

Der Ozean ist unsere Zukunft

KIELER MEERESFORSCHER AUF
ZEITREISE INS JAHR

2100



ozean der zukunft
DIE KIELER MEERESWISSENSCHAFTEN

0012

*Illustriert wurde der Band von Corinna Kraus-Naujeck und Kerstin Mempel
von der Kieler Künstlergruppe Blauschimmer.*

Der Ozean meint es gut mit uns Menschen. Er ist eine unverzichtbare Nahrungsquelle und die Klimaanlage der Erde, ermöglicht weltumspannenden Seehandel und gibt uns durch seine Schönheit Raum zur Entspannung. Und wie danken wir es ihm? Wir beuten ihn aus, vergiften ihn mit Müll und Emissionen – und interessieren uns kaum für seine Gesundheit.

Die Kieler Meeresforscher des Exzellenzclusters „Ozean der Zukunft“ sind international renommierte Wissenschaftler und stellen ihre Forschungsergebnisse normalerweise in Fachpublikationen dar, ohne dort das Schutzbedürfnis des Ozeans zu bewerten. Hier erklären sie, warum wir umdenken und zurückkehren müssen zu einem verantwortungsbewussten Umgang mit den Weltmeeren.

Die Autoren beschäftigen sich täglich mit verschiedensten Facetten der Ozeane – mit ihren Lebenswesen, der Meeresoberfläche, den Strömungen und dem Meeresboden mit seinen vielfältigen Reichtümern. Sie arbeiten an komplexen Fragestellungen, stets auf der Suche nach möglichst einfachen Antworten. Doch selbst sie müssen diese manchmal schuldig bleiben.

In „Der Ozean ist unsere Zukunft“ berichten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler leicht verständlich über ihre Forschungsgebiete und nehmen uns mit auf eine persönliche Zeitreise in die Zukunft der Ozeane im Jahr 2100. Ihre Visionen sind mal dramatisch, mal pessimistisch, manchmal auch optimistisch oder verbunden mit einem Wunsch. Ihre Blickwinkel sind so unterschiedlich wie die Farben des Meeres. Doch alle Beiträge durchzieht ein gemeinsames Bestreben: die Menschen zu motivieren, bewusster und nachhaltiger mit ihrem wertvollsten Lebensraum umzugehen.



*„Wir müssen die Ozeane ernst nehmen.
Hier entscheidet sich viel von unserer Zukunft.“*

MARTIN VISBECK

Meeresbeobachtungen im Laufe der Generationen: Ein Drama in drei Akten

Prolog: Über Jahrtausende verstanden wir Menschen die Meere als scheinbar unendlich in ihrer Fläche und Tiefe. Man konnte so viel heraus nehmen, wie man wollte und reinwerfen, was man los werden musste. Erst gegen Ende des 20sten Jahrhunderts haben wir Menschen gelernt, die Ozeane als „endlich“ zu begreifen.

Erster Akt: Mit einem leichten Klatschen erreicht die Pütz die Wasseroberfläche. Der erste Offizier, nennen wir ihn Wilhelm Heinrich, holt mit seinen kräftigen Armen Hand über Hand das Meerwasser an Deck und hält das Thermometer hinein. 18,7 Grad Celsius steht auf der Anzeige und Offizier Heinrich ist zufrieden, das Wasser wird kälter, ein sicheres Zeichen, dass Europa näher kommt und die lange Reise bald ein Ende hat. Sorgfältig trägt er die Messung in das Logbuch des P-Liners ein. Er kann nicht wissen, dass viele Jahre später Klimaforscher gerne gewusst hätten, ob die Pütz aus Metall oder Kanvas war, ob die Pütz im Wind- und Sonnenschatten an Deck geholt wurde und wie lange Offizier Heinrich gewartet hat, bis er die Temperatur abgelesen hat. Alle diese Faktoren können bedeutet haben, dass die wirkliche Meeresoberflächentemperatur 18,8 oder sogar 18,95 Grad Celsius betragen hat.

Prof. Dr. Martin Visbeck ist Sprecher des Exzellenzclusters Ozean der Zukunft, stellvertretender Direktor des Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR) und Mitglied in zahlreichen internationalen Arbeitsgruppen. Seine Forschungsschwerpunkte sind Ozeanzirkulation und Klimadynamik im Atlantik.

MEERESBEOBACHTUNGEN
IM LAUFE DER GENERATIONEN:

Ein Etmal (aus dem Mittelniederdeutschen: Etmal gleich wiederkehrende Periode) ist die von einem Schiff von Mittag zu Mittag zurückgelegte Wegstrecke. Mittag ist dabei der lokale Sonnenhöchststand (Schiffsmittag).

Offizier Heinrich prüft die Stellung der Rahsegel, rechnet im Kopf die **Etmale** der letzten Tage zusammen und ist sich recht sicher: In weniger als zwei Wochen wird man den Hamburger Hafen erreicht haben. Zur Not mit Hilfe der Dieselmotoren, denn wenn man zuerst ankommt gibt es die besten Preise für die Ladung und damit auch einen Zuschlag auf die Heuer. Für ihn sind die Ozeane der Arbeitsplatz, er mag die Weite des Meeres, das raue und wortkarge Leben auf dem Großsegler. Wilhelm Heinrich träumt davon, dass sein Sohn auch mal Offizier wird, vielleicht sogar Kapitän auf einem Walfänger. Seehandel und Fischfang sind sichere Berufe, mit denen man die Familie ernähren kann. Er träumt auch davon, seinen Enkeln Geschichten zu erzählen: Von den Strapazen bei Kap Horn, von den Delphinen und Walen in den Rossbreiten und den einzigartigen Sonnenuntergängen auf See Wilhelm konnte sich nicht vorstellen, dass Rahsegler heute nur noch im Museum oder bei kommerziellen Windjammerparaden Gäste unterhalten, dass die Erfindung von Containern den Seehandel revolutionieren würde und dass es internationale Abkommen gibt, die den Walfang weitgehend verbieten und damit versuchen, Wale vor dem Aussterben zu schützen.

Zweiter Akt: „Noch 10 Minuten bis zur Station“ krächzt es über die Bordlautsprecheranlage. Die Meeresforscherin Marna Wegner ist dankbar für die Durchsage, nicht alle Offiziere sind so achtsam und mitdenkend. Sie schaut vom Computerbildschirm auf die Navigationsanzeige: In der Tat, in zwei Seemeilen ist die nächste Station. Marna muss nun schnell die Gummistiefel anziehen, den Helm aufsetzen und die CTD, eine elektronische Messsonde, am acht Kilometer langen Draht des Forschungsschiffs METEOR, für den Einsatz vorbereiten. Es ist Marnas fünfte Forschungsreise in den Nordatlantik und sie kennt die Routine der tiefen Temperatur- und Salzgehaltmessungen bestens. Sie ist Wachführerin und hat zwei Studenten zu beaufsichtigen. Zum Glück hat der Seegang nachgelassen und alle sind wieder voll einsatzbereit. Vor ein paar Tagen hat Marna die Arbeit alleine machen müssen, die beiden Studenten waren seekrank und nicht für die

Decksarbeit zu gebrauchen. Die Messdaten werden innerhalb von Stunden per Satellitentelefon an internationale Datenzentren übertragen. Die endgültige Eichung hängt noch von den mit Wasserschöpfern genommenen Salzproben ab. Für Marna und die Ozeanographen macht es einen großen Unterschied ob der Salzgehalt 34,73 oder 34,74 beträgt. Aber das kann man noch nicht sofort sicher sagen.

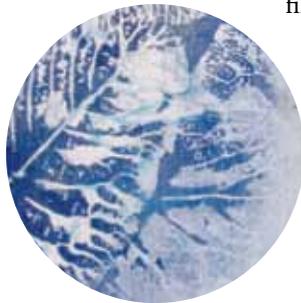
Marna steht manchmal morgens um fünf Uhr nach der Wache an der Reling und träumt. Wie schön ist doch das Meer und wieviel schöner wäre es, wenn die großen Dieselmotoren nicht ständig in Betrieb wären. Einmal nur die Geräusche des Meeres hören.

Marna weiß auch, dass sie eigentlich zu viele Monate ihres Forscherlebens auf See verbringt. Routinemessungen sind es geworden, das müssten doch Roboter viel besser können. Auf der letzten Konferenz hat sie von Instrumenten gehört, die wie ein Delphin durch das Meer pflügen und alle vier Stunden an die Oberfläche kommen und ihre Daten per Satellit ins Labor funken. Gleiter sollen die heißen. Manchmal macht sie sich schon Sorgen um ihre Zukunft. Ihr Arbeitsplatz ist durch ein Projekt finanziert, und man weiß nicht, ob es verlängert wird. Sie denkt daran, eine Familie zu gründen, wann ist dafür ein guter Zeitpunkt? Sie hat viele Fragen an die Zukunft. Eines weiß Marna allerdings sicher, sie mag das Meer und wird immer in seiner Sichtweite wohnen. Sie erinnert sich gerne an die Geschichten von Opa Wilhelm. Von fernen Ländern, Meeresungeheuern und Menschenfressern hat er erzählt. Nur eines mochte Marna nicht: Wenn Opa ihr versichern wollte, dass Frauen auf Schiffen Unglück bringen ... „Papperlapapp“ entgegnete sie dann Marna wünscht sich für ihre Enkelkinder, dass sie das schöne Meer noch erleben können, am Strand spazieren gehen und die frische Seeluft tief einatmen ... aber sicher ist sie sich auch darin nicht.



MEERESBEOBACHTUNGEN
IM LAUFE DER GENERATIONEN:

Der Wirkungsgrad macht eine Aussage über die Effizienz einer Energiewandlung einer technischen Anlage. Heute haben Kraftwerke einen Wirkungsgrad von etwa 40 Prozent, Elektromotoren erreichen rund 80 Prozent.



