft, Energiesektor, Transportwesen) oder

- menschliche Aktivitäten auf dem Meer beaufsichtigen und regulieren.

Sie alle arbeiten nach Ansicht der Wissenschaftler in einem unzureichenden Maß zusammen. Hinzu komme, dass der Klimawandel, der technologische Wandel sowie die Ansprüche einer wachsenden Weltbevölkerung den menschengemachten Druck auf die Meere verschärften. Das Scheitern des gegenwärtigen Meeresmanagements werde dadurch umso deutlicher.

Ideen für ein neues Meeresmanagement

Die Suche nach Auswegen aus dieser Misere sollte nach Auffassung der Fachleute lern- und wissenschaftsbasiert erfolgen. Die Forschung habe gezeigt, dass Ökosysteme an Land, in Flüssen, Flussmündungen, Ästuarien sowie im Meer eng miteinander verbunden sind und dass sich keine der drei globalen Krisen (Klimawandel, Artensterben, Verschmutzung) für sich allein betrachtet lösen lässt. Eine nachhaltige Meeresnutzung erfordere daher einen ganzheitlichen Ansatz des Meeresmanagements. Dieser setzt jedoch eine viel größere Kooperationsbereitschaft aller Akteure voraus – angefangen von der lokalen Ebene bis hoch zur internationalen Ebene. Benötigt werden außerdem ein größeres Verantwortungsbewusstsein, klare Haftungsregeln im Falle von Verstößen, transparente Entscheidungsprozesse sowie neue Beteiligungsverfahren, mit denen gewährleistet werden kann, dass Nutzungskonflikte gelöst und alle Beteiligten auf faire Weise von den Ressourcen und Leistungen des Meeres profitieren werden – vor allem von jenen außerhalb der nationalen Hoheitsgebiete.

Besondere Hoffnungen setzen die Experten auf sogenannte Nischenlösungen, die im Kleinen oder auf lokaler Ebene ersonnen und getestet werden, sich bewähren und anschließend als Best-Practice-Beispiel in die Welt hinausgetragen und vielerorts angewandt werden. Globale Strahlkraft und Vorbildfunktion besitzt zum Beispiel ein sektorenübergreifender integrierter Küstenmanagementplan, der im Jahr 2016 in Belize verabschiedet wurde. Angestoßen wurde dessen Ausarbeitung durch ein neu geschaffenes Ministerium, welches die Bereiche Landwirtschaft, Fischerei, Forstwirtschaft, Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung in sich vereint.

Auf dem Weg zum neuen Plan ließ sich die Regierung von Experten für integrierte Küstenplanung beraten. Außerdem veranstaltete sie einen interaktiven Findungsprozess, an dem sich alle von der Küstenplanung betroffenen Interessengruppen einbringen konnten. Beteiligt haben sich sowohl Ministerien als auch Nichtregierungsorganisationen, Unternehmen und Vertreter der lokalen Gemeinden. Der neue Managementplan verfolgt das Ziel, die Küsten effektiver vor Sturmschäden und steigendem Meeresspiegel zu schützen, die Gewinne aus Fischerei und Tourismus zu steigern sowie den Schutz für Mangroven, Korallenriffe und Seegrasswiesen zu verstärken und somit die Lebensgrundlage eines Großteils der Küstenbevölkerung zu sichern.

Der Plan stellt zudem heraus, dass für eine erfolgreiche Umsetzung eine Vielzahl unterschiedlicher Akteure und Maßnahmen koordiniert und mit ausreichend finanziellen Mitteln ausgestattet werden müssen – angefangen von den Themenbereichen Küstenverschmutzung, Grundnetzfisherei, pelagische Fischerei und Aquakultur über Tourismusentwicklung bis hin zu Bildung, Anpassung an den Klimawandel und Erhalt des kulturellen Erbes. Obendrein führte der neue Managementplan dazu, dass die Regierung Belizes die Erdölförderung im zweitgrößten Korallenriff der Welt, dem Mesoamerikanischen Barriereriff, verbot. Die UNESCO lobte den Küstenmanagementplan als einen der fortschrittlichsten der Welt und sah das große Korallenriff des Landes nun so gut geschützt, dass es das Riff von der Liste der gefährdeten Weltkulturerbestätten strich.

Wichtige Fortschritte im Meeresschutz können auch durch die Streichung von Subventionen erzielt werden. Ohne sie wäre nicht nur so manche Hochseefischerei ein Verlustgeschäft, subventioniert werden auch düngelintensive Anbauformen in der Landwirtschaft, die zu einer Überdüngung der Flüsse und Küstengewässer führen. Und schaut man über die Küstenzonen hinaus, schaden letztendlich auch subventionierte Küstenumbauten, Waldrodungen und Bodenversiegelungen dem Meer. Sie beschränken einerseits die Fähigkeit der Naturräume, Kohlendioxid aus der Atmosphäre zu entfernen, und treiben somit den Klimawandel voran. Zum anderen vernichten sie wichtigen Lebensraum für Artenvielfalt und minimieren deren Funktionsvielfalt, auf die wiederum

Our Ocean Conference

Die Our Ocean Conference (OOC) ist eine jährlich stattfindende Veranstaltung, auf der Regierungs- und Unternehmensvertreter sowie Führungspersönlichkeiten aus Wissenschaft und Zivilgesellschaft zusammentreffen, um sich über Fortschritte im Meeresschutz auszutauschen und neue Projekte bekanntzugeben. Diese entfallen stets auf einen der folgenden sechs Themenbereiche: (1) marine Schutzgebiete, (2) Klimawandel, (3) Meeresverschmutzung, (4) nachhaltige Fischerei, (5) nachhaltige Meereswirtschaft und (6) maritime Sicherheit.

auch die Meere auf direkte und indirekte Weise angewiesen sind.

Erste Anzeichen für einen Bewusstseinswandel in Politik und Wirtschaft spiegeln sich in der zunehmenden Bereitschaft von Staaten und Unternehmen wider, auf selbst gesteckte Umwelt- und Klimaschutzziele hinzuwirken. Das prominenteste Beispiel für solche Selbstverpflichtungen sind die nationalen Klimaschutzbeiträge (Nationally Determined Contributions, NDCs), zu denen sich die Unterzeichnerstaaten des Pariser Klimaschutzabkommens verpflichtet haben.

Freiwillige Selbstverpflichtungen mit direktem Meeresbezug geben staatliche und nicht staatliche Akteure auf der regelmäßig stattfindenden Our Ocean Conference oder aber bei der UN-Ozeankonferenz ab. Und erstaunlich viele setzen die angekündigten Projekte im Anschluss auch um. Im Zeitraum der Jahre 2014 bis 2017 beispielsweise betraf ein Drittel aller Selbstverpflichtungen, die auf den Our Ocean Conferences verkündet wurden, das Thema marine Schutzgebiete. Von diesen 143 Ankündigungen wiederum waren bis zum Jahr 2019 die Hälfte in die Tat umgesetzt – das heißt, es wurden weltweit mehr als fünf Millionen Quadratkilometer Meeresgebiet neu unter Schutz gestellt, so zum Beispiel in Palau, Argentinien, Chile, Kanada, den USA, Norwegen, Irland und Mikronesien.

Auf der 6. Our Ocean Conference im Oktober 2019 versprachen Regierungen, Unternehmen und andere Akteure insgesamt 370 Maßnahmen mit einem Gesamt-

wert von 64 Milliarden US-Dollar. Die Palette umfasste dabei unter anderem:

- Zusagen, unabhängige Wissenschaftler Krill-Fischzüge von Bord des Schiffes aus beobachten zu lassen (Fischereiunternehmen);
- Investitionen in Ozean-Risiko-Initiativen (Versicherung);
- Finanzierungszusagen für Projekte zum ökologischen Wandel der Seeschifffahrt (Bank);
- eine Vielzahl an Forschungs- sowie Wissens- und Datentransferprojekten (Forschungsinstitutionen und Regierungen);
- Projekte zur Vermeidung oder Reduktion von Müll im Meer (NGOs und Regierungen);
- verstärkte Anstrengungen, die Schutzmaßnahmen in ausgewiesenen Meeresschutzgebieten auch wirksam umzusetzen (Regierungen) und vieles mehr.

Insgesamt entfielen 23 Prozent der angekündigten Maßnahmen auf den Themenbereich nachhaltige Meereswirtschaft, 21 Prozent wurden der Kategorie Meeresverschmutzung zuteil. Weitere 16 Prozent zielten auf nachhaltige Fischerei ab, fünf beziehungsweise vier Prozent auf marine Sicherheit und die Ausrichtung künftiger Konferenzen. Im Hinblick auf die zugesagten Gelder sollten 80 Prozent der Mittel für Maßnahmen zum Kampf gegen den Klimawandel verwendet werden, gefolgt von

Finanzierungszusagen für Maßnahmen für eine nachhaltige Meereswirtschaft.

Selbstverpflichtungen allein aber reichen nicht aus, um den notwendigen Wandel voranzutreiben. Auch die Strukturen der Meeresverwaltung müssten sich ändern, sagen Fachleute. Wurden Entscheidungen bislang häufig auf höchster staatlicher Ebene gefällt und ihre Umsetzung dann bis auf die tiefste Ebene durchgedrückt (Top-down-Methode), erfordere nachhaltige Entwicklung netzwerkähnliche Entscheidungsstrukturen, in denen Vertreter aus Politik, Privatwirtschaft, Forschung und Zivilgesellschaft mitwirken – und die über Themengrenzen und Zuständigkeitsebenen hinweg auf vielfältige Art und Weise zusammenarbeiten. Die Stränge eines solchen polyzentrischen Managementnetzwerkes würden demzufolge in alle Richtungen reichen – mit vielen Querverbindungen über Sektoren-, Themen- und Bezirks-, Landes- und Staatsgrenzen hinweg.

Nach Überzeugung der Wissenschaftler hat ein solches komplexes Managementnetzwerk mit vielen kooperierenden Entscheidungszentren drei große Vorteile:

- Es ist offener für innovative Lösungsansätze und fördert das gemeinsame Lernen.
- Es bezieht alle Gruppen der Gesellschaft in die Entscheidungsfindung mit ein, vor allem die von den Entscheidungen betroffene lokale Bevölkerung.
- Es kann daher effektiver auf die Herausforderungen unserer Zeit reagieren als ein Verwaltungssystem, in dem es wenig Interessenvielfalt und nur eine Art der Entscheidungsfindung gibt.

In der Praxis, so die Wissenschaftler, gebe es solche netzwerkartigen Ansätze bereits dort, wo zum Beispiel die Entscheidungshoheit über das lokale Meeresmanagement in die Hände der ansässigen Küstenbevölkerung gelegt wurde und die Anwohner, unterstützt von Fachleuten, gemeinsam über die Nutzung und den Schutz ihrer Gewässer beraten und entscheiden. Erfolgentscheidend sei obendrein, dass die Meinungen und Ansätze der lokalen Akteure auch in regionale und nationale Entscheidungsprozesse einfließen und sich die Beteiligten auf den verschiedenen Ebenen miteinander abstimmen würden.

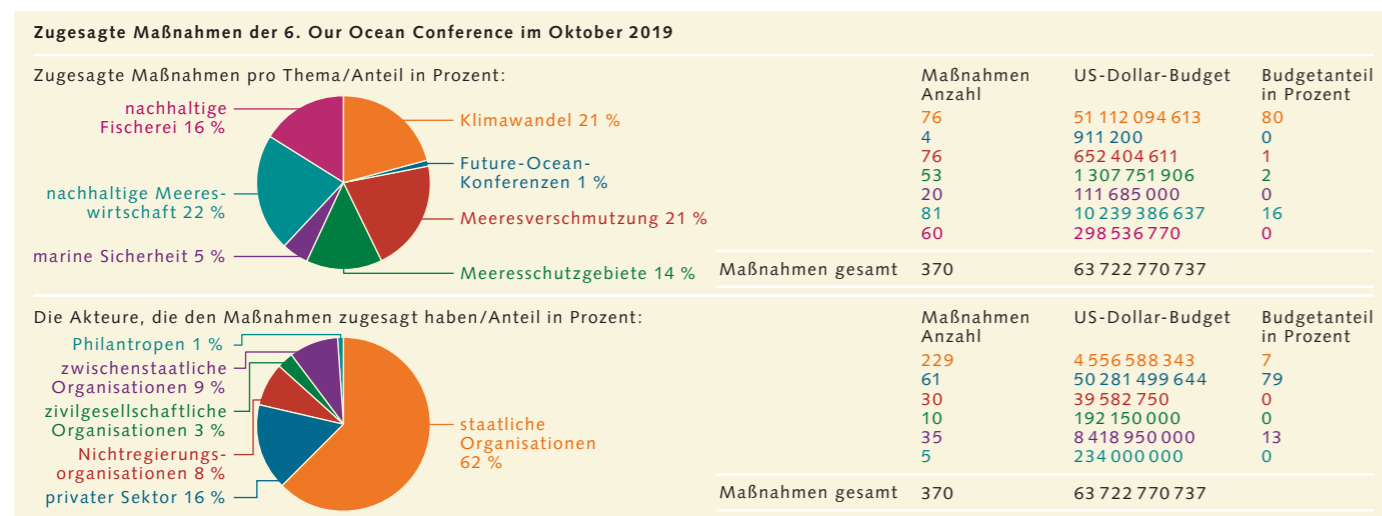


In Chile beispielsweise führte die Regierung nach dem Zusammenbruch der Abalonebestände im Jahr 1991 sogenannte regionale Fischereirechte für Kleinfischer ein (Territorial Use Rights in Fisheries, TURFs). Das heißt, in mehr als 550 ausgewiesenen Küstengebieten dürfen seit einigen Jahren jeweils nur bestimmte Gruppen von Kleinfischern der chilenischen Abalone (*Concholepas concholepas*) und anderen Arten nachstellen – eine jede in dem ihr zugewiesenen Abschnitt. Die Fischerkooperativen entscheiden selbst über Fangmengen. Sie überwachen eigenständig die Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften in ihrem Gebiet und sind verpflichtet, regelmäßige Bestandsschätzungen an die Aufsichtsbehörden zu melden. Infolge dieses lokalen Fischereimanagements sind die Fänge der Kleinfischer in den meisten Regionen kontinuierlich angestiegen, stellenweise haben sie sich sogar verfünffacht. Der Sektor bietet wieder verlässlich Nahrung für die Küstenbevölkerung und Arbeit für mehr als 17 000 Fischer. In besonders gut verwalteten TURFs hat zudem die Bestandsdichte und die Größe der Fische zugenommen, was darauf hindeutet, dass sich diese Vorgehensweise auch als Werkzeug für ein nachhaltiges Küsten- und Fischereimanagement eignet.

Damit aber noch nicht genug: Nach Ansicht der Ocean-Panel-Autoren bedarf es einer internationalen

8.16 > Abalone-muscheln dürfen in Chile seit einigen Jahren nur noch von jenen Fischern gefischt werden, die eine Fischereilizenz für das jeweilige Küstengebiet besitzen, in denen die Muscheln heranwachsen. Seit der Einführung dieser exklusiven Fischereirechte für Kleinfischer haben sich die einst stark überfischten Muschelbestände vielerorts wieder erholt.

8.15 > Auf der 6. Our Ocean Conference im Jahr 2019 machten die Teilnehmenden Meeresschutzzusagen im Gesamtwert von 64 Milliarden US-Dollar. Die meisten Projektideen wurden dabei von Regierungen eingereicht, während die finanziell aufwendigsten Zusagen aus der Privatwirtschaft kamen.



Die WBGU-Kriterien für eine künftige Meeres-Governance

Ein Expertengremium der deutschen Bundesregierung (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, WBGU) hat bereits im Jahr 2013 zehn Kriterien entwickelt, mithilfe derer bestehende Meeresmanagementstrukturen analysiert und neu ausgerichtet werden können. Sie haben bis heute nichts an Wertigkeit und Aktualität verloren. Ambitioniertes Meeresmanagement fußt demzufolge auf folgenden Grundsätzen:

1. *Adaptives Management* zielt darauf, die Wissensbasis für die Governance kontinuierlich zu verbessern und sie zeitnah für den Umgang mit den Meeren zu nutzen. Adaptives Management soll im Sinne eines Lernprozesses das Wissen über Ökosystemstruktur und -dynamik vertiefen und somit Schutz und Bewirtschaftung der Meere iterativ verbessern.
2. *Anreize für Innovationen* für eine nachhaltige und risikoarme Nutzung der Meere sollen Akteure belohnen, die statt kurzfristiger Gewinnmaximierung langfristig gedachte, nachhaltige Geschäftsmodelle für Nutzung und Schutz der Meere entwickeln.
3. Eine *klare Zuweisung von Nutzungsrechten* ist notwendig, um die Übernutzung des Kollektivguts Meer zu verhindern. Dies ermöglicht die Ausschließbarkeit von Nutzern und somit eine Koordinierung der Nutzung, sei es über Märkte oder über Verhandlungen. Zudem können die gesellschaftlichen Kosten der Nutzung nach dem Verursacherprinzip den Nutzern angelastet werden, sodass die externen Kosten internalisiert werden.
4. Ohne ein bisher unerreichtes Niveau *globaler Kooperationskultur* und globaler Kooperationsmechanismen sind Schutz und nachhaltige Nutzung des globalen Kollektivguts Meer unmög-

lich. Globale Kooperation ist Grundlage für die Entwicklung internationaler Übereinkommen für Meeresschutz und -nutzung sowie für deren gemeinschaftliche Umsetzung.

5. *Subsidiäre Entscheidungsstrukturen*, die Entscheidungskompetenzen primär bei dezentralen Entscheidungsträgern auf regionaler oder lokaler Ebene und sekundär bei zentralen internationalen Stellen ansiedeln, sind für die Akzeptanz globaler und nationaler Regulierungen entscheidend. Darüber hinaus wird durch eine derart verstandene Subsidiarität die effiziente Durchsetzung der Regulierungen erleichtert.
6. *Transparente Informationen* stellen sicher, dass die relevanten Daten für alle Akteure zugänglich sind.
7. *Partizipative Entscheidungsstrukturen* ermöglichen es, Interessen offenzulegen, und führen zu Entscheidungen, die für alle Akteure nachvollziehbar sind.
8. *Faire Verteilungsmechanismen* sollen die gerechte Aufteilung der Gewinne aus mariner Ressourcennutzung sowie der Kosten, zum Beispiel von Schutz, Monitoring, Überwachung und Sanktionierung, gewährleisten. Dies gilt für die Kosten- und Nutzenverteilung sowohl zwischen Staaten als auch zwischen verschiedenen Verwaltungsebenen eines Staates.
9. *Konfliktlösungsmechanismen* sind notwendig, um die vielfältigen Nutzungsinteressen verschiedener Akteure (zum Beispiel Staaten und Individuen) abzustimmen.
10. *Sanktionsmechanismen* auf den verschiedenen Governance-Ebenen sind zentrale Instrumente, um die Einhaltung von Nutzungsregelungen durchzusetzen.

Ozeanagentur als oberster Institution. Diese sollte einerseits die Normen und Prinzipien und damit die übergreifenden Spielregeln eines nachhaltigen netzwerkartigen Meeresmanagements definieren. Andererseits hätte sie die Aufgabe, Regeln und Mechanismen zur Streitbeilegung anzubieten und die Einhaltung wichtiger Grundsätze wie Transparenz, Verantwortungsbewusstsein und Beteiligungsvielfalt durchzusetzen. Um sie ins Leben zu rufen, bedürfte es einer Resolution der Vereinten Nationen sowie einer Gruppe von Staaten, welche die notwendigen Gelder zur Verfügung stellt, ohne sich dadurch jedoch Sonderrechte erkaufen zu wollen.

Einen ähnlich lautenden institutionellen Vorschlag hatten deutsche Experten des Wissenschaftlichen Beirates der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) bereits im Jahr 2013 gemacht. Sie schlugen vor, eine Welt-Ozean-Organisation (World Ocean Organisation) als globalen Sachverwalter des Menschheitserbes Meer zu etablieren, und definierten zehn Kriterien, an denen sich ambitionierte Meeres-Governance messen lassen müsste.

Die Idee einer UN-Ozeanagentur stößt jedoch nicht bei allen Fachleuten auf Zustimmung. Kritiker geben angesichts der Erfahrungen aus den Verhandlungen zum

Mining Code für den Tiefseebergbau sowie zum BBNJ-Abkommen zu bedenken, dass sich vermutlich auch dieses Gremium wieder aus Vertretern der Nationalstaaten zusammensetzen würde. Somit bestünde die Gefahr, dass deren Interessenunterschiede abermals elementare Entscheidungsprozesse verzögern und die Ozeanagentur in ihrer Arbeit stark behindern würde. Fraglich wäre zudem, ob sich die Industrienationen überhaupt auf ein solches Meeresgremium einlassen würden. Schließlich hätten sie auch dort jeweils nur eine Stimme und müssten gemeinsam mit vielen Entwicklungsländern und solchen Staaten, die keinen eigenen Meereszugang besitzen, über grundsätzliche Fragen zur Meeresnutzung entscheiden – und sich womöglich deren Mehrheit unterwerfen.

Dennoch sollte die internationale Staatengemeinschaft den Handlungsempfehlungen der Ocean-Panel-Autoren Aufmerksamkeit schenken. Die von ihnen erarbeiteten Prinzipien eines netzwerkähnlichen nachhaltigen Meeresmanagements könnten sich als ausgesprochen sinnvoll erweisen – ganz unabhängig davon, ob es am Ende eine Ozeanagentur geben wird oder nicht. Mit ihnen als Leitplanken könnte es gelingen, den vom UN-Seerechtsübereinkommen vorgegebenen Rahmen tatsächlich mit Leben zu füllen und dem Meer jenen Schutz zu garantieren, den es braucht, um dem Menschen bestmöglich zu dienen. Die wichtigsten Handlungsempfehlungen für ein zukünftiges Meeresmanagement noch einmal auf einen Blick:

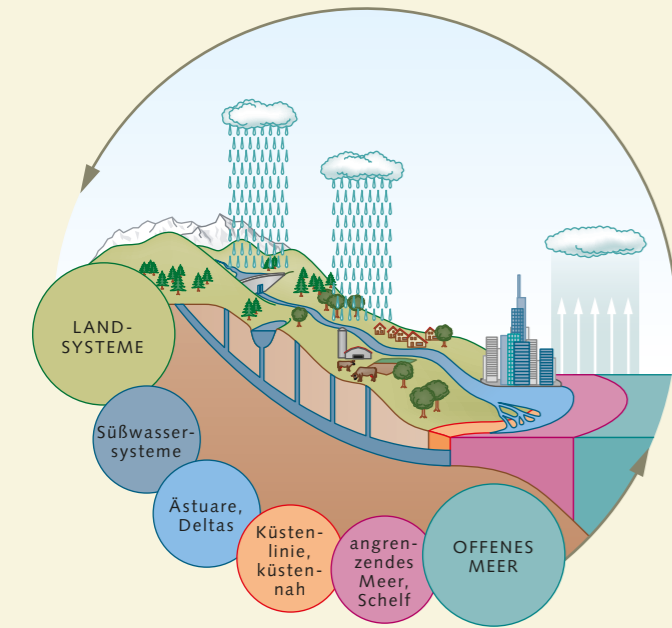
- Alle Entscheidungen sollten auf eine nachhaltige Meeresnutzung abzielen und sich nach den Vorgaben richten, auf die sich die Staatengemeinschaft in der UN-Klimakonvention, im Pariser Klimaabkommen, im Übereinkommen über die biologische Vielfalt verständigt hat. Außerdem gilt das Verursacherprinzip (Verursacher zahlt für Schadensbeseitigung), welches bereits in der Rio-Erklärung über Umwelt und Entwicklung festgeschrieben wurde. Das UN-Seerechtsübereinkommen bildet die rechtliche Basis allen Handelns.
- Programme und Maßnahmen sollten über Sektoren- und Zonengrenzen hinaus reichen und Informationen aus allen betroffenen Bereichen berücksichtigen. Dazu bedarf es einer engen Zusammenarbeit der vielen Akteure und Institutionen.

- Entscheidungen sollten wissenschaftsbasiert erfolgen und stets dem Vorsorgeprinzip Rechnung tragen. Um Expertenwissen zuverlässig in Entscheidungsprozesse einfließen zu lassen, sollten feste Abläufe eingeführt werden, die Anhörungen von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern oder aber ihre Mitarbeit ermöglichen. Außerdem sollten die Wirksamkeit und Effizienz aller Maßnahmen durch großflächige Beobachtungs- und Evaluationsprogramme überprüft werden.
- Nachhaltiges Meeresmanagement benötigt einen flexiblen Organisationsrahmen, innerhalb dessen auch zeitnah und effizient auf überraschende Veränderungen reagiert werden kann.
- Nachhaltiges Meeresmanagement sollte auf ein enges Netzwerk aus vielen Akteuren setzen, um die Beteiligung aller an der Entscheidungsfindung zu gewährleisten. Zudem gilt es, alle Entscheidungsprozesse transparent zu gestalten.
- Jegliches Wissen über den Zustand des Meeres, über rechtliche Rahmenbedingungen, Nutzungspläne, Forschungsergebnisse, Technologieentwicklungen, Best-Practice-Beispiele sollte über Wissens- und Datenportale frei unter allen Beteiligten geteilt werden.
- Der Prozess des Meeresmanagements sollte von Fairness und Gleichheit geprägt sein. Grundlegend dafür ist, dass Menschenrechte geschützt und durchgesetzt werden, Akteure Verantwortung für ihr Handeln übernehmen und für negative Folgen haften. Ferner muss eine Balance gefunden werden zwischen individuellen kurzfristigen Zielen und dem gemeinsamen Langfristziel einer nachhaltigen Meeresnutzung.

Außerdem rufen die Autoren alle Regierungen, Unternehmen und Vertreter der Zivilgesellschaft auf, die auf Transformation angelegten Meeresprogramme der Vereinten Nationen und ihrer Institutionen zu stärken. Der Lebensspender Ozean befindet sich aufgrund menschlichen Handelns in einer ausgesprochen prekären Lage, die durch den Klimawandel weiter verschärft wird. Ihn daraus zu befreien und sowohl den Lebensgemeinschaften des Ozeans als auch den Milliarden Menschen, die vom Meer profitieren, eine nachhaltige Zukunft zu garantieren, verlangt die Unterstützung und Mitarbeit aller – eine Forderung ganz im Sinne des Seerechtsübereinkommens.

Source-to-Sea-Ansatz: Meeresschutz beginnt weit im Inland

Beispielgebend für neue Formen des Umwelt- und Meeresmanagements ist der sogenannte Source-to-Sea-Ansatz (von der Quelle bis zum Meer), den ein gleichnamiges internationales Organisationsnetzwerk entwickelt hat. Seine Grundidee lautet, Meeresschutz so zu denken, dass man alle jene Naturräume in das Management mit einbezieht, aus denen Stoffe ins Meer gelangen – also von der Quelle der (Stoff-)Flüsse bis hin zum Ozean. Geografisch betrachtet setzt dieser Ansatz demzufolge im Quellgebiet der Bäche und Flüsse an, erstreckt sich dann über Wälder, Felder, Feuchtgebiete, Seen und Ortschaften entlang ihres Streckenverlaufes



8.17 > Der Source-to-Sea-Ansatz berücksichtigt die vielen Stoffflüsse vom Land in das Meer und umgekehrt – und bindet daher alle Naturräume und Akteure landeinwärts in den Küsten- beziehungsweise Meeresschutz mit ein.

und reicht über das Delta oder aber die Flussmündung hinaus bis in das Küstenmeer und am Ende bis auf die offene See.

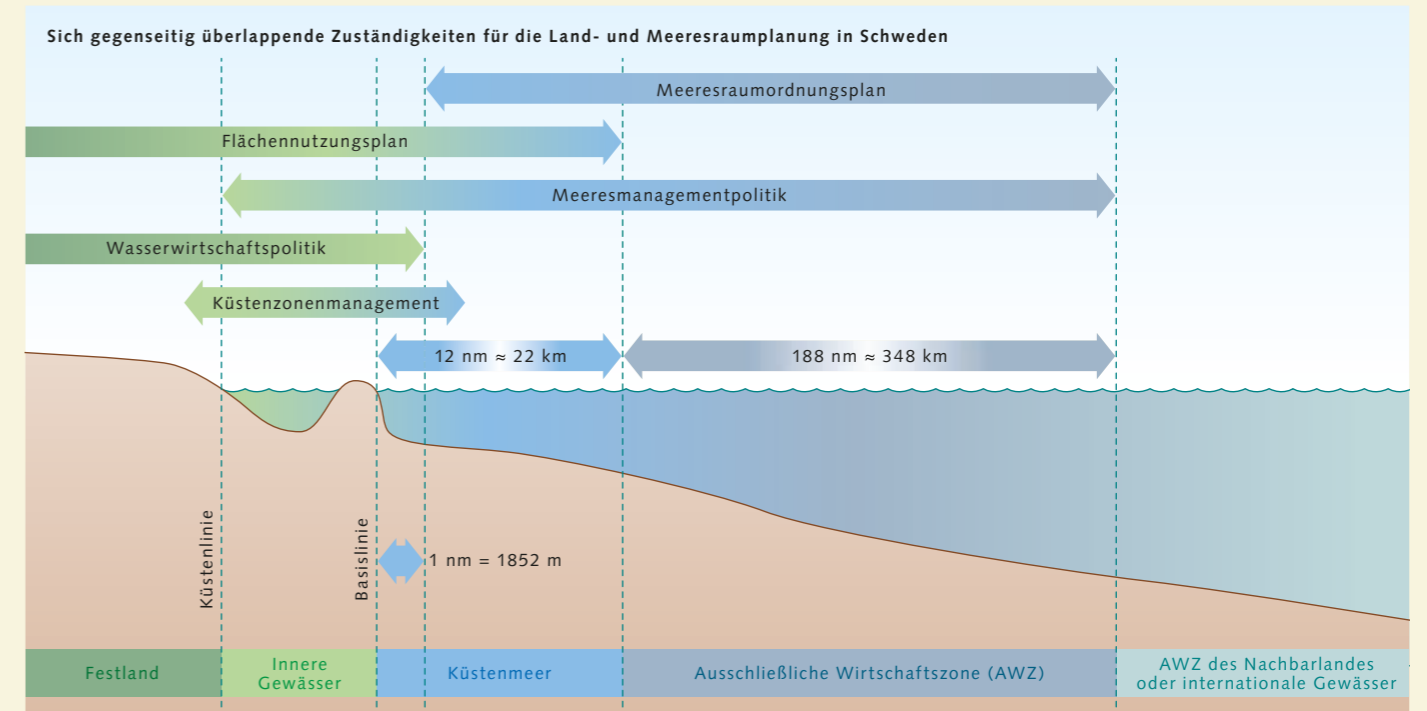
All diese Räume sind durch den Transport von Wasser, Sedimenten, Organismen, Schadstoffen, Materialien und durch verschiedene Ökosystemleistungen miteinander verbunden. Obendrein sind in allen Naturräumen Menschen aktiv, welche diese nutzen und die in erster Linie ihre eigenen Interessen im Blick haben. Das heißt, sie interessieren sich weniger dafür, was weiter flussabwärts geschieht. Aus diesem Grund haben die Konzeptinitiatoren einen strukturierten Prozess entwickelt, mit dessen Hilfe sich dieses System aus unterschiedlichen Räumen, Akteuren, Interessen, Nutzungsformen und Regularien analysieren lässt, sodass sich die Perspektive der einzelnen Akteure weitet und Möglichkeiten für eine überregionale Zusammenarbeit entstehen. Gemeinsame Projekte zeichnen sich dadurch aus, dass sie (1) ganzheitlich konzipiert sind, (2) neue Partnerschaften initiieren, (3) thematische Prioritäten setzen, (4) auf die jeweiligen Bedingungen vor Ort eingehen, (5) zielorientiert agieren sowie (6) anpassungsfähig sind. Das heißt, Maßnahmen werden wissenschaftlich begleitet, Ergebnisse dokumentiert, Methoden und Abläufe evaluiert, sodass im Fall von Misserfolgen oder Rückschritten entsprechende Anpassungen vorgenommen werden können.

Ein Ergebnis dieses Prozesses ist meist eine engere Zusammenarbeit von Akteuren über Sektorengrenzen hinweg. Schweden ging sogar so weit, seine Fischereibehörde und Teile der Umweltbehörde zusammenzulegen. Gemeinsam formen sie seit dem Jahr 2011 die neue Behörde für Meeres- und Wassermanagement. Deren Aufgabe lautet, nationale und europäische Vorgaben für Binnengewässer, Meeres- und Fischereimanagement umzusetzen. Diese drei Teilbereiche unter einem Dach zu vereinen, versetzt die Mitarbeitenden in die Lage, einen ganzheitlichen Blick auf die Bäche, Seen, Flüsse und Meeresgebiete und die auftretenden Umweltprobleme zu werfen. Diese Perspektive wird immer wichtiger, denn der Druck, Probleme ganzheitlich anzugehen, steigt infolge des Klimawandels sowie neuer nationaler und internationaler Zielsetzungen. Zwei Beispiele: Schwedens Energiesektor soll bis zum Jahr 2040 vollständig auf Strom aus erneuerbaren Energiequellen umgestellt sein;

einen Großteil davon sollen Wasserkraftwerke bereitstellen, die zuvor aber modernisiert werden müssen, damit sie wichtige Umweltstandards erfüllen. Gleichzeitig soll sich die Wasserqualität in Schwedens Binnen- und Küstengewässern verbessern. Deren Werte sind immer noch weit von dem entfernt, was die Europäische Union und Schweden selbst als „gut“ bezeichnen würden.

Acht Jahre, nachdem die neue Behörde ihre Arbeit aufgenommen hatte, lief nach Meinung der Source-to-Sea-Initiatoren noch nicht alles nach Plan. Vor allem die interne Koordination von Maßnahmen als

auch die Zusammenarbeit mit anderen nationalen Behörden waren nach wie vor verbesserungswürdig. Erschwert wurde beides jedoch noch immer durch unterschiedliche, sich zum Teil überlappende Zuständigkeitsbereiche, Maßnahmenprogramme und Vorschriften, berichteten die Initiatoren im Jahr 2019. Der Anfang aber war gemacht, und der strukturierte Prozess wird mittlerweile in mehreren Küstenregionen angewandt – so zum Beispiel am Golf von Bengalen, in 14 pazifischen Inselstaaten oder aber bei der globalen Suche nach Auswegen aus der Müllkrise des Ozeans.



8.18 > Diese Darstellung der schwedischen Behörde für Meeres- und Wassermanagement zeigt, wie sich in Schwedens Küstenregionen Maßnahmenprogramme und Zuständigkeiten für bestimmte Zonen überlappen und ein integratives und sektorenübergreifendes Management weiterhin erschweren.

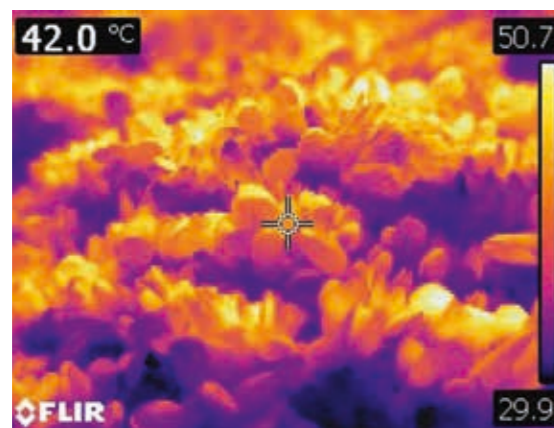
Der Ozean: Krisenschauplatz und Teil der Lösung

> Infolge von Klimawandel, Überfischung, Lebensraumzerstörung, Artensterben, Überdüngung, Verschmutzung, Verkehr und vielen anderen Stressfaktoren ist der Ozean heute in einem zunehmend schlechteren Zustand. Dabei benötigt die Welt ein intaktes, leistungsfähiges Meer dringender denn je. Eine drastische Reduktion der Belastungen muss ab sofort oberste Priorität haben. Wie dieses Ziel jedoch erreicht werden kann, ist strittig – ebenso wie die Frage, ob die Menschheit momentan wirklich Willens genug ist, die notwendigen Veränderungen anzustoßen.