Dritter Akt: Vor der dicken Glasscheibe schwimmt ein überdimensionaler Zackenbarsch. Luiz sieht ihn aus dem Augenwinkel, würdigt ihn aber keines Blickes. Die sind immer dort unterwegs und Teil der neuen Unterwasserforschungsstation Delta-7. Der Zackenbarsch wurde vor zwei Wochen mit neuen Chemikalien befüllt und auch die Amöbenkultur in dem Bioreaktor musste gewechselt werden. 2.000 Stunden hatte der Hersteller versprochen, aber nach 1.200 Stunden war der **Wirkungsgrad** einfach unakzeptabel. Luiz und sein Team wohnen schon seit zwei Monaten in Delta-7. Sie experimentieren mit einem künstlichen Zackenbarschschwarm, der es den Forschern erlaubt, die Küstenmeere ständig zu überwachen. „Früher“, so erinnert sich Luiz, „waren Roboter im Wesentlichen aus Metall gebaut, starr, unflexibel und unendlich verschwenderisch“. Die Zackenbarsche haben Bioreaktoren zur Energiegewinnung und künstliche Muskelfasern für den Antrieb. „Propeller brauchen wir nicht mehr, zu klobig, zu laut und zu ineffizient“.

Die Forscher leben unter der Meeresoberfläche in der modularen Delta-7 Station. Die Energie, Nährstoffe und Atemluft werden aus dem Meer gewonnen. Luiz träumt nach der Arbeit von seiner Familie. Zwei Kinder hat er, mehr ist nicht möglich, und sie leben 2.000 Kilometer entfernt von Delta-7. Der nahe Strand ist ohne Schutzanzug nicht zu betreten, giftige Substanzen als Abfallprodukt der Meeresenergieanlage haben sich hier eingenistet. Luiz findet das nicht so schlimm. Immerhin erzeugt das Gebiet um Delta-7 15 Prozent des Weltenergiebedarfs und ermöglicht seiner Familie im Hinterland ein gutes Leben. Er kann jederzeit mit ihnen kommunizieren über die neue 3D-Brille. Nur das Tastmodul findet er nicht so gelungen: „Zu wenig Dynamik – wenn ich meine Tochter damit kitzeln möchte, lacht sie. Nicht über den Nervenreiz sondern den halbherzigen Versuch.“

„Ich finde es toll, dass wir heute das Meer überall beobachten und alle Veränderungen sofort registrieren können“, schwärmt er. Aber manchmal erinnert er sich noch an die Geschichten seiner Großmutter Marna, die von Möwengekreische im Hafen berichtete, von abendlichen Nacktbaden am Strand im Schutze der Dunkelheit und wenn man Glück hatte, leuchteten die Meeresplankter bei Neumond. „Wir haben

ein gutes Leben“, sagt Luiz und ist froh, dass die großen Unruhen der Generation seiner Eltern vorbei sind. „Man hätte früher mehr an Gerechtigkeit und weniger an Eigennutz denken sollen“, philosophiert er, „dann wäre die Umstellung auf eine nachhaltige Gesellschaft nicht so blutig verlaufen.“ Aber das ist Geschichte.

Heute haben wir verstanden, die Meere und den Planeten besser zu nutzen und nicht mehr zu nehmen als zu geben. Ich wünsche mir für meine Enkelkinder, dass sie das Meer so lieben wie ich und vielleicht eines Tages wieder am Strand spazieren gehen können. Der Schwarm der künstlichen Zackenbarsche soll mit seinen Sensoren alle Veränderungen erspüren und rechtzeitig Informationen an die Manager der Küstenmeere weiterleiten. Im offenen Ozean sind Schwärme von größeren Robotern unterwegs. Sie nutzen den Temperaturunterschied zwischen den warmen Oberflächenwassern und der kalten **Tiefsee**, um Energie für ihre Mission zu gewinnen. Biologische Reaktoren und sich selber regenerierende Sensoren haben sie noch nicht. „Das“, so schwärmt Luiz, „ist die zweite große Innovation unserer Zackenbarsche“.

Epilog: Die Meere sind ein zentraler Teil der Umwelt, des menschlichen Lebensraums, vielleicht sogar der wichtigste. Sie versorgen unsere Atmosphäre mit Sauerstoff und sind Transportwege für den Welthandel. Die Ozeane beherbergen das größte zusammenhängende Ökosystem auf der Erde, produzieren Nahrung und nehmen unsere „Abfälle“ auf. Unsere Generation steht vor der Herausforderung, die Entwicklung des Nutzens von ozeanischen Ressourcen so zu gestalten, dass eine nachhaltige Entwicklung im Vordergrund steht. Wir haben es in der Hand, die Menge von überschüssigen Nährstoffen in Abwässern und Flüssen zu minimieren, Plastikmüll nicht in das Meer zu werfen, und Klimagase wie CO₂ oder Ölabbfälle und radioaktive Stoffe nicht achtlos in die Meere zu entlassen. Gemeinsam können wir den Ozean der Zukunft auch für die nachfolgenden Generationen als schön und nützlich erhalten und dessen Gefahren für uns Menschen minimieren.



Die Tiefsee ist der Bereich der Meeres unterhalb von 800 Metern Wassertiefe, in den kein Licht mehr eindringt. Unter etwa 70 Prozent der Meeresoberfläche befindet sich Tiefsee. Von dieser Fläche ist nur etwa 1 Prozent erforscht.

*„Die Tiefsee ist der letzte
große unerforschte Bereich unseres Planeten.“*

SVEN PETERSEN

Auf Schatzsuche in der Tiefsee

SVEN PETERSEN

Die Tiefsee ist der letzte große unerforschte Bereich unseres Planeten und für den Menschen nur mit großem Aufwand zu erreichen. Und doch hat sich in den letzten Jahren das Interesse einer Nutzung der Tiefsee als mögliche Rohstoffquelle stark erhöht. Dabei stehen in erster Linie drei mineralische Rohstoffe im Vordergrund: die Manganknollen in den Tiefseeebenen, kobaltreiche Mangankrusten an den Hängen erloschener Vulkane und Massivsulfide entlang von Spreizungszentren, wo neuer Meeresboden gebildet wird.

Unser Wissen um solche Rohstoffe ist nicht neu. Erste Manganknollen wurden bereits auf der **Challenger-Expedition** von 1872 bis 1876 im zentralen Atlantik geborgen, ihre Bedeutung aber damals nicht erkannt. Die Manganknollen sind kartoffel- bis salatkopf-große Klumpen und bedecken als lose Ansammlung riesige Teile der Tiefseeebenen. Sie bestehen hauptsächlich aus Mangan, Eisen und Silizium. Die Metalle stammen aus dem Meerwasser und den Sedimenten. Pro Millionen Jahre wachsen die Knollen nur wenige Millimeter an, sind also nicht gerade ein nachwachsender Rohstoff. Die höchsten Knollendichten finden sich vor der Westküste Mexikos. Aber auch andere Bereiche des Pazifiks sowie in geringem Maße auch des Indiks und Atlantiks weisen hohe Belegungsdichten an diesen Knollen auf. Interessant für die Wirtschaft ist allerdings nicht das Mangan wie der Name vermuten lassen könnte. Davon gibt es auf Jahrzehnte hinaus genug Vorkommen an Land. Von Bedeutung sind vielmehr die Elemente Kupfer, Nickel und insbesondere Kobalt, die zusammen in einer Konzentration bis etwa drei Gewichtsprozent in den Knollen

Dr. Sven Petersen ist Mineraloge am GEOMAR. Er beschäftigt sich mit der Mineralogie und Geochemie mariner Sulfide, mit toxischen Metallen in der marinen Umwelt und heißen Unterwasserquellen. Desweiteren erforscht Petersen mit ferngesteuerten und autonomen Unterwasserfahrzeugen die Bildung von Rohstoffen am Meeresboden.

Die Challenger-Expedition war eine dreieinhalbjährige britische Forschungsreise, die von der Korvette HMS Challenger unternommen wurde und wichtige Aufschlüsse über die Beschaffenheit des Meeresbodens und der Lage von Inseln gegeben hat.

AUF SCHATZSUCHE

Mangan wird in der Stahlindustrie genutzt. Es entzieht dem Stahl Sauerstoff und Schwefel und wirkt härtend. Mangan wird zudem in Alkali-Mangan-Batterien eingesetzt.

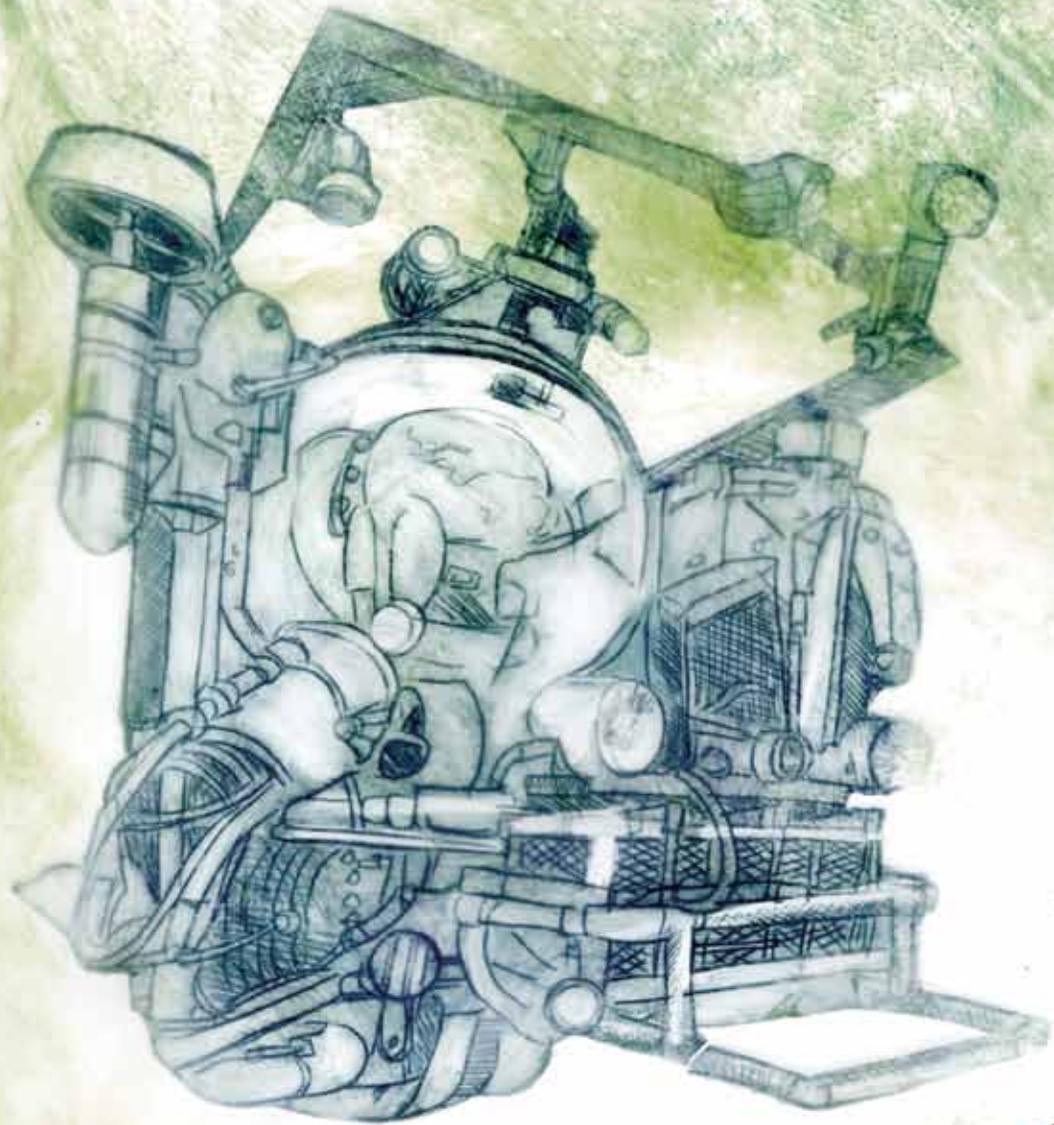
auftreten. Hinzu kommen noch Spuren anderer Metalle wie Molybdän und Lithium sowie Metalle der Seltenen Erden, die für viele Schlüsseltechnologien benötigt werden. Nach dem Erstfund der **Manganknollen** war es lange Zeit ruhig. Erst in den 1960er und 1970er Jahren erinnerte man sich wieder an diese kartoffelförmigen Gebilde vom Meeresboden. Zu dieser Zeit ging man von einer kurz bevorstehenden globalen Rohstoffkrise aus, die sich nicht zuletzt in den Aussagen des Club of Rome widerspiegelt. Diese Gruppe von Politikern, Wissenschaftlern und Wirtschaftsexperten sagte eine unmittelbar bevorstehende Rohstoffverknappung und einen dramatischen Anstieg der Rohstoffpreise voraus. Daraufhin suchten einzelne Länder und mehrere Firmenkonsortien nicht nur an Land, sondern auch im marinen Bereich intensiv nach Rohstoffen. In der Tiefsee wurde dabei mit hohem zeitlichen und finanziellen Aufwand insbesondere die Manganknolle auf eine zukünftige Nutzung als Rohstoff untersucht und Techniken entwickelt, um sie zu nutzen. Doch die Vorhersagen des Club of Rome traten nicht ein. Erfolge in der Suche und Erkundung von Metallen an Land entspannten die Märkte, und so schlofen die marinen Aktivitäten wieder ein. In den Folgejahren wurden dafür aber andere potenzielle Rohstoffe in der Tiefsee entdeckt und wissenschaftlich untersucht. Dazu gehören die Metallvorkommen, die an sogenannte Schwarze Raucher gebunden sind sowie die kobaltreichen Mangankrusten an untermeerischen Vulkanhängen des West Pazifiks. Erst durch die enormen Preissteigerungen der letzten Jahre, ausgelöst durch den Rohstoffhunger von Ländern wie China, Indien, Brasilien, Indonesien und anderen, stehen marine Rohstoffe jetzt wieder verstärkt im Interesse von Politik und Wirtschaft.

Mangankrusten entwickeln sich auf allen sedimentfreien Gesteinsoberflächen unter Wasser. Wie bei den Manganknollen stammen die Metalle auch hier aus dem Umgebungswasser, allerdings enthalten die Krusten dreimal mehr Kobalt, zehnmal mehr Tellur und dreimal mehr Seltene Erden als Manganknollen. Die geringe Wachstumsgeschwindigkeit ist mit der von Manganknollen vergleichbar und führt dazu, dass nur alte, inaktive Vulkane dickere Krusten aufweisen. Die bedeutendsten Krusten finden sich in Wassertiefen von

800 bis 2.500 Metern an den Flanken submariner Vulkane des Westpazifiks, wo sie große Flächen des Meeresbodens bedecken. Stellt man sich einmal eine vulkanische Landschaft unter Wasser vor, werden einem die potenziellen Schwierigkeiten für einen möglichen Abbau dieser Vorkommen deutlich. Das zerklüftete Gelände stellt besondere Ansprüche an die Abbautechnik. So verwundert es nicht, dass für den Krusten-Abbau bislang erst Konzeptstudien vorliegen.

Eine der überraschendsten Entdeckungen in der Tiefsee der letzten Jahrzehnte war die Beobachtung von heißen Quellen am Meeresboden, an denen sich ein nicht für möglich gehaltener Lebensraum unabhängig vom Sonnenlicht etabliert hat. Diese heißen Quellen bilden sich an submarinen Plattengrenzen, wo durch das Zusammenwirken von vulkanischer Aktivität und Meerwasser ein Wärme- und Stoffaustausch zwischen den Gesteinen der Erdkruste und dem Ozean stattfindet. An diesen „Oasen der Tiefsee“, wie sie auch genannt werden, existieren Mikroorganismen von den chemischen Stoffen, die an „Schwarzen Rauchern“ mit Temperaturen von bis zu 400 Grad Celsius ins Meerwasser abgegeben werden. Die Mikroben verarbeiten zum Beispiel Schwefelwasserstoff und dienen als Grundlage für endemische (also nur an diesem Ort vorkommende) Lebensgemeinschaften. Der schwarze „Rauch“, der sich beim Zusammentreffen von heißen Lösungen und kaltem Meerwasser bildet, besteht aus metallhaltigen Schwefelverbindungen, die sich auch zu schlotartigen Strukturen sowie ganzen Hügeln auftürmen können. Zu den Metallen, die solche Hügel aufbauen, gehören neben Eisen auch Kupfer und Zink sowie die Edelmetalle Gold und Silber. Anreicherungen dieser Elemente in einigen Vorkommen haben dabei das Interesse der Wirtschaft geweckt. Während Eisen wirtschaftlich nicht interessant ist, da es an Land riesige Vorkommen mit hohen Konzentrationen gibt, die einfach und billig abgebaut werden, sind die Kupfer-, Zink- und Goldgehalte einiger dieser marinen Vorkommen durchaus von Bedeutung. Inzwischen sind global





mehr als 250 Vorkommen in Wassertiefen bis zu 5.000 Metern bekannt. Die meisten Vorkommen messen jedoch nur wenige Zehner-Meter im Durchmesser und enthalten kaum nennenswerte Mengen an Metall. Deshalb sind bisher nur wenige Metallvorkommen bekannt, die aufgrund ihrer Größe und Beschaffenheit wirtschaftlich interessant sind. Die Massenrohstoffe Manganknollen und Kobaltkrusten stehen zur Zeit aus wirtschaftlichen und technischen Gründen sowie wegen der Auswirkungen des Abbaus auf die Umwelt nicht vor einem Abbau, obwohl deren Tonnagen an Kupfer, Kobalt und Nickel durchaus mit denen der Landvorkommen vergleichbar sind. Es sind vor allem wirtschaftspolitische Überlegungen der Industrie- und Schwellenländer zur Rohstoffsicherung, welche die derzeitige Untersuchung dieser Vorkommen trotzdem vorantreiben. Anders sieht es bei den sogenannten Massivsulfiden aus. Diese kleinen, aber metallreichen Vorkommen stehen kurz vor einem Abbau. Gerade hier ist aber aufgrund der begrenzten bekannten Erzmengen nicht davon auszugehen, dass der marine Bergbau einen entscheidenden Einfluss auf die weltweite Rohstoffversorgung der Menschheit hat. Der Bedarf an Rohstoffen wird aber auch in den Industrienationen weiter zunehmen. Das liegt zum Beispiel auch an neuen Technologien. So benötigt man für Elektrofahrzeuge im Vergleich zu benzingetriebenen Autos pro Fahrzeug rund die dreifache Menge Kupfer. Langfristig wird das zu einem marinen Abbau von Manganknollen und Kobaltkrusten führen. Es ist davon auszugehen, dass im Jahr 2100 Schiffe als Förderungsplattformen auf der hohen See unterwegs sein werden, um Metalle aus der Tiefsee zu fördern. Allerdings wird dies nicht zu einer Reduzierung oder gar einer Ablösung des Bergbaus an Land führen, da ein weiter steigender Bedarf an Metallen zu decken ist. Weite Bereiche des Meeresbodens sind zu diesem Zeitpunkt durch nationale und internationale **Schutzgebiete** von einem Abbau freigehalten, um den Arten ein Überleben zu sichern. Auch im direkten Umfeld von Abbaugebieten sind Schutzzonen errichtet, um eine Wiederbesiedlung zum Beispiel an den heißen Quellen durch benachbarte Standorte möglich zu machen.



Die Ausweisung von internationalen Schutzgebieten im Meer wird derzeit weltweit diskutiert, um Meeresgebiete mit biologischen oder geologischen Besonderheiten vor der Fischerei, der Exploration und jeglicher anderer Nutzung zu schützen.

Der Ozean am Scheideweg: Wo wollen wir hin?