In den Fokus gerückt

Die gute Nachricht zuerst: Der Ozean ist seit der Jahrtausendwende auf die politische Agenda gerückt – und mit ihm ein Bewusstsein auch unter Staatsoberhäuptern, dass es um den Zustand der Weltmeere viel schlechter steht, als es lange Zeit angenommen wurde. Sie werden wärmer, höher, artenärmer und stürmischer. Sie versauern zunehmend, verlieren mehr und mehr Sauerstoff, werden in vielen Regionen maßlos überfischt und schlucken täglich tonnenweise Gift und Müll. Im Jahr 2020 trat auf mehr als 80 Prozent der Meeresfläche mindestens eine Hitzewelle auf. Die Meere, so viel steht zum Anfang der UN-Ozean-dekade fest, sind Schauplatz nicht nur einer, sondern gleich dreier globaler Umweltkrisen, die allesamt allein der Mensch zu verantworten hat – die Klimakrise, die Artenvielfaltskrise und die weltweite Verschmutzungskrise.

Die Auswirkungen dieser Umweltkrisen sind ungleich verteilt. Insbesondere die Veränderungen durch den Kli-



8.19 > Diese Wärmebildaufnahme einer Muschelbank im kanadischen Vancouver zeigt, dass sich die Tiere während der extremen Hitzewelle im Sommer 2021 auf bis zu 50 Grad Celsius aufheizten.

mawandel treffen rund um den Globus arme Bevölkerungsgruppen am härtesten, weil sie keine oder nur wenige Anpassungsmöglichkeiten haben – so zum Beispiel Kleinfischer, die in ihren kleinen Booten den abwandernden Fischschwärmen nicht folgen können, oder aber Familien, die von der Landwirtschaft in unmittelbarer Meeresnähe leben und denen der steigende Meeresspiegel zunehmend das Land und damit die Existenzgrundlage raubt.

Unbestritten ist zudem, dass gesellschaftliche Probleme wie Armut, Hunger und soziale Ungerechtigkeit die Krisensituation verstärken. Wer einzig und allein vom Meer lebt, hat keine andere Wahl, als auch dem letzten Fisch nachzustellen. Inwiefern Meeresschutzmaßnahmen und Programme zur nachhaltigen Meeresnutzung Wirkung entfalten, hängt deshalb auch immer davon ab, in welchem Maß sie die Bedürfnisse der vor Ort betroffenen Menschen mit berücksichtigen.

Der Ozean bietet gleichzeitig aber auch Lösungen – angefangen von seinem riesigen Potenzial für Windenergie und nachhaltige Fischerei und Aquakultur bis hin zu den großen Mengen Kohlendioxid, die sich durch eine Wiederherstellung von Mangrovenwäldern und Seegraswiesen sowie durch eine gezielte Großalgenzucht zusätzlich binden und speichern ließen. Voraussetzung ist allerdings ein grundlegender Paradigmenwechsel im Umgang mit dem Meer. Anstatt ausschließlich darauf abzielen, dem Meer eine maximale Menge an Fisch, Meeresfrüchten, Erdöl, Gas, Sand, Erzen und anderen Ressourcen zu entnehmen, muss sich die Menschheit fragen, wie sich Meeresschutz, nachhaltige Nutzung und eine faire und gerechte Teilhabe an den Schätzen der Meere miteinander vereinbaren und zeitgleich umsetzen lassen.

Die Experten des Ocean Panel schlagen dafür ein Fundament aus fünf Bausteinen vor:



8.20 > Tote Muscheln bedecken einen Strandabschnitt in Vancouver, Kanada. Unter normalen Bedingungen ertragen die Felsküstenbewohner für kurze Zeit Temperaturen von 35 Grad Celsius. Rekordwerten von 45 bis 50 Grad Celsius im Sommer 2021 aber konnten die Meereslebewesen nichts mehr entgegensetzen. Sie starben in Massen.

1. **Wann immer künftig Entscheidungen zum Meer getroffen werden, müssen diese auf Daten und wissenschaftlichen Erkenntnissen basieren.** Dazu braucht es offen zugängliche Datenbanken und Technologien, mit denen Umweltparameter gemessen, Prozesse simuliert, Akteure verfolgt, Entwicklungen vorhergesagt, Managementmaßnahmen überwacht und Daten schließlich geteilt werden können. Im kleinen Rahmen werden einige dieser Technologien schon genutzt: Ein Computermodell namens POSEIDON etwa erlaubt es Fachleuten, die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Fischereimanagementmaßnahmen, der Fischfangflotte und den Ökosystemen des Ozeans zu simulieren und auf diese Weise alternative Ideen zu vergleichen. Neu ist auch das Marine-Manager-Informationssystem der Meeresschutzorganisation Global Fishing Watch. Es stellt nahezu in Echtzeit Daten zu wichtigen Meeresparametern, zu Zonengrenzen sowie zu menschlichen Aktivitäten (zum Beispiel Fischerei, Bergbau, Tourismus) in Meeresschutzgebieten zur Verfügung und soll so Gebietsverwaltern und interessierten Nutzern die Kontrolle und den Schutz

der entsprechenden Regionen erleichtern. Vorerst bietet dieses Portal nur Einblick in fünf ausgewählte Meeresschutzgebiete; spätestens 2024 aber soll es weltweit funktionieren.

2. **Die Meeresraumplanung sollte sich an konkreten Zielen ausrichten – und über Sektorengrenzen hinweg erfolgen.** Angesichts der vielen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Sektoren der Meereswirtschaft bedarf es neuer, koordinierter Nutzungsansätze – etwa durch ein integriertes, ökosystembasiertes Management und eine wissenschaftsbasierte Raumplanung für alle Meeresgebiete. Erfolg winkt jedoch nur dann, wenn es zum einen gelingt, einen Ausgleich zwischen den Interessen der unterschiedlichen Nutzergruppen zu finden. Daher müssen diese auch alle an den Planungen beteiligt werden. Zum anderen wird vorausgesetzt, dass das Meer nur in jenem Maß genutzt wird, wie es dessen Lebensgemeinschaften nicht schadet, und die einheimische Bevölkerung faire Zugangs- und Nutzungsrechte erhält. Darunter fallen auch exklusive Fischereirechte für lokale Fischergemeinschaften.

- 3. Es muss mehr Geld in Methoden zur nachhaltigen Meeresnutzung investiert werden.** Bislang steht gerade einmal ein Viertel der Gelder zur Verfügung, die es bedarf, um wichtige zerstörte Lebensräume des Ozeans wiederherzustellen. Die Regierungen sind außerdem gefordert, neue Arten einer nachhaltigen Meeresnutzung durch Subventionen zu unterstützen. Diese wären auch problemlos finanzierbar, wenn schädliche Subventionen für die industrielle Fischerei oder für die Förderung von Erdöl und Erdgas im Meer gestrichen oder umgeleitet würden. Richtig eingesetzt, versprechen Investitionen in die Gesundheit des Meeres langfristig nämlich hohe finanzielle Gewinne.
- 4. Der Eintrag von Müll und Schadstoffen von Land muss gestoppt werden,** indem insbesondere die große Menge an Müll durch kluges Recycling und alternative Verpackungsmaterialien minimiert wird und in allen Wirtschaftssektoren eine Kreislaufwirtschaft eingeführt wird. In der Landwirtschaft sollten zudem zielführende Umweltschutzauflagen eingeführt und umgesetzt werden.
- 5. Die vielen Leistungen der Meere müssen sich in allen Wirtschaftsbilanzen und in Produktpreisen widerspiegeln, um den tatsächlichen Wert und die Bedeutung des Ozeans klarer herauszustellen.** Bei herkömmlichen Verfahren zur Berechnung der Wirtschaftskraft eines Landes (etwa beim Bruttoinlandsprodukt) wird ignoriert, welche Schäden die ver-

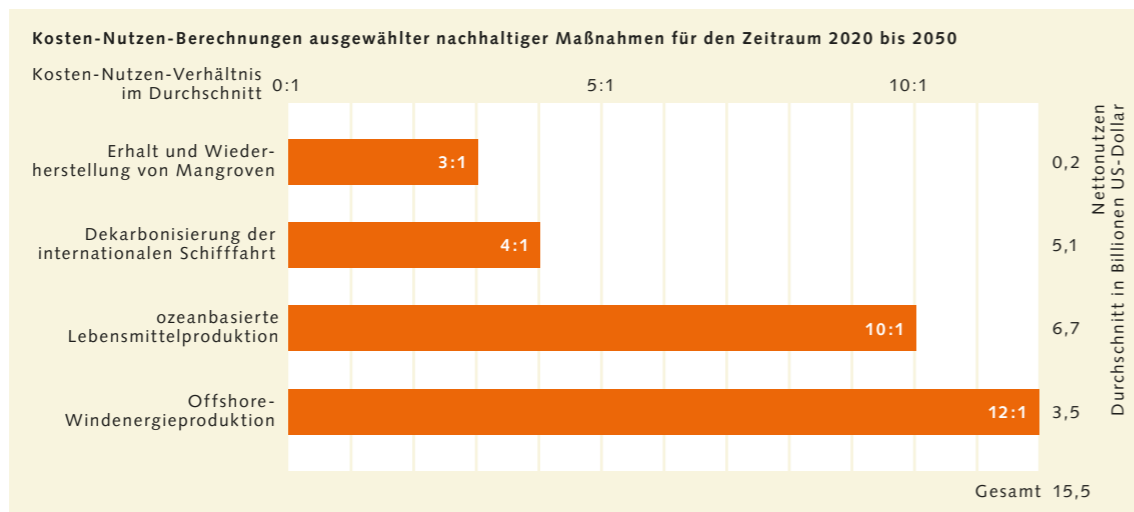
schiedenen Industrien anrichten oder in welchem Maße ihre Aktivitäten den Klimawandel beschleunigen. Diese Aussage gilt bislang auch für Berechnungen zur Stärke der Meereswirtschaft und führt dazu, dass wenig nachhaltige Aktivitäten wie die industrielle Fischerei als gewinnbringend wahrgenommen, beibehalten und vielerorts sogar subventioniert werden. Um die von der Meereswirtschaft verursachten Schäden und den Nutzen des Ozeans realistisch bilanzieren zu können, bedarf es neuer Berechnungskriterien und -verfahren. Diese zu entwickeln, ist eine gemeinsame Aufgabe der Regierungen und ihrer Behörden für Statistik.

Unter dem Stichwort Meeresschutz verstehen die Experten des Ocean Panel dabei nicht mehr automatisch, dass der Mensch das Meer in bestimmten Regionen vollends in Ruhe lassen soll. Gemeint ist stattdessen ein schonender Umgang, der die Artenvielfalt des Meeres und wichtige Lebensräume erhält, die Widerstandskraft der marinen Lebensgemeinschaften stärkt und ihre dezimierten Bestände wieder anwachsen lässt – ein Ansatz, der mittlerweile von vielen Befürwortern einer expandierenden Meereswirtschaft propagiert wird.

Der Dreifachnutzen echter Meeresschutzgebiete

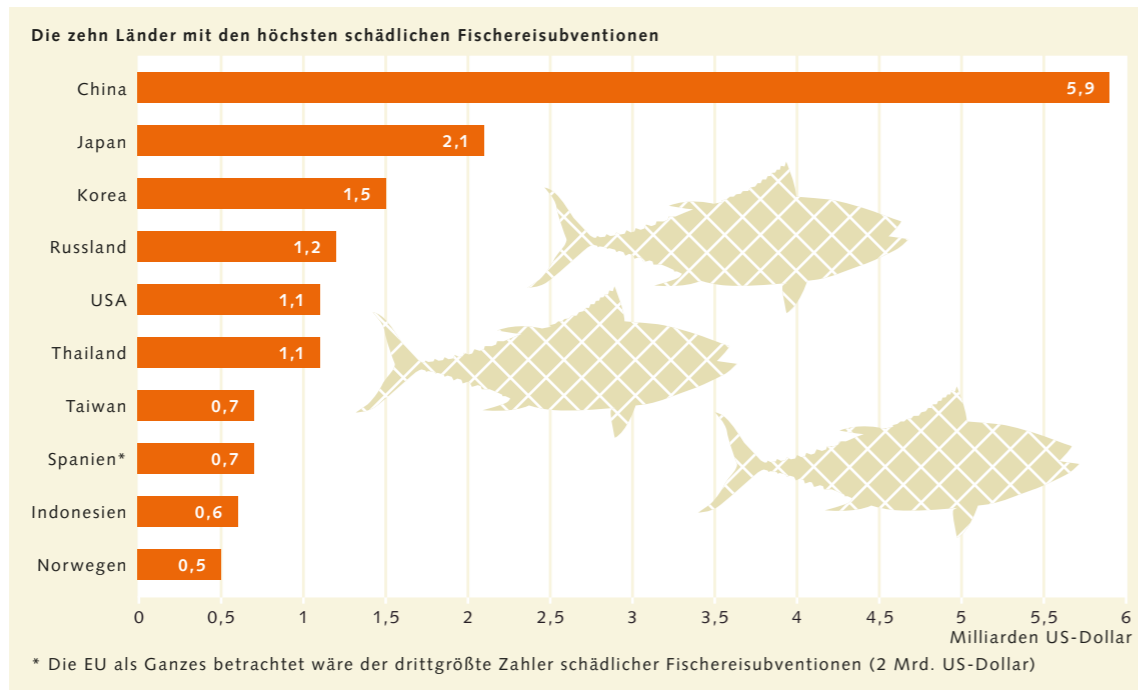
Eine neue Studie, veröffentlicht im März 2021, zeigt jedoch, dass auch radikaler Meeresschutz – das heißt die

8.21 > Investitionen in nachhaltige Formen der Meeresnutzung zahlen sich langfristig aus. Experten prognostizieren solide Kosten-Nutzen-Verhältnisse und stattliche Gewinne innerhalb von drei Jahrzehnten.



8.22 > Gesunde Seegraswiesen und Mangrovenwälder, wie es sie unter anderem in Kuba noch gibt, sind Hotspots der marinen Artenvielfalt. Hier ruht sich ein Spitzkrokodil (*Crocodylus acutus*) direkt neben einer Roten Mangrove (*Rhizophora mangle*) auf einem Bett aus Seegräsern aus.

8.23 > Große Fischereinationen zahlen mittlerweile hohe Subventionen, um ihre Flotten fernab der Heimat auf Fischfang gehen zu lassen und somit das Überfischungsrisiko in eigenen Gewässern zu minimieren. Neuesten Berechnungen zufolge gaben die zehn größten Subventionsgeber im Jahr 2018 rund 15,4 Milliarden US-Dollar dafür aus.

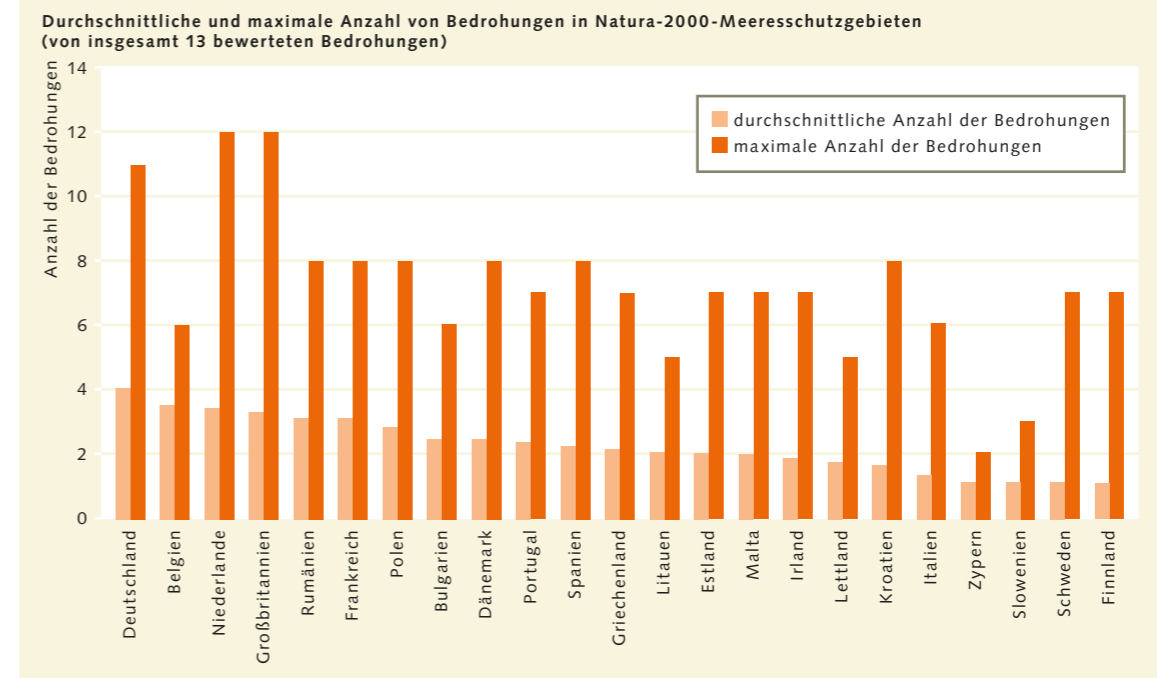


Erweiterung besonders stark geschützter Meeresregionen – bei der Bewältigung der Klima- und Artenvielfaltskrise helfen kann. Wer sich mit diesem Thema auseinandersetzt, muss jedoch wissen, dass mit dem Begriff „Meeresschutzgebiet“ (Marine Protected Area, MPA) durchaus unterschiedliche Schutzstandards gemeint sein können. Die Weltnaturschutzunion (International Union for the Conservation of Nature, IUCN) definiert sechs verschiedene Meeresschutzgebietstypen: Angefangen von den am strengsten regulierten MPAs, in denen alle Aktivitäten verboten sind, bei denen Lebensraum zerstört oder aber Organismen beziehungsweise Material dem Meer entnommen wird – dazu gehören Fischerei und Bergbau ebenso wie die Erdöl- und Erdgasförderung –, bis hin zu Gebieten, in denen die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen erlaubt ist.

Im Juni 2021 galten 7,7 Prozent der globalen Meeresfläche offiziell als Meeresschutzgebiete – ein Gebiet, so groß wie Nordamerika. Tatsächlich umgesetzt und implementiert aber waren zum Beispiel hohe Fischereischutzstandards lediglich auf 2,7 Prozent der weltweiten Meeresfläche. In Europa sind nach Angaben der Umweltschutzorganisation Oceana sogar in 96 Prozent der ausge-

wiesenen Natura-2000-Meeresschutzgebiete Aktivitäten erlaubt, die dem Meer und seinen Lebensgemeinschaften schaden. Solche Gebiete werden in Umweltschutzkreisen daher nur noch als „paper parks“ – als Schutzgebiete auf Papier – bezeichnet, weil sie in der Realität nur wenig bis keinen Schutz bieten. Ein Beispiel aus dem Oceana-Bericht: In mehr als 500 europäischen Natura-2000-Gebieten, die explizit zum Schutz der Meeresbodenfauna ausgewiesen wurden, ist nichtsdestotrotz Fischerei mit Fangmethoden erlaubt, die genau diese Lebensgemeinschaften zerstören.

Doch selbst wenn man die mangelnde Schutzwirkung vieler Meeresschutzgebiete außer Acht lässt, reichen ihre Zahl, Größe und Vernetzung nach Expertenansicht bei Weitem nicht aus, um den vielen Meeresbewohnern langfristig genügend Lebensraum zu bieten und ihnen zu ermöglichen, sich an den Klimawandel anzupassen. Darunter wird in erster Linie die Abwanderung in weiter polwärts gelegene Lebensräume verstanden, wo die Organismen dann noch jene Lebensbedingungen vorfinden, die sie aus ihrer alten Heimat gewohnt waren. Schutzkorridore zwischen den alten und neuen Lebensräumen werden benötigt, um den Tieren und Pflanzen die Besiedlung neuer Gebiete zu erleichtern.

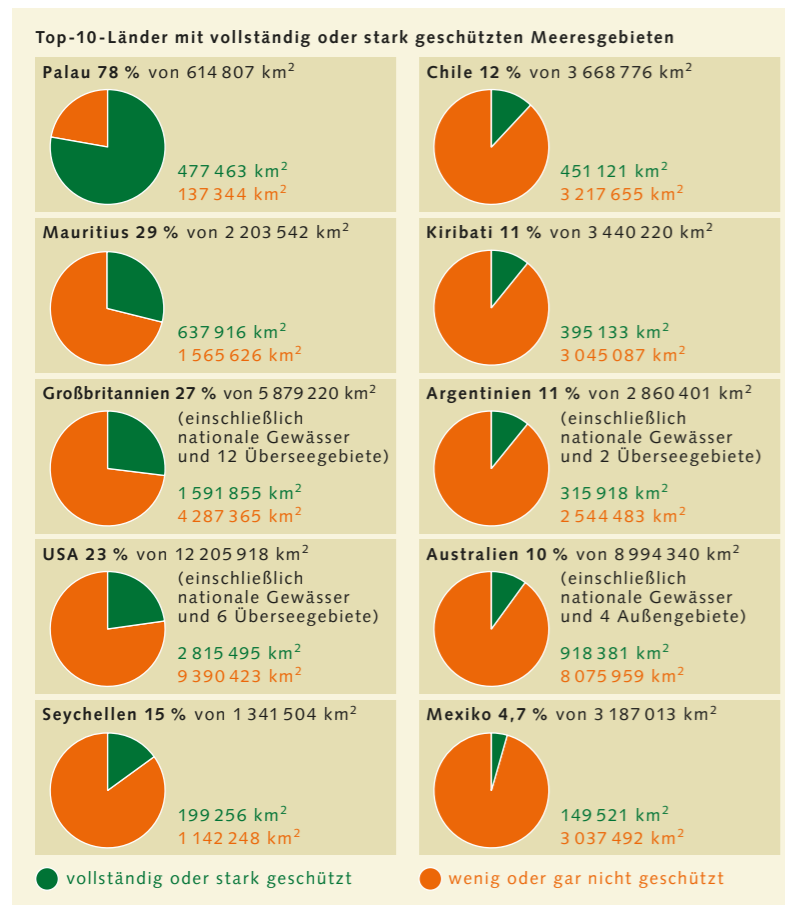


8.24 > Als die Meeresschutzorganisation Oceana im Jahr 2018 rund 3450 europäische Meeresschutzgebiete auf ihre Schutzstandards hin überprüfte, stellte sie fest, dass in mehr als 70 Prozent der Gebiete mindestens eine von insgesamt 13 umweltschädlichen Aktivitäten gestattet war – darunter störende Eingriffe wie Aquakultur, Fischerei, Öl- und Gasförderung, Schiffsverkehr, das Verlegen von Unterseekabeln und -pipelines oder aber der Bau von Windparks.

In der angesprochenen neuen Studie vom März 2021 untersuchte ein internationales Wissenschaftlerteam deshalb, welche Meeresgebiete streng unter Schutz gestellt werden müssten, um maximale Ergebnisse für den Artenschutz, die Fischerei und den Klimaschutz zu erzielen. Bei Letzterem ging es vor allem um die Frage, in welchen Regionen keine Grundschleppnetzfisherei mehr stattfinden darf. Durch sie werden nämlich am Meeresboden eingelagerte Kohlenstoffreserven gestört und ihre Zersetzung durch Mikroorganismen angekurbelt. Dieser Prozess wiederum führt langfristig zur erneuten Freisetzung von 15 bis 20 Prozent jenes Kohlendioxids, den der Ozean zuvor der Atmosphäre entnommen und in den Sedimenten am Meeresboden eingeschlossen hatte. Die weltweite Grundschleppnetzfisherei verursacht auf diese Weise in etwa genauso hohe Treibhausgasemissionen, wie in der Landwirtschaft durch die Summe der Bodenveränderungen freigesetzt werden.

Im ersten Schritt berechneten die Forschenden, wie viel Meeresfläche streng geschützt werden müsste, wenn die Menschheit jeweils nur eines der drei Ziele (Artenschutz, sichere Fischereierträge, Schutz der Kohlenstofflager am Meeresboden) priorisieren würde:

1. Die Artenvielfalt würde 90 Prozent des maximal möglichen Nutzens erfahren, wenn rund 21 Prozent des Ozeans vor menschlichen Eingriffen bewahrt würden. Dafür müssten 43 Prozent der nationalen Gewässer (Ausschließliche Wirtschaftszonen, AWZ) und sechs Prozent der Hohen See unter strengen Schutz gestellt werden. Vor allem für gefährdete und vom Aussterben bedrohte Arten würde dies bedeuten, dass ihre Lebensräume in einem weitaus größeren Umfang geschützt wären. Stehen bislang bis zu 1,5 Prozent der notwendigen Flächen unter Schutz, wären es nach der Erweiterung bis zu 87 Prozent.
2. Die Fischereierträge würden um bis zu 5,9 Millionen Tonnen steigen, wenn 28 Prozent der Meeresfläche geschützt würden. Das Schutzgebot müsste auch bei dieser Zielstellung in erster Linie für die AWZ gelten, in denen bislang 96 Prozent aller Wildfänge gemacht werden.
3. Um 90 Prozent der bislang von Grundschleppnetzfisherei betroffenen Kohlenstofflager am Meeresboden effektiv zu schützen, müsste diese auf 3,6 Prozent der Meeresfläche verboten werden; abermals vor allem innerhalb der AWZ, weil dort die meisten



8.25 > Palau führt seit Januar 2020 die Weltrangliste der Länder mit dem größten Anteil geschützter Meeresflächen an. Das Land hat 78 Prozent seiner Ausschließlichen Wirtschaftszone – eine Fläche größer als der US-Bundesstaat Kalifornien – unter strengen Schutz gestellt. Das heißt, Fischerei und jede Form der Rohstoffförderung sind verboten.

Schleppnetzfisher unterwegs sind. Die möglichen Auswirkungen eines Tiefseebergbaus auf die Treibhausgasemissionen des Ozeans konnten die Forscher in ihren Berechnungen noch nicht berücksichtigen, weil noch unbekannt ist, wie sich dieser Industriezweig entwickeln wird.

Deutlich schwieriger wird die Auswahl der Schutzgebiete, wenn alle drei Ziele gleichzeitig angegangen werden sollen, denn mancherorts können Zielstellungen unvereinbar sein. Maßnahmen zum Schutz der Artenvielfalt können zum Beispiel verhindern, dass in einer bestimmten Region überhaupt gefischt werden darf.

Die Ergebnisse der Berechnungen verdeutlichen dennoch, welche Rolle der Ozean bei der Bewältigung der aktuellen Krisen spielen könnte: Würde der Mensch 45 Prozent der Meeresfläche gezielt unter strengen Schutz

stellen, könnten 71 Prozent des möglichen Nutzens für die Artenvielfalt, 92 Prozent des möglichen Nutzens für die Fischerei und 29 Prozent des möglichen Nutzens für den Schutz der Kohlenstofflagerstätten erzielt werden. Dazu bedarf es allerdings enger internationaler Absprachen, einer gezielten Auswahl der zu schützenden Meeresregionen und finanzieller Kompensationen für jene Länder, die große Teile ihrer artenreichen Küstengewässer für Fischerei und Rohstoffausbeutung schließen würden und demzufolge nicht mehr daran verdienen könnten. Ein koordiniertes Netzwerk von Meeresschutzgebieten könnte somit als wirksames Instrument für mehr Klima- und Artenschutz dienen und würde zudem dazu beitragen, dass sich Fischbestände erholen und das Meer wieder mehr Nahrung für den Menschen produziert, so die Ansicht der Wissenschaftler.

Der Weltbiodiversitätsrat und der Weltklimarat unterstützen diesen Ansatz. In einem neuen Workshopbericht zu den Wechselwirkungen zwischen Biodiversität und Klimawandel geben sie den benötigten Anteil naturbelassener Flächen mit 30 bis 50 Prozent an.

Wenn Ausbeutung die Ausnahme wäre

Umweltschützer denken diese wissenschaftlichen Empfehlungen noch ein ganzes Stück weiter. Auf der Monaco Ocean Week 2021, einem inzwischen auf regelmäßiger Basis stattfindenden politischen Diskussionsforum für Meeresbelange, stellte eine Gruppe neue, alternative Denksätze vor.

Wenn die Ausweisung, Umsetzung und das Management von Meeresschutzgebieten so langwierig und schwierig sei, so ihr Vorschlag, wäre es vielleicht sinnvoller, das gesamte Meer unter Schutz zu stellen und nur noch jene Gebiete auszuweisen, in denen die Ausbeutung des Meeres oder aber seine Nutzung als Schifffahrtsweg noch erlaubt sind. Die Entnahme von Organismen und Material aus dem Meer wäre demzufolge nicht mehr die Regel, sondern die Ausnahme, und Fischerei-, Bergbau- und Schifffahrtsunternehmen müssten entsprechende Lizenzen beantragen.

Ein solcher Schritt hätte zur Folge, dass alle, die fischen, Rohstoffe fördern oder Schiffe auf große Fahrt schicken wollen, in einem Antragsverfahren nachweisen müssten, dass ihre Aktivitäten weder der marinen Artenvielfalt noch

dem Lebensraum Meer an sich Schaden zufügen – oder aber sich der Umweltfußabdruck dieses Vorhabens in akzeptablen Grenzen hielte. Die Herangehensweise würde sich demzufolge komplett umkehren und den Schutz der Meere als Ausgangspunkt definieren und nicht deren Ausbeutung. Sie hätte zur Folge, dass in der Debatte um ein nachhaltiges Meeresmanagement nun plötzlich Unternehmen um Gehör und Beachtung streiten müssten und nicht mehr die Meeresschutzorganisationen. Es ließe sich auch leichter diskutieren, welche Formen der Fischerei und anderer Meeresnutzung akzeptabel sind und welche nicht. Außerdem wäre durchsetzbar, dass vor jeder industriellen Meeresnutzung eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt würde und deren Ergebnisse anschließend auch wirklich zählten.

Nach Auffassung der Umweltschützer bieten die aktuellen UN-Verhandlungen zum dritten Umsetzungsabkommen zum Schutz und Erhalt der Biodiversität in Meeresgebieten außerhalb nationaler Hoheit (BBNJ-Abkommen) eine realistische Chance, auszuloten, wie sich ein solcher Denkansatz in der Praxis umsetzen ließe – wenn auch erst einmal nur auf Hoher See. Industrievertreter und Regie-

rungen werden ihn vermutlich von vornherein ablehnen, weil eine solche Herangehensweise die Meeresnutzung beschränken würde. Angesichts der aktuellen Krisensituation der Erde ist die Menschheit aber gezwungen, nach wirklich neuen Ideen zu suchen – oder, wie es der Weltklimarat und der Weltbiodiversitätsrat in ihrer gemeinsamen Analyse sagen: Eine nachhaltige Entwicklung für Mensch und Natur wird nur dann erreichbar sein, wenn die Menschheit ihre Wirtschafts-, Sozial- und Regierungssysteme grundlegend reformiert und neu ausrichtet. Gefragt seien demnach Maßnahmen in einem Umfang, wie sie die Menschheit nie zuvor in ihrer Geschichte unternommen habe. Die Idee, dem Schutzgedanken beim globalen Meeresmanagement die oberste Priorität einzuräumen, würde durchaus in den Rahmen einer reformierten und neu orientierten Ocean Governance passen.

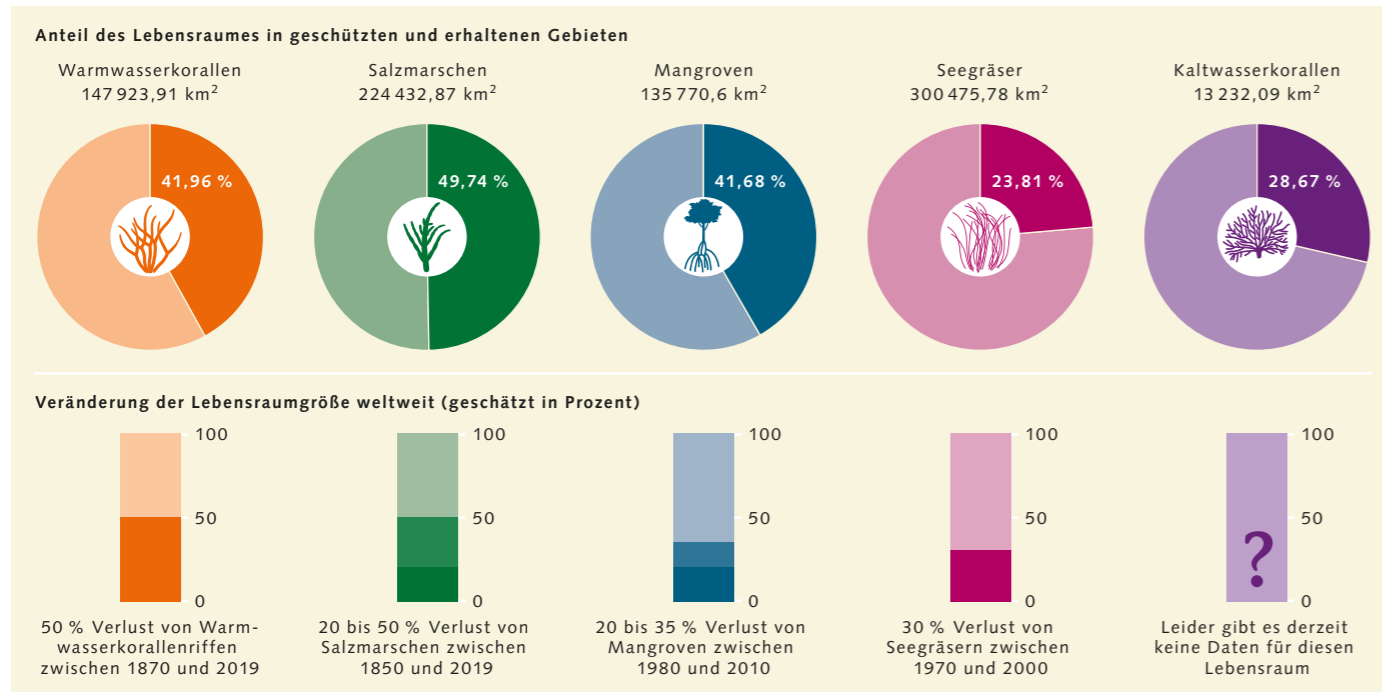
Oberstes Ziel: die Renaturierung des Meeres

Die Menschheit ist heute mehr denn je auf einen gesunden, produktiven Weltozean angewiesen. Dieser aber befindet sich an einem Scheideweg: Während der Nut-

Nauru-Abkommen
Die acht Mitgliedstaaten des Nauru-Abkommens sind Kiribati, Nauru, die Marshallinseln, die Salomoninseln, Palau, Papua-Neuguinea, Tuvalu und Tokelau sowie die Vereinigten Staaten von Mikronesien. In ihren Hoheitsgewässern wird unter anderem die Hälfte der weltweit gehandelten Echten Bonitos gefangen, der am häufigsten gefischten Thunfischart der Welt.



8.26 > Verzweigte Futtersuche:
Ein Florida-Manati (*Trichechus manatus latirostris*) sucht in den Gewässern Floridas unter einem dicken Algentepich nach fressbaren Seegräsern. Die Algen breiten sich aus, weil Floridas Flüsse immer mehr Dünger und ungeklärte Abwässer in das Meer tragen. Allein in den ersten fünf Monaten 2021 verhungerten 761 Manatis in Florida – das entspricht zehn Prozent der Gesamtpopulation.



8.27 und 8.28 > Die Küstenzonen der Meere gehören zu den am stärksten von Menschen veränderten Lebensräumen der Erde. Experten des Umweltprogramms der Vereinten Nationen führen im Projekt „Ocean + Habitats“ Buch, in welchem Ausmaß Korallenriffe, Mangroven, Salzmarschen und andere elementar wichtige Küstenökosysteme bedroht sind.

zungsdruck des Menschen stetig steigt, nimmt die Vielfalt des Lebens im Meer und damit die Palette der Ozeanlebensformen kontinuierlich ab. Nach Angaben einiger Wissenschaftler sind bereits ein Drittel bis die Hälfte der empfindlichen marinen Lebensräume zerstört, darunter Korallenriffe, Salzmarschen, Mangroven. Große Küstenbereiche leiden unter einer zunehmenden Schadstoffbelastung, unter Überdüngung, Sauerstoffarmut und Hitzestress. Die Zahl der vom Aussterben bedrohten Meeresarten steigt. Experten des IUCN haben bislang die Bestandszahlen von mehr als 14 000 Meeresarten begutachtet. Für rund elf Prozent der Arten – also für mehr als 1500 – besteht ein erhöhtes Aussterberisiko. Das heißt, sie wurden als gefährdet, stark gefährdet oder als vom Aussterben bedroht eingestuft.

Um diese Entwicklungen umzukehren, bedarf es zum einen eines Wiederaufbaus von Lebensräumen mit Schlüsselfunktionen für das Meer. Dazu gehören in erster Linie Mangroven, Seegraswiesen, Salzwiesen, Korallenriffe, Kelpwälder und Muschelbänke. Die Zahl entsprechender Restaurationsprojekte steigt weltweit, dennoch reicht ihr Umfang bei Weitem nicht aus, um global Wirkung zu zeigen. Zum anderen gilt es, den menschengemachten Druck

auf das Meer zu minimieren. Höchste Priorität haben dabei eine drastische Reduktion der Treibhausgasemissionen sowie eine Neuausrichtung der weltweiten Fischerei auf tatsächlich nachhaltige Fang- und Bewirtschaftungsmethoden. Gelingt beides, wären nach Expertenansicht die Voraussetzungen gegeben, dass sich das Leben in den Meeren in den kommenden drei Jahrzehnten wieder erholt.

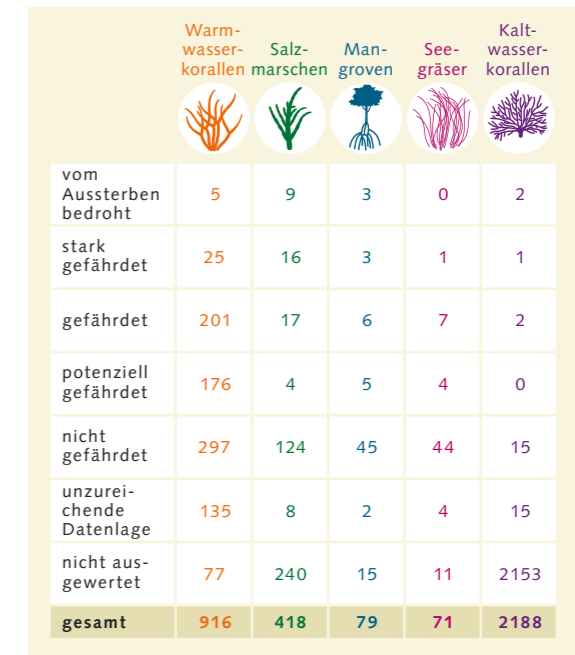
Die Fachleute sind sich aber auch einig: Es gibt nicht nur die eine Lösung, um dem Ozean zu alter Stärke zu verhelfen. Ganz im Gegenteil. Erfolge werden sich erst dann einstellen, wenn mithilfe einer Vielzahl koordinierter sowie auf die lokalen Bedingungen abgestimmter Maßnahmen:

1. Lebensräume erhalten und wiederhergestellt werden,
2. gefährdete Arten geschützt und gesunde Bestände nachhaltig genutzt werden,
3. Verschmutzungsursachen effektiv bekämpft werden und
4. der Klimawandel durch die drastische Reduktion menschengemachter Treibhausgasemissionen begrenzt wird.

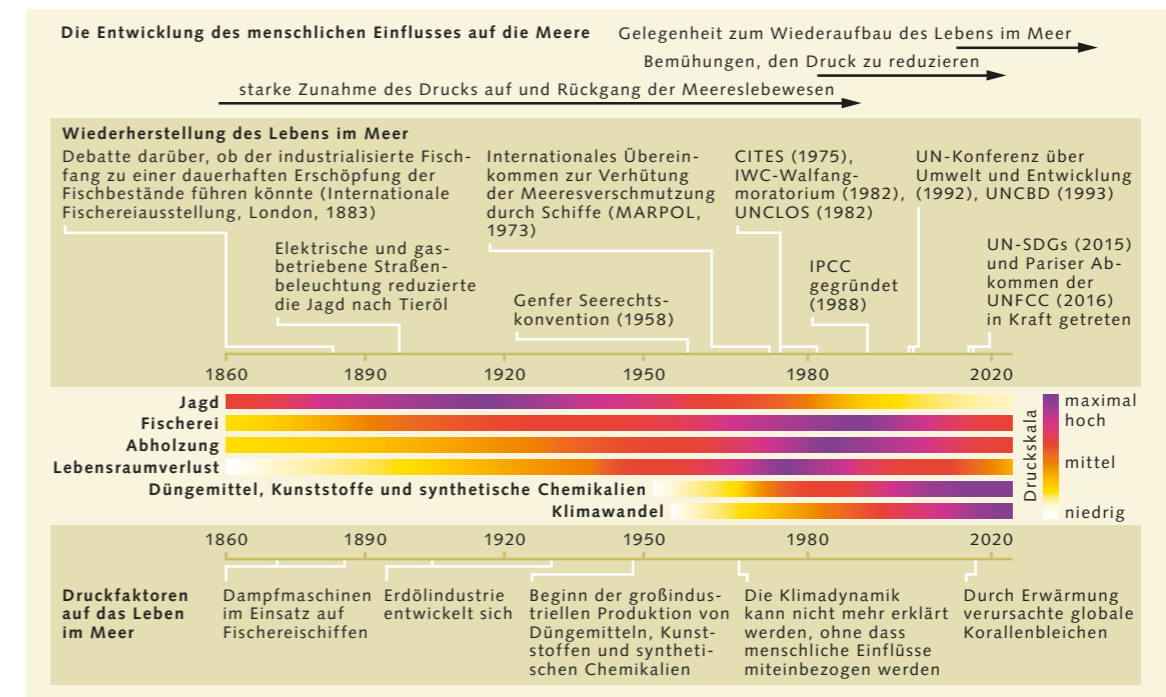
Dass sich Schutz, Zusammenarbeit und die Wiederherstellung mariner Lebensräume auszahlen, zeigen diverse Beispiele an vielen Orten. Seit die kommerzielle Jagd auf Bartenwale weltweit verboten ist, erholen sich die Populationen der Buckel- und Blauwale. In Vietnam wächst die Fläche der Mangrovenwälder in jenen Küstenregionen, wo die lokale Bevölkerung über deren Nutzung mitentscheiden darf. In Bangladesch konnten Wissenschaftler zeigen, dass neu errichtete Muschelbänke dahinterliegende Salzmarschen bis zu 100 Prozent vor der zerstörerischen Kraft der Wellen schützen und die Küste auf diese Weise stabilisierten.

Im niedersächsischen Teil des Nationalparks Wattenmeer werden auf der Sandbank Kachelotplate von Jahr zu Jahr mehr Kegelrobbejungge geboren, gerade weil die Robben in dem Nationalpark ausreichend Nahrung und Ruhe finden. Zählten Mitarbeitende im Jahr 2010 noch 40 Jungtiere, erreichte die Geburtenrate im Jahr 2020 einen neuen Rekordstand von 372 Neugeborenen.

Wie nachhaltige Fischerei aussehen kann, zeigen acht kleine Inselstaaten im Westpazifik. Innerhalb von 40 Jahren entwickelten die Mitgliedsnationen des sogenannten Nauru-Abkommens ein gemeinsames Regel-



8.29 > Hunderte Küstenlebewesen werden mittlerweile auf der Roten Liste der gefährdeten Arten geführt. Diese wissenschaftliche Bewertung hilft Verantwortlichen vor Ort zu entscheiden, für welche Arten die Lebensbedingungen am dringendsten verbessert werden müssen.



8.30 > Fischerei und die Jagd auf Wale und andere Meeressäuger waren die ersten Aktivitäten, mit denen der Mensch die Meere stark unter Druck setzte. Schutzabkommen und technologische Fortschritte haben seitdem zumindest den Jagddruck reduziert. Im Zuge der wirtschaftlichen Entwicklung aber sind mit dem Klimawandel und der Meeresverschmutzung zwei neue existenzgefährdende Krisenherde dazugekommen.

Günstig und effektiv: Küsten- und Klimaschutz mit den Werkzeugen der Natur

Zu den aussichtsreichsten und kostengünstigsten Ansätzen im Kampf gegen die planetare Dreifachkrise gehören sogenannte naturbasierte Lösungen (Nature-based Solutions, NbS). Darunter versteht man Maßnahmen zum Schutz, zur Wiederherstellung oder aber zur Erweiterung gesunder Naturräume mit dem Ziel, deren vielfältigen Nutzen zu erhöhen und sie nachhaltig zu bewirtschaften.

In Küstenzonen handelt es sich dabei in erster Linie um die Restauration, Renaturierung oder grundlegende Neuanpflanzung von Mangroven, Seegraswiesen, Korallenriffen, Muschelbänken, Salzwiesen, Dünen und natürlichen Überschwemmungsgebieten. Mit ihrer Hilfe kann es gelingen:

- **der Atmosphäre Kohlendioxid zu entziehen und so die Erderwärmung zu begrenzen** (Mangroven zum Beispiel speichern pro Quadratmeter Fläche bis zu viermal mehr Kohlenstoff als tropische Regenwälder. Meeresbasierte Maßnahmen für eine Erhöhung der natürlichen Kohlenstoffspeicher werden auch als Blue Carbon bezeichnet);
- **Lebensraum für eine reiche und widerstandsfähige Artenvielfalt zu schaffen** (intakte Küstenökosysteme filtern Dreck und Schwebstoffe aus dem Wasser und bieten ihren Bewohnern Schutz, Nahrung und Korridore für eine mögliche Artenwanderung. Der Vorteil: Wer weniger gestresst ist, kann sich besser an den Klimawandel anpassen. Ein Beispiel: 4000 Quadratmeter Seegraswiese bieten Lebensraum und Nahrung für etwa 40.000 Fische und rund 50 Millionen wirbellose Tiere wie Hummer und Garnelen);
- **den natürlichen Küstenschutz zu verstärken** (Korallenriffe, Muschelbänke, Seegraswiesen, Kelpwälder und auch Mangrovenwälder bremsen Wellen aus, dämmen auf diese Weise Überschwemmungen und minimieren die Zerstörung sowie den Zerfall der landeinwärts liegenden Küstenabschnitte. Ein zusätzliches Plus: Mangroven, Muschelbänke & Co. reparieren sich nach einem Sturm selbst und wachsen im Gegensatz zu Deichen und Schutzmauern bei einem steigenden Meeresspiegel mit);
- **das Ausmaß der lokalen Ozeanversauerung einzudämmen** (Seegraswiesen verringern durch die Aufnahme von Kohlendioxid aus dem Wasser die lokale Versauerung des Meeres – vor der Küste des US-Bundesstaates Kalifornien zum Beispiel um bis zu 30 Prozent);

- **die Nahrungsversorgung der lokalen Küstenbevölkerung zu sichern** (gesunde Küstenökosysteme dienen als Heimat und Kindergarten für viele Meeresbewohner und Seevögel. Kann ihr Nachwuchs aufgrund idealer Lebensbedingungen und einer nachhaltigen Bewirtschaftung durch den Menschen erfolgreich heranwachsen, haben Fischer, Jäger und Sammler eine größere Ausbeute);

Naturbasierte Lösung für die Küstenzonen



8.31 > Die Wiederherstellung von Feuchtgebieten, Küsten- und Mangrovenwäldern kann eine wirkungsvolle Maßnahme sein, um besiedelte Küstengebiete vor Sturmfluten, steigenden Meeresspiegeln und Erosion zu schützen.

- **Menschen eine neue Lebensgrundlage zu geben** (die Schönheit und Artenvielfalt gesunder Küstenökosysteme lockt Touristen an und versetzt die lokale Bevölkerung unter Umständen in die Lage, neue Einnahmequellen zu generieren und dadurch einer möglichen Armut zu entkommen).

Voraussetzung für all diese Funktionen ist jedoch stets, dass die Menschheit ihre Treibhausgasemissionen drastisch reduziert, denn auch Mangroven, Seegräser, Kelpwälder und Muscheln reagieren empfindlich auf

Hitzestress, extreme Stürme und rasant steigende Meeresspiegel. Angesichts der globalen Erwärmung muss der Mensch obendrein auch ihnen ermöglichen, sich polwärts zu verlagern. Deiche, Schutzmauern und zubetonierte Küstenstädte bilden dabei oft unüberwindbare Hindernisse. Zu guter Letzt erfordern die Wiederherstellung und der Erhalt dieser natürlichen Küstenbollwerke jede Menge interdisziplinäres Fachwissen, ausreichend Geld sowie die Beteiligung und Unterstützung der lokalen Bevölkerung. Fehlt auch nur einer dieser Aspekte, sind Projekte zum Scheitern verurteilt.



8.32 > Ausgezeichnete Idee: Die Bewohnerinnen eines Dorfes an der Südküste Indiens pflanzen Mangrovenzweige am Ufer eines Flusses. Jede Familie, die an diesem Restaurationsprojekt teilnimmt, erhält als Lohn eine Ziege und Hühner. Dieser Anreiz verbessert die Nahrungsversorgung der Dorfbewohner und motiviert zur Mitarbeit.

Mächtig in Verzug: Meeresschutz als Entwicklungsziel

Was immer derzeit in der Meeresforschung und -politik geschieht, wird mit der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung begründet. Diese wurde im September 2015 von den Staatsoberhäuptern der UN-Mitgliedstaaten unterzeichnet und umfasst 17 Entwicklungsziele. Das Thema Meeresschutz ist dabei im Ziel 14 festgeschrieben. Es lautet: Ozeane, Meere und Meeresressourcen im Sinne nachhaltiger Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen. Die Prioritäten umfassen zehn Teilziele. Diese richten sich auf:

1. eine signifikante Reduktion der Meeresverschmutzung bis zum Jahr 2025;
2. den Schutz und die nachhaltige Nutzung mariner Ökosysteme bis zum Jahr 2020;
3. eine Minimierung der Folgen von Ozeanversauerung;
4. ein Ende der Überfischung, der illegalen Fischerei sowie des Einsatzes zerstörerischer Fangmethoden; dazu kommt die Einführung eines wissenschaftsbasierten Fischereimanagements bis zum Jahr 2020;
5. die Unterschutzstellung von mindestens zehn Prozent der Meeresfläche bis zum Jahr 2020 – im Einklang mit den nationalen und internationalen Gesetzen und basierend auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen;
6. eine Abschaffung schädlicher Fischereisubventionen bis zum Jahr 2020;
7. steigende Einnahmen für Inselstaaten und schwach entwickelte Länder aufgrund einer nachhaltigen Nutzung der Meeresressourcen bis zum Jahr 2030;
8. einen verstärkten Wissens- und Technologietransfer sowie den Ausbau der Forschungskapazitäten in Inselstaaten und Entwicklungsländern;
9. einen verbesserten Zugang zu Meeresressourcen und auch Märkten für Kleinfischer;
10. eine flächendeckende Umsetzung des UN-Seerechtsübereinkommens und dazugehöriger Abkommen, um den Schutz der Meere und eine nachhaltige Nutzung ihrer Ressourcen zu propagieren.

Für vier der Teilziele ist die Frist schon Ende 2020 abgelaufen, ohne dass bahnbrechende Erfolge vermeldet werden konnten. Die derzeitigen Bemühungen, die Meeresumwelt und vor allem die Kleinfischer zu schützen, reichen bei Weitem nicht aus, um die fragile Ressource Ozean zu bewahren, heißt es in einem aktuellen UN-Zwischenbericht. Eine erste politische Zwischenbilanz sollte auf der zweiten UN Ocean Conference gezogen werden, doch diese musste aufgrund der Coronapandemie von Juni 2020 auf den Sommer 2022 verschoben werden.

Die Pandemie, so sagen Analysten der Vereinten Nationen, habe aufgezeigt, was es bedeute, auf einem Planeten zu leben, in dem Natur und Klima aus dem Gleichgewicht geraten sind. Bleibt zu hoffen, dass diese Erfahrung die Staatengemeinschaft zusätzlich motiviert, entschieden und gemeinsam auf eine Erfüllung der Agenda 2030 hinzuarbeiten. Es bleiben weniger als zehn Jahre.

werk, mit dem sie die Thunfischerei in ihren nationalen Gewässern mittlerweile erfolgreich und gewinnbringend kontrollieren. Im Mittelpunkt steht dabei eine festgelegte Zahl an Fangtagen für ausländische Fangschiffe, die in einem Bieterverfahren versteigert werden. Zuvor aber führen die Inselstaaten genaue Analysen durch, wie es um die Thunfischbestände steht und wie viele Tonnen Fisch entnommen werden dürfen, ohne die Populationen zu gefährden. Diese Menge wird dann in Fangtage umgerechnet und in das Bieterverfahren eingebracht. Gleichzeitig setzt der Staatenverbund strenge Auflagen durch. Fangschiffe, die Ringwadennetze einsetzen, müssen Beobachter an Bord haben, die unter anderem sicherstellen, dass weder Delfine noch Walhaie gefangen werden. Verboten ist zudem der Einsatz verankerter oder aber frei treibender Plattformen, die Thunfische, Marline und andere begehrte Speisefische anlocken und ihren Fang so erleichtern.

Auf diese Weise gelingt es dem Inselstaatenverbund seit rund zehn Jahren, seine Thunfischbestände vor einer Überfischung durch die großen Fangflotten aus Europa, China, den USA, Japan und Thailand zu schützen und Fischereilizenzeneinnahmen von jährlich bis zu 500 Millionen US-Dollar zu generieren. Früher, als noch jeder Mitgliedstaat seine Fischereilizenzen eigenständig vergab, flossen weniger als fünf Prozent des Verkaufswertes der Thunfische in die Staatskasse des Herkunftslandes. Seitdem das Bieterverfahren in Kraft getreten ist, ist dieser Anteil zum Beispiel beim Echten Bonito (*Katsuwonus pelamis*) auf 25 Prozent gestiegen.

Die vielen lokalen Erfolge zeigen: Werkzeuge und Wissen für ein nachhaltiges Meeresmanagement gibt es mittlerweile in einem ausreichenden Maß. Jetzt gilt es, beides anzuwenden, alle gesellschaftlichen Akteure an diesem Prozess zu beteiligen, die erforderlichen Gelder bereitzustellen sowie das Meer stets im Einklang mit dem Klima und den Menschen zu betrachten. Den Ozean zu schützen, seine Artenvielfalt zu stärken und seine Dienstleistungen nachhaltig zu nutzen, das ist aktiver Klimaschutz. Entsprechende Meeresschutzmaßnahmen aber dürfen zu keinem Zeitpunkt als Ausrede dafür dienen, dass an anderer Stelle emissionsintensive Aktivitäten beibehalten werden.

Conclusio

Nachhaltiges Meeresmanagement – eine Herkulesaufgabe

Das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen bildet seit nahezu vier Jahrzehnten den völkerrechtlichen Rahmen für alle menschlichen Aktivitäten auf den Meeren und Ozeanen und legt somit den Grundstein für eine gemeinschaftliche Verwaltung des Ozeans. Es teilt die Gewässer in Meereszonen ein, regelt wer in den jeweiligen Gebieten welche Ansprüche auf das Meer und seine Ressourcen erheben darf, enthält Vorschriften zur Schifffahrt, zum Meeresbodenbergbau sowie zum Schutz der Meeresumwelt. Überdies fordert es alle Nationen zu regionaler und globaler Zusammenarbeit in Meeresfragen auf und gibt der Staatengemeinschaft vor, auf welche Weise Streitigkeiten zwischen Vertragsparteien beigelegt werden müssen.

168 und damit die große Mehrheit der Staaten haben das Abkommen bislang ratifiziert und sich zu seiner Einhaltung verpflichtet. Dennoch belegt der aktuelle Zustand der Meere, dass die Staatengemeinschaft ihr Ziel einer nachhaltigen Nutzung bislang größtenteils verfehlt. Die Gründe sind vielschichtig: Entwicklungsländern fehlen häufig die notwendigen Strukturen, das Geld, das Fachwissen, das Personal sowie die technischen Mittel, um internationale Vorschriften oder Vereinbarungen national umzusetzen. In Industrieländern sowie auf internationaler Ebene mangelt es vielerorts an sektorenübergreifender Zusammenarbeit, wodurch Zielkonflikte entstehen und Maßnahmen weniger Wirkung zeigen als ursprünglich angenommen. Industrie und Wirtschaft wiederum nutzen immer noch juristische Schlupflöcher, um die eigenen Gewinne auf Kosten der Meeresumwelt zu maximieren.

Angesichts der erdumspannenden Auswirkungen des Klimawandels sowie der Biodiversitäts- und Verschmutzungskrise hat sich mittlerweile die Erkenntnis durchgesetzt, dass eine Gesundung des Meeres

nicht mehr allein durch Einzellösungen zu erreichen ist. Stattdessen werden auf allen Ebenen des Meeresmanagements integrative Ansätze benötigt. Das heißt, Programme zur Meeresnutzung müssen sektoren-, zonen- und oftmals auch grenzübergreifend geplant und in transparenten Prozessen mit allen Akteuren abgestimmt werden. Meeresschutz beginnt dabei nicht erst am Küstensaum, sondern weit im Landesinnern.

Entscheidungen zur Meeresnutzung sollten stets wissenschaftsbasiert getroffen und die Interessen der lokalen Bevölkerung berücksichtigt werden. Auf diese Weise kann zum Beispiel sichergestellt werden, dass innovative lokale Lösungen auf übergeordneter Ebene Gehör finden und anschließend vielerorts umgesetzt werden.

Subventionen für umweltgefährdende Aktivitäten sollten gestrichen und die Gelder für Projekte verwendet werden, in denen Meeres- und Küstenökosysteme wiederhergestellt und Anwohner befähigt werden, diese zu pflegen und nachhaltig zu nutzen. Die größten Erfolge versprechen Maßnahmen, welche die marinen Lebensgemeinschaften stärken, gleichzeitig zum Klimaschutz beitragen und obendrein die Lebensbedingungen der lokalen Bevölkerung verbessern.

Die Meinungen über das Ausmaß des erforderlichen Wandels gehen auseinander. Während einige Fachleute eine Neuausrichtung des Wirtschafts- und Wertesystems für notwendig erachten, damit es gelingt, den menschengemachten Druck auf das Meer maßgeblich zu reduzieren, betonen andere, dass schon viel erreicht wäre, wenn bestehende Meeresvorschriften und -regelungen konsequent umgesetzt würden. Einfach aber wird es auf keinen Fall. Die Gesundung des Ozeans voranzutreiben, stellt eine ebenso große Herausforderung dar wie die Aufgabe, den Klimawandel einzudämmen – und beides muss Hand in Hand gehen, damit Mensch und Meer eine Zukunft haben.

7

Lebensgarant Ozean – nachhaltig nutzen, wirksam schützen

Der Ausbruch der Coronapandemie im Januar 2020 bedeutete auch für den Weltozean eine Zäsur: Die internationale Handelsschifffahrt brach zumindest für kurze Zeit deutlich ein; Kreuzfahrtschiffe gingen nirgendwo mehr auf große Tour; Strandhotels blieben leer; marine Großprojekte wie der Bau neuer Öl- und Gasförderanlagen in der Arktis verzögerten sich. Ins Stocken gerieten auch die internationalen Verhandlungen für einen verbesserten Meeresschutz und eine nachhaltigere Nutzung, weil wichtige politische Konferenzen nicht wie geplant stattfinden konnten.

Gleichzeitig aber rückten die Weltmeere im Windschatten der Pandemie stärker und vielfältiger als je zuvor in den Fokus des Interesses. Dieses wurde zum einen getrieben durch die rasant voranschreitende globale Erwärmung und die Rolle des Ozeans als Wärmespeicher, zum anderen durch eine neue Welle der digitalen Öffentlichkeit von Meeresthemen. Konferenzen, Fachvorträge, Symposien fanden plötzlich allesamt online und oftmals für jedermann zugänglich statt. Forschende teilten in Webinaren neueste Erkenntnisse und Forschungsergebnisse; Meeresschutzorganisationen und Verbände verlagerten Kampagnen und Veranstaltungen ins Netz. Wer wollte und die jeweiligen Sprachen verstand, konnte täglich an Informationsformaten teilnehmen, darunter auch an Veranstaltungen kleiner, lokaler Kooperativen, die vor der Coronapandemie kaum eine Möglichkeit hatten, ein überregionales oder sogar internationales Publikum zu erreichen.

Die wachsende öffentliche Aufmerksamkeit für die Belange der Weltmeere kommt keine Sekunde zu früh. Der Ozean wankt und mit ihm einer der Grundpfeiler unserer menschlichen Existenz, denn tatsächlich ist jeder Erdbewohner auf die eine oder andere Art auf ihn angewiesen.

Die Meere regulieren das Klima auf der Erde und machen ihn zu einem bewohnbaren und lebenswerten Planeten. Sie verteilen die Wärme aus den Tropen über den gesamten Erdball, speisen den Wasserkreislauf mit Feuchtigkeit, bremsen durch die Aufnahme von riesigen Mengen an Kohlendioxid und Wärme den Klimawandel und produzieren den Sauerstoff für jeden zweiten Atemzug eines Menschen. Sie stellen den größten und artenreichsten Lebensraum der Erde dar, versorgen mehr als drei Milliarden Menschen mit tierischem Eiweiß und bieten Abermillionen eine Einkommensquelle – sei es in der Fischerei, im Meerestourismus, in der Seeschifffahrt, in der rohstofffördernden Industrie, im Sektor der erneuerbaren Energien oder aber in Wirtschaftszweigen, die Material bzw. Wirkstoffe aus dem Meer verarbeiten.

Rund 40 Prozent der Weltbevölkerung leben nicht weiter als 150 Kilometer von einer Meeresküste entfernt. Ihnen und den vielen Besuchern aus dem Inland dienen die Meere als Freizeit- und Erholungsort, als Inspirationsquelle sowie als identitätsstiftendes Element. Je gesünder und widerstandsfähiger der Ozean, so viel ist mittlerweile klar, desto besser ergeht es der Menschheit, heute und künftig.

Von Gesundheit aber kann mit Blick auf den Ozean gegenwärtig nicht die Rede sein. Im Gegenteil, wie der Rest des Planeten Erde sind unsere Meere Schauplatz gleich dreier menschengemachter Krisen – des Klimawandels, des globalen Artensterbens sowie einer zunehmenden Verschmutzung. Jede dieser drei Krisen stellt für sich allein betrachtet schon ein existenzielles Problem für den Ozean dar; im Dreierpack aber verstärken sich die Auswirkungen gegenseitig und wirken wie ein Tsunami weit über ihre eigentlichen Ursprungsorte hinaus. Ihre dramatischen Folgen sind mittlerweile nicht nur in allen Meeresregionen zu spüren – in den Brandungsbereichen ebenso wie in den Tiefseegräben, in den Tropen ebenso wie in den entlegenen Polarregionen –, sondern vor allem auch an Land, wo Abermillionen Menschen leben, denen der Ozean in zunehmendem Maß den Dienst versagt.

Der Klimawandel stellt mittlerweile vielerorts die größte Bedrohung dar, weil er die Lebensbedingungen in den Meeren sowie in den Küstenbereichen in einem von Menschen nie zuvor erlebten Tempo verändert. Die Weltmeere absorbieren mehr als 90 Prozent der überschüssigen Wärme und rund ein Viertel der menschengemachten Kohlendioxidemissionen. Infolgedessen verändern sich die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Wassermassen:

Der Ozean erwärmt sich derzeit schneller und bis in größere Tiefen als zu jedem anderen Zeitpunkt seit dem Ende der letzten Eiszeit. Allein im Jahr 2020 absorbierten die oberen 2000 Meter Wassersäule der Weltmeere bis zu

20 Zettajoule mehr Wärme als im Jahr zuvor. Diese Wärmemenge würde ausreichen, um 1,3 Milliarden Teekessel gefüllt mit jeweils 1,5 Liter Wasser zum Kochen zu bringen. Die Meeresoberflächentemperatur hat sich seit Beginn des 20. Jahrhunderts um durchschnittlich 0,88 Grad Celsius erwärmt. Im Jahr 2020 waren 84 Prozent der globalen Meeresfläche von mindestens einer marinen Hitzewelle betroffen.

Infolge dieser Erwärmung hat die Durchmischung der Wassermassen abgenommen, was unter anderem dazu beitrug, dass die Ozeane im Zeitraum von 1970 bis 2010 etwa zwei Prozent ihres Sauerstoffes verloren haben. Gleichzeitig ist ihr pH-Wert in den vergangenen vier Jahrzehnten auf einen neuen Negativrekord für die zurückliegenden 1000 Jahre gesunken, während der globale Meeresspiegel mittlerweile um 3,7 Millimeter pro Jahr steigt. Kurz gesagt: Die Meere werden wärmer, höher, saurer, verlieren Atemsauerstoff, und ihre Wassermassen zirkulieren nicht mehr in der gewohnten Geschwindigkeit und auf den gewohnten Pfaden um den Erdball. Außerdem steigen die Frequenz und die Intensität von Extremereignissen wie Hitzewellen und Stürmen. Sauerstoffarme Zonen entstehen mittlerweile in immer mehr überdüngten Küstengewässern sowie aufgrund der zunehmenden Wassermassenschichtung auf offener See.

Diesen zusätzlichen Belastungen können betroffene Meeresbewohner oft nur wenig entgegensetzen, weil die Anforderungen alle physiologischen Grenzen übersteigen und lokale Massensterben verursachen. Wissen-

Gesamt-Conclusio

schaftler beobachten infolgedessen einen grundlegenden Wandel des Lebens im Meer: Bewegliche Arten wie Kabeljau, Hummer, Krill und viele andere verlassen ihre angestammten Lebensräume und wandern polwärts oder aber in größere Tiefen ab; sesshaften oder wenig mobilen Arten wie zum Beispiel Muscheln droht der Hitzetod. Beide Entwicklungen führen dazu, dass die Biodiversität vor allem in den ehemals artenreichen tropischen Gewässern extrem abnimmt, sich die Artenzusammensetzung in den mittleren Breiten verändert und die kälteangepassten Bewohner der Polarmeere kaum noch geeignete Rückzugsorte finden.

Schlüsselergebnisse wie Algenblüten treten aufgrund der Wärme früher im Jahr auf, bringen den biologischen Kalender des Meeres durcheinander und somit auch elementare Räuber-Beute-Beziehungen. Hotspots der Artenvielfalt wie Kelpwälder, Seegraswiesen, Mangroven oder tropische Korallenriffe sterben ab. Die allgemeine Leistungsfähigkeit vieler Arten, ihre Reproduktionszahlen sowie ihre individuelle Körpergröße sinken, was letztendlich bedeutet, dass Bestände und Populationen schrumpfen, die Biomasseproduktion insgesamt abnimmt und der Ozean weniger Nahrung und Material produziert, die der Mensch nutzen könnte. All diese Entwicklungen, so zeigen Modellberechnungen, werden sich fortsetzen, solange es der Menschheit nicht gelingt, ihre Treibhausgasemissionen drastisch zu reduzieren und die globale Erwärmung einzudämmen.

Fischer spüren die Folgen des Klimawandels bereits deutlich. Infolge der Meereserwärmung, Versauerung und Sauerstoffabnahme ist im Zeitraum von 1930 bis 2010 nicht nur die Produktivität vieler Meeresfischarten gesunken, parallel dazu schrumpfte auch das globale Fischfangpotenzial um 4,1 Prozent, was viel ist, wenn man bedenkt, dass Meeresfische und -früchte vielerorts ein Grundnahrungsmittel sind und nach offiziellen Angaben pro Jahr mittlerweile 179 Millionen Tonnen gefangen oder aber in Aquakultur gezüchtet werden. Extrem betroffene Regionen wie die Nordsee, das Japanische Meer oder die asiatischen Randmeere des Pazifiks verzeichneten sogar Produktivitätsrückgänge von 15 bis 35 Prozent. Das heißt, lokal ansässige Fischer können heute – sofern sie ihre Bestände nach Vorgaben der Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen FAO

bewirtschaften – klimabedingt bis zu ein Drittel weniger Fisch fangen als noch ihre Vorfahren vor 90 Jahren.

Am Status quo der Meeresfischerei aber ändert diese Entwicklung dennoch wenig. Noch immer stellen überdimensionierte Fangflotten abnehmenden Fischbeständen nach; noch immer subventionieren viele Staaten die zerstörerische Ausbeutung der Meere. Die Summe, mit der allein die zehn größten Subventionsgeber Fischereiaktivitäten ihrer Fangflotten in fremden Gewässern unterstützen, belief sich im Jahr 2018 auf mehr als 5,3 Milliarden US-Dollar. Welcher Schaden dadurch angerichtet wird, ist schwer zu quantifizieren, weil die Hälfte der gefangenen Fische aus Beständen stammt, die wissenschaftlich gar nicht überwacht werden. Von den wissenschaftlich begutachteten Beständen gelten nach Angaben der Welternährungsorganisation FAO mittlerweile mehr als ein Drittel als überfischt. Studien, die zudem auch illegale, nicht gemeldete und nicht regulierte Fischerei umfassend berücksichtigen, setzen diese Zahl deutlich höher an.

Neue Technologien und Informationsportale erleichtern inzwischen die Kontrolle der industriellen Meeresfischerei. Lokale Projekte in den USA, Chile oder den Philippinen belegen zudem, dass sich einst überfischte Fisch- und Muschelpopulationen erholen können, wenn nachhaltige, wissenschaftsbasierte Managementansätze eingeführt werden oder einheimische Kooperativen das alleinige Fischereirecht erhalten. Quasi leergefischt sind dagegen vor allem jene Regionen, in denen keinerlei Kontrollen stattfinden und industrielle Fischerei ohne Auflagen erfolgt.

Ob der weltweit zunehmende Appetit auf Meeresfisch und -früchte künftig in erster Linie durch marine Aquakulturzucht gedeckt werden kann, ist ungewiss. Der Bau und der Betrieb der Anlagen haben jahrzehntelang zu großräumigen Umweltzerstörungen geführt, der gigantische Bedarf an Fischmehl zur Überfischung wilder Bestände. Zudem fordern die Folgen des Klimawandels bereits ihren Tribut. Aus diesen Gründen wird intensiv an Konzepten, Futtermitteln und Technologien für eine nachhaltige und widerstandsfähige Aquakultur geforscht. Sogenannte integrierte oder ökosystembasierte Ansätze mit geschlossenen Nährstoffkreisläufen bieten bislang die besten Erfolgsaussichten. Große Wachstumspotenziale

werden zudem der Großalgenzucht vorausgesagt – zumindest in jenen Gebieten, in denen Meereserwärmung, Ozeanversauerung und Sauerstoffgehalt des Wassers dies noch zulassen.