MOJIB LATIF

Die Meere ächzen. Wir Menschen bürden ihnen immer mehr Lasten auf. Die Ozeane leiden unter dem Klimawandel, wir beuten sie aus und benutzen sie auch noch als Müllkippe. Egal ob Öl, Gifte, Plastik, Kunstdünger oder Abwässer, „immer rein ins Meer“. So lautet unser gegenwärtiges Motto. Das Meer erscheint eben unermesslich groß. Was kann das bisschen Abfall schon anrichten? Es wird schon damit fertig werden! Seine Hilferufe hören wir nicht. Das können wir auch gar nicht. Das Meer macht sich nicht durch Geräusche bemerkbar. Nein, es akkumuliert unsere Sünden. Langsam, kaum wahrnehmbar, ändern sich Temperatur, Salzgehalt, chemische und biologische Eigenschaften der Ozeane. Es ändern sich ganze Ökosysteme. Und es ändert sich höchstwahrscheinlich Vieles, von dem wir heute noch keine Kenntnis haben. Die Messungen sprechen eine eindeutige Sprache: Sie zeigen einen Ozeanwandel an. Diese Sprache sollten wir schleunigst verstehen lernen, denn es steht nicht weniger als das Wohlergehen der Menschheit auf dem Spiel.

Wir stehen am Scheideweg. Schaffen wir es, die Meere zu schützen, oder sind wir lernunfähig? Wir Menschen verfeuern beispielsweise gewaltige Mengen Öl, Kohle und Erdgas zur Energiegewinnung. Dadurch entweicht das Klimagas Kohlendioxid (CO₂) in die Atmosphäre. Seit Beginn der Industrialisierung ist sein Gehalt um sage und schreibe 40 Prozent gestiegen. Besserung ist nicht in Sicht: Die alljährlichen Klimakonferenzen

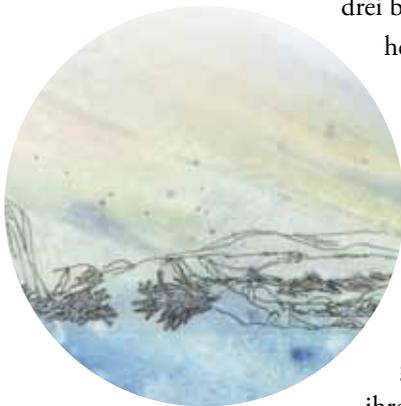
Prof. Dr. Mojib Latif ist Klimaforscher und Leiter des Forschungsbereichs „Ozeanzirkulation und Klimadynamik“ am GEOMAR und Mitglied in zahlreichen internationalen Arbeitsgruppen. Seine Forschungsgebiete sind die Vorhersagbarkeit natürlicher Klimaschwankungen und der Einfluss von uns Menschen auf das Klima. Latif versucht immer wieder, die breite Öffentlichkeit zu informieren und dazu zu bewegen, aktiv dem Klimawandel entgegen zu treten.

DER OZEAN AM SCHEIDEWEG:

Treibhausgase sind Bestandteile der Atmosphäre, die Strahlung absorbieren und zum Treibhauseffekt beitragen. Sie können natürlichen oder anthropogenen Ursprungs sein.

scheitern mit großer Regelmäßigkeit. Kohlendioxid erwärmt die Erdoberfläche, die unteren Luftschichten und das Meer. Dieser Treibhauseffekt ist an sich ein völlig normaler Vorgang und einer der Garanten für die optimalen Lebensbedingungen auf der Erde. Gäbe es die **Treibhausgase** wie Wasserdampf, Methan oder eben Kohlendioxid in der Luft nicht, wäre die Erde eine Eiswüste, mit Temperaturen auf seiner Oberfläche weit unter dem Gefrierpunkt. Aber, mehr Kohlendioxid in der Atmosphäre verstärkt den Treibhauseffekt und lässt die Temperatur zwangsläufig steigen. Die Durchschnittstemperatur der Erde hat sich während des 20. Jahrhunderts bereits um 0,7 Grad Celsius erhöht, eine in der Rückschau der letzten Jahrtausende außergewöhnlich schnelle Änderung.

Die Auswirkungen dieser geradezu harmlos erscheinenden Erderwärmung von nicht einmal einem Grad sind unübersehbar: Fast alle Gletscher der Welt befinden sich in einer rapiden Rückzugsbewegung, die arktische Eisbedeckung hat sich allein während der letzten 30 Jahre um etwa 30 Prozent verringert und der Meeresspiegel ist während des 20. Jahrhunderts im weltweiten Durchschnitt um knapp 20 Zentimeter gestiegen. Die Erde würde sich ohne verbindliche Maßnahmen zum Klimaschutz vermutlich um weitere drei bis vier Grad Celsius bis zum Ende des Jahrhunderts erwärmen, ein in der Menschheitsgeschichte in Ausmaß und Geschwindigkeit einmaliger Temperaturanstieg.



Die Meere haben den Klimawandel bisher abgefedert und uns damit einen großen Gefallen getan. Sie haben fast die Hälfte des Kohlendioxids geschluckt, das wir infolge der Verbrennung der fossilen Brennstoffe seit dem Beginn der Industrialisierung in die Luft geblasen haben. Und der Ozean hat dazu einen beträchtlichen Teil, der durch das Mehr an Treibhausgasen in der Atmosphäre erzeugten Wärme, aufgenommen. Deswegen ist die Erderwärmung noch vergleichsweise gering. Gut für die Menschheit! Oder etwa doch nicht? Noch erfüllen die Meere ihre Pflicht und helfen uns, die vielen Sünden zu kaschieren. Aber wie lange noch?



Der Club of Rome hat vor nunmehr fast 40 Jahren in seinem Bericht „Die Grenzen des Wachstums“ darauf hingewiesen, dass ein ungebremster Ressourcenverbrauch die Menschheit in eine tiefe Krise stürzen wird. Dabei werden sich die Verhältnisse zunächst allmählich ändern; so wie wir es derzeit in den Meeren beobachten. Allerdings zeigte sich in den damaligen Modellrechnungen auch, dass Systeme, seien sie ökonomischer oder biologischer Natur, innerhalb kürzester Zeit und praktisch ohne Vorwarnung kippen können, mit dramatischen Folgen für die Menschheit. Die Erwärmung der Meere setzt die marinen Ökosysteme unter einen enormen Anpassungsdruck. Viele marine Organismen besitzen keine große Temperaturtoleranz. Zu ihnen gehören einige tropische Korallenarten, die im Falle einer Erwärmung von deutlich mehr als einem Grad nach heutigem Kenntnisstand dem Tode geweiht wären, und mit ihnen das einzigartige sie umgebende und von ihnen abhängige Ökosystem. Im schlimmsten Fall würden sich die tropischen Ozeane nach Klimamodellrechnungen bis zum Ende des Jahrhunderts um mehr als zwei Grad erwärmen – das Aus für vermutlich alle tropischen Korallen.

Gleichzeitig führt die Kohlendioxidaufnahme zu einer Versauerung der Meere. Diese ist bereits weltweit messbar und betrifft zurzeit hauptsächlich die polaren Gewässer. Der Grund: Die Löslichkeit für Kohlendioxid ist umso höher je kälter das Wasser ist. Neben der Erwärmung ist die Meeresversauerung ein weiterer **Stressfaktor** für die Meere im Zusammenhang mit dem globalen Klimawandel. Die Versauerung kann bis zum Ende des Jahrhunderts ein Ausmaß erreichen, das es seit Millionen von Jahren nicht mehr gegeben hat. Dazu kommen noch weitere Stressfaktoren, wie die schleichende Vergiftung der Meere durch die zahlreichen von uns in Kauf genommenen Einleitungen. Die spektakulären Ölunfälle, wie der im Golf von Mexiko und auch die atomare Verseuchung des Pazifiks infolge der Reaktorkatastrophe von Fukushima sind nur die Spitze des Eisbergs. Wie genau die Meere auf den globalen Wandel reagieren weiß niemand. Unser Wissen über die Meere gibt jedoch Anlass zu Sorge.

WO WOLLEN WIR HIN?

Stress ist eine psychische und physische Reaktion bei Lebewesen, die durch spezifische äußere Reize ausgelöst wird und zur Bewältigung besonderer Anforderungen befähigt. In der Evolution hat Stress die Auswirkung, dass Belastungen besser ertragen werden können.

DER OZEAN AM SCHEIDEWEG:

Auf internationalen Konferenzen (Rio, Kyoto) versucht man, den anthropogenen Ausstoß von CO₂ und anderen Treibhausgasen verbindlich zu regeln. Die Länder setzen diese Regeln in Klimaschutzziele um. So will Deutschland zum Beispiel seinen Ausstoß an Treibhausgasen bis 2020 um 40 Prozent gegenüber den Werten von 1990 reduzieren.

Nach heutigem Ermessen werden die Meere nicht in der Lage sein, sich ohne schwere Schäden anzupassen, sollten wir sie immer mehr belasten. Die Folgen sind zwar nur schwer zu berechnen, können aber durchaus katastrophal sein. So könnte sich die Effizienz der Kohlendioxidsenke Meer verringern, was eine Beschleunigung der globalen Erwärmung zur Folge hätte. Noch stärkere Reduktionen des Kohlendioxidausstoßes wären in diesem Fall notwendig, um ein bestimmtes **Klimaschutzziel** zu erreichen. Außerdem könnte die ohnehin nicht nachhaltig genutzte Nahrungsquelle Meer – das Problem der Überfischung ist hinlänglich bekannt – schweren Schaden nehmen, was den Hunger auf der Welt dramatisch verschärfen würde. Und genau deswegen sollten wir unser Experiment mit der Erde nicht zu lange fortsetzen, auch wenn wir nicht im Besitz sicherer Erkenntnisse sind. Absolute Sicherheit kann es in der Wissenschaft nicht geben. Die begründete Annahme, dass wir uns auf einem schlechten Weg befinden, sollte Grund genug dafür sein, ihn so schnell wie möglich zu verlassen.

Die Möglichkeiten dazu sind vielfältig. Sonne und Wind beispielsweise sind praktisch unbegrenzte Energiequellen. Ihre Energie reicht aus, das Meer mit seinem unfassbar großen Wasserkörper spielend in Bewegung zu setzen. Wir sollten diese Potenziale nutzen. Wir Menschen sollten von der Natur lernen. Die Photosynthese etwa zeigt uns, wie man aus der Sonnenenergie Wachstum generiert. Warum sollte dieses Prinzip nicht auch auf die Ökonomie übertragbar sein? Umweltschutz bietet eben auch eine gute ökonomische Perspektive. Wir werden neue Wege einschlagen müssen. Das wird die Meere schützen und vor allem uns Menschen.



Meine Vision für den Ozean 2100 ist, dass wir aufhören die Ozeane weiter zu belasten. Sie verdienen den höchsten Respekt. Grundlage unserer Energieversorgung werden Sonne, Wind und Erdwärme bilden. Sie bieten uns eine langfristige Perspektive, alle Menschen mit bezahlbarer und vor allem sauberer Energie zu versorgen. Der weltweite Kohlendioxidausstoß verringerte sich erheblich, die globale Erwärmung könnte noch auf einem ungefährlichem Niveau stabilisiert und die Versauerung der Meere spürbar verlangsamt werden. Keine Ölfunde mehr, keine Suche nach Öl in der Arktis oder anderen schützenswerten Gebieten. Wir benötigen auch keine Atomkraft, denn wir hätten Energie im Überfluss. Und die Luftqualität verbesserte sich in vielen Ballungszentren erheblich. Keine Rauchfahnen mehr. Kurzum die Lebensqualität auf der Erde stiege wieder.

Allein die Umstellung unserer Energieversorgung auf die regenerativen Energien würde die Meere erheblich entlasten. Wenn wir dann noch einsehen, dass der Mensch den Ozean benötigt, wir ihn nutzen, ohne ihm zu schaden, werden die Meere weiterhin unser Partner sein. Der Ozean wird uns weiterhin in ausreichendem Maß Nahrung liefern. Wir werden die Artenvielfalt erhalten und uns weiterhin am Anblick der Meere erfreuen können. Sie werden nicht zu einer stinkenden Brühe. Die Ozeane werden der Diamant bleiben, den man vom Weltall aus bewundern kann.



„Korallenriffe sind Oasen der Biodiversität im Meer.“

WOLF-CHRISTIAN DULLO

Korallenriffe: Blumengärten der Meere

WOLF-CHRISTIAN DULLO

Korallenriffe sind Oasen der Biodiversität im Meer. Die wunderbare Farbigkeit der Riffbaumeister und ihrer Bewohner hat die Menschen seit jeher angezogen und war, neben dem allgemein erwachenden Interesse an der Vielfalt der Natur, sicherlich auch ein Grund dafür, dass Korallen zu begehrten Objekten für die Naturalienkabinette des ausgehenden 17. und des 18. Jahrhunderts avancierten. Vielfach wurden die Korallen aufgrund ihrer Gestalt als blühende Pflanzen angesprochen und Carl Benjamin Klunzinger betitelte seine Monographie (1877) über die Steinkorallen des Roten Meeres zu Recht als „Abhandlung über die Blumenthiere“. Niemand, der die Farbigkeit eines tropischen Korallenriffes selbst unter Wasser erlebt hat, kann sich der Faszination dieses wohl kompliziertesten marinen Ökosystems entziehen. Und dies obwohl der Mensch erst im 20. Jahrhundert technisch dazu in die Lage versetzt wurde, sich längere Zeit in diesem Lebensraum aufzuhalten.

Das Ökosystem Riff hat eine lange erdgeschichtliche Vergangenheit und hat im Laufe seiner Entwicklung vielfältige Veränderungen durch die Evolution, der am Aufbau beteiligten Organismen, vollzogen. Am Beginn standen Organismenvergesellschaftungen aus Algen und Bakterien, denen später kalkige und kieselige Schwämme sowie Korallen folgten, die anfangs nur entfernt mit unseren heute lebenden Steinkorallen verwandt waren. Gleichwohl haben diese frühen

Prof. Dr. Wolf-Christian Dullo ist Leiter der Forschungseinheit „Paläo-Ozeanographie“ des GEOMAR. Seine Forschungsinteressen gelten dem Klima und dem Zustand der Ozeane im Laufe der Erdgeschichte. Dafür analysiert Dullo Riffkalke und zieht Rückschlüsse über weltweite Meeresspiegelschwankungen und Klimaveränderungen.



KORALLENRIFFE:

Riffbaumeister bereits mächtige Kalkablagerungen geschaffen, deren Zeugnisse wir heute vielfach an Land aufgeschlossen finden. Die heutigen Rifff Korallen erscheinen zu Beginn des Erdmittelalters (Trias) vor etwa 250 Millionen Jahren und besitzen – im Unterschied zu ihren Vorläufern – Zooxanthellen. Das sind kleine Algen, die im Korallengewebe symbiotisch leben und durch ihre Photosynthese der Koralle Energie zuführen. Im Gegenzug bietet die Koralle den Algen Schutz. Diese modernen Steinkorallen haben die mächtigen Karbonate der nördlichen Kalkalpen und der Dolomiten gebildet, als diese Region noch vom Meer bedeckt war. Die enge Beziehung zwischen den geologischen Erscheinungen der Kalkgebirge und den Korallenriffen hat dazu geführt, dass Geologen statt wie sonst üblich mit dem Hammer in das Gelände, mit Taucherbrille, Schnorchel oder Tauchgerät in die faszinierende und bunte Unterwasserwelt vordrangen, um mehr über die Entstehung und den Aufbau der Riffe zu lernen.

Das Ökosystem ist der räumliche Teil der Biosphäre, in der Lebewesen und der Lebensraum in Wechselwirkung zueinander stehen.

Es ist etwas ganz anderes, sich selbst als „Fisch“ in diesem **Ökosystem** aufzuhalten; es dauert bis man mit dieser ganz anderen Welt vertraut wird, vor allem, wenn man mit Atemgerät in die größeren Tiefen vordringt, in denen die Farbigekeit des Flachwassers bald durch die unterschiedlichsten Blautöne abgelöst wird. Es bleibt ein beeindruckendes Phänomen, dass die Farbe Rot bereits in den obersten Metern physiologisch nicht mehr wahrnehmbar ist, gleichzeitig aber viele Fische und auch Korallen in weit größeren Wassertiefen rote Farben besitzen. Die große Lichtdurchlässigkeit des Wassers um die tropischen Korallenriffe ist eine andere Besonderheit, die jeden Besucher fasziniert. Das Tageslicht ist um die Mittagszeit bei ruhiger See selbst im Tauchboot noch in 350 Meter Tiefe als ganz schwaches Dämmerlicht wahrnehmbar. Im flacheren Wasser ist es bei absolut ruhiger See bis circa 160 Meter Tiefe sogar möglich, die Sonne noch als Scheibe zu sehen. Tropische Korallenriffe wachsen vor allem in jenen Regionen, die durch sehr geringe Nährstoffgehalte des Wassers gekennzeichnet sind, wie sie dominant an den Ostküsten unserer Kontinente vorherrschen.



Steinkorallen sind aber nicht auf die tropischen Flachwasserregionen beschränkt. Fischer mit tiefgehenden Netzen haben schon im 18. Jahrhundert entsprechende Funde vor Norwegen gemacht. Lange war man der Ansicht, dass diese Funde nur aus dünnen Besiedlungen des Meeresbodens stammen können und nicht aus Riffen. Die sprunghaft angestiegene Vielfalt und Verbesserung des meereswissenschaftlichen Beobachtungsinstrumentariums hat aber die zunächst vollkommen überraschende Einsicht gebracht, dass diese Tief- oder Kaltwasserkorallen ebenso herrlich vielfältige aber auch bunte Riffe bauen. Die lebhafte Farbigekeit ist das Erstaunlichste, denn diese kann in den Tiefen, in denen die Kaltwasserkorallen leben, von Organismen gar nicht wahrgenommen werden.

In beiden Riffsystemen leben zahlreiche Riffbewohner, und die kleineren Fische haben hier hervorragende Verstecke. Nicht zuletzt wird der Lebensraum Riff auch als die Kinderstube der Fische bezeichnet. Übermäßiger Fischfang, gerade um und über den Kaltwasserkorallenriffen, hat bereits zu einer erheblichen Schädigung dieser hoch empfindlichen Ökosysteme geführt. Ihre tropisch flachmarinen „Vettern“ sind ebenso durch den Fischfang bedroht, hier insbesondere durch den Zierfischfang für die Aquarien. In Indonesien sind bereits riesige Areale tot, da auch die Steinkorallen und die bunten Schnecken und Muscheln der Sammelleidenschaft von Menschen zum Opfer gefallen sind. Die unmittelbar größten Gefahren für Korallen sind der Fischfang, durch den beide Riffotypen zerstört werden, sowie für die tropischen Riffe der ungebremste **Tourismus**. Daneben leiden Korallen auch unter dem globalen Wandel durch Klimaerwärmung – für Korallen sowohl des Kaltwasserbereichs als auch des warmen tropischen Flachmeeres darf die Temperatur nicht weiter ansteigen – und durch Ozeanversauerung. Korallen und alle kalkabscheidenden Organismen werden dadurch in ihrer Kalkproduktion erheblich eingeschränkt. Die wundervollen Saumriffe um die Hauptinsel der Seychellen sind längst nicht mehr existent und wenn der eingangs zitierte Arzt und Zoologe Klunzinger heute an das Rote

Der Tauchtourismus schädigt die empfindlichen Riffe durch Ankern, Trophäenjäger oder auch Unachtsamkeit der Taucher.