Großalgen wie Seegräser oder Kelp produzieren nicht nur Sauerstoff und binden Kohlenstoff, sie filtern auch Nährstoffe aus dem Wasser und helfen so, das Meer zu reinigen. Angesichts der zunehmenden Überdüngung und Verschmutzung des Ozeans aber sind auch diese natürlichen Filtersysteme maßlos überfordert. Nach Schätzungen der Vereinten Nationen entsorgt der Mensch pro Jahr rund 400 Millionen Tonnen Schadstoffe im Meer – darunter Abertausende Chemikalien, Nährstoffe, Plastik und andere Kunststoffe, giftige Schwermetalle, Arzneimittel, Kosmetikprodukte, Krankheitserreger, radioaktive Substanzen und vieles mehr. Gründe dafür sind die zunehmende Produktion und Verwendung dieser Stoffe sowie eine unsachgemäße Entsorgung. In acht von zehn Fällen stammen im Meer identifizierte Schadstoffe aus Quellen an Land.

Spuren dieser zunehmenden Dauerbelastung finden sich in allen Regionen des Weltozeans. Abfall und Umweltgifte gefährden dabei nicht nur die Meeresorganismen, sondern auch die Gesundheit und Existenzgrundlage jener Menschen, die auf das Meer als Nahrungs- oder Einkommensquelle angewiesen sind. Schäden richten vor allem jene Umweltgifte an, die biologisch kaum abgebaut werden und sich in den Nahrungsnetzen anreichern. Sie und andere Schadstoffe verursachen Krankheiten, rufen Missbildungen und Verhaltensänderungen bei Meeresorganismen hervor, hemmen die Fortpflanzung und führen mitunter zum Tod der betroffenen Lebewesen. Besondere Bedeutung kommt mittlerweile der Plastikverschmutzung zu. Fachleute kennen mindestens 700 Tierarten, für die Plastik im Meer eine tödliche Gefahr darstellen kann. Mikroplastikpartikel wandern bereits wie Wasser und Nährstoffe in einem eigenen Kreislauf durch alle Systemkomponenten der Umwelt.

Trotz verschiedener Initiativen gelingt es der Staatengemeinschaft bisher nicht, den Schadstoffeintrag in das Meer einzudämmen, auch weil die umweltschädliche Wirkung neuer Chemikalien meist erst viel zu spät erkannt wird. Wirkung zeigt bis heute allein das welt-

weite Verbot ausgewählter persistenter organischer Schadstoffe (POPs) – ihre Konzentration im Meer sinkt allmählich. Aus diesem Grund: Fortschritte im Kampf gegen die Meeresverschmutzung werden sich erst dann dauerhaft einstellen, wenn deutlich weniger Düngemittel zum Einsatz kommen, die meisten Haushalte und Unternehmen der Welt an eine gut funktionierende Abwasser- und Abfallentsorgung angeschlossen sind, Umweltgifte und erdölbasierte Kunststoffe durch biologisch abbaubare Alternativen ersetzt wurden und Chemikalien und Plastik nur noch in geschlossenen Kreislaufsystemen zum Einsatz kommen.

Vor radikalen Veränderungen steht angesichts der Krisensituation des Planeten auch die internationale Handelsschifffahrt. Erstens verursacht der bislang stetig wachsende Wirtschaftszweig rund drei Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen; zweitens belasten Schiffsärm, Abwässer, Müll und eingeschleppte Arten Küstenökosysteme rund um den Globus. Die fast 100 000 Schiffe zählende Handelsflotte auf emissionsarme Antriebe umzurüsten oder aber durch Neubauten zu erneuern, ist ein globales technologisches und finanzielles Mammutprojekt. Es erfordert hohe Investitionen in die Entwicklung neuer Antriebssysteme und alternativer Treibstoffe, rechtliche und steuerliche Planungssicherheit für Investoren, eine gemeinschaftliche Steuer auf Treibhausgasemissionen sowie strikte Kontrollen gemeinschaftlicher Auflagen durch die Flaggen- und Hafenstaaten.

Die Internationale Seeschifffahrts-Organisation IMO hat das Ziel ausgegeben, die Kohlendioxidemissionen der Handelsflotte bis zum Jahr 2050 um die Hälfte zu reduzieren – verglichen mit den Emissionen aus dem Jahr 2008. Gleichzeitig stehen die Küstenstaaten vor der Aufgabe, ihre Häfen gegen die Folgen des fortschreitenden Klimawandels abzusichern sowie die Treibhausgasemissionen des Hafenbetriebes zu minimieren. Einige direkte Umweltauswirkungen der Schifffahrt werden bereits durch internationale Regelungen angegangen; bei anderen wie der Lärmbelastung durch den Schiffsverkehr besteht noch enormer Nachholbedarf.

Je weiter sich die Erde erwärmt, desto wichtiger wird der Ozean für die Menschheit, denn die dringend benötigte Reduktion der Treibhausgasemissionen kann nach bis-

Gesamt-Conclusio

herigem Sachstand nur mithilfe des Ozeans gelingen. Die Weltmeere werden in mindestens zwei Transformationsstufen gebraucht – als Energiequelle und voraussichtlich auch als Rohstofflagerstätte. Trotz des Ausbaus der erneuerbaren Energien ist das Zeitalter der Erdöl- und Erdgasförderung im Meer längst nicht vorbei. Noch immer werden neue marine Lagerstätten erschlossen, meist in größeren Tiefen als zuvor und in zunehmender Entfernung vom Land. Fossile Rohstoffe aus dem Meer machen mittlerweile mehr als ein Viertel der globalen Gesamtproduktion aus. Außerdem wird derzeit überlegt, leergeforderte Erdgaslagerstätten unter dem Meer häufiger als Speicher für verflüssigtes Kohlendioxid zu nutzen. Die dafür notwendigen Technologien existieren, und erste Pilotprojekte laufen. Weitere werden im Augenblick geplant.

Gleichzeitig aber werden weltweit mehr Offshore-Windfarmen gebaut – ebenfalls in wachsender Distanz zur Küste, um von den besseren Windbedingungen auf offener See zu profitieren. Dank technischer Fortschritte sind moderne Windkraftanlagen deutlich größer und leistungsstärker als frühere Modelle. Infolgedessen sinken die Preise für grünen Offshore-Windstrom, und die Nachfrage steigt.

Die Offshore-Windenergieproduktion zählt wegen ihres enormen Potenzials zu den wichtigsten Technologien einer nachhaltigen Energiegewinnung. Alternativen wie Wellen- und Strömungskraftwerke, Photovoltaikanlagen auf dem Meer oder aber die Erzeugung von Bio-kraftstoffen aus Algen befinden sich noch in der Entwicklungsphase, spielen in der Langfristplanung aber auch eine wichtige Rolle.

Der Ausbau und die großflächige Nutzung erneuerbarer Meeresenergien werden scheitern, wenn entsprechende Infrastrukturen und Speichersysteme nicht ausreichend bereitgestellt werden können. Deren Herstellung wiederum erfordert unter anderem riesige Rohstoffmengen, deren Förderung an Land Lebensraum für Menschen und Tiere zerstört.

Eine denkbare Alternative wäre der Rohstoffabbau im Meer, insbesondere in der Tiefsee, deren Lagerstätten eine Vielzahl verschiedener Metalle und Mineralien enthalten und deren Ausbeutung immer wahrscheinlicher wird – trotz weltweiter Proteste von Umweltschützern.

31 Lizenzen zur Erkundung des Meeresbodens nach mineralischen Rohstoffen hat die Internationale Meeresbodenbehörde ISA bereits vergeben. Erste Abbautechniken wurden vor Ort getestet sowie Untersuchungen zu Umweltfolgen und zum Umweltmonitoring durchgeführt. Die Meeresbodenbehörde erarbeitet derzeit ein Regelwerk für den Tiefseebergbau in internationalen Gewässern, der nach Expertenansicht in fünf bis zehn Jahren beginnen könnte.

Die wachsenden Ansprüche der Menschheit an das Meer sind auch Gegenstand der Verhandlungen um ein neues internationales Abkommen zum Schutz der biologischen Vielfalt des Ozeans. In diesem Zusammenhang wird unter anderem diskutiert, wer in welchem Maß von den genetischen Ressourcen der Meere profitieren darf. Gemeint sind die im Erbgut der Meeresorganismen verschlüsselten Baupläne für ihre beispiellose Formen- und Funktionsvielfalt. Forschenden gelingt es heutzutage immer schneller, diese Informationen zu entschlüsseln und Rezepturen für Natur- und Wirkstoffe aus dem Meer zu extrahieren. Deren mögliche Anwendungspalette ist so groß wie die mit ihnen verbundenen Hoffnungen auf Profite.

Marine Natur- und Wirkstoffe kommen heute schon sehr vielseitig zum Einsatz – als pharmazeutische Wirkstoffe in 17 zugelassenen Medikamenten, als Nahrungsergänzungsmittel, als Düngemittel, als Rohstoff für die Kosmetikherstellung sowie für verschiedene andere industrielle Anwendungen. Künftig wären noch viel mehr denkbar und auch nachhaltig umsetzbar. Dazu muss sich die Staatengemeinschaft aber auf gemeinsame Nutzungs- und Schutzvorschriften einigen, die garantieren, dass jeglicher Nutzen der biologischen Vielfalt nicht nur einigen wenigen Menschen zugutekommt, sondern möglichst allen.

Wenn der Nutzungsdruck auf den Ozean steigt, während ihm gleichzeitig drei Krisen ungebremst zusetzen, ist ein Zusammenbruch der marinen Ökosysteme wohl nur noch eine Frage der Zeit. Dennoch beweisen die Lebensgemeinschaften des Ozeans auch immer wieder eine große Widerstandskraft. Sie können sich durchaus erholen – vorausgesetzt, der Mensch gibt ihnen entsprechend Raum und Zeit und reduziert alle Stressfaktoren drastisch.

Den übergreifenden rechtlichen Rahmen für unseren Umgang mit dem Meer setzt seit fast vier Jahrzehnten das UN-Seerechtsübereinkommen. Es teilt zum einen die Meere in Zonen ein und schreibt vor, in welchen Zonen Küstenstaaten Hoheitsrechte ausüben dürfen und in welchen Gebieten internationale Regeln gelten. Zum anderen verpflichtet es die Staatengemeinschaft zum Schutz und Erhalt der Meeresumwelt und bietet Mechanismen zur Konfliktlösung.

Genaue Ausführungen zur nachhaltigen Nutzung der Meere fehlen im Seerechtsübereinkommen. Diese werden in zahllosen nationalen, überregionalen und internationalen Abkommen oder Vereinbarungen geregelt, deren Fokus in der Regel jedoch nur auf eine Problemstellung oder aber einen Wirtschaftssektor gerichtet ist und interagierende Faktoren häufig unberücksichtigt lässt.

Mit demselben Tunnelblick agieren auch viele Akteure des Meeresmanagements. Mangelnde Kooperation und Abstimmung über alle Sektorengrenzen hinweg führen zu Zielkonflikten und mindern die Erfolgsaussichten von Maßnahmen. Dazu kommt, dass vor allem den ärmeren Küstenstaaten häufig das Fachwissen, die finanziellen Mittel sowie die erforderlichen Technologien und Strukturen fehlen, um internationale Regelungen in nationalen Gewässern umzusetzen.

Als weitere Ursachen für die Krisensituation der Meere haben sich zudem die Intransparenz meerespolitischer Entscheidungsprozesse sowie die fehlende, aber unabdingbare Einbindung lokaler Bevölkerungsgruppen erwiesen.

Wenn uns die aktuelle Krisenlage des Weltozeans eines lehrt, dann die Erkenntnis, dass er nicht losgelöst vom Geschehen an Land, in der Atmosphäre und in der Gesellschaft betrachtet werden kann. Die Gesundheit des Meeres kann daher nur gelingen, wenn der Mensch an vielen Stellschrauben gleichzeitig dreht. Das heißt, nachhaltiges Meeresmanagement steht vor der Mammutaufgabe, viele Herausforderungen auf einmal zu meistern. Es muss zum Beispiel:

- zonen-, sektoren- und gegebenenfalls auch grenzübergreifend konzipiert, finanziert und umgesetzt werden;

- tatsächlich alle Akteure von Anfang an in die Entscheidungsprozesse miteinbeziehen – vor allem auch die lokal betroffene Bevölkerung;
- transparent, sozial gerecht und durchlässig für innovative Nischenlösungen sein;
- darauf abzielen, die Ökosysteme des Meeres zu stärken und verlorene Meeres- und Küstenlebensräume weitestgehend wiederherzustellen;
- Maßnahmen nutzen, von denen sowohl der Klima- und Biodiversitätsschutz als auch die lokale Bevölkerung bestmöglich profitieren;
- umweltgefährdende Subventionen streichen und die Gelder in nachhaltige Projekte investieren;
- möglichst alle Entscheidungen wissenschaftsbasiert fällen und Evaluationsmaßnahmen einplanen, die eine regelmäßige Erfolgskontrolle ermöglichen.

Kurz gesagt: Die Menschheit muss gemeinsam entscheiden, wie sie das Meer stärken und seine vielen Räume und Ressourcen nachhaltig nutzen möchte.

Welche strukturellen Veränderungen benötigt werden, um diesen Prozess anzustoßen und alle Ziele zu erreichen, darüber gehen die Expertenmeinungen weit auseinander. Während einige Fachleute einen radikalen Wandel unseres Wirtschafts- und Wertesystems für notwendig erachten, um den weltweiten Klimawandel, das Artensterben und die Verschmutzungskrise zu stoppen, argumentieren andere, dass erst einmal alle bestehenden Meeresvorschriften und -regelungen konsequent umgesetzt werden müssten. Erst dann ließe sich abschätzen, ob weitere grundsätzliche Veränderungen im Umgang mit dem Meer notwendig seien.

Welchen Weg die Verantwortlichen auch wählen: Die Gesundheit des Ozeans voranzutreiben, kann nur gemeinschaftlich gelingen. Eine Grundvoraussetzung ist außerdem, dass die akute Problemlage des Ozeans erkannt und verstanden wird, wie sich die vielen menschengemachten Stressfaktoren gegenseitig in ihrer Wirkung verstärken und welche Lösungsansätze sich anbieten. Insofern hoffen wir heute ebenso wie schon vor zehn Jahren, als der erste „World Ocean Review“ erschien, dass auch diese neue Ausgabe ihren „kleinen Teil dazu beitragen kann, die Situation zum Guten zu wenden“.

Glossar

Shared Socioeconomic Pathways, SSPs (Gemeinsame Sozio-ökonomische Entwicklungspfade): SSPs sind ausgewählte Szenarien, die als Ergänzung zu den Repräsentativen Konzentrationspfaden (RCPs) entwickelt wurden und daher etwas neuer sind. Sie berücksichtigen sozioökonomische Faktoren und stellen fünf verschiedene gesellschaftliche Entwicklungspfade dar – angefangen von einer Zukunft mit aktiver Klimaschutzpolitik bis hin zu einer Welt, in der keinerlei Klima- und Umweltschutz betrieben wird, sondern in der die Menschheit stattdessen vollends auf die Macht der Märkte, auf technologischen Fortschritt sowie auf fossile Rohstoffe wie Kohle und Erdöl setzt (SSP5-8.5). Das bedeutet: Mit den SSP-Szenarien können politische Entscheidungen in ihrer Wirkung auf das Klima getestet werden. Wie schon bei den RCP-Szenarien lassen sich auch auf Basis der SSP-Szenarien Temperaturentwicklungen berechnen.

Pariser Klimaabkommen: Das Pariser Übereinkommen ist die erste umfassende und rechtlich bindende Klimaschutzvereinbarung der internationalen Staatengemeinschaft. Sie wurde am 12. Dezember 2015 auf der Pariser Klimakonferenz von 196 Staaten unterzeichnet und gibt einen globalen Rahmen zur Bekämpfung des Klimawandels vor. Demnach soll die Erderwärmung durch drastische Reduktionen der Treibhausgasemissionen deutlich unter zwei Grad Celsius gehalten werden. Bestenfalls gelingt es, den Temperaturanstieg auf 1,5 Grad Celsius zu beschränken. Außerdem sollen insbesondere die Entwicklungsländer bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels unterstützt werden. Das Abkommen trat am 4. November 2016 in Kraft, nachdem es 55 Länder ratifiziert hatten, die gemeinsam für mindestens 55 Prozent der weltweiten Emissionen verantwortlich sind.

Repräsentative Konzentrationspfade, RCPs: Dieser Begriff steht für vier ausgewählte Szenarien, die in der internationalen Klimamodellierung sowie im fünfte Weltklimabericht verwendet wurden, um Simulationen mit unterschiedlichen Klimamodellen zu erleichtern und ihre Ergebnisse vergleichbar zu machen. Szenarien geben den Klimamodellen nämlich bestimmte Bedingungen und damit einen gewissen Rahmen vor, der sonst erst zeit- und kostenaufwendig erstellt werden müsste. Tatsächlich bestehen die Szenarien in erster Linie aus Zahlentabellen. Sie vereinen Zeitreihen zur möglichen künftigen Entwicklung der Treibhausgasemissionen, der Aerosolkonzentration in der Atmosphäre, der Landnutzung und auch der Vegetation – alles bis zum Jahr 2100. Außerdem berücksichtigen sie Annahmen, wie sich zum Beispiel das Bevölkerungswachstum, die Wirtschaft und die Nutzung fossiler Energieträger entwickeln werden. Auf Basis dessen liefern die RCP-Szenarien Zeitreihen der zu erwarteten Treibhausgaskonzentrationen und dem sich jeweils daraus ableitenden Strahlungsantrieb.

Vorsorgeprinzip: Das Vorsorgeprinzip ist eine wichtige Leitlinie der internationalen Umweltpolitik. Sie besagt, dass wir Menschen bei allen Eingriffen in die Natur so vorausschauend und frühzeitig agieren sollten, dass mögliche Gefahren für die Umwelt erst gar nicht entstehen. Das Prinzip umfasst nach Angaben des deutschen Umweltbundesamtes zwei Dimensionen: die Risikovor-sorge und die Ressourcenvorsorge. Risikovor-sorge bedeutet, dass bei unvollständigem oder unsicherem Wissen über Art, Ausmaß, Wahrscheinlichkeit sowie Kausalität von Umweltschäden und -gefahren vorbeugend zu handeln ist, um diese von vornherein zu vermeiden. Ressourcenvorsorge meint, dass wir mit den natürlichen Ressourcen wie Wasser, Boden und Luft schonend umgehen, um sie langfristig zu sichern und im Interesse künftiger Generationen zu erhalten.

Weltbiodiversitätsrat: Das ist die deutsche Bezeichnung für die Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, abgekürzt IPBES. Der Weltbiodiversitätsrat wurde im Jahr 2012 gegründet und ist eine Organisation der Vereinten Nationen. Er berät politische Entscheidungsträger zum Thema nachhaltige Nutzung der Natur, ihrer biologischen Vielfalt und ihrer Dienstleistungen und veröffentlicht regelmäßige Sachstandsberichte zu Biodiversitätsthemen. Die Arbeit des Rates wird durch mehr als 1000 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus aller Welt unterstützt. Sie alle arbeiten ehrenamtlich und auf freiwilliger Basis in dem Gremium mit.

Weltklimarat: Das ist die deutsche Kurzbezeichnung für den Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Dieser wiederum ist eine Institution der Vereinten Nationen. Gegründet im Jahr 1988, tragen in seinem Auftrag Hunderte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus aller Welt regelmäßig den aktuellen Stand der Forschung zum Klimawandel zusammen und bewerten diesen. Das heißt, sie stellen die Ursachen, Folgen und Risiken des Klimawandels dar und zeigen Möglichkeiten auf, wie die Menschheit den Klimawandel mindern und sich daran anpassen kann. Ihre Ergebnisse veröffentlichen die drei Arbeitsgruppen des IPCC in sogenannten Sachstandsberichten, die in deutscher Sprache oft auch als Weltklimaberichte bezeichnet werden.

Das Glossar erläutert Begriffe, die für das Verständnis der Texte besonders wichtig sind, aber in den einzelnen Kapiteln aus Platzgründen nicht ausführlich erläutert werden können. Im Text sind Glossar-begriffe gefettet dargestellt.

Abkürzungen

ABMT Area-based Management Tools; gebietsbezogene Managementmaßnahmen

ABNJ Areas Beyond National Jurisdiction; Gebiete außerhalb nationaler Hoheitsgewalt

AIS Automatic Identification System; automatisches Schiffs-erkennungssystem

AMOC Atlantic Meridional Overturning Circulation; Atlantische Meridionale Umwälzbewegung

ARGO Array for Realtime Geostrophic Oceanography; Echtzeit-Beobachtungssystem für geostrophische Ozeanografie

ASC Aquaculture Stewardship Council; Gütezeichen für sozial-ökologisch nachhaltige Aquakultur

AWZ Ausschließliche Wirtschaftszone

AZT Azidothymidin; Medikament

BASF Chemiekonzern

BBNJ Biodiversity Beyond National Jurisdiction; Biodiversität außerhalb von Gebieten unter nationaler Hoheitsgewalt

BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

BSH Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

CAMLR Convention on the Conservation of Antarctic Marine Living Resources; Übereinkommen über die Erhaltung der lebenden Meeresschätze der Antarktis

CARA Circum Arctic Resource Appraisal; Studie des US-amerikanischen Geologischen Dienstes zu vermuteten Erdgas- und Erdölvorkommen in der Arktis

CBD Convention on Biological Diversity; Biodiversitätskonvention

CCAMLR Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources; Kommission zur Erhaltung lebender Meeresschätze in der Antarktis

CCS Carbon Capture and Storage; Kohlenstoffabscheidung und -speicherung

CCZ Clarion-Clipperton-Zone

CKW Chlorkohlenwasserstoffe

CLCS Commission on the Limits of the Continental Shelf; UN-Kommission zur Begrenzung des Festlandssockels

CLIA Cruise Lines International Association; Weltverband der Kreuzfahrtindustrie

CMI China Merchants Industry Holdings; chinesisches Unternehmen

COSCO China Ocean Shipping Company; chinesische Reederei

DDT Dichlordiphenyltrichlorethan; Insektizid

DNA Deoxyribonucleic acid; Desoxyribonukleinsäure (DNS)

DSI digitale Sequenzinformationen

ECA Emission Control Area; designiertes Emissionskontrollgebiet

EIA Environmental Impact Assessment; Umweltverträglichkeitsprüfung

EOR Enhanced Oil Recovery; tertiäre Ölgewinnung (zum Beispiel durch Injektion von Gasen)

EPA Environmental Protection Agency; US-amerikanische Umweltschutzbehörde

EPPPs Environmentally Persistent Pharmaceutical Pollutants; persistente pharmazeutische Schadstoffe

EU European Union; Europäische Union

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations; Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen

FDA U. S. Food and Drug Administration; US-amerikanische Behörde für Lebens- und Arzneimittel

GFCM General Fisheries Commission for the Mediterranean; Kommission für Fischerei im Mittelmeerraum

GPML Global Partnership on Marine Litter; Globale Partnerschaft gegen Meeressmüll

GV genetisch verändert

HELCOM Baltic Marine Environment Protection Commission (Helsinki Commission); Helsinki-Kommission zum Schutz der Meeresumwelt der Ostsee

ICCAT International Commission for the Conservation of Atlantic Tuna; Internationale Kommission für die Erhaltung der Thunfischbestände im Atlantik

ICES International Council for the Exploration of the Sea; Internationaler Rat für Meeresforschung

ICS International Chamber of Shipping; Internationale Schifffahrtskammer

IEA International Energy Agency; Internationale Energieagentur

ILO International Labour Organization; Internationale Arbeitsorganisation

IMO International Maritime Organization; Internationale Seeschifffahrts-Organisation

IOC Intergovernmental Oceanographic Commission; Zwischenstaatliche Kommission für Ozeanografie bei der UNESCO

IPBES Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services; Weltbiodiversitätsrat

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change; Weltklimarat

ISA International Seabed Authority; Internationale Meeresbodenbehörde

IUCN International Union for the Conservation of Nature; Weltnaturschutzunion

IUU-fishing unreported and unregulated fishing; illegale, nicht gemeldete und nicht regulierte Fischerei

IWC International Whaling Commission; Internationale Walfangkommission

JOGMEC Japan Oil, Gas and Metals National Corporation; japanisches Bergbauunternehmen

LED light-emitting diode; Leuchtdiode

LNG Liquefied Natural Gas; verflüssigtes Erdgas

MARPOL International Convention for the Prevention of Marine Pollution from Ships; Internationales Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe

MOU Memorandum of Understanding; Absichtserklärung zwischen zwei oder mehreren Parteien

MPA Marine Protected Area; Meeresschutzgebiet

MSC Marine Stewardship Council; gemeinnützige, von WWF und Unilever gegründete Organisation zur Zertifizierung von Fisch aus nachhaltiger Fischerei

MSG Meeresschutzgebiete

MSY Maximum Sustainable Yield; maximaler nachhaltiger Ertrag

NAFO Northwest Atlantic Fisheries Organization; Organisation für die Fischerei im Nordwestatlantik

NATO North Atlantic Treaty Organization; Organisation des Nordatlantikvertrages, auch Nordatlantisches Bündnis genannt

NbS Nature-based Solutions; naturbasierte Lösungen

NDCs Nationally determined contributions; nationale Klimaschutzbeiträge

NEAFC North East Atlantic Fisheries Commission; Kommission für die Fischerei im Nordostatlantik

NSR Northern Sea Route; nördlicher Seeweg

OECD Organisation for Economic Co-operation and Development; Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung

OMZ Oxygen Minimum Zone; Sauerstoffminimumzone

OOC Our Ocean Conference; jährlich stattfindende Konferenz zum Thema Ozean

OSPAR Oslo and Paris Conventions; Oslo-Paris-Konventionen: Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-atlantiks

PAHs polycyclic aromatic hydrocarbons; polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

PCB polychlorierte Biphenyle

PFAS per- and polyfluoroalkyl substances; per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen

POPs persistent organic pollutants; persistente organische Schadstoffe

ppm parts per million; Teile von einer Million, Millionstel

PSMA Agreement on Port State Measures to Prevent, Deter and Eliminate Illegal, Unreported and Unregulated Fishing; Übereinkommen zur Verhinderung illegaler, nicht gemeldeter und nicht regulierter Fischerei

RCPs Representative Concentration Pathways; Repräsentative Konzentrationspfade

RFB Regional Fisheries Body; regionales Fischereigremium

RFMO Regional Fisheries Management Organisation; regionale Organisation für das Fischereimanagement

RNA Ribonucleic Acid; Ribonukleinsäure (RNS)

RP reference point; Referenzpunkt

SAICM Strategic Approach to International Chemicals Management; Strategischer Ansatz zum Internationalen Chemikalienmanagement

SCR Suez Canal Route; Route durch den Sueskanal

SDGs Sustainable Development Goals; Ziele für nachhaltige Entwicklung

SOLAS International Convention for the Safety of Life at Sea; Übereinkommen zum Schutz des menschlichen Lebens auf See

SSPs Shared Socioeconomic Pathways; Gemeinsame Sozioökonomische Entwicklungspfade

TAC Total Allowable Catch; Höchstfangmenge

TBT Tributyltin; Tributylzinn

TNT Trinitrotoluol (Explosivstoff)

TURFs territorial use right in fisheries; territoriale Nutzungsrechte in der Fischerei

UNCLOS United Nations Convention on the Law of the Sea; Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen

UNCTAD United Nations Conference on Trade and Development; Konferenz der Vereinten Nationen für Handel und Entwicklung

UNEA United Nations Environment Assembly; Umweltversammlung der Vereinten Nationen

UNEP United Nations Environment Programme; Umweltprogramm der Vereinten Nationen

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change; Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen

USGS United States Geological Survey; Geologischer Dienst der Vereinigten Staaten

UV ultraviolet; Ultraviolettstrahlung

WBGU Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

Quellenverzeichnis

Kapitel 1 Unsere Ozeane – Quelle des Lebens

Costanza, R., R. de Groot, L. Braat, I. Kubiszewski, L. Fioramonti, P. Sutton, S. Farber & M. Grasso, 2017. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, Vol. 28, Part A, 1–16, DOI: 10.1016/j.ecoser.2017.09.008.

Costello, C., L. Cao, S. Gelcich et al., 2019. *The Future of Food from the Sea*. Washington, DC: World Resources Institute, www.oceanpanel.org/future-food-sea

Fanglin, S. & R. T. Carson, 2020. Coastal wetlands reduce property damage during tropical cyclones. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Mar 2020, 117 (11) 5719–5725, DOI: 10.1073/pnas.1915169117

FAO, 2020. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Rome. DOI: 10.4060/ca9229en

Gaines, S., R. Cabral, C. Free, Y. Golbuu et al., 2019. *The Expected Impacts of Climate Change on the Ocean Economy*. Washington, DC: World Resources Institute. www.oceanpanel.org/expected-impacts-climate-change-ocean-economy

Gilly, W. F., J. M. Beman, S. Y. Litvin & B. H. Robison, 2013. *Oceanographic and Biological Effects of Shoaling of the Oxygen Minimum Zone*. Vol. 5: 393–420, DOI: 10.1146/annurev-marine-120710-100849

IPBES, 2019. *The global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio, H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, & C. N. Zayas (Hg.). IPBES secretariat, Bonn, Germany.

IPCC, 2019. *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck,

A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. M. Weyer (Hg.). In press.

Jax, K., D. N. Barton, K. M. A. Chan, R. de Groot, U. Doyle, U. Eser, C. Görg, E. Gómez-Baggethun, Y. Griewald, W. Haber, R. Haines-Young, U. Heink, T. Jahn, H. Joosten, L. Kerschbaumer, H. Korn, G. W. Luck, B. Matzdorf, B. Muraca, C. Neßhöver, B. Norton, K. Ott, M. Potschin, F. Rauschmayer, C. von Haaren & S. Wichmann, 2013. Ecosystem services and ethics. *Ecological Economics* 93 (2013) 260–168, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2013.06.008

Jones, K. R., C. J. Klein, B. S. Halpern, O. Venter, H. Grantham, C. D. Kuempel, N. Shumway, A. M. Friedlander, H. P. Possingham & J. E. M. Watson, 2018. The Location and Protection Status of Earth’s Diminishing Marine Wilderness. *Current Biology* 28, 2506–2512 August 6, 2018, DOI: 10.1016/j.cub.2018.06.010

NOAA, National Ocean Service. *Ocean Facts*. <https://ocean.service.noaa.gov/facts/>

OECD, 2016. *The Ocean Economy in 2030*. OECD Publishing, Paris. DOI: 10.1787/9789264251724-en

Ott, K. & C. Reinmuth, 2021. *Environmental Evaluation between Economics and Ethics: An Argument for Integration*. In: Hobohm, C., 2021. *Perspectives for Biodiversity and Ecosystems*. Springer International Publishing, DOI: 10.1007/978-3-030-57710-0_6

Savrič, B., D. Burrows & M. Kennedy, 2020. *The Spillhaus World Ocean Map in a Square*. <https://storymaps.arcgis.com>

Schwerpunktprogramm 1689 der Deutschen Forschungsgemeinschaft, 2019. *Climate Engineering und unsere Klimaziele – eine überfällige Debatte*. Kiel

United Nations (Hg.), 2017. *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press, DOI: 10.1017/9781108186148

UNEP, 2020. *Towards „Blue Economy“ Transformation in the NOWPAP Region*. UNEP/NOWPAP IG. 24/11, Twenty Fourth Intergovernmental Meeting of the Northwest Pacific Action Plan, Beijing, China

Yoshida, S., A. M. Macdonald, S. R. Jayne, I. I. Rypina & K. O. Buesseler, 2015. Observed eastward progression of the Fukushima 134Cs signal across the North Pacific. *Geophysical Research Letters*, Vol. 42, Issue 17, 7139–7147, DOI: 10.1002/2015GL065259

Zacharias, M. & J. Ardon, 2020. *Marine Policy – An Introduction to Governance and International Law of the Ocean*. Second Edition, Routledge, New York

Zilhão, J., D. E. Angelucci, M. Araújo Igreja, L. J. Arnold, E. Badal, P. Callapez, J. L. Cardoso, F. d'Errico, J. Daura, M. Demuro, M. Deschamps, C. Dupont, S. Gabriel, D. L. Hoffmann, P. Legoinha, H. Matias, A. M. Monge Soares, M. Nabais, P. Portela, A. Queffelec, F. Rodrigues & P. Souto Last, 2020. Interglacial Iberian Neandertals as fisher-hunter-gatherers. *Science*, Vol. 367, Issue 6485, DOI: 10.1126/science.aaz7943

Kapitel 2 Der Ozean im Klimawandel

Abbott, B. W., K. Bishop, J. P. Zarnetske, et al., 2019. Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. *Nat. Geosci.* 12, 533–540, DOI: 10.1038/s41561-019-0374-y

Benthuisen, J. A., E. C. J. Oliver, K. Chen & T. Wernberg, 2020. Editorial: Advances in Understanding Marine Heatwaves and Their Impacts. *Front. Mar. Sci.*, 13 March 2020, DOI: 10.3389/fmars.2020.00147

Breitburg D., L. A. Levin, A. Oschlies, M. Grégoire, F. P. Chavez, D. J. Conley, V. Garçon, D. Gilbert, D. Gutiérrez, K. Isensee, G. S. Jacinto, K. E. Limburg, I. Montes, S. W. A. Naqvi, G. C. Pitcher, N. N. Rabalais, M. R. Roman, K. A. Rose, B. A. Seibel, M. Telszewski, M. Yasuhara & J. Zhang, 2018. Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, Vol. 359, Issue 6371, DOI: 10.1126/science.aam7240

Buitenhuis, E. T., W. K. W. Li, D. Vaultot, M. W. Lomas, M. R. Landry, F. Partensky, D. M. Karl, O. Ulloa, L. Campbell, S. Jacques, F. Lantoiné, F. Chavez, D. Macias, M. Gosselin & G. B. McManus, 2012. Picophytoplankton biomass distribution in the global ocean. *Earth Syst. Sci. Data*, 4, 37–46, 2012, DOI: 10.5194/essd-4-37-2012

Burrows, M. T., A. E. Bates, M. J. Costello, et al., 2019. Ocean community warming responses explained by thermal affinities and temperature gradients. *Nat. Clim. Chang.* 9, 959–963 (2019), DOI: 10.1038/s41558-019-0631-5

Carbon Brief, 2021. Mapped: How climate change affects extreme weather around the world. <https://www.carbonbrief.org/mapped-how-climate-change-affects-extreme-weather-around-the-world> (letzter Zugriff: Juli 2021)

Cheng, L., J. Abraham, J. Zhu, K. E. Trenberth, J. Fasullo, T. Boyer, R. Locarnini, B. Zhang, F. Yu, L. Wan, X. Chen, X. Song, Y. Liu & M. E. Mann, 2020. Record-Setting Ocean Warmth Continued in 2019. *Adv. Atmos. Sci.* 37, 137–142, DOI: 10.1007/s00376-020-9283-7

Cheng, L., J. Abraham, K. E. Trenberth, et al., 2021. Upper Ocean Temperatures Hit Record High in 2020. *Adv. Atmos. Sci.* 38, 523–530 (2021), DOI: 10.1007/s00376-021-0447-x

Climate Central, 2019. Flooded Future: Global vulnerability to sea level rise worse than previously understood. <https://www.climatecentral.org/pdfs/2019CoastalDEMReport.pdf>

Comte, L. & J. Lenoir, 2020. Decoupled land–sea biodiversity trends. *Nat Ecol Evol*, DOI: 10.1038/s41559-020-1191-9

Dahlke, F. T., M. Butzin, J. Nahrgang, V. Puvanendran, A. Mortensen, H.-O. Pörtner & D. Storch, 2018. Northern cod species face spawning habitat losses if global warming exceeds 1.5° C. *Science Advances*, Vol. 4, no. 11, DOI: 10.1126/sciadv.aas8821

Dahlke, F. T., S. Wohlrab, M. Butzin & H.-O. Pörtner, 2020. Thermal bottlenecks in the life cycle define climate vulnerability of fish. *Science*, Vol. 369, Issue 6499, 65–70, DOI: 10.1126/science.aaz3658

Deutsches Klima-Konsortium, 2019: *Zukunft der Meeresspiegel – Fakten und Hintergründe aus der Forschung*. Berlin

Dziergwa, J., S. Singh, C. R. Bridges et al., 2019. Acid-base adjustments and first evidence of denticle corrosion caused by ocean acidification conditions in a demersal shark species. *Sci Rep* 9, 18668, DOI: 10.1038/s41598-019-54795-7

Falkowski, P., 2012. Ocean Science: The power of plankton. *Nature* 483, 17–20, DOI: 10.1038/483S17a

Fischer, E. & R. Knutti, 2015. Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. *Nature Clim Change* 5, 560–564, DOI: 10.1038/nclimate2617

Fox, L., Stukins, S., Hill, T. & C. G. Miller, 2020. Quantifying the Effect of Anthropogenic Climate Change on Calcifying Plankton. *Sci Rep* 10, 1620, DOI: 10.1038/s41598-020-58501-w

Friedlingstein, P. et al., 2020. Global Carbon Budget 2020. *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 3269–3340, DOI: 10.5194/essd-12-3269-2020

Gimeno, L., R. Nieto, M. Vázquez & D. A. Lavers, 2014. Atmospheric rivers: a mini-review. *Front. Earth Sci.*, DOI: 10.3389/feart.2014.00002

Gruber, N., D. Clement, B. R. Carter, R. A. Feely, S. van Heuven, M. Hoppema, M. Ishii, R. M. Key, A. Kozyr, S. K. Lauvset, C. Lo Monaco, J. T. Mathis, A. Murata, A. Olsen, F. F. Perez, C. L. Sabine, T. Tanhua & R. Wanninkhof, 2019. The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007. *Science*, Vol. 363, Issue 6432, 1193–1199, DOI: 10.1126/science.aau5153

Hauer, M. E., E. Fussell, V. Mueller, et al., 2020. Sea-level rise and human migration. *Nat Rev Earth Environ* 1, 28–39, DOI: 10.1038/s43017-019-0002-9

Hempel, G., K. Bischof & W. Hagen (Hg.), 2017. *Faszination Meeresforschung – Ein ökologisches Lesebuch*. Springer, Berlin

Hobday, A. J., L. V. Alexander, S. E. Perkins, D. A. Smale, S. C. Straub, E. C. J. Oliver, J. A. Benthuisen, M. T. Burrows, M. G. Donat, M. Feng, N. J. Holbrook, P. J. Moore, H. A. Scannell, A. Sen Gupta & T. Wernberg, 2016. A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Prog. Ocean.*, 141, 227–238, DOI: 10.1016/j.pocean.2015.12.014

Hoegh-Guldberg, O., E. S. Poloczanska, W. Skirving & S. Dove, 2017. Coral Reef Ecosystems under Climate Change and Ocean Acidification. *Front. Mar. Sci.* 4:158, DOI: 10.3389/fmars.2017.00158

Hoegh-Guldberg, O. & E. S., Poloczanska (Hg.), 2018. *Effects of Climate Change Across Ocean Regions*. Lausanne: Frontiers Media, DOI: 10.3389/978-2-88945-502-7

Holbrook, N. J., H. A. Scannell, A. Sen Gupta, et al., 2019. A global assessment of marine heatwaves and their drivers. *Nat Commun* 10, 2624, DOI: 10.1038/s41467-019-10206-z

Hughes, D. J., R. Alderdice, C. Cooney et al., 2020. Coral reef survival under accelerating ocean deoxygenation. *Nat. Clim. Chang.* 10, 296–307, DOI: 10.1038/s41558-020-0737-9

Hughes, T. & M. Pratchett, 2020. We just spent two weeks surveying the Great Barrier Reef. What we saw was an utter tragedy. *The Conversation*, <https://theconversation.com/we-just-spent-two-weeks-surveying-the-great-barrier-reef-what-we-saw-was-an-utter-tragedy-135197>

IPCC, 2019: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. M. Weyer (Hg.). In press.

IPCC, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leit-zell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu & B. Zhou (Hg.). Cambridge University Press. In Press.

Kossin, J. P., K. R. Knapp, T. L. Olander & C. S. Velden, 2020. Global increase in major tropical cyclone exceedance probability over the past four decades. *Proceedings of the National Academy of Sciences Jun 2020*, 117 (22) 11975–11980, DOI: 10.1073/pnas.1920849117

Kulp, S. A. & B. H. Strauss, 2019. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nat Commun* 10, 4844, DOI: 10.1038/s41467-019-12808-z

Laffoley, D. & J. M. Baxter, 2019. *Ocean deoxygenation: Everyone's problem – causes, impacts, consequences and solutions*. Gland, Switzerland: IUCN

- Lenoir, J., R. Bertrand, L. Comte, et al., 2020. Species better track climate warming in the oceans than on land. *Nat Ecol Evol* 4, 1044–1059, DOI: 10.1038/s41559-020-1198-2
- Lovelock, C. E., 2020. Blue carbon from the past forecasts the future. *Science*, Vol. 368, Issue 6495, 1050–1052, DOI: 10.1126/science.abc3735
- Marine Heatwaves International Working Group, <http://www.marineheatwaves.org/>
- Nisbet, E. G., R. E. Fisher, D. Lowry, J. L. France, G. Allen, S. Bakkaloglu, et al., 2020. Methane mitigation: methods to reduce emissions, on the path to the Paris agreement. *Reviews of Geophysics*, 58, DOI: 10.1029/2019RG000675
- Nisbet, E., 2020. Methane's rising: What can we do to bring it down?, *Eos*, 101, DOI: 10.1029/2020EO143615.
- Poloczanska, E. S., C. J. Limpus & G. C. Hays, 2009. Vulnerability of Marine Turtles to Climate Change. In D. W. Sims (Hg.): *Advances in Marine Biology*, Vol. 56, Burlington: Academic Press, 2009, 151–211
- Poloczanska, E. S., M. T. Burrows, C. J. Brown, J. García Molinos, B. S. Halpern, O. Hoegh-Guldberg, C. V. Kappel, P. J. Moore, A. J. Richardson, D. S. Schoeman & W. J. Sydeman, 2016. Responses of Marine Organisms to Climate Change across Oceans. *Front. Mar. Sci.* 3: 62, DOI: 10.3389/fmars.2016.00062
- Renwick, J., 2019. Climate explained: why coastal floods are becoming more frequent as seas rise. *The Conversation*, <https://theconversation.com/climate-explained-why-coastal-floods-are-becoming-more-frequent-as-seas-rise-127202>
- Saintilan, N., N. S. Khan, E. Ashe, J. J. Kelleway, K. Rogers, C. D. Woodroffe & B. P. Horton, 2020. Thresholds of mangrove survival under rapid sea level rise. *Science*, Vol. 368, Issue 6495, 1118–1121, DOI: 10.1126/science.aba2656
- Saunoy, M. et al, 2020. The Global Methane Budget 2000–2017. *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 1561–1623, DOI: 10.5194/essd-12-1561-2020
- Smale, D. A., 2020. Impacts of ocean warming on kelp forest ecosystems. *New Phytologist*, Volume 225, Issue 4, February 2020, 1447–1454, DOI: 10.1111/nph.16107
- Schmidtko, S., L. Stramma & M. Visbeck, 2017. Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature* 542, 335–339, DOI: 10.1038/nature21399
- United Nations (Hg.), 2017. *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press, DOI: 10.1017/9781108186148
- Van Oldenborgh, G. et al. 2019: Rapid attribution of the extreme rainfall in Texas from Tropical Storm Imelda. *World Weather Attribution*, <https://www.worldweatherattribution.org/rapid-attribution-of-the-extreme-rainfall-in-texas-from-tropical-storm-imelda/>
- Vousdoukas, M. I., R. Ranasinghe, L. Mentaschi, T. A. Plomaritis, P. Athanasiou, A. Luijendijk & L. Feyen, 2020. Sandy coastlines under threat of erosion. *Nat. Clim. Chang.* 10, 260–263, DOI: 10.1038/s41558-020-0697-0
- Wrathall, D. J., V. Mueller, P. U. Clark et al., 2019. Meeting the looming policy challenge of sea-level change and human migration. *Nat. Clim. Chang.* 9, 898–901, DOI: 10.1038/s41558-019-0640-4
- Kapitel 3**
Nahrung aus dem Meer
- Anderson, C. M., M. J. Krigbaum, M. C. Arostegui, M. L. Feddern, J. Zachary Koehn, P. T. Kuriyama, C. Morrisett, C. I. Allen Akselrud, M. J. Davis, C. Fiamengo, A. Fuller, Q. Lee, K. N. McElroy, M. Pons & J. Sanders, 2018. How commercial fishing effort is managed. *Fish and Fisheries*, DOI: 10.1111/faf.12339
- Aquaculture Stewardship Council, 2020. Positive impact: partner improvements through certification. Stichting Aquaculture Stewardship Council Foundation
- Collins, D., 2020. ‚They just pull up everything!‘ Chinese fleet raises fears for Galápagos sea life. *The Guardian*, 6 August 2020, <https://www.theguardian.com/environment/2020/aug/06/chinese-fleet-fishing-galapagos-islands-environment>
- Costello, C., L. Cao, S. Gelcich et al., 2019. *The Future of Food from the Sea*. Washington, DC: World Resources Institute. www.oceanpanel.org/future-food-sea

Daniels, A., M. Gutiérrez, G. Fanjul, A. Guereña, I. Matheson & K. Watkins, 2016. *Western Africa's Missing Fish: The Impacts of Illegal, Unreported, and Unregulated Fishing and Under-Reporting Catches by Foreign Fleets*. Overseas Development Institute

Duarte, C. M., J. Wu, X. Xiao, A. Bruhn & D. Krause-Jensen, 2017. Can Seaweed Farming Play a Role in Climate Change Mitigation and Adaptation? *Front. Mar. Sci.* 4:100, DOI: 10.3389/fmars.2017.00100

Duarte, C. M., S. Agusti, E. Barbier, G. L. Britten, J. C. Castilla, J.-P. Gattuso, R. W. Fulweiler, T. P. Hughes, N. Knowlton, C. E. Lovelock, H. K. Lotze, M. Predragovic, E. Poloczanska, C. Roberts & B. Worm, 2020. Rebuilding marine life. *Nature* 580, 39–51, DOI: 10.1038/s41586-020-2146-7

FAO, 2020. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Rome. DOI: 10.4060/ca9229en

Froehlich, H. E., J. C. Afflerbach, M. Frazier, B. S. Halpern, 2019. Blue Growth Potential to Mitigate Climate Change through Seaweed Offsetting. *Current Biology*, Volume 29, Issue 18, 3087–3093, DOI: 10.1016/j.cub.2019.07.041

Garcia, S. M. & J. Rice, 2020. Assessing Progress towards Aichi Biodiversity Target 6 on Sustainable Marine Fisheries. Technical Series No. 87. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal

Gentry, R. R., H. E. Froehlich, D. Grimm et al., 2017. Mapping the global potential for marine aquaculture. *Nat Ecol Evol* 1, 1317–1324 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0257-9>

Haas, N., Feinkost statt Fast Food. *Greenpeace*, <https://www.greenpeace.de/themen/meere/feinkost-statt-fast-food>

Hilborn, R. et al., 2020. Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. *Proceedings of the National Academy of Sciences* Jan 2020, 117 (4) 2218–2224; DOI: 10.1073/pnas.1909726116

International Labour Organisation, 2015. *GAPfish – Global Action Programme against forced labour and trafficking of fishers at sea*, Genf, Schweiz

Kilgour, C. & D. Copeland, 2020. *Illegal Fishing Hotspot Identified in Northwest Indian Ocean*. *Trygg Mat Tracking*, <https://www.tm-tracking.org/post/illegal-fishing-hotspot-identified-in-northwest-indian-ocean>

Krause-Jensen, D. & C. Duarte, 2016. Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nature Geosci* 9, 737–742, DOI: 10.1038/ngeo2790

Lynham, J., A. Nikolaev, J. Raynor et al., 2020. Impact of two of the world's largest protected areas on longline fishery catch rates. *Nat Commun* 11, 979, DOI: 10.1038/s41467-020-14588-3

Macfadyen, G., G. Hosch, N. Kaysser, & L. Tagziria, 2019. *The IUU Fishing Index, 2019*. Poseidon Aquatic Resource Management Limited and the Global Initiative Against Transnational Organized Crime

Marine Stewardship Council, 2019. *Global Impact Report*, Update June 2019, <https://www.msc.org/>

Palomares, M. L. D., R. Froese, B. Derrick, J. J. Meeuwig, S.-L. Nöel, G. Tsui, J. Woroniak, D. Zeller & D. Pauly, 2020. Fishery biomass trends of exploited fish populations in marine eco-regions, climatic zones and ocean basins. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 243, DOI: 10.1016/j.ecss.2020.106896

Richards, D. R. & D. A. Friess, 2016. Drivers of mangrove loss in Southeast Asia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (2) 344–349, DOI: 10.1073/pnas.1510272113

Sala, E., J. Mayorga, C. Costello, D. Kroodsma, M. L. D. Palomares, D. Pauly, U. R. Sumaila & D. Zeller, 2018. The economics of fishing the high seas. *Science Advances*, Vol. 4, no. 6, DOI: 10.1126/sciadv.aat2504

Sea Around Us – Fisheries, Ecosystems & Biodiversity, www.seaaroundus.org

Skerritt, D. J. & U. R. Sumaila, 2021. Assessing the spatial burden of harmful fisheries subsidies. *Oceana/Fisheries Economic Research unit*, oceana.org/toi

Sumaila, U., V. Lam, D. Miller et al., 2015. Winners and losers in a world where the high seas is closed to fishing. *Sci Rep* 5, 8481, DOI: 10.1038/srep08481

Sumaila, U. R., D. Zeller, L. Hood, M. L. D. Palomares, Y. Li & D. Pauly, 2020. Illicit trade in marine fish catch and its effects on ecosystems and people worldwide. *Science Advances*, Vol. 6, DOI: 10.1126/sciadv.aaz3801

Taconet, M., D. Kroodsmas, & J. A. Fernandes, 2019. Global Atlas of AIS-based fishing activity – Challenges and opportunities. FAO, Rome

The Pew Charitable Trust, www.pewtrusts.org

Troell, M., M. Jonell & B. Crona, 2019. The role of seafood for sustainable and healthy diets – The EAT-Lancet commission report through a blue lens. *Beijer Discussion Paper Series No. 266*, The Beijer Institute of Ecological Economics, Stockholm

Ulman, A., M. Zengin, N. Demire & Daniel Pauly, 2020. The Lost Fish of Turkey: A Recent History of Disappeared Species and Commercial Fishery Extinctions for the Turkish Marmara and Black Seas. *Front. Mar. Sci.*, DOI: 10.3389/fmars.2020.00650

Urbina, I., 2020: The deadly secret of China's invisible armada. NBC News, veröffentlicht am 22. Juni 2020; <https://www.nbcnews.com/specials/china-illegal-fishing-fleet/>

Webb-Halper, S., 2020. The Nature Conservancy Applauds Landmark Decision that Will Benefit Marine Wildlife, Fishing and Coastal Industries. The Nature Conservancy, New York

Winther, J.-G., M. Dai, et al., 2020. Integrated Ocean Management. Washington, DC: World Resources Institute. www.oceanpanel.org/blue-papers/integrated-ocean-management

Zacharias, M. & J. Ardon, 2020. Marine Policy – An Introduction to Governance and International Law of the Ocean. Second Edition, Routledge, New York

Kapitel 4 Transporte über das Meer

Becker, A., M. Acciaro, R. Asariotis, E. Carera, L. Cretegny, P. Crist, M. Esteban, A. Mather, S. Messner, S. Naruse, A. K. Y. Ng, S. Rahmstorf, M. Savonis, D. Song, V. Stenek & A. F. Velegrakis, 2013. A Note on Climate change adaptation for seaports: A challenge for global ports, a challenge for global society. *Climatic Change* 120 (4): 683–695, DOI: 10.1007/s10584-013-0843-z

Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie, <https://www.bsh.de/>

Cates, K., D. P. DeMaster, R. L. Brownell Jr., G. Silber, S. Gende, R. Leaper, F. Ritter & S. Panigadal, 2017. Strategic Plan to Mitigate the Impacts of Ship Strikes on Cetacean Populations: 2017–2020. International Whaling Commission (IWC)

Cruise Lines International Association, <https://cruising.org/>

Cruise Market Watch, <https://cruisemarketwatch.com/>

Energy Watch Group, 2019. Erdgas leistet keinen Beitrag zum Klimaschutz. Der Umstieg von Kohle und Erdöl auf Erdgas beschleunigt den Klimawandel durch alarmierende Methanemissionen. Berlin

Erbe, C., S. A. Marley, R. P. Schoeman, J. N. Smith, L. E. Trigg & C. B. Embling, 2019. The Effects of Ship Noise on Marine Mammals – A Review. *Front. Mar. Sci.* 6: 606, DOI: 10.3389/fmars.2019.00606

European Maritime Safety Agency, <http://www.emsa.europa.eu/>

GEF-UNDP-IMO GloFouling Partnerships, 2018. Project document, United Nations Development Programme and the International Maritime Organization. London, <https://www.glofouling.imo.org/publications-menu>

GEF-UNDP-IMO GloMEEP Project and members of the GIA, 2020. Just In Time Arrival Guide – Barriers and Potential Solutions. International Maritime Organization, London

Hearn, N. 2020. Accelerating the decarbonisation of the shipping sector. Global Maritime Forum

Henderson, G., 2020. Shipping sector prioritises five solutions for decarbonization. Global Maritime Forum

Hoffmann, J., 2020. Decarbonizing maritime transport: Estimating fleet renewal trends based on ship scrapping patterns. UNCTAD Transport and Trade Facilitation Newsletter N°85

IEA, 2020. Energy Technology Perspectives 2020. International Energy Agency

IMO, 2014.: Guidelines for the Reduction of Underwater Noise from Commercial Shipping to Address Adverse Impacts on Marine Life. IMO MEPC.1/Circ.833, International Maritime Organization, London

IMO, 2020. Fourth IMO Greenhouse Gas. International Maritime Organization, London

ITF, 2020. Navigating Towards Cleaner Maritime Shipping: Lessons from the Nordic Region. International Transport Forum Policy Papers, No. 80, OECD Publishing, Paris.

IWC, 2019. Report of the Sub-Committee on Non-Deliberate Human-Induced Mortality of Cetaceans. International Whaling Commission Nairobi, Kenya

Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS), <https://northsearegion.eu/jomopans/>

Jones, N., 2019. The quest for quieter seas. *Nature*, Vol. 568, 158–161, DOI: 10.1038/d41586-019-01098-6

Krantz, R., K. Søgaard & T. Smith, 2020. The scale of investment needed to decarbonize international shipping, Global Maritime Forum

Moscovici, D., 2017. Environmental Impacts of Cruise Ships on Island Nations. *Peace Review*, 29:3, 366–373, DOI: 10.1080/10402659.2017.1344580

Notteboom, T., A. Pallis & J.-P. Rodrigue, 2020. Port Economics, Management and Policy. Routledge, New York

Paris MoU on PSC, www.parismou.org

Parry, I., D. Heine, K. Kizier & T. Smith, 2018. Carbon Taxing for International Maritime Fuels: Assessing Options, International Monetary Fund Working Paper No. 18/203, International Monetary Fund

Port of Rotterdam, www.portofrotterdam.com

Rodrigue, J.-P. et al., 2020. The Geography of Transport Systems, Hofstra University, Department of Global Studies & Geography, <https://transportgeography.org>.

Shell, 2017. Shell-Wasserstoffstudie – Energie der Zukunft. Shell Deutschland Oil GmbH, Hamburg

Shell 2020. Decarbonising Shipping: All Hands on Deck – Industry Perspectives. Shell International

Slabbekoorn, H., N. Bouton, I. van Opzeeland, A. Coers, C. ten Cate & A. N. Popper, 2010. A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish, *Trends in Ecology & Evolution*, DOI: 10.1016/j.tree.2010.04.005

Tengelmann, F., V. Rachold & L. Grosfeld, 2019. Fact Sheet: Schifffahrt in der Arktis. Deutsches Arktisbüro am Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung The Barents Observer, <https://thebarentsobserver.com/>

The Economist, 2020. The Road – China is making substantial investment in ports and pipelines worldwide. The Economist Newspaper Limited

The Economist, 2020. Ports are highly exposed to climate change and often ill-prepared. The Economist Newspaper Limited

Transport & Environment, 2019. One Corporation to Pollute Them All – Luxury cruise air emissions in Europe. European Federation for Transport and Environment AISBL

UNCTAD, 2018. 50 Years of Review of Maritime Transport, 1968–2018: Reflecting on the past, exploring the future. Transport and Trade Facilitation Series No. 10, United Nations, Geneva

UNCTAD, 2019. Review of maritime transport – 2019. United Nations, Geneva

UNCTAD, 2020. Review of maritime transport – 2020. United Nations, Geneva

UNCTAD, 2020. Climate Change Impacts and Adaptation for Coastal Transport Infrastructure: A Compilation of Policies and Practices. Transport and Trade Facilitation Series No. 12, United Nations, Geneva

Kapitel 5

Energie und Rohstoffe aus dem Meer

Allison, E. & B. Mandler, 2018. Petroleum and the Environment, American Geosciences Institute

Baker, E. T., 2017. Exploring the ocean for hydrothermal venting: New techniques, new discoveries, new insights. *Ore Geology Reviews* 86, 55–69, DOI: 10.1016/j.oregeorev.2017.02.006

Bendixen, M., J. Best, C. Hackney & L. Lønsmann Iversen, 2019. Time is running out for sand. *Nature* 571, 29–31, DOI: 10.1038/d41586-019-02042-4

Casson, L. et al., 2020. Deep trouble – the murky world of the deep sea mining industry, Greenpeace International

Europäische Kommission, 2020. Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, COM(2020) 474 final, Brüssel

Europäische Kommission, 2020b. Eine EU-Strategie zur Nutzung des Potenzials der erneuerbaren Offshore-Energie für eine klimaneutrale Zukunft, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, SWD(2020) 273 final, Brüssel

Franke, D. & S. Rehder, 2010. Erdölförderung aus großen Wassertiefen, Commodity Top News Nr. 35, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Gaedicke, C., D. Franke, S. Ladage, R. Lutz, M. Pein, D. Rebscher, M. Schauer, S. Schmitz & G. von Goerne, 2020. BGR Energiestudie 2019. Daten und Entwicklungen der deutschen und globalen Energieversorgung, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Gollner, S., S. Kaiser, L. Menzel, D. O. B. Jones, A. Brown, N. C. Mestre, D. van Oevelen, L. Menot, A. Colaco, M. Canals, D. Cuvelier, J. M. Durden, A. Gebruk, G. A. Egho, M. Haeckel, Y.

Marcon, L. Mevenkamp, T. Morato, C. K. Pham, A. Purser, A. Sanchez-Vidal, A. Vanreusel, A. Vink & P. Martinez Arbizu, 2017. Resilience of benthic deep-sea fauna to mining activities. *Marine Environmental Research* 129, 76–101, DOI: 10.1016/j.marenvres.2017.04.010

Hannington, M., S. Petersen & A. Krätschell, 2017. Subsea mining moves closer to shore. *Nature Geosci* 10, 158–159, DOI: 10.1038/ngeo2897

Hein, J. R., A. Koschinsky & T. Kuhn, 2020. Deep-ocean polymetallic nodules as a resource for critical materials. *Nat Rev Earth Environ* 1, 158–169, DOI: 10.1038/s43017-020-0027-0

Hund, K., D. La Porta, T. P. Fabregas, T. Laing & J. Drexhage, 2020. Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition. Climate-Smart Mining Facility, International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington DC

ICES, 2019. Working Group on the Effects of Extraction of Marine Sediments on the Marine Ecosystem (WGEXT). ICES Scientific Reports. 1:87. 133 pp, DOI: 10.17895/ices.pub.5733

IEA, 2019. Offshore Wind Outlook 2019 – World Energy Outlook Special Report. International Energy Agency

IEA, 2019b. Can CO₂-EOR really provide carbon-negative oil?, International Energy Agency, Paris

IEA, 2020. Energy Technology Perspectives – Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage, CCUS in clean energy transitions. International Energy Agency

IEA, 2020b. Renewables 2020 – Analysis and forecast to 2025. International Energy Agency, Paris

International Seabed Authority, www.isa.org

International Seabed Authority, 2010. A Geological Model of Polymetallic Nodule Deposits in the Clarion-Clipperton Fracture Zone, Technical Study No. 6

IPBES, 2019. The global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele,

E. S. Brondízio, H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Armeth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, & C. N. Zayas (Hg.). IPBES secretariat, Bonn, Germany.

IRENA, 2020. Fostering a blue economy: Offshore renewable energy, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRP, 2020. Mineral Resource Governance in the 21st Century: Gearing extractive industries towards sustainable development. Ayuk, E. T., A. M. Pedro, P. Ekins, J. Gatune, B. Milligan, B. Oberle, P. Christmann, S. Ali, S. V. Kumar, S. Bringezu, J. Acquatella, L. Bernaudat, C. Bodourogrou, S. Brooks, E. Buergi Bonanomi, J. Clement, N. Collins, K. Davis, A. Davy, K. Dawkins, A. Dom, F. Eslamishoar, D. Franks, T. Hamor, D. Jensen, K. Lahiri-Dutt, L. Mancini, P. Nuss, I. Petersen, A. R. D. Sanders. A Report by the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

Koehnken, L., & M. Rintoul, 2018. Impacts of Sand Mining on Ecosystem Structure, Process and Biodiversity in Rivers. WWF

Levin, L. A., D. J. Amon & H. Lily, 2020. Challenges to the sustainability of deep-seabed mining. *Nat Sustain* 3, 784–794, DOI: 10.1038/s41893-020-0558-x

Micallef, A., M. Person, A. Haroon, B. A. Weymer, M. Jegen, K. Schwalenberg, Z. Faghih, S. Duan, D. Cohen, J. J. Mountjoy, S. Woelz, C. W. Gable, T. Avers, & A. Kumar Tiwari, 2020: 3D characterisation and quantification of an offshore freshened groundwater system in the Canterbury Bight. *Nature Communications*, DOI: 10.1038/s41467-020-14770-7

Micallef, A., M. Person, C. Berndt, C. Bertoni, D. Cohen, B. Dugan Rob Evans, A. Haroon, C. Hensen, M. Jegen, K. Key, H. Kooi, V. Liebetrau, J. Lofi, B. J. Mailloux, R. Martin-Nagle, H. A. Michael, T. Müller, M. Schmidt, K. Schwalenberg, E. Trembath-Reichert, B. Weymer, Y. Zhang & A. T. Thomas, 2021. Offshore freshened groundwater in continental margins. *Reviews of Geophysics*, 59, DOI: 10.1029/2020RG000706

National Energy Technology Laboratory, 2017. Methane Hydrate Science and Technology – A 2017 Update. US Department of Energy

OECD/IEA, 2018. Offshore Energy Outlook, International Energy Agency

Okamoto, N., 2018. World's First Lifting Test for Polymetallic Sulphides in the EEZ of Japan. Underwater Mining Conference Bergen (Norway), 10–14 September 2018

Pires, J. C. M., F. G. Martins, M. C. M. Alvim-Ferraz & M. Simões, 2011. Recent developments on carbon capture and storage: An overview. *Chemical Engineering Research and Design*, Volume 89, Issue 9, 1446–1460, DOI: 10.1016/j.cherd.2011.01.028.

Robison, B., B. Seibel & J. Drazen, 2014. Deep-sea octopus (*Graneledone boreopacifica*) conducts the longest-known egg-brooding period of any animal. *PLoS ONE* 9(7): e103437. DOI: 10.1371/journal.pone.0103437

Rühlemann, C., T. Kuhn, A. Vink, 2020. Tiefseebergbau – Ökologische und sozioökonomische Auswirkungen. In: S. Frech (Hg.): Bürger und Staat – Meere und Ozeane. Landeszentrale für politische Bildung, Baden-Württemberg

Schmitz, M. & T. Brandenburg, 2016. Recycling als Teil der weltweiten Rohstoffversorgung, Geographische Rundschau

Schwarzer, K., 2018. Ein wichtiger Rohstoff wird knapp. In: zur Debatte – Themen der Katholischen Akademie in Bayern, 7/2018

Service, R. F., 2020. Seawater could provide nearly unlimited amounts of critical battery material. *Science*, DOI: 10.1126/science.abd8037

Spagnoli, G., S. A. Miedema, C. Hermann, J. Rongau, L. Weixler, J. Rongau & J. Denegre, 2015. Preliminary design of a trench cutter system for deep-sea mining applications under hyperbaric conditions. *IEEE Journal of Oceanographic Engineering* 41(4): 930–943.

Uhlenkott, K., A. Vink, T. Kuhn, B. Gillard & P. Martínez Arbizu, 2021. Meiofauna in a Potential Deep-Sea Mining Area – Influence of Temporal and Spatial Variability on Small-Scale Abundance Models. *Diversity* 13, 3. DOI: 10.3390/d13010003

UNEP, 2019. Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources. GRID-Geneva, United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland

Vangkilde-Pedersen, T., K. Lyng Anthonsen, N. Smith, K. Kirk, F. Neele, B. van der Meer, Y. Le Gallo, D. Bossie-Codreanu, A. Wojcicki, Y.-M. Le Nindre, C. Hendriks, F. Dalhoff & N. P. Christensen, 2009: Assessing European capacity for geological storage of carbon dioxide – the EU GeoCapacity project. *Energy Procedia*, Volume 1, Issue 1, 2663–2670, DOI: 10.1016/j.egypro.2009.02.034

Vanreusel, A., A. Hilario, P. A. Ribeiro, L. Menot & P. M. Arbizu, 2016. Threatened by mining, polymetallic nodules are required to preserve abyssal epifauna. *Scientific Reports* 6, DOI: /10.1038/srep26808

Vink, A., 2018. Sedimentationsprozesse und Trübungswolken in der Tiefsee, in: Jorzik, O., Kandarr, J. & Klinghammer, P. (2018). *ESKP-Themenspezial Rohstoffe in der Tiefsee. Metalle aus dem Meer für unsere High-Tech-Gesellschaft*. Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, DOI: 10.2312/eskp.2018.2

World Bank, 2020. State and Trends of Carbon Pricing 2020. World Bank, Washington, DC, DOI: 10.1596/978-1-4648-1586-7.

World Energy Council, 2017. The North Sea Opportunity. World Energy Perspective, World Energy Council Netherlands

You, K., P. B. Flemings, A. Malinverno, T. S. Collett & K. Darnell, 2019. Mechanisms of methane hydrate formation in geological systems. *Reviews of Geophysics*, 57, 1146–1196, DOI: 10.1029/2018RG000638

Kapitel 6 Die Verschmutzung der Meere

Aus der Beek, T., F.-A. Weber, A. Bergmann, 2016: Pharmaceuticals in the environment: Global occurrence and potential cooperative action under the Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM); IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser, Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH, Mülheim an der Ruhr, Germany

Benitez-Nelson, C. R., S. Charmasson, K. Buesseler, M. Dai, M. Aoyama, N. Casacuberta, J. M. Godoy, A. Johnson, V. Madeirich, P. Masqué, M. Metian, W. Moore, P. J. Morris & J. N. Smith, 2018. Radioactivity in the Marine Environment – Understanding the Basics of Radioecology. *ASLO e-Lectures*, DOI: 10.1002/loe2.10007

Borrelle, S. B. et al., 2020. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*, Vol. 369, Issue 6510, 1515–1518, DOI: 10.1126/science.aba3656

Boucher, J., G. Billard, E. Simeone & J. Sousa, 2020. The marine plastic footprint. Gland, Switzerland: IUCN. viii+69 pp.

Bradley, P. M., C. A. Journey, D. T. Button, D. M. Carlisle, B. J. Huffman, S. L. Qi et al., 2020. Multi-region assessment of pharmaceutical exposures and predicted effects in USA Wadeable urban-gradient streams. *PLoS ONE* 15(1): e0228214, DOI: 10.1371/journal.pone.0228214

Buesseler, K. O., 2014. Fukushima and ocean radioactivity. *Oceanography* 27(1):92–105, DOI: 10.5670/oceanog.2014.02

Castañon, L. Fukushima Dai-ichi and the Ocean: A decade of disaster response. *Oceanus*, Woods Hole Oceanographic Institution, www.whoi.edu/oceanus/feature/fukushima-disaster-response/

Center for Marine and Environmental Radiation, Woods Hole Oceanographic Institution, http://ourradioactiveocean.org/

Dijkstra, H., P. van Beukering & R. Brouwer, 2021. In the business of dirty oceans: Overview of startups and entrepreneurs managing marine plastic, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 162, 2021, 111880, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111880

Gaw, S., K. V. Thomas & T. H. Hutchinson, 2014. Sources, impacts and trends of pharmaceuticals in the marine and coastal environment. *Phil. Trans. R. Soc. B* 369: 20130572. DOI: 10.1098/rstb.2013.0572

Geyer, R., J. R. Jambeck & K. Lavender Law: Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, Vol. 3, no. 7, e1700782, DOI: 10.1126/sciadv.1700782

HELCOM, 2018. Inputs of hazardous substances to the Baltic Sea. *Baltic Sea Environment Proceedings* No. 162

IPBES, 2019. The global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio, H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Pur-

vis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis & C. N. Zayas (Hg.). *IPBES secretariat*, Bonn, Germany.

Jamieson, A., T. Malkocs, S. Pierny et al., 2017. Bioaccumulation of persistent organic pollutants in the deepest ocean fauna. *Nat Ecol Evol* 1, 0051, DOI: 10.1038/s41559-016-0051

Jepson, P., R. Deaville, J. Barber et al., 2016. PCB pollution continues to impact populations of orcas and other dolphins in European waters. *Sci Rep* 6, 18573, DOI: 10.1038/srep18573

Lau, W. W. Y et al., Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. *Science*, Vol. 369, Issue 6510, 1455–1461, DOI: 10.1126/science.aba9475

Koske, D., K. Straumer, N. I. Goldenstein, R. Hanel, T. Lang & U. Kammann, 2020. First evidence of explosives and their degradation products in dab (*Limanda limanda* L.) from a munition dumpsite in the Baltic Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 155, 111131, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111131

Morita, T., D. Ambe, S. Miki, H. Kaeriyama & Y. Shigenobu: Impacts of the Fukushima Nuclear Accident on Fishery Products and Fishing Industry, DOI: 10.1007/978-981-13-8218-5

Rillig, M. C., S. Woong Kim, T.-Y. Kim & W. R. Waldman, 2021. The Global Plastic Toxicity Debt. *Environ. Sci. Technol.* 2021, 55, 2717–2719, DOI: 10.1021/acs.est.0c07781

Rochette, J., R. Schumm, G. Wright & K. Cremers, 2020. Combating marine plastic litter: state of play and perspectives. *IDDRI*, Study N°03/20.

Rochman, C. M. & T. Hoellein, 2020. The global odyssey of plastic pollution. *Science* 368 (6496), 1184–1185, DOI: 10.1126/science.abc4428

Stokstad, E., 2020. Common tire chemical implicated in mysterious deaths of at-risk salmon. *Science*, www.sciencemag.org/news/2020/12/common-tire-chemical-implicated-mysterious-deaths-risk-salmon

Stuchtey, M., A. Vincent, A. Merkl, M. Bucher et al., 2020. *Ocean Solutions That Benefit People, Nature and the Economy*. Washington, DC: World Resources Institute. www.oceanpanel.org/ocean-solutions

Thevenon, F., C. Carroll, J. Sousa (Hg.), 2014. *Plastic Debris in the Ocean: The Characterization of Marine Plastics and their Environmental Impacts, Situation Analysis Report*. Gland, Switzerland: IUCN. 52 pp.