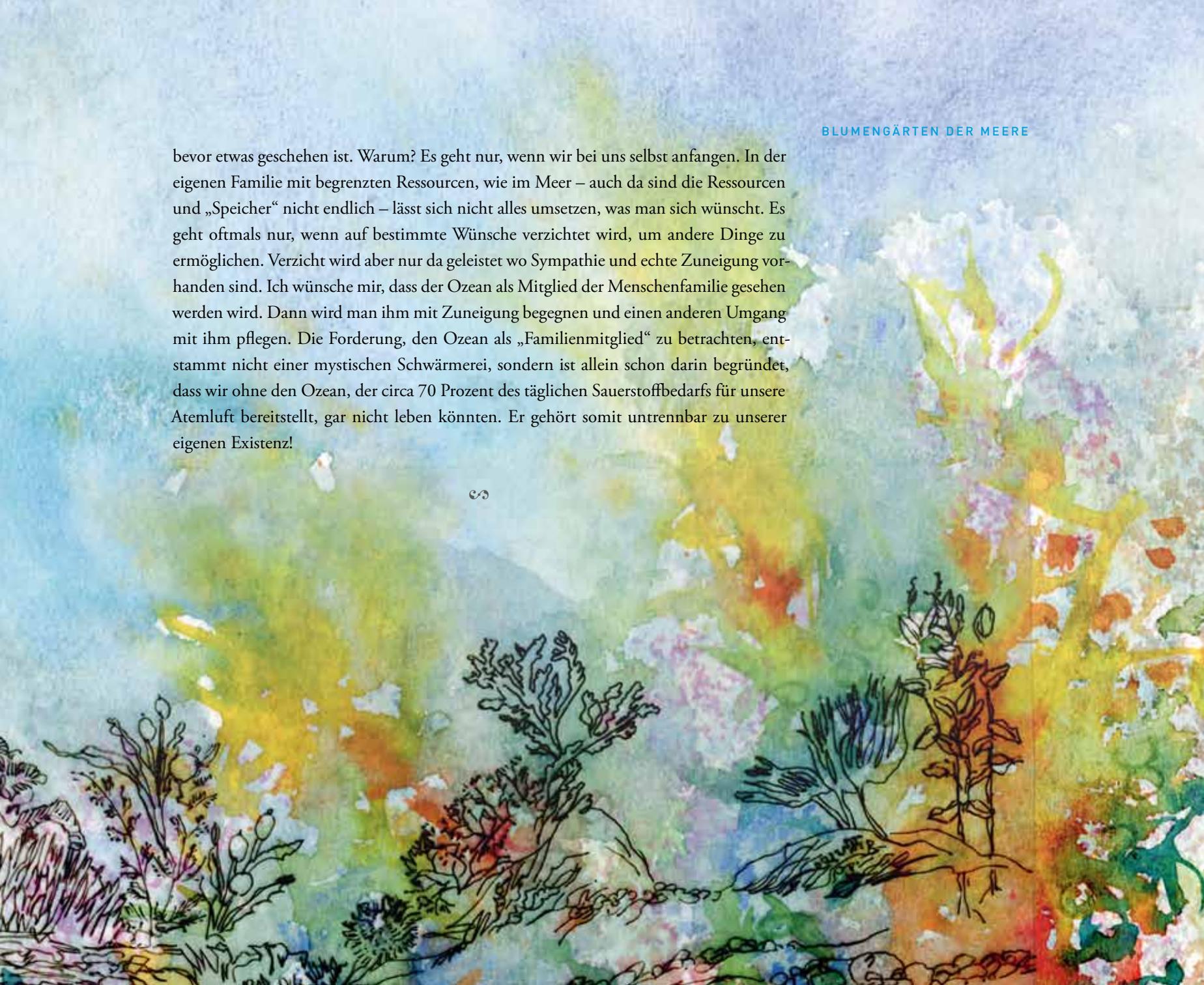
KORALLENRIFFE:

Meer nach Hurghada, Ägypten, reisen würde, hätte er kaum noch eine Chance, über die Vielfalt der „Blumenthiere“ zu forschen, da schon sehr viel zerstört ist. „Baumtiere“ könnte man die massig wachsenden Steinkorallen der tropischen Meere auch nennen, da man in ihnen entsprechende Wachstumsringe beobachten kann, die den jährlichen Zuwachs wunderbar dokumentieren. Diese massigen Arten leben mehrere hundert Jahre und sind somit unbestechliche Zeugen des voranschreitenden globalen Wandels. Sie haben den vom Menschen verursachten Anstieg des Kohlendioxids ebenso wie die damit gekoppelte Temperaturerwärmung der Meere fast Monat für Monat in ihrem Skelett gespeichert.

Meine Vision für den Ozean 2100 ist, dass diejenigen Riffe, die noch intakt sind, erhalten bleiben und einige der geschädigten Vorkommen sich wieder regenerieren werden. Diese angesichts des Zustandes der Riffe weltweit fast utopisch anmutende Wunschvorstellung ist der Tatsache geschuldet, dass heute auch der Lachs wieder den Rhein hinaufzieht; etwas, das vor 40 Jahren undenkbar war. Für die Meere und ihre Riffe kann nur eine nachhaltige Nutzung helfen! Das klingt schön, aber der Eindruck bleibt, dass diese Forderung verbleibt



bevor etwas geschehen ist. Warum? Es geht nur, wenn wir bei uns selbst anfangen. In der eigenen Familie mit begrenzten Ressourcen, wie im Meer – auch da sind die Ressourcen und „Speicher“ nicht endlich – lässt sich nicht alles umsetzen, was man sich wünscht. Es geht oftmals nur, wenn auf bestimmte Wünsche verzichtet wird, um andere Dinge zu ermöglichen. Verzicht wird aber nur da geleistet wo Sympathie und echte Zuneigung vorhanden sind. Ich wünsche mir, dass der Ozean als Mitglied der Menschenfamilie gesehen werden wird. Dann wird man ihm mit Zuneigung begegnen und einen anderen Umgang mit ihm pflegen. Die Forderung, den Ozean als „Familienmitglied“ zu betrachten, entstammt nicht einer mystischen Schwärmerei, sondern ist allein schon darin begründet, dass wir ohne den Ozean, der circa 70 Prozent des täglichen Sauerstoffbedarfs für unsere Atemluft bereitstellt, gar nicht leben könnten. Er gehört somit untrennbar zu unserer eigenen Existenz!



„Die volkswirtschaftlichen Kosten des Fischfangs werden unterschätzt, es wird mehr Fisch gefangen als ökonomisch vernünftig ist.“

MARTIN QUAAS UND TILL REQUATE

Sind die Fische noch zu retten?

Über den Zustand der Meeresfischerei

MARTIN QUAAS UND
TILL REQUATE

Fisch ist eine wichtige Nahrungsgrundlage für den Menschen und vor allem in armen Weltregionen eine essentielle Quelle des Lebensunterhalts. Jahrzehntlang wuchs die weltweite Fangmenge – mit der Folge, dass viele der wirtschaftlich relevanten Fischbestände derzeit als überfischt oder zusammengebrochen gelten. Der neueste Sachstandsbericht der Welternährungsorganisation FAO (2011) beschreibt den Zustand der weltweiten Fischbestände als so schlecht wie nie zuvor.

Wenngleich die Überfischung sicherlich vielerlei Gründe hat, so besteht die Hauptursache jedoch darin, dass es sich bei Meeres-Fischbeständen um sogenannte Gemeinschaftsressourcen handelt. Während ein gefangener Fisch dem Fischer oder Flottenbetreiber gehört, der ihn gefangen hat, hat ein Fisch im Meer keinen eindeutigen Besitzer. Dennoch hat er einen volkswirtschaftlichen Wert, der sich daraus ergibt, dass sich der Fisch reproduziert und auch selbst weiter an Gewicht zunimmt. Dieses bedeutet, dass der zukünftige Fangertag steigt, wenn mehr Fische im Meer bleiben. Einen Fisch zu fangen, hat somit einen sogenannten Schattenpreis, da dieser Wert durch den Fang verloren geht. Bei überfischten Beständen kann dieser Schattenpreis sogar größer sein als der Marktpreis eines gefangenen Fisches. Da Meeresfische jedoch niemandem gehören, bezahlen die Fischer für den Fang nicht den wahren volkswirtschaftlichen Preis in Form dieses Schattenpreises,

Prof. Dr. Martin Quaas ist Wirtschaftswissenschaftler an der CAU und forscht über „Lebende Ressourcen“ im Exzellenzcluster Ozean der Zukunft. Er entwickelt und analysiert nachhaltige Fischereimanagement-Konzepte, indem er naturwissenschaftliche und wirtschaftswissenschaftliche Erkenntnisse verknüpft.

Prof. Dr. Till Requate ist Volkswirtschaftler an der CAU. In seinen Forschungsgebieten Umweltpolitik und Klimaschutz untersucht er die Effizienz von Klimapolitiken. Seine weiteren Forschungsinteressen sind im Themenfeld „Überfischung der Ozeane“ angesiedelt, hier entwickelt er neue Fischereimanagement-Konzepte.





SIND DIE FISCHE NOCH ZU RETTEN?

jedenfalls nicht solange es keine Zugangs- und Fangbeschränkungen gibt. Die volkswirtschaftlichen Kosten des Fischfangs werden somit unterschätzt, und es wird mehr Fisch gefangen als ökonomisch vernünftig ist.

Ein ökonomisch sinnvoll genutzter – und damit nicht überfischter – Fischbestand würde durchaus hohe Gewinnmargen ermöglichen. Es müsste daher im Interesse der Fischer selbst liegen, dass sowohl der Zugang zu den Meeresressourcen als auch die Fangmengen beschränkt werden. In der Tat werden in einigen unter nationaler Hoheit befindlichen Fanggebieten unterschiedliche Instrumente eingesetzt, um Zugang und Fangmengen zu beschränken. Effektive Instrumente sind beispielsweise Fangabgaben pro Mengeneinheit an Fisch oder begrenzte Fangmengen und Fangquoten. Ergänzt werden können diese Ansätze durch Fangverbote in bestimmten Zonen und/oder zu bestimmten Zeiten. Insbesondere werden dafür Fangverbote in Laichgebieten oder zu Zeiten des Abblühens ausgesprochen.