Umweltbundesamt, www.umweltbundesamt.de

Umweltbundesamt, 2016. *Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe – Umweltschädlich! Giftig! Unvermeidbar?*, Hintergrund Januar 2016. Dessau-Roßlau

Umweltbundesamt, 2020. *Schwerpunkt 1/2020, PFAS – gekommen um zu bleiben*. Dessau-Roßlau

Undeman, E., 2020. Diclofenac in the Baltic Sea – Sources, transport routes and trends. *Helcom Baltic Sea Environment Proceedings* No. 170

UNESCO and HELCOM, 2017. *Pharmaceuticals in the aquatic environment of the Baltic Sea region – A status report*. UNESCO Emerging Pollutants in Water Series – No. 1, UNESCO Publishing, Paris

UNEP, 2019. *Global Chemicals Outlook II – From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development*

UNEP, 2019b. *Global Mercury Assessment 2018*. UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch Geneva, Switzerland

UNEP, 2019c. *The sixth Global Environment Outlook (GEO-6)*. UN Environment Programme, Nairobi

UNEP, 2021. *Making Peace with Nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies*. UN Environment Programme, Nairobi

United Nations (Hg.), 2017. *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*. Cambridge: Cambridge University Press, DOI: 10.1017/9781108186148

Zhang, Y., L. Jaeglé, L. A. Thompson & D. G. Streets, 2014. Six centuries of changing oceanic mercury, *Global Biogeochem. Cycles*, 28, 1251–1261, DOI: 10.1002/2014GB004939

Kapitel 7**Der Wettstreit um die genetische Vielfalt der Meere**

Aricò, S., 2015. Ocean Sustainability in the 21st Century. UNESCO, Cambridge University Press, DOI: 10.1017/CBO9781316164624

Blasiak, R., J.-B. Jouffray, C. C. C. Wabnitz, E. Sundström & H. Österblom, 2018. Corporate control and global governance of marine genetic resources. *Science Advances*, Vol. 4, no. 6, DOI: 10.1126/sciadv.aar5237

Blasiak, R., R. Wynberg, K. Grorud-Colvert, S. Thambisetty, et al., 2020. The Ocean Genome: Conservation and the Fair, Equitable and Sustainable Use of Marine Genetic Resources. Washington, DC: World Resources Institute. www.oceanpanel.org/blue-papers/ocean-genome-conservation-and-fair-equitable-and-sustainable-use-marine-genetic

Heffernan, O., 2020. Help for the High Seas, *Nature* 580, 20–22, DOI: 10.1038/d41586-020-00912-w

Jochum, K.-P. & M. O. Andreae, 2013. Glasschwämme – ein neues paläoklimatisches Archiv. Forschungsbericht 2013 – Max-Planck-Institut für Chemie, www.mpg.de/7681367/mpch_jb_2013

Mayer, A. M. S. et al., 2021. Marine Pharmacology in 2016–2017: Marine Compounds with Antibacterial, Antidiabetic, Antifungal, Anti-Inflammatory, Antiprotozoal, Antituberculosis and Antiviral Activities; Affecting the Immune and Nervous Systems, and Other Miscellaneous Mechanisms of Action. *Mar. Drugs* 2021, 19, 49, DOI: 10.3390/md19020049

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, 2014. Zukunftsreport Wissenschaft. Lebenswissenschaften im Umbruch – Herausforderungen der Omics-Technologien für Deutschlands Infrastrukturen in Forschung und Lehre. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle/Saale

Preiner, M. & W. F. Martin, 2021. Life in a carbon dioxide world. *Nature* 592, 688–689, DOI: 10.1038/d41586-021-00977-1

Rotter, A. et al, 2021. The Essentials of Marine Biotechnology. *Front. Mar. Sci.* 8:629629, DOI: 10.3389/fmars.2021.629629

Sigwart, J. D. et al., 2020. Unlocking the potential of marine biotechnology. *Nat. Prod. Rep.* 38, 1235–1242, DOI: 10.1039/D0NP00067A

Kapitel 8**Anspruch und Wirklichkeit des Meeresmanagements**

Action Platform for Source-to-Sea Management, 2021. Strategy 2021–2025, <https://www.siwi.org/>

Chowdhury, M. S. N., B. Walles, S. Sharifuzzaman et al., 2019. Oyster breakwater reefs promote adjacent mudflat stability and salt marsh growth in a monsoon dominated subtropical coast. *Sci Rep* 9, 8549, DOI: 10.1038/s41598-019-44925-6

Cohen-Shacham, E., G. Walters, C. Janzen & S. Maginnis (Hg.), 2016. Nature-based Solutions to address global societal challenges. Gland, Switzerland: IUCN. xiii+97pp.

Duarte, C. M., S. Agusti, E. Barbier, G. L. Britten, J. C. Castilla, J.-P. Gattuso, R. W. Fulweiler, T. P. Hughes, N. Knowlton, C. E.

Lovelock, H. K. Lotze, M. Predragovic, E. Poloczanska, C. Roberts & B. Worm, 2020. Rebuilding marine life. *Nature* 580, 39–51, DOI: 10.1038/s41586-020-2146-7

Graf Vitzthum, W. & A. Proelß (Hg.), 2020. Völkerrecht, De Gruyter, DOI: 10.1515/9783110633269

Grorud-Colvert, K. et al., 2019. High-profile international commitments for ocean protection: Empty promises or meaningful progress?, *Marine Policy*, Vol. 105, 2019, 52–66, DOI: 10.1016/j.marpol.2019.04.003

High Level Panel for a Sustainable Ocean Economy, 2020. Transformations for a sustainable Ocean Economy – a Vision for Protection, Production and Prosperity. Oceanpanel.org

Mahmoud, H., 2020. Barriers to gauging built environment climate vulnerability. *Nat. Clim. Chang.* 10, 482–485, DOI: 10.1038/s41558-020-0742-z

Mathews, R. E., A. Tengberg, J. Sjödin, & B. Liss-Lymer, 2019. Implementing the source-to-sea approach: A guide for practitioners. SIWI, Stockholm

Mead, L., 2021. The “Crown Jewels” of Environmental Diplomacy: Assessing the UNEP Regional Seas Programme. Still only one Earth: Lessons from 50 years of UN sustainable development policy, BRIEF #17, IISD Earth Negotiations Bulletin, bit.ly/still-only-one-earth

O’Hara, C. C., M. Frazier, B. S. Halpern, 2021. At-risk marine biodiversity faces extensive, expanding, and intensifying human impacts. *Science*, Vol. 372, Issue 6537, 84–87, DOI: 10.1126/science.abe6731

Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer, 2016. 30 Jahre Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer – Einzigartiges gemeinsam schützen. Schriftenreihe der Nationalparkverwaltung „Niedersächsisches Wattenmeer“, Band 15

Parmentier, R. & K. Rigg, The Varda Group March, 2021. Blue Food for Thought. https://www.monacoceanweek.org/wp-content/uploads/Blue-Food-for-Thought_FINAL_REV48.pdf

Pennisi, E., 2021. Cloudy waters are driving Florida’s massive manatee die-off, *Science*, DOI: 10.1126/science.abj9293

Perry, A. L., J. Blanco, N. Fournier, S. Garcia & P. Marin, 2020. Unmanaged = Unprotected: Europe’s marine paper parks. *Oceana*, Brussels. 52 pp.

Pörtner, H. O. et al., 2021. Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change; IPBES secretariat, Bonn, Germany, DOI:10.5281/zenodo.4659158

Ricart, A. M., M. Ward, T. M. Hill, E. Sanford, K. J. Kroeker, Y. Takeshita, S. Merolla, P. Shukla, A. T. Ninokawa, K. Elsmore & B. Gaylord, 2021. Coast-wide evidence of low pH amelioration by seagrass ecosystems. *Global Change Biology*, 00: 1–12, DOI: 10.1111/gcb.15594

Sala, E., J. Mayorga, D. Bradley et al., 2021. Protecting the global ocean for biodiversity, food and climate. *Nature* 592, 397–402, DOI: 10.1038/s41586-021-03371-z

Schiermeier, Q., 2021. Boom in ships that fly ‘fake’ flags and trash the environment. *Nature*, DOI: 10.1038/d41586-021-01391-3

Skerritt, D. J. & U. R. Sumaila, 2021. Assessing the spatial burden of harmful fisheries subsidies. *Oceana/Fisheries Economic Research unit*, oceana.org/toi

Stuchtey, M., A. Vincent, A. Merkl, M. Bucher et al., 2020. Ocean Solutions That Benefit People, Nature and the Economy. Washington, DC: World Resources Institute. www.oceanpanel.org/ocean-solutions

Swilling, M., M. Ruckelshaus, T. Brodie Rudolph et al., 2020. The Ocean Transition: What to Learn from System Transitions. Washington, DC: World Resources Institute. www.oceanpanel.org/blue-papers/ocean-transition-what-learn-system-transitions

The Marine Protection Atlas, <https://mpatlas.org>

The Pew Charitable Trust, 2019. Brief October 2019: Healthy Seagrass froms underwater meadows that harbor diverse marine life. pewtrusts.org/FloridaSeagrass

UNEP, 2021. Making Peace with Nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies. UN Environment Programme, Nairobi

United Nations, 2021. The Second World Ocean Assessment. United Nations, New York

UNEP-WCMC, 2021. Ocean+Habitats, <https://habitats.ocean-plus.org/>

Van Leuvan, T., 2013. Catch Shares in Action: Chilean National Benthic Resources Territorial Use Rights for Fishing Program. Environmental Defense Fund

WBGU, 2013. Welt im Wandel – Menschheitserbe Meer. Hauptgutachten, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltänderungen, Berlin

World Meteorological Organization (WMO), <https://public.wmo.int/en>

Zacharias, M. & J. Ardon, 2020. Marine Policy – An Introduction to Governance and International Law of the Ocean. Second Edition, Routledge, New York

Mitwirkende

Zur Erstellung des „World Ocean Review“ 2021 haben viele Experten mit ihrem Fachwissen beigetragen. Beteiligt waren insbesondere Wissenschaftler der dem Konsortium Deutsche Meeresforschung (KDM) angehörigen Einrichtungen.

Dr. Martina Blümel forscht als Mikrobiologin unter der Leitung von Prof. Dr. Deniz Tasdemir in der Forschungseinheit Marine Naturstoffchemie/dem GEOMAR Zentrum für Marine Biotechnologie am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel. Sie untersucht insbesondere marine Pilze auf Inhaltsstoffe, aus denen Medikamente und andere multifunktionale Wirkstoffe gewonnen werden können. Als Expertin für biotechnologische Verfahren unterstützt sie aber auch Teammitglieder, die mit anderen Meereslebewesen arbeiten, so zum Beispiel mit Braunalgen aus der Ostsee. Außerdem entwickelt sie neue Techniken, mit denen sich Pilze und andere marine Mikroorganismen im Labor kultivieren lassen. Sie ist zudem in das Projektmanagement der Arbeitsgruppe involviert und verantwortet auch den reibungslosen Ablauf aller Laborarbeiten am GEOMAR Biotech.

Dr. Kathrin Fisch ist Chemikerin und arbeitet als Post-Doktorandin in der Abteilung Meereschemie am Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW). Sie interessiert sich in erster Linie für die Analyse moderner Schadstoffe in der Meeresumwelt und erforscht derzeit im Projekt MEGAPOL die Verteilung von Arzneimitteln, Körperpflegeprodukten (zum Beispiel UV-Filter) und Pestiziden in der Sedimentschicht und in der Wassersäule des Südchinesischen Meeres. Damit baut die Wissenschaftlerin auf ihre Doktorarbeit auf, für welche sie neue Nachweismethoden für Pestizide, Medikamente und Kosmetikprodukte in marinen Gewässern entwickelt hatte.

Dr. Dieter Franke forscht als Experte für Energierohstoffe an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover. Eine ihrer Aufgaben ist es, durch Forschung und Analysen zur Sicherung der Versorgung Deutschlands mit Energierohstoffen beizutragen. Aus diesem Grund untersucht Dieter Franke in verschiedenen Projekten nicht nur potenzielle Erdgas- und Erdölressourcen an Land und im Meer. Gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen erstellt er auch Länder- und Methodenstudien und berichtet regelmäßig über Marktentwicklungen im Energiesektor. Ihre Erkenntnisse veröffentlichen die Fachleute nicht nur in wissenschaftlichen Journalen, sondern auch als Newsletter, in Form der jährlich erscheinenden „BGR Energiedaten“ sowie in der alle zwei Jahre publizierten „BGR Energiestudie – Daten und Entwicklungen der deutschen und globalen Energieversorgung“.

Torsten Frey hat Umwelt- und Wirtschaftswissenschaften studiert. Jetzt forscht er als Experte für Managementfragestellungen am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel und hat sich auf die Erforschung von Munitionsaltlasten im Meer spezialisiert. Derzeit verbessert er gemeinsam mit Partnern im europäischen Projekt BASTA (Boost Applied munition detection through Smart data inTegration and AI workflows) Verfahren zur Munitionserkennung unter Wasser. Dabei verfolgen die Wissenschaftler zwei Ziele: Zum einen wollen sie die Suche nach versenkter Munition erleichtern, indem sie Suchgeräte wie hochauf-

lösende Echolote oder Tauchroboter zur optischen und magnetischen Detektion von Munitionsobjekten optimieren. Zum anderen sammeln sie alle gewonnenen Messdaten in einer Datenbank und analysieren diese dann mithilfe künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen. So sollen Munitionsaltlasten im Meer schneller, effizienter und kostengünstiger gefunden und identifiziert werden als bisher.

Dr. Rainer Froese erforscht als Fischereibiologe am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel den Zustand der Fischbestände weltweit, entwickelt Konzepte für ein nachhaltiges Fischereimanagement und ist Mitbegründer der Fishbase-Datenbank (fishbase.org), der weltweit größten wissenschaftlichen Datenbank für Fischarten. Eines seiner Schwerpunktthemen ist die Bestandserfassung von Fischbeständen, über die es nur wenig Daten gibt. Da diese Aussage für drei Viertel aller Fischbestände weltweit gilt, hat er gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen Methoden entwickelt, die nur einen Bruchteil der sonst erforderlichen Daten zur Abschätzung der Bestandsgröße und des Befischungsgrades benötigen. Auf diese Weise konnte für viele Fischbestände die erste Bestandserfassung überhaupt durchgeführt werden. Rainer Froese hat mehr als 100 wissenschaftliche Publikationen verfasst oder mitverfasst, gehört zu den meistzitierten Meereswissenschaftlern und wurde im Jahr 2020 mit dem Ocean Award in der Kategorie „Einflussreichster Wissenschaftler für den Meeresschutz im Jahr 2019“ ausgezeichnet.

Prof. Dr. Jens Greinert ist Geologe, ein ausgewiesener Experte für Geräteentwicklung und leitet die Arbeitsgruppe Tiefseemonitoring am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel. Nachdem er viele Jahre lang neue Forschungstechnologien für die Erkundung der Tiefsee auch gebaut und getestet hat, konzentriert er sich mittlerweile auf die Entwicklung neuer Verfahren zur Suche, Überwachung und Bergung von Munitionsaltlasten im Meer. Er koordiniert mehrere deutsche und europäische Forschungsprojekte zu diesem Thema, untersucht diesbezüglich die deutsche Ost- und Nordsee, erarbeitet Handlungsempfehlungen für Politik und Verwaltung und kümmert sich um den Aufbau von Datenbanken und Informationsportalen. Eines seiner großen Ziele ist es, dass auf europäischer Ebene ein Kompetenzzentrum für Kampfmittel etabliert wird, welches die ökologischen Einflüsse untersucht und bei der Überwachung und Beseitigung der vielen Millionen von Tonnen Altmunition und Sprengstoffe in europäischen Gewässern kompetent mitwirkt.

Dr. Lars Gutow gehört zu Deutschlands bekanntesten Experten für die Auswirkungen von Mikroplastik auf die Lebensgemeinschaften im Meer. Der Meeresbiologe vom Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven erforscht seit mehr als einem Jahrzehnt, in welchem Maß verschiedene Meeresorganismen Plastikpartikel aufnehmen und welche körperlichen Reaktionen die Fremdkörper hervorrufen. Er ist Mitherausgeber des viel-

gelesenen Fachbuches „Marine Anthropogenic Litter“ und bringt sich als Experte in verschiedene Arbeitsgruppen und Fachkommissionen ein.

Prof. Dr. Julian Gutt ist Meeresökologe am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven. Er untersucht Lebensgemeinschaften am Meeresboden des Südlichen Ozeans auf ihre Lebensvielfalt, Ökosystemfunktionen und Anfälligkeit gegenüber Umweltveränderungen. Dabei stehen bildgebende Methoden im Vordergrund, weil sie das Ökosystem schonen und die Lebensgemeinschaften in ihrem natürlichen Zustand zeigen. Er hat diese Untersuchungen während vieler Expeditionen in die Arktis und Antarktis durchgeführt, davon zweimal als wissenschaftlicher Fahrtleiter an Bord des deutschen Forschungseisbrechers „Polarstern“. Seine Expertise und langjährige Erfahrung bringt Julian Gutt in zahlreiche internationale Organisationen ein, so etwa in den Wissenschaftlichen Ausschuss für Antarktischforschung (Scientific Committee on Antarctic Research, SCAR) und in die die Politik beratende Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES).

Dr. Stefan Hain leitet die Stabsstelle Umweltpolitik am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven und ist in dieser Funktion unter anderem Kontaktperson des Instituts zum Umweltbundesamt, der deutschen Genehmigungsbehörde für alle Tätigkeiten im Geltungsbereich des Antarktischvertrages. Der Meeresbiologe hat einst am AWI promoviert und anschließend mehr als 25 Jahre lang an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Politik gearbeitet – zunächst als stellvertretender Sekretär der Oslo- und Paris-Kommission (OSPAR) in London, später als Leiter der Korallenriff-Units des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) in Cambridge, Großbritannien. 2009 kehrte er an das Alfred-Wegener-Institut zurück und koordiniert seitdem als umweltpolitischer Sprecher die Beiträge des AWI zu diversen internationalen Prozessen, die potenzielle Auswirkungen auf die Forschungsarbeiten des Instituts haben können. In dieser Rolle unterstützt er intensiv die Bemühungen zur Einrichtung eines Schutzgebietes im südpolaren Weddellmeer und verfolgt die internationalen Verhandlungen zum dritten Umsetzungsabkommen zum Erhalt und zur nachhaltigen Nutzung der biologischen Vielfalt in internationalen Gewässern.

Dr. Amir Haroon forscht als mariner Geophysiker mit Schwerpunkt Elektromagnetik am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel. Er gehört dort der Arbeitsgruppe von Dr. Marion Jegen-Kulcsar an und hat sich auf geophysikalische Anwendungen im Küstenbereich spezialisiert. Bei seiner Arbeit beschäftigt er sich in erster Linie mit der Entwicklung von Messtechnik für die Suche nach Grundwasserreservoirs im Meeresboden und der Auswertung der entsprechenden Messdaten.

Dr. Katja Heubel leitet die Arbeitsgruppe Küstenökologie am Forschungs- und Technologiezentrum Westküste (FTZ) der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel in Büsum. Die Biologin untersucht in verschiedenen Projekten, welche Wechselwirkungen zwischen einzelnen Meeresorganismen, Populationen und Lebensgemeinschaften bestehen und wie sowohl Individuen als auch ganze Lebensgemeinschaften auf menschengemachte Stressfaktoren wie Lärm oder den Klimawandel reagieren. Im Mittelpunkt ihrer Studien stehen dabei häufig Grundeln, deren Verhaltensänderungen und Anpassungsstrategien sie ausführlich analysiert hat. Aktuell erforscht sie den Einfluss von Unterwasserlärm auf die akustische Kommunikation sowie auf Räuber-Beute-Beziehungen zwischen Zooplankton und Fischen. Außerdem geht sie der Frage nach, wie sich Arten, die neu in die Nordsee einwandern oder eingeschleppt werden, in die heimischen Lebensgemeinschaften eingliedern oder aber diese verändern.

Jan Hoffmann ist Transport- und Schifffahrtsexperte und leitet seit dem Jahr 2016 die Abteilung Handelslogistik bei der Konferenz der Vereinten Nationen für Handel und Entwicklung (UNCTAD) in Genf. Er und sein Team konzipieren und implementieren Aus- und Fortbildungsprogramme zum Thema Handel und Transport in Afrika, Asien, der Pazifikregion, in Lateinamerika und in der Karibik. Außerdem geben sie den jährlich erscheinenden UNCTAD-Bericht zur Handelsschifffahrt („UNCTAD Review of Marine Transport“) heraus und informieren in einer Vielzahl von Veröffentlichungen über aktuelle Entwicklungen im Welthandel und Transportwesen, insbesondere in der Seeschifffahrt.

Dr. Marion Jegen-Kulcsar forscht als Geophysikerin am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel und ist Expertin für marine Elektromagnetik. Mit dieser ursprünglich für die Tiefseeforschung entwickelten Methode gehen sie und ihre Arbeitsgruppe mittlerweile auf die Suche nach Süßwasserreservoirs im Meeresboden. In einem aktuellen Forschungsprojekt kartieren sie zum Beispiel die Süßwasservorkommen vor der Küste der Mittelmeerinsel Malta, deren Wasserreserven an Land aufgrund der Trockenheit und steigender Verbräuche zur Neige gehen. Die dazu notwendige Messtechnik entwickeln Marion Jegen-Kulcsar und ihr Team selbst, weshalb sie zu den weltweit wenigen Forschergruppen zählen, die marine Elektromagnetik einsetzen.

Dr. Marion Kanwischer ist Biotechnologin, forscht als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Sektion Meereschemie am Leibniz-Institut für Ostseeforschung in Warnemünde (IOW) und leitet das Labor Organische Stoffe sowie die Analytik-Gruppe des Institutes. In dieser Funktion untersuchen die Wissenschaftlerin und ihr Team Wasserproben aus der Ostsee unter anderem regelmäßig auf persistente organische Schadstoffe wie chlorierte Kohlenwasserstoffe und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Außerdem testet und entwickelt Marion Kanwischer neue Verfahren zum Nachweis organischer Spurenstoffe in der marinen

Umwelt. Zu diesen gehören zum Beispiel Pestizide wie Glyphosat oder aber natürliche organische Phosphorverbindungen wie Methylphosphonsäure.

Dr. Ulrike Kronfeld-Goharani ist physikalische Ozeanografin und interdisziplinäre Meeresforscherin. Sie lehrt und forscht als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Arbeitsbereich für Internationale Politische Soziologie im Institut für Sozialwissenschaften der Christian-Albrechts-Universität (CAU) zu Kiel. Ihr Forschungsschwerpunkt ist nachhaltige Entwicklung. Dabei interessiert sie sich insbesondere für sozial-ökologische Transformationen in Küstenregionen durch den maritimen Tourismus, unternehmerische Nachhaltigkeit in der maritimen Wirtschaft sowie für die Entwicklung von Konzepten für einen nachhaltigeren Umgang mit der Hohen See. Aktuell beschäftigt sie sich mit der Frage, welche Rolle Narrative in den vorherrschenden Diskursen über das Meer spielen und wie neue Narrative entwickelt werden könnten, um einen nachhaltigeren Umgang mit dem Ozean zu fördern.

Dr. Thomas Kuhn forscht als Meeresgeologe an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover und ist ein ausgewiesener Experte für mineralische Rohstoffvorkommen in der Tiefsee. Seine wissenschaftliche Laufbahn begann er 1999 mit einer Doktorarbeit über die Geochemie von Eisen-Mangan-Krusten und Tiefseesedimenten. Seit 2010 konzentriert er sich auf die geologische Erkundung der Manganknollenvorkommen im Pazifik und nimmt regelmäßig an Forschungsexpeditionen in diese Meeresregionen teil. Außerdem bringt er seine Expertise bei der Bewertung dieser Lagerstätten ein und ist an Projekten beteiligt, in denen Methoden für eine metallurgische Aufbereitung mariner mineralischer Rohstoffe entwickelt werden. Seit 2020 leitet er die Exploration der Massivsulfidvorkommen im deutschen Lizenzgebiet im Indischen Ozean.

Dr. Holger Kühnhold ist Wissenschaftler in der Arbeitsgruppe Experimentelle Aquakultur am Leibniz-Zentrum für Marine Tropenforschung (ZMT) in Bremen. Der Meeresbiologe forscht an der Schnittstelle zwischen Ökophysiologie und Aquakultur. Im Mittelpunkt seiner Forschung steht die Nutzbarmachung mariner Invertebraten (zum Beispiel Seegurken und Quallen) und aquatischer Pflanzen (zum Beispiel Wasserlinsen) für die menschliche Ernährung. Dabei geht es zum einen um die Bestimmung optimaler Kulturbedingungen für vielversprechende Zielarten in verschiedenen Aquakultursystemen. Zum anderen untersucht er, in welchem Maß Umweltparameter wie Temperatur, Lichtqualität und UV-Strahlung manipuliert werden müssen, um die Produktion wichtiger Nährstoffe gezielt zu steigern. Seine Forschungsarbeiten sollen dazu beitragen, dass langfristig die Biomasse am unteren Ende mariner Nahrungsketten besser für die globale Ernährungssicherung genutzt werden kann.

Dr. Andreas Kunzmann ist Meeres- und Fischereibiologe und leitet die Arbeitsgruppe Experimentelle Aquakultur am Leibniz-

Zentrum für Marine Tropenforschung in Bremen (ZMT). Im Mittelpunkt seiner Forschung stehen nicht nur die Entwicklung nachhaltiger, umweltfreundlicher Aquakulturmethoden, sondern auch die Fragen, welchen sich ändernden Lebensbedingungen Fische und Wirbellose in Aquakulturrhaltung ausgesetzt sind, inwiefern sie sich anpassen können und wie viel Fisch und Meeresfrüchte künftig noch in mariner Aquakulturrhaltung produziert werden können. Dafür führen Andreas Kunzmann und seine Arbeitsgruppe unter anderem ökophysiologische Studien zum Stressstoffwechsel von Fischen (Sauerstoffaufnahme, Energieproduktion) in verschiedenen Lebensstadien durch. Außerdem untersuchen die Forscher, ob und wie sich künftig sogenannte „novel foods“, also neue aquatische Lebensmittel, wie zum Beispiel Quallen, Seegurken oder Grüner Kaviar kultivieren und als gesunde Nahrung verwenden ließen.

Dr. Felix Mark forscht als Meeresbiologe in der Sektion Integrative Ökophysiologie am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven. Er hat sich auf die physiologischen Anpassungsmechanismen wechselwarmer Meeresbewohner spezialisiert und untersucht diese in Hinblick auf Meerese Erwärmung, Ozeanversauerung und Sauerstoffmangel vor allem bei polaren Fischen vom Gesamtorganismus bis auf die molekulare Ebene. Felix Mark führt regelmäßig Expeditionen in die Polarmeere durch und leitet im Rahmen des großen deutschen Forschungsprogramms zu den Biologischen Auswirkungen von Ozeanversauerung (BIOACID) das Themenpaket „Auswirkungen von Ozeanversauerung und Erwärmung auf natürliche und menschliche Gemeinschaften: Mechanismen, Vulnerabilitäten und gesellschaftliche Anpassung“. In den zurückliegenden Monaten hat er zudem als Contributing Author am dritten Kapitel (Ozeane) des sechsten Sachstandsberichtes der Arbeitsgruppe II des Weltklimaberichtes mitgeschrieben, welcher im Februar 2022 erscheinen soll.

Prof. Dr. Nele Matz-Lück ist Juristin und seit dem Jahr 2011 Inhaberin des Lehrstuhls für Öffentliches Recht mit dem Schwerpunkt Völkerrecht, insbesondere Seerecht, an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel sowie Co-Direktorin des Walther-Schücking-Institutes für Internationales Recht. Darüber hinaus fungiert sie als Sprecherin des Netzwerkes Future Ocean, war mehrere Jahre lang Mitglied der Steuerungsgruppe des universitären Forschungsschwerpunktes Kiel Marine Science und ist richterlich für das Landesverfassungsgericht Schleswig-Holstein tätig. Im Juni 2020 wurde sie auf Vorschlag der Bundesregierung auf die Liste der Schiedsrichterinnen und Schiedsrichter sowie Schlichterinnen und Schlichter nach Anhang V und VII des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen (United Nations Convention on the Law of the Sea) aufgenommen. Im Zentrum ihrer Forschungs- und Publikationstätigkeiten stehen neben dem internationalen Seerecht das Umweltvölkerrecht und das Recht der völkerrechtlichen Verträge.

Dr. Katja Mintenbeck forschte bis zum Jahr 2017 als Meeresbiologin in der Sektion Integrative Ökophysiologie am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven. Im Mittelpunkt ihrer Arbeit standen die Ökologie antarktischer mariner Lebensgemeinschaften sowie die spezielle Frage, wie empfindlich antarktische Fische auf Störungen und Umweltveränderungen reagieren. Seitdem arbeitet sie als wissenschaftliche Direktorin der Technischen Unterstützungseinheit der Arbeitsgruppe II des Weltklimarates (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). In dieser Funktion trug und trägt sie unter anderem die Verantwortung für den IPCC-Sonderbericht „Ozean und Kryosphäre im Klimawandel“, der im September 2019 veröffentlicht wurde, sowie für den Band II des sechsten IPCC-Sachstandsberichtes, der im Februar 2022 erscheinen soll.

Prof. Dr. Christian Möllmann ist Fischereibiologe und geschäftsführender Direktor des Institutes für marine Ökosystem- und Fischereiwissenschaften der Universität Hamburg. Seine Forschungsarbeiten befassen sich mit der Änderung der Struktur und der Funktionsweise mariner Ökosysteme unter anthropogenem Druck wie dem Klimawandel und der fischereilichen Nutzung. Ziel seiner Arbeit ist es, einen Beitrag zu einem nachhaltigen, ökosystembasierten Management zu leisten. Sein Forschungsansatz basiert auf den Naturwissenschaften, ist aber zunehmend transdisziplinär und beinhaltet die direkte Interaktion und Wissensbildung mit nicht wissenschaftlichen Personen und Gruppen. Christian Möllmann ist einer der Autoren des sechsten Sachstandsberichtes der Arbeitsgruppe II des Weltklimarates.

Prof. Dr. Andreas Oschlies ist Ozeanograf und leitet die Abteilung Biogeochemische Modellierung am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel. Seine Forschungsinteressen umfassen die physikalischen, biogeochemischen und ökologischen Prozesse der Kohlenstoffaufnahme durch den Ozean und mögliche Veränderungen derer infolge des Klimawandels. Gemeinsam mit seinem Team entwickelt er biogeochemische Modelle, um beispielsweise Veränderungen des Sauerstoffgehaltes der Meere und deren ökologische Auswirkungen zu untersuchen. Außerdem leitet und koordiniert Andreas Oschlies große Forschungsprojekte – so zum Beispiel zur wissenschaftlichen Bewertung potenzieller Climate-Engineering-Verfahren sowie ein neues Verbundprojekt zu marinen Kohlenstoffsenken.

Prof. Dr. Konrad Ott ist Philosoph und Professor für Philosophie und Ethik der Umwelt an der Christian-Albrechts-Universität (CAU) zu Kiel. Er hat sich in den vergangenen Jahren insbesondere mit den Aspekten der „starken“ Nachhaltigkeit, den praktischen Dimensionen des Natur- und Biodiversitätsschutzes, dem Klimawandel, den Wasserressourcen, der Landwirtschaft und der Renaturierung sowie mit den ethischen Aspekten des Geoengineering befasst. Aktuell arbeitet er an einer gesellschaftstheoretischen Grundlegung von Umweltethik und Nachhaltigkeit und

bringt seine Expertise in zahlreiche transdisziplinäre Forschungsprojekte ein. So zum Beispiel in die Forschung an Entsorgungsstrategien hochradioaktiver Reststoffe, Klimaethik, „natural climate solutions“ und den ethischen Grundlagen des Meeresschutzes.

Dr. Elvira Poloczanska ist Meeresbiologin und ausgewiesene Expertin für die klimabedingten Veränderungen mariner Ökosysteme. Seit mehr als 15 Jahren erforscht sie, wie die Lebensgemeinschaften des Meeres, insbesondere Fische, auf die steigenden Wassertemperaturen, die zunehmende Versauerung und die andauernde Sauerstoffabnahme reagieren. Mithilfe von Ökosystemmodellen untersucht sie, welche weiteren Klimafolgen im Zuge einer fortschreitenden globalen Erwärmung zu erwarten sind und zu welchen Anpassungen marine Lebewesen sowie die von ihnen abhängigen Menschen und Wirtschaftszweige in der Lage sind. Elvira Poloczanska hat als Leitautorin am fünften Sachstandsbericht des Weltklimarates IPCC mitgearbeitet und ist aktuell als wissenschaftliche Beraterin der beiden Co-Vorsitzenden der IPCC-Arbeitsgruppe II sowie der dazugehörigen Unterstützungseinheit an der Erstellung des sechsten Sachstandsberichtes eben jener Arbeitsgruppe II (Klimafolgen, Anpassung und Verwundbarkeiten) beteiligt.

Prof. Dr. Hans-Otto Pörtner forscht als Meeresbiologe am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven und steht dort der Sektion Integrative Ökophysiologie vor. Außerdem leitet er aktuell als einer von zwei Co-Vorsitzenden die Arbeitsgruppe II des Weltklimarates. Hans-Otto Pörtner hat in seiner wissenschaftlichen Laufbahn grundlegende Theorien zu den Auswirkungen der Meerese Erwärmung, Ozeanversauerung und Sauerstoffarmut auf marine Organismen und Ökosysteme entwickelt und diese in vielen Studien untermauert. Zwei seiner Leitfragen dabei lauten, welche molekularen, biochemischen und physiologischen Mechanismen die Toleranz, Leistungs- und Anpassungsfähigkeit von Meerestieren bestimmen und ob und wie diese Mechanismen Allgemeingültigkeit für alle Tiere einschließlich des Menschen haben. Seine Fachartikel gehören mittlerweile zu den meistzitierten Arbeiten in der Klima- und Meeresforschung. Er ist ein gewähltes Mitglied der European Academy of Science und wurde im Jahr 2020 von der Bundesregierung in ihren Wissenschaftlichen Beirat Globale Umweltveränderungen (WBGU) berufen.

Dr. Carsten Rühlemann leitet die Arbeitsgruppe Marine Geologie, Exploration an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover und koordinierte von 2006 bis 2019 die Exploration des Manganknollenvorkommens im deutschen Lizenzgebiet im Pazifik. Als weltweit anerkannter Experte ist er seit 2020 Mitglied der Rechts- und Fachkommission der Internationalen Meeresbodenbehörde (ISA) in Kingston, Jamaika. Der Meeresgeologe interessiert sich nach eigenen Worten für alle Aspekte des Tiefseebergbaus und nahm im April 2021 auch an der

jüngsten Forschungs Expedition in die Clarion-Clipperton-Zone teil. Bei dieser MANGAN-2021-Expedition begleitete ein internationales Wissenschaftlerteam den Manganknollenkollektor Patania II des belgischen Unternehmens Global Sea Mineral Resources (GSR) bei seinen ersten beiden erfolgreichen Tiefseeinsätzen und führte intensive begleitende Untersuchungen durch, um mehr über mögliche Folgen des Manganknollenabbaus für die Meeresumwelt herauszufinden.

Dr. Jörn Schmidt ist Fischereiökologe, momentan adjunct professor am Marine Affairs Program der Dalhousie University und leitete die Forschungsgruppe Marine Food Security am Center for Ocean and Society an der Universität Kiel, bevor er im August 2020 den Vorsitz des wissenschaftlichen Komitees im Internationalen Rat für Meeresforschung (ICES) übernahm. Zuvor hatte er von 2015 bis 2019 bereits den Vorsitz der ICES Strategic Initiative on the Human Dimension inne. Seine Arbeitsschwerpunkte sind sozial-ökologische Systeme und Konzepte der Nachhaltigkeit im Ozean, Fischereimanagement, Wissenschaftskommunikation, die Entwicklung praktischer Managementberatung sowie die direkte Zusammenarbeit mit Fischern und Fischerinnen. Er beteiligt sich zum Beispiel am Projekt „Sustainable Nunatsiavut Futures“, welches sich mit der Co-Produktion von Wissen zu den sich rasch verändernden Umweltbedingungen in Nunatsiavut, Nordkanada, und deren Auswirkungen auf lokale Gemeinschaften befasst. Jörn Schmidt gehörte zu den deutschen Autoren des zweiten World-Ocean-Assessment-Berichtes der Vereinten Nationen und ist seit 2021 Mitglied der Expertengruppe für den dritten Assessment-Bericht, der 2025 veröffentlicht werden soll.

Prof. Dr. Corinna Schrum ist Ozeanografin und leitet das Institut für Küstensysteme – Analyse und Modellierung am Helmholtz-Zentrum Hereon in Geesthacht. Am Institut werden gekoppelte Systemmodelle entwickelt, mit denen sich Prozesse und komplexe Wechselwirkungen abbilden lassen und Veränderungen des Küstensystems beschrieben werden können. In Mittelpunkt ihrer Forschungsarbeit steht die Frage, wie die Elemente Land, Meer und Atmosphäre im Küstenraum zusammenwirken und wie sich der direkte Einfluss des Menschen auf die Küstensysteme auswirkt. So analysieren Corinna Schrum und ihr Team zum Beispiel, welche physikalischen, biogeochemischen und ökologischen Auswirkungen der Bau von Offshore-Windparks hat und welche sozialen und planerischen Aspekte daher im Vorfeld berücksichtigt werden müssen.

Dr. Klaus Schwarzer forschte bis zu seiner Rente als Geologe und wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Küstengeologie und Sedimentologie an der Christian-Albrechts-Universität (CAU) zu Kiel. Er ist Experte für Küsten- und sogenannte Near-shore-Prozesse und Küstenentwicklungen und untersucht auch heute noch im Nord- und Ostseeraum sowie in anderen Meeresregionen der Welt, wie Mensch und Meer Küstenzonen durch Sedimentverlagerungen oder aber durch Rohstoffabbau verän-

dern. Ein weiterer Schwerpunkt seiner Arbeit sind die Veränderungen von Küsten durch den Meeresspiegelanstieg, durch Sturmereignisse oder Tsunamis. In gemeinsamen Projekten mit Biologen geht er zudem der Frage nach, inwiefern sedimentologische Veränderungen in den Küstenbereichen, an Stränden, Steilküsten, den Mangrovenküsten in den tropischen Bereichen oder den Deltas in den Flussmündungsbereichen die Lebensbedingungen für die Menschen und die dort heimischen Tier- und Pflanzenarten verändern. Diese Thematik bestimmte auch seine Lehre in Form von Vorlesungen, Praktika auf Forschungsschiffen und Exkursionen, die er an der Universität Kiel, aber im Rahmen von Forschungs- und Lehrkooperationen auch im Ausland (zum Beispiel Brasilien, Vietnam, Malaysia) durchgeführt hat.

Prof. Dr. Deniz Tasdemir leitet die Forschungseinheit Marine Naturstoffchemie am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, ist gleichzeitig Direktorin des GEOMAR Zentrums für Marine Biotechnologie (GEOMAR Biotech) und lehrt seit August 2014 im Fach Marine Naturstoffchemie an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Ihre wissenschaftliche Laufbahn begann sie mit Forschungsarbeiten an Schwämmen. Mittlerweile ist sie eine preisgekrönte und weltweit anerkannte Experte für marine Naturwirkstoffe, forscht schwerpunktmäßig an Algen und Mikroorganismen aus der Ostsee und verfolgt mit ihrer Arbeitsgruppe das Ziel, Medikamente gegen Krebs, hochansteckende Krankheiten und den Schädlingsbefall bei Pflanzen zu entwickeln. Außerdem arbeitet sie als wissenschaftliche Beraterin, gehört dem Editorial Board diverser Fachjournale aus dem Bereich bioaktive Naturstoffe an und arbeitet in den wissenschaftlichen Beiräten internationaler Forschungsprojekte und -zentren mit.

Dr. Annemiek Vink arbeitet als Biologin an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover. Dort koordiniert und verantwortet sie die vielen verschiedenen Umweltuntersuchungen, mit deren Hilfe die Wissenschaft verstehen will, welche Auswirkungen ein möglicher Tiefseebergbau auf die Meeresumwelt und ihre Artenvielfalt haben würde. Seit 2019 koordiniert sie die Exploration des Manganknollenvorkommens im deutschen Lizenzgebiet im Pazifik. Im April 2021 leitete sie die Expedition MANGAN 2021 mit wissenschaftlichen Begleituntersuchungen des ersten erfolgreichen Tiefseeinsatzes des Manganknollenkollektors Patania II des belgischen Unternehmens Global Sea Mineral Resources (GSR) in der Clarion-Clipperton-Zone. Die vielen neuen Messdaten, so hoffen sie und ihr Team, werden weitreichende Rückschlüsse darüber erlauben, welche Umwelt Risiken von einem möglichen Manganknollenabbau im industriellen Maßstab ausgehen, durch welche Maßnahmen sich diese reduzieren ließen und welche Monitoringmethoden zum Einsatz kommen müssten, um einen möglichen Tiefseebergbau ordnungsgemäß zu überwachen.

Prof. Dr. Martin Visbeck ist physikalischer Ozeanograph, leitet die Forschungseinheit Physikalische Ozeanographie am GEO-

MAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel und fungiert als Co-Sprecher des Kieler Future-Ocean-Netzwerkes. Außerdem lehrt er seit dem Jahr 2004 an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und gehört zu den deutschlandweit bekanntesten Wissenschaftskommunikatoren zum Thema Weltozean. Seine Forschung umfasst unter anderem den Einfluss des Ozeans auf die natürlichen Schwankungen des Weltklimas sowie die Variabilität regionaler Meeresströmungen. Weitere Schwerpunktthemen sind die Tiefenwasserbildung und die Entstehung tropischer Sauerstoffminimumzonen. Martin Visbeck ist in diversen Gremien für die Planung und Umsetzung der UN-Dekade der Ozeanforschung für nachhaltige Entwicklung aktiv und koordiniert ein internationales Programm zu Digitalen Zwillingen des Ozeans (DITTO).

Prof. Dr. Klaus Wallmann ist Geowissenschaftler, leitet die Forschungsabteilung Marine Geosysteme am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel und lehrt Grundlagen der marinen Biogeochemie an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Seine Forschungsschwerpunkte umfassen den Stoffumsatz an kalten Quellen und Schlammvulkanen am Meeresboden, die Entstehung von Gashydraten, den mikrobiellen Abbau organischer Substanzen in Oberflächensedimenten und die Rückführung von Nährstoffen aus den Sedimenten in den Ozean. Darüber hinaus erforscht er die langfristige geochemische Evolution der Ozeane und der Atmosphäre, hat von 2011 bis 2015 ein EU-Forschungsprojekt zu den Folgen der Kohlendioxideinlagerung im Meeresboden geleitet und ist auch an einem neuen Großprojekt zu marinen Kohlenstoffsinken beteiligt.

Uwe Wichert, Marineoffizier a. D., ist Mitglied im Bund-Länder-Ausschuss Nordsee-Ostsee (BLANO) Expertenkreis Munition im Meer. Dieser Expertenkreis hat die Aufgabe erhalten, alle verfügbaren Daten und Informationen über die Verbringung von Munition in die deutschen Meeresgewässer zusammenzutragen, auszuwerten und entsprechend auch darzustellen. Ein wichtiger Punkt ist die Recherche in historischen Unterlagen, die in Europa und den USA in Archiven lagern und Informationen beinhalten. Diese Aufgabe koordiniert Uwe Wichert und wertet diese Informationen auch aus. Damit ist die Recherche der Grundbaustein für alle weiteren Schritte, die nun folgen, von der Erforschung der aktuellen Lage bis hin zur Beseitigung der Munitionsaltlasten. Alle bisherigen Ergebnisse des Expertenkreises werden in den jährlichen Updates des Gesamtberichtes „Munition im Meer“ der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Julian Wilckens ist Volljurist mit völker- und verwaltungsrechtlichem Schwerpunkt und leitet den Fachbereich Küsten-, Meeres- und Polarforschung beim Projektträger Jülich am Standort Rostock. In dieser Funktion berät er unter anderem das Bundesforschungsministerium in seevölkerrechtlichen Fragen und begleitet internationale Prozesse, darunter Verhandlungen im Rahmen des Antarktis-Vertragssystems, bei der Internationalen Meeresbodenbehörde (ISA) sowie zum dritten Umsetzungsabkommen zum Erhalt und

zur nachhaltigen Nutzung der biologischen Vielfalt in internationalen Gewässern. Sein Hauptaugenmerk liegt bei allen Prozessen darauf, in den Verhandlungen und internationalen Rechtssetzungsverfahren die Meeresforschungsfreiheiten abzusichern und der deutschen Meeresforschung die entsprechenden Freiräume zur Durchführung ihrer Forschungsvorhaben zu gewährleisten.

Index

Gefettete Seitenzahlen
verweisen auf die-
jenigen Textstellen, die
für das Verständnis
besonders wichtig sind.

17-alpha-Ethinyloestradiol 205
17 Ziele für nachhaltige Ent-
wicklung 268 ff.
200-Seemeilen-Grenze 259
2500-Meter-Wassertiefenlinie
259

A

Abalonomuscheln 275
Abidjan-Konvention 222
Abwärme-Rückgewinnung
130
Adenin 232
Adlerfisch 112
Afrika 168
Agenda 2030 268
Akklimatisierung 56
Alaska-Seelachs 78
Albanien 122
Aldrin 203
Alexander VI. 252
Algen 42 ff., 100 ff., 191
Algenblüten 48, 60
Algenfarm 102 ff.
Alginate 240
Alpha-Mendelejew-Rücken
259
alternative Treibstoffe 124 ff.
Ameland 169
Americium-Isotope 212
Aminosäuren 230 ff.
Ammoniak 129 ff.
Amphiophiura bullata 162
Anchovisfischerei 93
Anschlusszone 255 ff.
Antarktis 31 ff., 151
Antarktische Halbinsel 146
Antibiotika 112
Antifouling 145, 231
Anti-Malaria-Wirkstoffe 238
Antimon 156
A. P. Møller-Mærsk 133
APM Terminals 133
Aquaculture Stewardship
Council (ASC) 112
Aquakultur 75 ff., **100 ff.**
Aquakulturanlage 204
Aquakulturansätze 110 f.

aquatische Lebensmittel 74 ff.
Arabisches Meer 89
Aragonit 52
Arbeitsteilung 117
Archaeen 230
Area-based Management Tools
(ABMT) 247
Areas Beyond National Juris-
diction (ABNJ) 244
Argentinien 99, 274
Argentinischer Kurzflossen-
kalmar 79
ARGO-Netzwerk 31
Arktis 31 ff., 259 ff.
Ärmelkanal 140
aromatische Kohlenwasser-
stoffe 142
Artemia 241
Artensterben 197, 273, 280 ff.
Artenverschleppung 143 ff.
Artenvielfalt 16 ff., **54 ff.**
Artenwandel 56 ff.
Arzneimittel 230 ff.
Atlantischer Hering 104
Atlantischer Lachs 106
Atlantischer Menhaden 90
Atlantischer Nordkaper 145
Atlantischer Pfeilschwanz-
krebs 239
Atmosphäre 30 ff.
atmosphärische Flüsse 50
Atombombe 211
Attributionsforschung 47
Auftriebsgebiete 63
Ausflaggen 120 ff., 269
Ausschließliche Wirtschafts-
zone (AWZ) 82 ff., 257 ff.
Auster 78, 96, 112
Australien 69
Automatisches Identifikations-
system (AIS) 89
Azidothymidin 237
AZT 237

B

Backarc-Spreizungszonen 155
Bahamas 64
Bakterien 230 ff.

Bakteriophagen 231
Balaenoptera musculus 13
Balkan 134
Ballastwasser 136, 142
Bangkok 41
Bangladesch 106, 270, 289
Barcelona 137
Barcelona-Konvention 222
Barentssee 175, 180, 260
Barramundi 106
Bartenwal 145
BASF 236
Basislinie 257, 259
Batasan 39
Bathymetrie 60
Bauer 160
Beaufort's Dyke 220
Becquerel 213
Behörde für Meeres- und
Wassermanagement 279
Beifang 77 ff.
Belgien 90
Belize 273
Belugawal 141
besorgniserregende Chemika-
lien **198 ff.**
Beton 168
Betta splendens 205
Bikarbonate 52
Bikiniatoll 211
Bioakkumulation 198
bioaktiv 231 ff.
bioaktive keramische Materi-
alien 243
Biodiversität 54 ff.
Biodiversitätskonvention
(CBD) 246
Bioethanol 103, 241
Biofilter 231
Biofouling 144
Biokraftstoffe 129 ff., 191
Biomagnifikation 199 ff.
Biomasse 42 ff., 61
Biomethan 103
Bioremediation 242 f.
Biotreibstoffe 231
Bismut 155 ff.
Bismut-Tellur-Legierung 155

Black Smoker 156 ff.
Blauer Marlin 64
blauer Wasserstoff 189
Blaufisch 90
Blauflossenthunfisch 81
Blauwal 13, 145, 289
Blei 156, 207
blockbuster drugs 240
Blue Carbon 24
Blue Economy 23 ff.
Bohrplattform 174 ff.
Botschafter-RNA 232
Brasilien 77, 175
Braunalge 102 ff.
Brennstoffzelle 129 ff.
Brevoortia tyrannus 90
Britische Inseln 50
Britische Jungferninseln 133
Bruttoinlandsprodukt 24
Bruttoreizahl 89
Brydewal 145
Bryopsis-Algen 238
Bryopsis spp. 238
Buckelwal 90 ff., 145, 289
Bundesanstalt für Geowis-
senschaften und Rohstoffe
(BGR) **157 ff.**
Bunker 90
van Byknkershoek, Cornelis
253

C

Cadmium 207
Cadmium-Tellur-Legierung 155
Calcit 52
Calotomus japonicus 69
Canterbury 172
Carbon Capture and Storage
(CCS) 24, 180 ff.
Carcharodon carcharias 81
Carnival Corporation & plc
136
Carotinoide 240
Carrageen 102, 231 f.
Cartagena-Konvention 222
Cäsium-137 212 f.
Chaenocephalus aceratu 57
Chalkopyrit 156

Charpentier, Emmanuelle 235
Chemikalien 196 ff.
Chesapeake Bay 64
Chile 99, 145, 274
China 77 ff., 100 ff., 117 ff.,
150 ff., 184 ff., 198, 205,
292
Chinamax-Klasse 118
China Merchants Group 134
China Merchants Industry
Holdings (CMI) 159
China Ocean Shipping
Company (COSCO) 134
Chitin 240 ff.
Chitosan 242
Chittagong 270
Chlordan 203
Chlorkohlenwasserstoffe
198 ff.
Chlorophyllgehalt 31
Chromosomen 232 ff.
Chrysomallon squamiferum
163
Ciguatoxin 75
Clarion-Clipperton-Zone (CCZ)
153 ff.
Clearing-House-Mechanismus
247
CLIA (Cruise Lines Internatio-
nal Association, Weltverband
der Kreuzfahrtindustrie) 136
Clupea harengus 104
CMA CGM 128
CO₂-Emissionsbericht 127
Cobia 106
Collagen 231
Combi Lift 160
Computerchips 155
Concholepas concholepas 275
Containerschiffe 117 ff.
Containerware 116 ff.
Conus 230
Copepoda 241
Coronapandemie 35, 120,
137, 222
CRISPR/Cas9 233 ff.
Crocodylus acutus 283
Cromarty Firth 176

Cruise Terminal 136
Cryptotethya crypta 236
Cyanobakterien 242
Cybersicherheit 121
Cytarabin 238
Cytosin 232

D

Dänemark 131, 185
Das Gebiet 244, 257 ff.
Datenbanken für digitale
Sequenzinformationen (DSI)
246
Datenerfassungssystem (Data
Collection System, DCS) 127
DDT 199 ff.
Deepwater Horizon 177
Dekade der Meeresforschung
für eine nachhaltige Ent-
wicklung (Decade of Ocean
Science for Sustainable
Development) 23
Dekarbonisierung 125, 186
Delfin 90 ff., 145
DEME-GSR 159
deoxyribonucleic acid 232
Derating 130
Desoxyribonukleinsäure 232
Deutschland 184 ff., 207
Diagenese 153, 172
Dicentrarchus labrax 106
Dichlordiphenyltrichlorethan
202
Dichteunterschied 45
Diclofenac 205 f.
Dieldrin 203
Dioxine 203
Direct Air Capture 183
Disaster Management Plan
132
Disservice 17
Distickstoffmonoxid 34
DNA 230 ff.
DNS 232
Dogger Bank 185
Doppelhelix 232
Dorade 106 ff.
Dosidicus gigas 79

Doudna, Jennifer 235
Dreckiges Dutzend 203
Drei-Meilen-Zone 253
Dschibuti 138
Dünnschichtphotovoltaik 155
Durchschnittstemperatur
33 ff.

E

Echolot 138
Echter Bonito 78 ff., 287 ff.
Ecteinascidia turbinata 238
Ein-Arten-Management 81
Eis 30 ff.
Eisalgen 60
Eisen 207
Eismeergarnele 242
Elektromotor 128
Elfenbeinmöwe 58
Ellen-MacArthur-Stiftung 223
El Niño 52
Elysia rufescens 238
Emissionskontrollgebiete
(Emission Control Areas,
ECAs) 127 ff.
Emissionsstatistiker 35
E-Motor 150
Ems-Dollart-Vertrag 258
Endlager 180 f.
endokrine Disruptoren 198
Endrin 203
Energieeffizienzkennwert
(Energy Efficiency Design
Index, EEDI) 127
England 168, 253
Engraulis ringens 63, 77, 104
Enhanced Oil Recovery (EOR)
180
Equinor 175 ff.
Erbe der Menschheit 157
Erbgut 230 ff.
Erbinformation 230 ff.
Erderwärmung 30 ff.
Erdfas 34 ff., 151 ff., 174 ff.
Erdöl 34 ff., 151 ff., 174 ff.
Erdöläquivalent 123
Erdölmuttergestein 177
Ernährungs- und Landwirt-
schaftsorganisation der
Vereinten Nationen (Food
and Agriculture Organization
of the United Nations, FAO)
15 ff., 74 ff., 100 ff.
Ersatzstoffe für Fischmehl
und -öl **107 ff.**
Escherichia coli O157:H7 232
Estland 90
Ethan 178
Eubalaena glacialis 145
EU-Chemikalienverordnung
REACH (Regulation con-
cerning the Registration,
Evaluation, Authorisation
and Restriction of Chemicals,
Chemikalienverordnung zur
Registrierung, Bewertung,
Zulassung und Beschränkung
chemischer Stoffe) 210 ff.
Eucheuma spp. 102
EU-Emissionshandelssystem
(ETS) 127
Eukaryoten 232
Europa 292
Europäische Kommission 266
Europäische Union 81, 142,
150, 209, 247
Eurythenes plasticus 199
EU-Verordnung für Ökoqua-
kulturen 112
EU-Wasserrahmenrichtlinie
207 ff.
Ever Given 117
Exopolysaccharide 240
Explorationslizenz 157 ff.
Extremhochwasser 131
Extremwetterereignisse 47

F

Fadenwürmer 162
Fangausrüstung 84
Fangerlaubnisse 84
Fangquoten 74 ff.
FAO Voluntary Guidelines for
Flag State Performance 89
Feinstaub 35

- Felsenbarsch 90 f.
 Festlandssockel 255 ff.
 Fiery-Cross-Riff 170
 Finnland 90
 Finnwal 145
 Fischbestände 74 ff.
 Fischereiweiß 75
 Fischereimanagement 81 ff.
 Fischereiprodukte 100 ff.
 Fischereiproduktivität 70
 Fischkäfig 106 f.
 Fischkonsum 74 ff.
 Fischkot 108
 Fischlarven 82
 Fischmehl 78 ff., 103 ff.
 Fischöl 78 ff., 103 ff.
 Fischzucht 100 ff.
 Fish Stocks Agreement 256
 Flachwasser 174
 Flaggenspringen 89
 Flaggenstaat 121 ff.
 Fleckengrundel 138 ff.
 Flettner-Rotoren 129
 Florida 31, 287
 Florida-Manati 287
 Fluorkohlenwasserstoffe 35
 Flüssiggas 128 ff.
 FMSY 81
 Fracking 177
 Frankreich 190
 Freiheit der Hohen See 261 ff.
 Fucoïdan 240
Fucus vesiculosus 240
 Fukushima 212
 Furane 203
- G**
 Gakkelerücken 259
 Gallium 150
 garbage patches 217 ff.
 Garnelenzucht 104 f.
 Gashydrat 178
 Gaswaschanlage 143
 gebietsbezogene Management-
 maßnahmen 247
 Gefrierschutzproteine 54
 Geisternetze 216 ff.
 Gelatine 240
- Gelbflossenthunfisch 79
 Gemeinsame Sozioökono-
 mische Entwicklungspfade
 32 ff., 56
 Genf 255
 Genfer Seerechtskonventionen
 255
 Genom 230 ff.
 Genome Editing 233
 Genomik 233
 Genpool 230 ff.
 Genschere 233 ff.
 GEO-6 196
 Geophon 183
 Geopolitik 133
 Gerlachestraße 146
 Germanium 156
 Getting to Zero Coalition 124
 Gezeitenkraftwerk 190
 Ghana 88
 Giftschuld 216 ff.
 Glasschwämme 243 f.
 globale Gemeinschaftsgüter
 (Global Commons) 247
 Globale Partnerschaft zu
 Meeremüll (Global Partner-
 ship on Marine Litter,
 GPML) 219
 Globalisierung 117 ff.
 Global Fishing Watch 88 f.,
 281
 Global Maritime Forum 129
 Global Programme of Action
 for the Protection of the
 Marine Environment from
 Land-based Activities (GPA)
 219
 GloFouling 144
 Gold 156
 Golf von Bengalen 279
 Golf von Bohai 205
 Golf von Guinea 88
 Golf von Maine 146
 Golf von Mexiko 48, 59, 145,
 174 ff., 220, 264
 Goliat 175
 Grafit 151
- Graneledone boreopacifica*
 164
 grauer Wasserstoff 189
 Grauwal 141 ff.
 Great Abaco Barrier Reef 66
 Great Barrier Reef 69
 Greenpeace 112, 166
 Griechenland 131 ff.
 Grönland 50, 74, 208
 Großalgen 102 ff., 231
 Großbritannien 131, 168,
 184 ff.
 Großer Tümmler 199
 Grotius, Hugo 253
 Grundschieppnetz 97, 285
 Grundwasservorkommen 172
 grüner Wasserstoff 189
 Guanin 232
 Guide-RNA 235
- H**
 H2Mare 186
Haemophilus influenzae 233
 Hafennutzungsgebühr 143
 Hai 94, 198
 Halbwertszeit 212
 Hamburg 134, 255 f.
 Hämoglobin 54
 Harmony of the Seas 139
 Harren & Partner 160
 Harts substrat 165
 Hawaii 106, 213 ff.
 Heincke 269
 heiße Quellen 155 ff.
 Helsinki-Kommission
 (HELCOM) 222, 266
 Heptachlor 203
 Hering 61 f., 78, 101
 Heringshai 81
 Hitzewellen 38 ff., 57, 131
 HIV 237
 HMM Hamburg 117
 Hochdurchsatzverfahren 230
 Hochseefischerei 92 ff.
 Höchstfangmenge (TAC) 84
 Hochwasserschutztechnik 132
 Hohe See 92 ff., 244, 255 ff.
 homolog 235
- Hongkong 22, 120 f., 134
 Horn von Afrika 138
 Humboldtqualmar 79
 Hurrikans 50
 – Dorian 64 f.
 – Harvey 131
 – Irma 133
 – Katrina 131
 – Maria 133
 – Sandy 133
 Hybridantrieb 128
 hydrogenetisch 153
 Hydrothermalquellen 230
 Hydrothermalvorkommen
 155 ff.
 Hydroxylapatit 243
 Hypoxie 63
 hypoxische Zonen 48 f.
- I**
 Ibuprofen 205 f.
 Icefin 30
 illegal, unreported and unre-
 gulated fishing (IUU-fishing)
 86 ff.
Illex argentinus 79
 IMO-Auftaktstrategie 127
 Indien 77, 106, 168, 191, 269
 Indium 150
 individuelle Quote (IQ) 84
 Indonesien 77, 92, 102, 169,
 253
 innere Gewässer 257
 Inselbögen 155
 integrative Management-
 programme 266
 integrierte multitrophische
 Aquakultursysteme (Inte-
 grated Multi-Trophic Aqua-
 culture, IMTA) 108
 International Coastal Cleanup
 Day 223
 International legally binding
 instrument under the United
 Nations Convention on the
 Law of the Sea on the conser-
 vation and sustainable use
 of marine biological diversity
- of areas beyond national
 jurisdiction (BBNJ) 246
 Internationale Agentur für
 Erneuerbare Energien (Inter-
 national Renewable Energy
 Agency, IRENA) 192
 Internationale Arbeitsorgani-
 sation (International Labour
 Organization, ILO) 87
 Internationale Energieagentur
 (International Energy Agen-
 cy, IEA) 123 ff., 175 ff.
 Internationale Meeresboden-
 behörde (International
 Seabed Authority, ISA)
 157 ff., 256–293
 Internationale Schifffahrtskam-
 mer (International Chamber
 of Shipping, ICS) 125
 Internationale Seeschifffahrts-
 Organisation (International
 Maritime Organization,
 IMO) 123 ff., 256, 271 ff.
 Internationale Walfangkommis-
 sion (International Whaling
 Commission, IWC) 145
 Internationaler Rat für Mee-
 resforschung (International
 Council for the Exploration of
 the Sea, ICES) 168
 Internationaler Seegerichtshof
 (International Tribunal for
 the Law of the Sea, ITLOS)
 255 ff.
 Internationales Überein-
 kommen zur Kontrolle und
 Bewirtschaftung von Bal-
 lastwasser und Sedimenten
 von Schiffen (International
 Convention for the Control
 and Management of Ships'
 Ballast Water and Sediments,
 BWM Convention) 144
 Internationales Übereinkom-
 men zur Verhütung der
 Meeresverschmutzung durch
 Schiffe (MARPOL-Überein-
 kommen) 142
- Iod-129 212
 Iran 89
 Irland 274
Istiophorus albicans 64
Isurus oxyrinchus 64
- J**
 Jacques Saadé 128
 Jakobsmuschel 112
 Jangtsekiang 205
 Japan 69, 198, 209 ff., 292
 Japanischer Blatttang 102
 Japanischer Reisfisch 205
 Japan Oil, Gas and Metals
 National Corporation
 (JOGMEC) 160
 Jemen 89
 Johan-Castberg-Ölfeld 175
 Jungfische 82 ff.
 Justinian I. 252
 just in time 118
- K**
 Kabeljaufischerei 82
 Kabeljaularven 61
 Kachelotplate 289
 Käfighaltung 100 ff.
 Kalifornien 50, 174
 Kalium 197 ff.
 Kalium-40 210
 Kalkutta 41
 kalt-aktive Enzyme 241
 Kalziumkarbonat 52
 Kambodscha 90
 Kampfmittel 220 f.
 Kanada 274, 281
 Kanaren 145
Kappaphycus alvarezii 102
 Karibik 222
 Kaskadenwirkung der Klima-
 folgen 66
 Kaspisches Meer 175
Katsuwonus pelamis 78, 292
 Kelpwälder 68 ff., 103
 Kiel 220
 Kies 168 ff.
 KIOST, koreanisches For-
 schungsinstitut 159
- Kippunkt 40, 64
 Kiribati 287
 Klärschlamm 207
 Klima-Ozean-Modell 46
 Klimarauschen 33
 Klimasimulation 31
 Klimawandel **28 ff., 54 ff.**,
 73 ff., 150, 208, 273, 280 ff.
 Kobalt 150 ff.
 kobaltreiche Eisen-Mangan-
 Krusten 151 ff.
 Koffein 205
 Kohle 34 ff., 151 ff.
 Kohlendioxid **30 ff.**, 103 ff.,
 174 ff.
 Kohlendioxidäquivalent (CO₂e)
 123 ff.
 Kohlendioxidsteuer 124
 Kohlensäure 52
 Kohlenstoff 196
 Kohlenstoff-14 212
 Kohlenstoffabscheidung 180
 Kollektor 159
 Kolloide 153
 Kolumbien 200
 Komoren 122
 Konferenz der Vereinten
 Nationen für Handel und
 Entwicklung (United Nations
 Conference on Trade and
 Development, UNCTAD)
 117 ff.
 Kongo 154
 Königsfisch 106
 Korallen 166
 Korallenbleiche 64
 Korallenriff 64 ff., 288
 Krabben 100 ff.
 Kraken 164
 Krankheitserreger 197
 Krebstiere 74 ff.
 Kreislaufanlage 108
 Kreislaufwirtschaft 167 ff.,
 222 ff.
 Kreuzfahrtschiffe 124 ff.
 Kreuzfahrttourismus **136 f.**
 Kristallgitter 178
 Kunstdünger 197 ff.
 Kunststoffe **215 ff.**
- Kupfer 150 ff., 207
 Kuroshio 69, 212
 Küstenerosion 131
 Küstengewässer 48 ff.
 Küstenmeer 255 ff., 257
 Küstenökosystem 288 ff.
 Küstenregionen 38 ff.
 Küstenschutz 290
 Küstenverbauung 73 ff.
- L**
 Lachgas 34
 Lachs **101 ff.**
 Lachslaus 104
 Ladekapazität 120 ff.
Laminaria japonica 102
Lamna nasus 81
 Landesamt für Bergbau,
 Energie und Geologie (LBEG)
 157
 Landnutzung 34 ff.
 Landstromversorgung 137
 Lärmverschmutzung 136 ff.
 Larve 55
Lates calcarifer 106
 Lebensraumzerstörung 280 ff.
 Leckageexperiment 183
Lepeophtheirus salmonis 104
 Lettland 90
 Liberia 121
 Lichtverschmutzung 136
 Lidocain 205
Limulus polyphemus 239
 Lindan 199
 Liquefied Natural Gas (LNG)
 128 ff.
 Lithium 150 ff.
Litopenaeus vannamei 104
 LNG-Tanker 135
 lokale Meeresspiegel 40
 Lomonossowrücken 259
 Londoner Konvention 197 ff.
 Londoner Protokoll 197 ff.
 Los Angeles 202
 Luftmassenströmungen 33
 Luftpulser 138
 Luftschmierertechnologie 130
 Luther, Martin 253

M

Macrocystis pyrifera 103
 Mærsk 129
 Mærsk Pelican 129
 Maeslant-Sperrwerk 132
 Maine 91
Makaira nigricans 64
 Makohai 64
 Makrele 81, 101
 Makrofauna 164
 Makroplastik 216 ff.
 Malta 172
 Mangan 207
 Manganknollen 151 ff.
 Manganknollen-Kollektor 159
 Manganoxid 153
 Mangroven 67 ff., 104 ff., 283 ff.
 Mangroven-Manteltier 238
 Manteltierchen 233
 Mare clausum 253
 Mare liberum 253
 Marianengraben 198
 marine Aquakultur 100 ff.
 marine Artenvielfalt 16 f.
 Marine Biodiversity Beyond National Jurisdiction (BBNJ) 256
 marine Biotechnologie 231 ff.
 Marine Hitzewellen 51 f.
 marine Kegelschnecke 230
 marine Naturstoffchemie 231 ff.
 marine Ökosysteme 54 ff.
 Marine Protected Area (MPA) 284 ff.
 Marine Stewardship Council (MSC) 97, 112
 marine Wildnis 15
 marine Wirkstoffe (Anwendungsbereiche) 237
 Marmarameer 81
 MARPOL 222
 Marschallinseln 121, 287
 Maryland 96
 Massengutfrachter 116 ff.
 Massivsulfide 151 ff.

maximum sustainable yield (MSY) 80
 Meereis 34 ff.
 Meereisrückgang 135
 Meeresalgen 231
 Meeresboden-Abkommen 256
 Meereschemie 29 ff.
 Meeresfrüchte 74 ff., 100 ff.
 Meeresmanagement 24 ff., 251 ff., 268 ff.
 Meeresökosystem 16 ff.
 Meeresphysik 29 ff.
 Meeresraumplanung 189, 281 ff.
 Meeressand 169
 Meeresschnecke 163
 Meeresschutzgebiete 85, 282 ff.
 Meeresspiegelanstieg 31 ff., 67 ff., 131
 Meeresströmungen 30 ff.
 Meeresströmungskraftwerk 190
 Meereswirtschaft 23 ff.
 Meeting of State Parties to the Convention 256
 Megafauna 164
 Mehr-Arten-Management 91
 Meiofauna 164
 Mekongdelta 70
 messenger RNA 232
 Metaboliten 233
 Metabolom 233
 Metabolomik 233
 Metalle 150 ff.
 Metallhydridspeicher 129 ff.
 Metall-Schwefel-Verbindungen 155
 meteorische Anreicherung 172
 Metformin 205
 Methan 34 ff.
 Methanemissionen 36
 Methangas 178
 Methanhydrat 178 f.
 Methanol 129 ff.
 Methylquecksilberverbindung 208

Mexiko 242
 MeyGen-Projekt 190
 Miesmuschel 112
 Migrationsstatistik 59
 Mikroben 42 ff.
 Mikrofauna 165
 Mikroorganismen 230 f.
 Mikroplastik 216 ff.
 Millennium-Ecosystem-Assessment-Studie 17
 Minamata-Konvention 209
 Mineralien 150 ff.
 Mining Code 167, 277
 Mirex 203
 Mittelmeer 81, 220, 264
 Mittelozeanischer Rücken 155 f.
Mnemiopsis leidyi 64 f.
 MoES 159
 Moldawien 122
 Molybdän 151 f., 207
 Monaco Ocean Week 286
 Montego Bay 255
 Moostierchen 233
Morone saxatilis 90
 mRNA 232
 Müllgebühr 143
 Müllstrudel 217 ff.
 Mülltagebuch 143
 Munition 220 f.
 Muschelbank 280
 Muscheln 74 ff., 100 ff., 205 ff., 281
 Myanmar 106

N
 Nachhaltigkeitssiegel 97
 Nagoya-Protokoll 244 ff.
 Naher Osten 175
 Nährstoffeintrag 43
 Nahrungskette 198
 Nairobi-Konvention 222
 Nationale Akademie der Wissenschaften 246
 nationale Klimaschutzbeiträge (Nationally Determined Contributions, NDCs) 274
 Nationalpark Wattenmeer 289

Natura-2000-Meeresschutzgebiete 284 f.
 naturbasierte Lösungen (Nature-based Solutions, NbS) 290 f.
 Naturland-Siegel 112
 Nauru 287, 289
 Nauru-Abkommen 287
 Nautilus Minerals 160
 Neandertaler 16
 Nesseltiere 233
 Neufundland 82, 220
 Neuseeland 172
 New Plastics Economy Global Commitment 223
 New York 255
 Nickel 150 ff.
 Niederlande 168, 181 ff., 253
 Niedrigwasserlinie 257
 Nigerdelta 175
 Nigeria 209
 Nikotin 205
 Niob 155
 Nordirland 220
 Nordkorea 90
 nördlicher Seeweg 135
 Nordostpassage 135
 Nordsee 175 ff., 220, 260 ff.
 Nordseeküste 168
 Northern Lights 180
 North Ronaldsay 241
 Norwegen 101 ff., 175 f., 260, 274
 Norwegian Cruise Line Holdings 136
 Nukleotide 230 ff.
 Nutzungsgrad 186
 Nylon 217

○
 Oberflächentemperatur 30 ff.
 Ocean + Habitats 288
 Ocean Conservancy 223
 Ocean Economy 23 ff.
 Ocean Governance 266
 Ocean Panel 268 ff., 280 ff.
 Oceana 285
 Offiziersbarch 106, 112

Offshore-Erdgas- und Ölförderung 174 ff.
 Offshore-Süßwassersysteme 172
 Offshore-Windenergie 174 ff.
 Okinawatrog 160
 ökologische Aquakultur 112
 ökosystemarer Ansatz 91
 ökosystembasiertes Management 85
 Ökosystemleistungen 17 ff.
 – bereitstellende 17 f.
 – kulturelle 20
 – regulierende 17 f.
 – unterstützende 20
 Omega-3-Fettsäure 75, 103
 Omics-Technologie 233 ff.
Oncorhynchus kisutch 201
Orcinus orca 199
 Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) 24 ff.
Oryzias latipes 205
 OSPAR-Konvention 49, 222
 Ostindien 253
 Ostsee 82, 101, 140, 220, 264
 Ostseebraunalge 240
 Our Ocean Conference (OOC) 273 f.
 Øygarden 180
 Ozeanbecken 12
 Ozeanien 97
 ozeanische Randströme 31
 Ozeanversauerung 52 f.