Ökonomisch besonders effizient ist es, den Handel mit Fangquoten zu gestatten. Man spricht daher auch von individuell handelbaren Quoten, auch als ITQs bezeichnet (Engl.: individual transferable quotas). Der Charme dieses Systems besteht darin, dass die Gesamtmenge an zu fangendem Fisch für eine gesamte Fischerei gedeckelt ist und die effizientesten Fischer die Quoten kaufen, während die weniger produktiven sich von den Quoten trennen und den Fischfang einstellen. Auf diese Weise können bei einer erlaubten Gesamtfangmenge größtmögliche volkswirtschaftliche Gewinne erzielt werden. Letztlich zielen ökonomische Instrumente wie Fangabgaben oder individuell handelbare Quoten darauf, dass Fischer bei ihren Fangentscheidungen den oben beschriebenen Schattenpreis des Fischens berücksichtigen. Wenn die erlaubte Gesamtfangmenge hinreichend knapp bemessen ist, entspricht der Preis der Fangquote gerade dem Schattenpreis des Fischens. Einige Länder, die ihre **Fischereihoheitsgebiete** ohne Anrainer kontrollieren können,

Die Ausschließliche Wirtschaftszone eines Küstenstaates reicht normalerweise bis zu 200 Seemeilen vor die Küste. In diesem Gebiet darf der Küstenstaat Ressourcen wie Fisch oder Ölorkommen ausschließlich nutzen.

dies sind insbesondere Island und Neuseeland, praktizieren ein Fischereimanagement mit Hilfe solcher handelbarer Quoten mit großem Erfolg. So ist es ihnen gelungen, wichtige Fischbestände innerhalb ihrer 200-Meilenzone zu stabilisieren oder sogar in einen ertragreichen Zustand zurückzusetzen.

Die Erfahrung zeigt, dass sich drastische Einschnitte in die zugelassenen Fangmengen durchaus lohnen. So hat sich der **Kabeljaubestand** in der östlichen Ostsee in den vergangenen Jahren merklich erholt, nachdem sich die EU-Kommission nach jahrelangen Kämpfen am Verhandlungstisch endlich zu merklichen Quotenkürzungen entschlossen hat und sie mit wesentlich größerer Konsequenz als bisher durchgesetzt hat. Wir gehen davon aus, dass diese Fischerei bei weiter konsequentem Management schon in wenigen Jahren Gewinne von weit über 100 Millionen Euro pro Jahr ermöglichen wird.

Fischereimanagement funktioniert vor allem dort, wo ein einziges Land Kontrolle über größere Fischbestände hat, wie dies in Island, Neuseeland und einigen anderen Ländern der Fall ist. In Fanggebieten, die mehrere Anrainer haben, wie Mittelmeer, Nordsee und Ostsee, funktioniert Fischereimanagement hingegen weit schlechter oder mitunter gar nicht. Ursachen bestehen unter anderem darin, dass einzelne Staaten ihre eigene Fischereiklientel (kurzfristig) begünstigen, indem sie die Einhaltung von Fangbeschränkungen unzureichend kontrollieren. Hinzu kommt, dass Fischer aus unterschiedlichen Staaten sich gegenseitig misstrauen, die vereinbarten Regulierungen auch einzuhalten. Anstatt Aufwand und Fangmengen einzuschränken, tun viele Regierungen daher genau das Gegenteil, indem sie die Fischer, die aufgrund des freien Zugangs zu den Ressourcen und der starken Konkurrenz untereinander keine Gewinne machen oder sogar Verluste einfahren, subventionieren. Dadurch verschlimmert sich die Situation jedoch noch weiter. So werden jährlich weltweit über 10 Milliarden US-Dollar in Form von Treibstoffvergünstigungen oder Modernisierungsprogrammen gezahlt, etwa 80 Prozent davon in den Industriestaaten.

Der Kabeljau, oder Dorsch, ist einer der wichtigsten Speisefische Europas. Seit 1970 brachen weltweit jedoch einige Bestände auf Grund der Überfischung zusammen.

SIND DIE FISCHER NOCH ZU RETTEN?

Berechnungen der Weltbank zufolge müsste der weltweite Fischereiaufwand um 44 bis 54 Prozent gesenkt werden, um den langfristigen wirtschaftlichen Nutzen zu maximieren, das heißt den maximalen ökonomischen Ertrag zu realisieren. Die durch die Überfischung entgangenen Erträge werden auf etwa 50 Milliarden US-Dollar jährlich geschätzt – eine erhebliche Summe im Verhältnis zum gesamten Wert der angelandeten Fische von circa 90 Milliarden US-Dollar pro Jahr. Leider ist es jedoch schwierig und kostspielig, die notwendigen Regulierungen dauerhaft durchzusetzen. Eine höhere Profitabilität der Fischerei kann nämlich dazu führen, dass Fischer versucht sind, durch illegale Anlandungen noch höhere Gewinne zu erzielen. Schätzungen gehen davon aus, dass etwa ein Drittel der Fischprodukte, die in den Handel geraten, illegal oder unter Umgehung internationaler

Abkommen gefangen wurde. Durch die illegale Fischerei (IUU-Fischerei,

„illegal, unreported and unregulated“) werden Bemühungen zur Erhaltung

der Bestände stark behindert. Zur IUU-Fischerei zählt auch die Ausfaggung von Fischereifahrzeugen in Staaten, deren Auflagen

nicht den internationalen Standards entsprechen oder die nicht in der Lage sind, wirksame Kontrollmechanismen zu etablieren.

Die IUU-Fischerei schadet daher vor allem der handwerklichen Fischerei in den Küstengebieten der Entwicklungsländer.

Während das Fischereimanagement, insbesondere die Quotenregulierung, innerhalb der EU zwar unzureichend ist, sieht

die Situation außerhalb der 200-Meilenzonen aber auch vor den Küsten vieler armer Entwicklungsländer (vor allem in Afrika) noch

verheerender aus. Das Fehlen jeglicher Art von Regulierung bzw. das

Unvermögen vieler Staaten, Fangbeschränkungen durchzusetzen, haben zu

regelrechten Fischereiraubzügen geführt. Der Einsatz moderner Techniken wie die Sonarortung von Fischschwärmen verschärft dieses Problem weiter. Die Staaten der europäischen Union haben bisher nichts getan, diese Raubzüge zu beschneiden. Im Gegenteil,



sie unterstützen dieses Vorgehen zum Beispiel chinesischer Fangflotten indirekt, indem sie über Umschlagplätze auf EU-Territorium (wie den kanarischen Inseln) illegal gefangenen Fisch „rein waschen“.

Unsere pessimistische Vision für den Ozean 2100 ist, dass viele Fischereinationen weiterhin kurz- und mittelfristige drastische Fangbeschränkungen vermieden haben. Stattdessen haben zunehmend effiziente Fangflotten die Bestände immer weiter ausgebeutet, um die weiter wachsende Nachfrage in zahlungskräftigen Ländern zu befriedigen. Inzwischen sind zunächst die Bestände in den 200-Meilenzonen afrikanischer Länder und später die in vielen weiteren Ländern zusammengebrochen. In den wenigen Fischereinationen mit konsequentem Management der Bestände tragen die Fischereien dagegen erheblich zum Wohlstand bei, da nur sie die begehrten und extrem teuren Wildfänge liefern können.

Unsere optimistische Vision für den Ozean 2100 ist, dass sich sowohl in der Fischindustrie als auch in der Politik die Einsicht durchgesetzt hat, dass „kurzfristig Weniger“ „mittel- und langfristig erheblich Mehr“ bedeutet. Darüber hinaus haben sich Europäer und andere Fischereinationen darauf verständigt, die Raubzüge vor den Küsten der **Entwicklungsländer** zu beenden und deren Besitzrechte an ihrem Fisch zu respektieren. Dies würde eine nachhaltige Fischerei ermöglichen, die das Einkommen für viele Fischer sichert und die Milliarden Menschen weltweit mit hochwertigem Fisch versorgt.



Entwicklungsländer – wie einige westafrikanische Staaten – haben häufig nicht die Mittel, um zu verhindern, dass Fischräuber ihre fischreichen Gewässer ausbeuten.

*„Es läuft ein interessantes Experiment
mit riskantem Ausgang.“*

MARTIN WAHL

Über Lebensgemeinschaften im Wandel

MARTIN WAHL

Der Blasentang der Nord- und Ostsee toleriert Temperaturschwankungen zwischen plus 35 Grad Celsius und minus 10 Grad Celsius. Er und die Miesmuschel sowie das große Seegras überleben in voll marinem (35 psu) wie auch in fast süßem (6 psu) Milieu. Vorübergehender Sauerstoffmangel ($< 1\text{ mg/L}$) stellt für viele Ostseebewohner genauso wenig ein ernstes Problem dar wie eine Sauerstoffübersättigung. Fast alle Meeresorganismen im Flachwasser und besonders in der Gezeitenzone ertragen auch vorübergehend extreme UV-Einstrahlung weitgehend schadlos. Säurewerte (pH) pendeln in Randmeeren und Buchten jahreszeitlich zwischen 7.3 und 8.3 und an Algenoberflächen sogar zwischen 6.5 und 10 – im Tagesgang! Auch zahlreiche andere Umweltbedingungen weisen enorme Schwankungen zwischen Habitaten (Lebensräumen) und zu verschiedenen Tages- oder Jahreszeiten auf. Zahlreiche Meeresorganismen tolerieren dies anscheinend problemlos.

Angesichts solch beeindruckender Toleranzbereiche wirken die für den Verlauf des Klimawandels prognostizierten Veränderungen geradezu lächerlich: ein paar Grad wärmer, ein paar psu süßer, eine halbe pH-Einheit saurer, ein paar Prozent mehr Sauerstoffmangel oder UV-Strahlung. Gerade in flachen

Prof. Dr. Martin Wahl untersucht die Wechselwirkungen der Organismen in Lebensgemeinschaften am Meeresboden und wie sich diese unter Umweltstress verschieben. Sein Interesse gilt dabei besonders den Verteidigungsstrategien von Meeresorganismen gegen Aufwuchs und Fressfeinde.



Die Leistungsstärke einer Art bezeichnet den Grad ihrer Fähigkeit, sich unter gegebenen Umweltbedingungen zu behaupten und zu reproduzieren.

und randständigen Meeren wie der Nord- und Ostsee gibt es nur wenige Arten, die diese leicht verschobenen Lebensbedingungen nicht nur aushalten, sondern sich unter ihnen auch weiterhin erfolgreich vermehren könnten.