P

Pagophila eburnea 58
 Pakistan 269
 Palau 274, 286 f.
 Palma de Mallorca 137
 Panama 121
Pandalus borealis 242
 Papageifisch 69
 Papua-Neuguinea 287
 Paracetamol 205 f.

Parasiten 106
 Pariser Klimaabkommen 40, 124, 277
 Pariser Klimaziel 67, 182, 188
 Pariser Übereinkommen zur Hafenkontrolle (Paris Memorandum of Understanding on Port State Control, Paris MoU) 121 f.
 parts per million 35
 Patania II 159
 Patent 233 ff.
 Pazifischer Kalmar 79, 90
 Pazifischer Lachs 106
 Pazifischer Pollack 78
Peinaleopolynoe orphanæ 55
Penaeus monodon 104–105
 Penrhynbecken 154
 Peptide 240
 Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) 210
 Permafrost 131
 Persischer Golf 264
 persistente organische Schadstoffe (persistent organic pollutants, POPs) 198 ff.
 persistente pharmazeutische Schadstoffe (environmentally persistent pharmaceutical pollutants, EPPPs) 204 f.
 Peru 63, 77 ff., 99
 Peruanische Sardelle 63, 77 ff., 104
 Perubecken 154, 164
 per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS) 210 f.
 Pestizide 197–293
 Pew Charitable Trusts 94
 Pew Oceans Commission 82
 Pflanzenschutzmittel 197
 Pharmazeutika 202 ff.
Pheronema giganteum 245
 Phosgen 221
 Phosphor 49, 197 ff.
 Photovoltaik 190
 Photovoltaikanlagen 151

Phú Yên 93
 pH-Wert 31 ff., 52, 55
 Phytoplankton 56
 Picophytoplankton 61
 Pilze 230
 Piraterie 138, 260
 Piräus 134
 Plastikmüll 202 ff.
 Plutonium 212
 Polardorsch 60
 Polen 90
 Pollack 78
 polychlorierte Biphenyle (PCB) 199–293
 Polyethylenterephthalat (PET) 199 ff.
 Polymere 215
 Polyphenole 240
 Polysaccharide 231
 Polystyrol 203
 polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 202 ff.
Pomatomus saltatrix 90
Pomatoschistus pictus 138
 POP-Protokoll für ferntransportierte grenzüberschreitende Luftverschmutzung 210
 Porenwasser 152 f., 178
 Port Harcourt 209
 Porthos-Projekt 181
 Portugal 92, 252
 POSEIDON 281
 Post-Swirl-Statoren 130
 Pottwal 145, 218
 Präbiotika 241
 Pre-Swirl-Statoren 130
 Primärenergieverbrauch 174 ff.
 Primärproduzenten 56 ff.
 Prokaryoten 232
 Propan 178
 Proteine 230 ff.
 Proteinquelle 100
 Proteom 233
 Proteomik 233
 Pyrit 156

Q

Quecksilber 207 f.
 Quorum Sensing 230

R

Rachycentron canadum 106
 Rädertierchen 241
 radioaktive Substanzen 202 ff.
 Radionuklide 210 ff.
 Recycling 171
 Regionale Fischereigremien (Regional Fishery Bodies, RFBs) 77
 regionale Fischereirechte 275
 regionale Managementorganisationen 85
 regionale Meeresabkommen 264 ff.
 regionale Meeresschutzabkommen 222 ff.
 Regionale Organisationen für das Fischereimanagement (Regional Fisheries Management Organisations, RFMOs) 77 ff., 256
 regionaler Meeresspiegel 40
 Renaturierung 287 ff.
 Repräsentative Konzentrationspfade (Representative Concentration Pathways, RCPs) 66 ff.
 Reproduktionserfolg 56
Rhizophora mangle 283
 ribonucleic acid 232
 Ribonukleinsäure 232
 Richtlinien zur Eindämmung des Schiffs lärms unter Wasser 141
 Riesengarnele 104
 Rio de Janeiro 24
 Rio-Erklärung 268 ff.
 Rippenqualle 64
 RNA 232
 RNS 232
 Robbe 141, 198
 Rotalge 103
 Rote Liste 289
 Rote Mangrove 283

- Rotifera 241
 Rotterdam 132 ff., 181
 Royal Caribbean Group 136
 Ruderfußkrebse 241
 Rumpfformoptimierung 130
 Russland 77, 90 ff., 135, 260
 Ruß 35
 Rußpartikel 142

S
 Saffir-Simpson-Hurrikan-Windskala 50
 Salomoninseln 287
 Salzgehalt 31 ff.
 Salzmarschen 288
 Salzwasserkrebse 241
 Sand **168 ff.**
 Sandgestein 181
 Santa Barbara Channel 174
 Santa Catalina 202
 Sardellen 74 ff., 100
 Sardinien 78
 Sargassumalgen 241, 242
 Satelliten- und Positionstechnik 89 f.
 Sauerstoffgehalt 31 ff.
 Sauerstoffkonzentration **42 f.**
 Sauerstoffminimumzone 63
 Saugbagger 169
 Schadstoffe **196 ff.**
 Schallkanone 138
 Schiefergas 177
 Schieferöl 177
 Schifffahrt **115 ff.**
 Schiffsabfälle 142 ff.
 Schiffsabgase 142 ff.
 Schiffsbetriebsplan zum Energieeffizienzmanagement (Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEMP) 127
 Schiffsentsorgung 269 f.
 Schiffsfriedhof 269 f.
 Schiffsregister 121 ff.
 Schildkröten 60
 Schlangensterne 162
 Schleppnetzfisherei 94 f.
 Schlitzwandfräse 160

 Schnecken 233
 Schneekrabbe 98
 Schottland 176, 190, 220
 Schüttgut 116 ff.
 Schüttgutschneider 160
 Schwämme 162, 233 ff.
 Schwarmfische 104
 Schwarze Tigergarnele 104 f.
 Schwarzer Raucher 156 ff.
 Schwarzes Meer 81, 220, 264
 Schwarzflossen-Eisfisch 57
 Schweden 278 f.
 Schwefelgrenzwert 127
 Schwefeloxide 142
 Schwefelwasserstoff 178
 Schwermetalle 142, 197 ff.
 Schweröl 123
 Schwertfisch 81
 Schwertwal 145, 199
 schwimmende Photovoltaik 190
 Scientific American 146
Scomber scombrus 81
Scophthalmus maximus 106
 Screening-Studie 206
 Sea Around Us 77 ff.
 Second World Ocean Assessment 23
 Sedimentverlagerung 131
 Seegraswiese 283
 Seehäfen 131 ff.
 Seehase 104
 Seeigel 243
 Seeohr 112
 Seepferdchen 214
 Seerecht 252 ff.
 Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen (United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS) 82, 157 ff., 244
 Segelfisch 64
 Sekundärmetaboliten 230 f.
 Selden, John 253
 Selen 156
 Seltene Erden 150 ff., 189
 Senfgas 221

 Serranidae 106
 Seychellen 191
 Shanghai 41
 Shared Socioeconomic Pathways (SSP) 32 ff., 56
 Siamesischer Kampffisch 205
 Silber 156
 Silberlachs 201
 Siliziummetall 150
 Siliziumoxid 245
 Singapur 120 f., 191
 Skandinavien 74
 Slepner-Gasfeld 181
 Slepner-Projekt 180
 Snøhvit-Feld 180
 Soft Law 268
 Solarstrom 130
 Somalia 89
 Sonderbericht des Weltklimarates über die Ozeane und die Kryosphäre im Klimawandel 23
 Sonne 30 ff.
 sonstige Trockenladungen 116 ff.
 Source-to-Sea-Ansatz 278 f.
 Spanien 92, 207, 252
Sparus aurata 106
 Sphalerit 156
 Spicula 243
 Spilhaus, Athelstan F. 26
 Spilhaus' Karte des Weltozeans 26
 Spongothymidin 236 ff.
 Spongouridin 236 ff.
 Sponsoring State 157 ff.
 Sprotten 78, 101
 Spurenelemente 207
 Sri Lanka 145
 Starkregen 46 ff., 131, 172
 Statoil 175, 180
 Steinbutt 106
 Steinmeier, Frank-Walter 257
Stenella coeruleoalba 199
 Stickoxide 142
 Stickstoff 48, 197 ff.
 Stockholmer Übereinkommen 203

 Strandvorspülungen 168
 Strategischer Ansatz zum Internationalen Chemikalienmanagement (Strategic Approach to International Chemicals Management, SAICM) 206
 Stratifikation 45
 Streifendelfin 199
 Strömungskraftwerk 174, 190
 Strontium-90 212
 Stückgut 117 ff.
 Subiriff 170
 Subsidiarität 276
 Subventionen 94 f.
 Südafrika 63
 Südkorea 92, 190
 südlicher Seeweg 135
 Südostasien 74
 Südpolarmeer 96
 Sueskanal 117
 Sueskanalroute 135
 Sulfidvorkommen 158
 Suruga-Bucht 198
 Sustainable Development Goals (SDGs) 184 f.

T
 Tabun 221
 Tag der Küstenreinigung 223
 Taifun 50
 Taiwan 90
 Tankerladungen 116 ff.
 Tankschiffe 116 ff.
 Tansania 122
 Tara Oceans Expedition 234
 Technetium-99 212
 Technische Hochschule Aachen (RWTH) 161
Tectithethya crypta 236
 Teichhaltung 100 ff.
 Tellur 150 ff.
 Temperaturtoleranz 56 ff.
 Tennet 185
 Tepco 215
 Terawatt 183 ff.
 Terawattstunden 183 ff.

 Territoriale Nutzungsrechte in der Fischerei (Territorial Use Rights in Fisheries, TURFs) 84, 275
 Texas 47 ff.
 Thailand 191, 292
 The Blob 51
 The Economist 131
Theragra chalcogramma 78
 thermohaline Zirkulation 45 ff.
 Thunfisch 74 ff.
Thunnus albacares 79
Thunnus thynnus 81
 Thwaitesgletscher 31
 Thymin 232
 Tiefseebergbau **150 ff.**
 Tiefseefischerei 92
 Tiefseeflohkrebs 198
 Tiefseekorallen 162
 Tiefstwasser 174
 Tiefwasser 174
 Tiertransporte 117
 Tipping Point 40
 Titan 151 f.
Todarodes pacificus 79 ff.
 Todeszone 48 f.
 Togo 122
 Tokelau 287
 Tongestein 181
 Top-down-Methode 275
 Toxaphen 203
 Tragfähigkeit 120 ff.
 Transformation 268
 Transkriptom 233
 Transkriptomik 233
 Transshipment 134
 Treibhausgasemissionen 32, 174 ff.
 Tributylzinn (TBT) 145, 202
Trichechus manatus latirostris 287
 Trinitrotoluol (TNT) 220
 Trinkwasserreserven **172 f.**
 Tritium 212
 Troll-Erdgasfeld 180
 Tropen 33
 Tropenfisherei 78

 Tropikalisierung 59
 Troposphäre 33
 Türkei 150
Tursiops truncatus 199
 Tuvalu 287

U
 Überdüngung (Eutrophierung) 42 ff., 280 ff.
 Übereinkommen zur Durchführung der Bestimmungen des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen vom 10. Dezember 1982 über die Erhaltung und Bewirtschaftung von gebietsübergreifenden Fischbeständen und weit wandernden Fischbeständen 256
 Übereinkommen zur Durchführung des Teiles XI des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen 256
 Übereinkommen zur Verhinderung illegaler, nicht berichteter oder unkontrollierter Fischerei (Agreement on Port State Measures [PSMA] to prevent, deter and eliminate illegal, unreported and unregulated fishing) 88
 Überfischung **73 ff.**, 280 ff.
 Ukraine 122
 Umsetzungsübereinkommen zum Schutz und Erhalt der Biodiversität in Meeresgebieten außerhalb nationaler Hoheit (BBNJ-Abkommen) 264, 287
 Umweltprogramm der Vereinten Nationen (United Nations Environment Programme, UNEP) 168, 196 ff., 267
 Umweltschutzprotokoll zum Antarktisvertrag (Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty) 151

 Umweltsammlung der Vereinten Nationen (United Nations Environment Assembly, UNEA) 219 ff.
 Umweltverträglichkeitsklärung 158, 248
Undaria pinnatifida 102
 UNESCO 273
 UN-Klimakonvention 277
 UN-Kommission zur Begrenzung des Festlandssockels (Commission on the Limits of the Continental Shelf, CLCS) 256 ff.
 UN Ocean Conference 292
 UN-Ozeanforschungsdekade 24
 UN-Seerechtsübereinkommen **252 ff.**, 268 ff.
 UN-Seerechtsübereinkommen für Binnenmeere 264
 untermeerischer Vulkan 153
 unterseeischer Bergrücken 259
 Unterwasserlärm 141
 Unterwasserrotor 190
 USA 49, 64, 77 ff., 92, 117 ff., 205 ff., 256, 274, 292
 US-amerikanische Behörde für Lebens- und Arzneimittel (U. S. Food and Drug Administration, FDA) 237
 US-amerikanische Meeresbehörde NOAA 48
 US-Umweltbehörde EPA 137

V
 Valemex-Klasse 118
 Vanadium 171
 Vancouver 142, 280 f.
 Vancouver Island 106
 Vanuatu 92
 Vår Energi AS 175
 Venedig 137
 Venusmuschel 112
 Vereenigde Oostindische Compagnie (VOC) 253

 Vereinigte Staaten von Mikronesien 274, 287
 Vereinte Nationen 17, 196 ff.
 Verflüssigung von Erdgas 175
 Versauerung 55 ff.
 Verschmutzung 273
 Vertragsstaatenkonferenz (Conference of the Parties, COP) 247
 Vertragsstaatenkonferenz des Übereinkommens über die biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity, CBD) 244 f.
 Vertrag von Tordesillas 252
 Verursacherprinzip 277
 Vidarabin 238
 Vielborster 55
 Vietnam 41, 70, 76 f., 102, 191, 289
 Viren 230 ff.
 Voltaren 205
 Vorsorgeprinzip 166, 277

W
 Waesland 146
 Wakame 102
 Walblas 146
 Wales 168
 Wärmespeicher 35 ff.
 Wärmetransport **31 ff.**
 Wasserdampf 33
 Wasserstoff 129 ff., 189
 Wasserstoffbrennzelle 150
 Watt, James 35
 wechselwarm 54
 Weichmacher 209
 Weißbeingarnele 104
 Weißer Hai 81
 Wellenkraftwerk 174, 190
 Weltbank 151
 Weltbiodiversitätsrat IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) 16 ff., 197 ff.
 Weltenergieagentur 175 ff.
 Weltklimabericht 34 ff.

- Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 32, 56, 66, 286
- Weltnaturschutzunion (International Union for the Conservation of Nature, IUCN) 284 f.
- Westafrika 88
- Westeremskommission 258
- Westeuropa 74
- Wetterextreme 38 ff.
- Wetterrouting 130
- Whale Alert 146
- Wildfänge 77 ff.
- Windbänder 33
- Windenergie 174 ff.
- Windfarmen 174 ff.
- Windkraftanlage 150 ff.
- Wirbelausgleich 130
- Wirkstoffforschung 230 ff.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) 276
- Wolfram 150 ff.
- Wolfsbarsch 106 ff.
- World Ocean Assessment 268
- X**
- Xiamen 108
- Xiphias gladius* 81
- Y**
- Yondelis 238
- Z**
- Zackenbarsch 106
- Zahnwal 198
- zentraler Indischer Ozean 154
- zertifizierte Fischereien 97
- Zertifizierung 112
- Zhangzhou 192
- Zielsequenzcode 235
- Zink 207
- Zirkon 155
- Zooplankton 60
- Zooxanthellen 69
- Zuordnungsstudien 47
- Zwei-Grad-Klimaziel 41
- Zweiter Weltkrieg 220
- Zwergwal 141
- Zwischenstaatliche Ozeanografische Kommission der UNESCO (Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC) 268
- Zyklon 50

Partner

Future Ocean: Im Future-Ocean-Netzwerk bündeln Forschende aus den Meeres- und Wirtschaftswissenschaften, der Medizin, Mathematik, Informatik sowie den Rechts-, Sozial- und Gesellschaftswissenschaften ihre Expertise und untersuchen den Ozean- und Klimawandel. Insgesamt haben sich mehr als 250 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), dem GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, dem Institut für Weltwirtschaft (IfW) und der Muthesius Kunsthochschule zusammengeschlossen, um Handlungsoptionen für einen nachhaltigen Schutz und Nutzen des Ozeans zu entwickeln.

IOI: Das International Ocean Institute wurde 1972 als gemeinnützige Nichtregierungsorganisation von Elisabeth Mann Borgese gegründet. Es besteht aus einem Netzwerk von verschiedenen Niederlassungen, die über die ganze Welt verteilt sind, und hat seinen Hauptsitz in Malta. Das IOI setzt sich für eine friedliche und nachhaltige Nutzung des Ozeans ein.

KDM: Das Konsortium Deutsche Meeresforschung bündelt die Expertise der deutschen Meeresforschung. Seine Mitglieder setzen sich aus allen Forschungseinrichtungen zusammen, die in Meeres-, Polar- und Küstenforschung aktiv sind. Ein Hauptanliegen des KDM ist, die Interessen der Meeresforschung gegenüber nationalen Entscheidungsträgern und der EU sowie gegenüber der Öffentlichkeit gemeinsam zu vertreten.

mare: Die Zeitschrift der Meere wurde 1997 von Nikolaus Gelpke in Hamburg gegründet und erscheint alle zwei Monate in deutscher Sprache. Mare rückt den Stellenwert, den das Meer als Lebens-, Wirtschafts- und Kulturraum für den Menschen bietet, in das Bewusstsein der Öffentlichkeit. Neben dem Magazin, das vielfach für seine hochwertigen Reportagen und Fotostrecken ausgezeichnet wurde, bringt der mareverlag zweimal im Jahr ein Buchprogramm heraus.

Danksagung

Die Erstellung einer Publikation wie die des „World Ocean Review“ ist in erster Linie ein Unterfangen, das mit hohem Aufwand verbunden ist. Daher gilt mein Dank zuerst allen beteiligten Wissenschaftlern, die an dieser Ausgabe mitgewirkt haben. Ein herzliches Dankeschön auch den Organisationsteams des Forschernetzwerkes Future Ocean und des Konsortiums Deutsche Meeresforschung für die reibungslose Kommunikation und die Arbeit hinter den Kulissen.

Dank gebührt darüber hinaus insbesondere auch der Wissenschaftsjournalistin Sina Löschke, die den Texten die allgemeine Verständlichkeit gegeben hat, die es nun auch den „Nicht-Wissenschaftlern“ ermöglicht, den roten Faden nicht aus den Augen zu verlieren. Im Zusammenwirken mit Anna Boucsein, die für die Gestaltung verantwortlich war, Petra Koßmann und Anastasia Hermann, die die Bildredaktion innehatten, und Dimitri Ladischensky, der das Lektorat betreute, möchte ich zuletzt auch Jan Lehmköster herzlich danken, der als Gesamtprojektleiter auf maribus-Seite den „World Ocean Review“ von Beginn an federführend begleitet hat.

Nikolaus Gelpke

Geschäftsführer maribus gGmbH

Abbildungsverzeichnis

Umschlagabbildung: mauritius images/Westend61/Konstantin Trubavin; S. 1 (Karte): nach Athelstan F. Spilhaus; S. 8 v.o.n.u.: HRAUN/Getty Images; Ed Hawkins/Creative Commons, <https://showyourstripes.info>; © Christian Åslund/Greenpeace; plainpicture/Thomas Ebert; S. 9 v.o.n.u.: Veronique de Viguerie/Getty Images Reportage; plainpicture/Hanna Orłowski; Blue PlanetArchive/Marc Chamberlain; plainpicture/Design Pics/O'Neil Castro; S. 10/11: HRAUN/Getty Images; Abb. 1.1: © Marcus Wildelau; Abb. 1.2: nach Eakins und Sharman, Volume of the World's Oceans from ETOPO1, NOAA National Geophysical Data Center, Boulder, CO, 2010; Abb. 1.3: Phillip Colla/Oceanlight.com; Abb. 1.4: nach Jones et al., DOI: 10.1016/j.cub.2018.06.010; Abb. 1.5: José Paulo Ruas, © João Zilhão; S. 18/19: maribus; Abb. 1.6: mauritius images/nature picture library/Christophe Courteau; Abb. 1.7: plainpicture/Sabine Bungert; Abb. 1.8: Phillip Colla/Oceanlight.com; Abb. 1.9: Xavier Desmier; Abb. 1.10 l.: nach Athelstan F. Spilhaus; Abb. 1.10 r.: nach Diercke-Weltatlas; S. 28/29: Ed Hawkins/Creative Commons, <https://showyourstripes.info>; Abb. 2.1: NSF/US Antarctic Program/Rob Robbins; Abb. 2.2: NASA Operation IceBridge/Jeremy Harbeck; Abb. 2.3: nach Arias et al., 2021; Abb. 2.4: nach Ed Hawkins/Climate Lab Book; Abb. 2.5: Jim West/REPORT DIGITAL-REA/laif; Abb. 2.6: nach GRID-Arendal; Abb. 2.7: nach Cheng et al., 2020; Abb. 2.8: nach Deutsches Klima-Konsortium, 2019; Abb. 2.9: Jes Aznar; Abb. 2.10: nach Vousdoukas et al., 2020; Abb. 2.11: nach Breitbart et al., 2018; Abb. 2.12: nach Laffoley und Baxter, 2019; Abb. 2.13: Alan Duncan; Abb. 2.14: nach Laffoley und Baxter, 2019; Abb. 2.15: nach Schmidtke et al., 2017; Abb. 2.16: nach Laffoley und Baxter, 2019; Abb. 2.17: nach Fischer und Knutti, 2015; Abb. 2.18: nach Virginia Institute of Marine Science; Abb. 2.19: nach Gimeno et al., 2014; Abb. 2.20: NOAA; Abb. 2.21: nach Hobday et al., 2016; Abb. 2.22: nach Gruber et al., 2019; Abb. 2.23: Greg Rouse/Scripps Oceanography; Abb. 2.24: nach Dahlke et al., 2020; Abb. 2.25: Paulo Oliveira/Alamy Stock Foto; Abb. 2.26: © Rich Reid Photo; Abb. 2.27: mauritius images/nature picture library/Jürgen Freund; Abb. 2.28: Quantifying the Effect of Anthropogenic Climate Change on Calcifying Plankton, Author: Fox, L., Stukins, S., Hill, T. et al., Publication: Scientific Reports, Date: January 31, 2020, Sci. Rep. 10, 1620 (2020), <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58501-w>, © 2020, Springer Nature; Abb. 2.29: Science Photo Library/Frans Lanting, Mint Images; Abb. 2.30: Will Greene/Perry Institute for Marine Science; Abb. 2.31: nach IPCC, 2019; Abb. 2.32: nach IPCC, 2019; S. 72/73: © Christian Åslund/Greenpeace; Abb. 3.1: nach FAO, 2020; Abb. 3.2: nach Troell et al., 2019;

Abb. 3.3: nach FAO, 2020; Abb. 3.4: Kevin Gorton/Getty Images; Abb. 3.5: nach Sea Around Us; Abb. 3.6: nach FAO, 2020; Abb. 3.7: Magnus Lundgren/naturepl.com; Abb. 3.8: nach FAO, 2020; Abb. 3.9: nach FAO, 2020; Abb. 3.10 l.: Solvin Zankl, www.solvinzankl.com; Abb. 3.10 r.: T. Reusch, GEOMAR; Abb. 3.11: DEEPOL by plainpicture/Konstantin Trubavin; S. 84/85: Tabelle nach www.oceanpanel.org/future-food-sea; Abb. 3.12: Richard Herrmann/Minden/naturepl.com; Abb. 3.13: U.S. Navy photo by Kwabena Akuamoah-Boateng, U.S. Embassy Ghana/Released; Abb. 3.14: © Global Fishing Watch; Abb. 3.15 l.: VIIRS Satellitenaufnahme von LAADS DAAC, NASA World-view; Abb. 3.15 r.: nach Urbina, 2020; Abb. 3.16: nach Macfadyen et al., 2019; Abb. 3.17: Tan Dao Duy/Getty Images; Abb. 3.18: nach Sala et al., 2018; Abb. 3.19: plainpicture/Design Pics/Remsberg Inc; Abb. 3.20: Science Museum/SSPL/Süddeutsche Zeitung Photo; Abb. 3.21: © Arno Gasteiger, www.arno.co.nz; Abb. 3.22: nach Gentry et al., 2017; Abb. 3.23: Adam Ferguson/NYT/Redux/laif; Abb. 3.24: mauritius images/Ethan Daniels/Alamy; Abb. 3.25: Ryan Ball/Moment/Getty Images; Abb. 3.26: BluePlanetArchive/Doug Perrine; S. 107: Tabelle nach www.oceanpanel.org/future-food-sea; S. 110/111: Tabelle nach www.oceanpanel.org/future-food-sea; S. 114/115: plainpicture/Thomas Ebert; Abb. 4.1: nach UNCTAD, 2020; Abb. 4.2: HHLA/Dietmar Hasenpusch; Abb. 4.3: nach Rodrigue et al., 2020; Abb. 4.4: Felix Cesare/Getty Images; Abb. 4.5: nach UNCTAD, 2020; Abb. 4.6: nach UNCTAD, 2019; Abb. 4.7: nach UNCTAD, 2020; Abb. 4.8: nach UNCTAD, 2019; Abb. 4.9: boryak/Getty Images; Abb. 4.10: nach ITF, 2020; Abb. 4.11: nach UNCTAD, 2020; Abb. 4.12: nach UNCTAD, 2020; Abb. 4.13: nach UNCTAD, 2020; Tab. 4.14: nach IEA, 2020; Abb. 4.15: Lauryn Ishak/Bloomberg/Getty Images; Abb. 4.16: nach ITF, 2020; Tab. 4.17: nach ITF, 2020; Abb. 4.18: mauritius images/Frans Lemmens/Alamy; Abb. 4.19: mauritius images/Milan Gonda/Alamy; Abb. 4.20: nach Tengelmann et al.; Abb. 4.21: nach Statista, 2020; Abb. 4.22: Alberto Bernasconi/laif; Abb. 4.23: nach Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS); Abb. 4.24: nach Jones, 2019; Abb. 4.25: Chris Shields; Abb. 4.26: nach GEF-UNDP-IMO GloFouling Partnerships, 2018; Tab. 4.27: nach GEF-UNDP-IMO GloFouling Partnerships; Abb. 4.28: Semcon; Abb. 4.29: mauritius images/Penta Springs LLP/Alamy; S. 148/149: Veronique de Viguerie/Getty Images Reportage; Abb. 5.1: nach Europäische Kommission, COM(2020) 474 final; Abb. 5.2: nach Hund et al., 2020; Abb. 5.3: nach Hund et al., 2020; Abb. 5.4: Science Photo Library/Charles D. Winters; Abb. 5.5: nach Koschinsky, Jacobs University, Bremen; Abb. 5.6: nach Hein et al.; Abb. 5.7: nach

Hein et al.; Abb. 5.8: GEOMAR; Abb. 5.9: MARUM – Center for Marine Environmental Sciences, University of Bremen (CC-BY 4.0); Abb. 5.10: nach Levin et al., 2020; Abb. 5.11: DEME Group; Abb. 5.12: Photo courtesy of SMD Soil Machine Dynamics; Abb. 5.13: Dr. Magdalini Christodoulou/Senckenberg am Meer; Abb. 5.14: imago/Bluescreen Pictures/David Shale; Abb. 5.15 o.: © Jason 2 ROV team; Abb. 5.15 u.: Alfred-Wegener-Institut/OFOS Launcher team; Abb. 5.16: © Photo courtesy British Marine Aggregate Producers Association; Abb. 5.17: Digital Globe/CSIS/Asia Maritime Transparency Initiative, <https://amti.csis.org/constructive-year-chinese-building/>; Abb. 5.18: nach Micallef et al., 2021; Abb. 5.19: Even Kleppa und Øyvind Gravås/Woldcam AS/Equinor; Abb. 5.20: Abstract Aerial Art/Getty Images; Abb. 5.21: nach OECD/IEA, 2018; Abb. 5.22: mauritius images/Science Source/U.S. Geological Survey; Abb. 5.23: maribus; Abb. 5.24: Kjetil Alsvik/Equinor; Abb. 5.25: nach IEA, 2020; Abb. 5.26: nach IEA, Annual offshore wind capacity additions by country/region, 2015–2022, IEA, Paris, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/annual-offshore-wind-capacity-additions-by-country-region-2015-2022>, 2021; Abb. 5.27: nach Rystad Energy OffshoreWind-Cube; Abb. 5.28: nach IEA, 2019; Abb. 5.29: Miguel Navarro/Getty Images; Abb. 5.30: nach IRENA, 2020; Abb. 5.31: nach IEA, 2019; Abb. 5.32: Courtesy of SIMEC Atlantis Energy; Abb. 5.33: ViewStock/Getty Images; S. 194/195: plainpicture/Hanna Orłowski; Abb. 6.1: nach UNEP, 2019; Abb. 6.2: © BBDO/WWF; Abb. 6.3: Eduardo Leal; Abb. 6.4: nach UNEP, 2019; Abb. 6.5: David Valentine/ROV Jason; Abb. 6.6: nach UNESCO und HELCOM, 2017; Abb. 6.7: nach Aus der Beek et al., 2016; Abb. 6.8: nach UNEP, 2019; Abb. 6.9: picture alliance/AP Photo/Sunday Alamba; Abb. 6.10: picture alliance/AP Images; Abb. 6.11: nach Buesseler, 2014; Abb. 6.12: nach Benitez-Nelson et al., 2018; Abb. 6.13: © Justin Hofman; Abb. 6.14: nach UNEP, 2019; Abb. 6.15: nach Rillig et al., 2021; Abb. 6.16: maribus; Abb. 6.17: Rafael Fernández Caballero; Abb. 6.18: nach Rochman und Hoellein, 2020; Abb. 6.19: nach A. J. Beck/explotec/GEOMAR; Abb. 6.20: Ulet Ifansasti/Getty Images; Tab. 6.21: nach UNEP, 2019; S. 228/229: BluePlanet Archive/Marc Chamberlain; Abb. 7.1: Science Photo Library/Russell Kightley; Abb. 7.2: maribus; Abb. 7.3: Christian & Noe Sardet/Plankton chronicles; Abb. 7.4: nach pigurdesign/www.transgen.de; Abb. 7.5: nach Blasiak et al., 2018; Abb. 7.6: nach Blasiak et al., 2018; Tab. 7.7: nach Rotter et al., 2021; Abb. 7.8: Timothy Faded/Redux/laif; Abb. 7.9: Science Photo Library/Nick Veasey; Abb. 7.10: mauritius images/Paul Glendell/Alamy; Abb. 7.11: Alejandro Cegarra; Abb. 7.12: Henrik Spohler;

Abb. 7.13: Markus Mauthe; S. 250/251: plainpicture/Design Pics/O'Neil Castro; Abb. 8.1: maribus; Abb. 8.2: mauritius images/Artokoloro/Alamy; Abb. 8.3: mauritius images/Art Collection 3/Alamy; Abb. 8.4: Jesco Denzel; Abb. 8.5: picture alliance/dpa/Ingo Wagner; Abb. 8.6: Netherlands Ministry of Defence, Bundesgesetzblatt Teil II 1963, Nr. 18 vom 25.06.1963, S. 657; Abb. 8.7: picture alliance/Associated Press/Farah Abdi Warsameh; Abb. 8.8: maribus; S. 262/263: maribus; Abb. 8.9: Science Photo Library/GSFC-SVS/NASA; Tab. 8.10: nach Mead, 2021; Abb. 8.11: Alfred-Wegener-Institut/Eva-Maria Brodte; Abb. 8.12: Norbert Enker/laif; Abb. 8.13: nach Schiermeier, 2021; Abb. 8.14: Andrew Hounslea/Getty Images; Abb. 8.15: nach Commitments Statistics, 2019 Our Ocean Conference; Abb. 8.16: Juan José Toro Letelier; Abb. 8.17: nach Action Platform for Source-to-Sea Management, 2021; Abb. 8.18: nach Mathews et al., 2019; Abb. 8.19: Chris Harley/University of British Columbia; Abb. 8.20: Chris Harley/University of British Columbia; Abb. 8.21: nach Stuchtey et al., 2020; Abb. 8.22: © Brandon Cole; Abb. 8.23: nach oceana.org/toi; Abb. 8.24: nach Perry et al., 2020; Abb. 8.25: nach The Marine Protection Atlas (Stand: Juli 2021); Abb. 8.26: Jason Gulley; Abb. 8.27, 8.28 und 8.29: nach UNEP-WCMC, 2021. Ocean+Habitats, abgerufen im Juli 2021, habitats.oceanplus.org; Abb. 8.30: nach Duarte et al., 2020; Abb. 8.31: nach Cohen-Shacham et al., 2016; Abb. 8.32: OMCAR Foundation

Impressum

Gesamtprojektleitung: Jan Lehmköster, maribus
Redaktion und Text: Sina Löschke
Lektorat: Dimitri Ladischensky, mare
Gestaltung und Satz: Anna Boucsein, mare; Andrea Best, mare
Korrektorat: Susanne Feyke
Bildredaktion: Petra Koßmann, mare; Anastasia Hermann
Grafiken: Walther-Maria Scheid
Produktion: HS Printproduktion, Holger Schmirgalski
Druck: Druckhaus Sportflieger
Papier: PrimaSet, FSC®-zertifiziert

ISBN 978-3-86648-697-3

Herausgeber: maribus gGmbH, Pickhuben 2, 20457 Hamburg

www.maribus.com

Reproduktion, Übersetzung in fremde Sprachen, Mikroverfilmung und elektronische Verarbeitung sowie jede andere Art der Wiedergabe nur mit schriftlicher Genehmigung der maribus gGmbH. Sämtliche grafischen Abbildungen im „World Ocean Review“ wurden von Walther-Maria Scheid, Berlin, exklusiv angefertigt. Im Abbildungsverzeichnis sind die ursprünglichen Quellen aufgeführt, die in einigen Fällen als Vorlage gedient haben.



In der Reihe „World Ocean Review“ bisher erschienen und über www.worldoceanreview.com kostenlos bestellbar:

WOR 1, 2010

Mit den Meeren leben – ein Zustandsbericht

WOR 2, 2013

Die Zukunft der Fische – die Fischerei der Zukunft

WOR 3, 2014

Rohstoffe aus dem Meer – Chancen und Risiken

WOR 4, 2015

Der nachhaltige Umgang mit unseren Meeren – von der Idee zur Strategie

WOR 5, 2017

Die Küsten – ein wertvoller Lebensraum unter Druck

WOR 6, 2019

Arktis und Antarktis – extrem, klimarelevant, gefährdet