Warum also die ganze Aufregung? Können wir Nordeuropäer uns nicht einfach über die milderen Winter und wärmeren Sommer freuen?

Das können wir leider nicht. Denn es geht nicht immer nur um das schiere Überleben, sondern wie man überlebt. Wenn die Verschiebung der Lebensbedingungen einen physiologischen Stress bedeuten, wird die **Leistungsstärke** der Organismen beeinträchtigt. Außerdem wirken die genannten Stressfaktoren nicht einzeln, sondern gleichzeitig. Und die Summe, oder eher das Produkt, all der einzelnen leichten Beeinträchtigungen durch die erwarteten Veränderungen wird weitreichende und systemrelevante Folgen haben.

Einige Arten werden sich rechtzeitig evolutiv an die neuen Bedingungen anpassen können. Dies geschieht wahrscheinlich vor allem durch Selektion lokal bereits vorhandener Genotypen, welche die neuen Bedingungen besser vertragen oder durch Einwanderung solcher Genotypen.

Viele andere Arten hingegen werden, zumindest in einer Übergangszeit, maladaptiert sein, das heißt ihre Leistungsstärke wird beeinträchtigt sein. Die direkten Auswirkungen auf die Organismen können unauffällig sein. Indirekt können sich daraus aber weitreichende Konsequenzen ergeben: Primärproduktion, Wachstums- und Reproduktionsraten, Resistenz gegen Parasiten und Pathogene, Verteidigung gegen Fraßfeinde und Aufwuchs werden abnehmen. Auch wenn solche Einbußen, einzeln betrachtet, nur geringfügig sind, können sie einander enorm verstärken.

Zwei Beispiele sollen dies illustrieren. Eine sommerliche Wassererwärmung um wenige Grade beeinträchtigt die chemische Verteidigung der Braunalge *Fucus vesiculosus* (Blasentang) und erhöht gleichzeitig den Metabolismus und damit den Appetit ihres wichtigsten Fraßfeindes, der Assel *Idotea baltica*. Da sich auch Photosyntheserate und damit Wachstum der Alge etwas verlangsamen, kann der durch verstärkten Fraß entstandene



Gewebeverlust nicht mehr ausgeglichen werden. Weniger photosynthetisch aktives Gewebe bedeutet weniger Energieausbeute, dadurch weniger kompensatorisches Wachstum und eine schwächere chemische Verteidigung und somit weiteren Gewebeverlust durch Fraß. Dichtere Planktonblüten (in wärmerem Wasser und bei stärkerer Eutrophierung) reduzieren ihrerseits das Lichtangebot für die bodenlebenden Algen, wodurch die Energieeinbußen, gerade an der unteren Verbreitungsgrenze der Alge potenziert werden, mit den beschriebenen Folgen. Ein etwas wärmeres und nährstoffreicheres Wasser führt so über die „Verstärker“ Wachstumsraten, Verteidigungseffizienz, Fraßraten zu einem raschen Rückgang des wichtigen Blasentanges. Aufgrund ähnlicher „Verstärkerketten“ (verlangsamtes Wachstum, dünnere Schalen, hungrigere Krebse) werden die Miesmuscheln aufgrund der prognostizierten Erwärmung und Aussüßung aus der zentralen und östlichen Ostsee verschwinden – obwohl die höheren Temperaturen und niedrigeren Salzgehalte ihnen direkt wenig ausmachen.



Biologische Interaktionen mit anderen Arten sind die ökologischen Hebel, welche kleine direkte Effekte des Klimawandels zu weitreichenden Umwälzungen potenzieren können. Blasentang und Miesmuschel sind Arten mit zentraler ökologischer Bedeutung in der Ostsee. Ihr Rückgang, verstärkt wiederum durch entsprechende Zu- oder Abnahmen anderer Arten und das Einwandern neuer Spezies, wird eine Kaskade weiterer biologischer Verschiebungen nach sich ziehen.

Die Lebensgemeinschaften unserer Küsten werden sich umorganisieren. Wie, das ist nicht im Detail vorhersehbar. Ob sie ihre wichtigen Dienstleistungen wie Sauerstoffproduktion, Schutzfunktion für Jungfische, Biomasseproduktion, Sedimentstabilisierung und vieles mehr weiterhin ausüben können, bleibt abzuwarten. Es läuft ein interessantes Experiment mit riskantem Ausgang.

Meine Vision für den Ozean 2100 ist, dass viele Lebensgemeinschaften neu zusammengesetzt sein werden: manche der heute häufigen Arten werden seltener geworden sein, sind in günstigere Klimazonen abgewandert oder ausgestorben. Manche der in gegenwärtigen Gemeinschaften seltenen Arten werden häufiger geworden sein, weil zukünftige Umweltbedingungen näher an ihrem Optimum liegen als die heutigen, oder weil ihre Konkurrenten, Fraßfeinde oder Parasiten seltener geworden sind. Einige neue Arten werden über Einschleppung oder Einwanderung hinzugekommen sein. Wichtig für das Ökosystem und letztendlich uns wird sein, ob die wesentlichen ökologischen Funktionen in den neu zusammengewürfelten Gemeinschaften weiterhin vertreten sein werden. Nur wenn ein „funktionsgetreuer“ Artenwechsel, Makroalge gegen **Makroalge**, filtrierende Planktonfresser gegen filtrierende Planktonfresser, geschieht, wird die zukünftige Gemeinschaft ähnliches leisten wie die heutige. Nur wenn jede wichtige Funktion mehrfach besetzt ist, wird sie einigermaßen robust auf Störungen und Stress reagieren können. Falls noch ausreichend viele und diverse Arten in einer Region vorhanden sein werden, bleibt zu hoffen, dass die Fähigkeit zur ökologischen Selbstorganisation eine Umstrukturierung unserer Lebensgemeinschaften ohne wesentliche Funktionseinbuße ermöglicht.



Makroalgen sind Braun-, Rot- oder Grünalgen, die je nach Art zwischen 1 Zentimeter und 10 Metern oder mehr groß werden können. Meist sind sie mit Stiel und Haftscheibe am steinigen Untergrund verankert. Manche Arten können riesige Kelp-„Wälder“ bilden.

„Unsere Vision für den Ozean in 2100 ist, dass wir andere Formen der Energiegewinnung etabliert haben, so dass wir nicht weiter auf die ‚rettende‘ CO₂-Aufnahme des Ozeans hoffen müssen.“

BIRGIT SCHNEIDER UND STEFANIE MAACK

Der Ozean

– ein grenzenloser Speicher für CO₂?

BIRGIT SCHNEIDER UND
STEFANIE MAACK



Im Laufe der letzten eine Million Jahre der Erdgeschichte variierten die Konzentrationen des Treibhausgases Kohlendioxid (CO₂) in der Atmosphäre kontinuierlich zwischen 180 und 280 ppm und damit die Temperaturen zwischen Eiszeiten und Warmzeiten. Da CO₂ in der Atmosphäre ein Treibhausgas ist und die Löslichkeit von CO₂ im Ozean mit steigender Temperatur abnimmt, ist der positive Zusammenhang zwischen CO₂ und Temperatur, wie er in Lufteinschlüssen aus antarktischen Eisbohrkernen festgestellt wurde, noch verhältnismäßig leicht zu verstehen. Dennoch ergeben sich aus dem deutlich ausgeprägten Sägezahnmuster dieser Klimakurven der letzten eine Million Jahre viele zum Teil noch unbeantwortete Fragen. Zum Beispiel, was bestimmte die unteren und oberen Grenzen der CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre? Welche Änderung, CO₂ oder Temperatur, ging zu welcher Zeit voran und zog damit die andere nach sich? Welche Prozesse waren die Auslöser für solche Veränderungen?

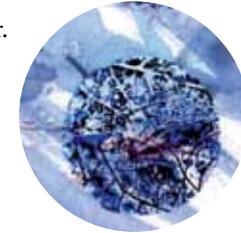
Die aktuelle Forschung konzentriert sich derzeit darauf, die Wege des Kohlenstoffs (C) zwischen den einzelnen Reservoirs des Klimasystems (Atmosphäre, Ozean, Landbiosphäre) nachzuvollziehen. In der Atmosphäre befindet sich Kohlenstoff vor allem in Form des klimawirksamen Kohlendioxids (CO₂), in der Biosphäre von Land und Ozean

Prof. Dr. Birgit Schneider ist Professorin für Marine Klimaforschung an der CAU. Ihre Forschungsgebiete sind Marine Biogeochemie und Klimamodellierung. Dabei untersucht sie mit Modellen das Klima vergangener Epochen mit besonderem Augenmerk auf Klimasprünge und deren Mechanismen.

Stefanie Maack ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Küstengeographie der CAU. Ihre Interessengebiete liegen im Küstennaturschutz und dem integrierten Küstenzonenmanagement.

DER OZEAN

liegt er organisch gebunden (Corg) in den Pflanzen und Böden vor. Der größte Speicher ist allerdings das Meerwasser, in dem etwa 60-mal soviel Kohlenstoff wie in der Atmosphäre gelöst ist. Diese drei Reservoirs tauschen permanent Kohlenstoff miteinander aus, wobei sich die Menge im jeweiligen Speicher zwar verändert, die Gesamtmenge aber gleich bleibt. Während der Eiszeiten hat eine Verlagerung von Kohlenstoff aus Atmosphäre und Land in den Ozean stattgefunden, wohingegen in Warmzeiten der Ozean Kohlenstoff abgegeben hat.



Zum CO₂-Austausch zwischen Atmosphäre und Ozean über die Meeresoberfläche kommt es, wenn ein Gefälle zwischen dem Partialdruck des CO₂ in der Atmosphäre und dem Ozean entsteht. Zum Austausch von CO₂ zwischen Atmosphäre und Ozean kommt es im wesentlichen durch drei Mechanismen, die man auch Kohlenstoffpumpen nennt. Die erste Kohlenstoffpumpe ist die sogenannte Löslichkeitspumpe. Sie basiert auf der Tatsache, dass die Löslichkeit von CO₂ im Ozean von der Temperatur abhängig ist.



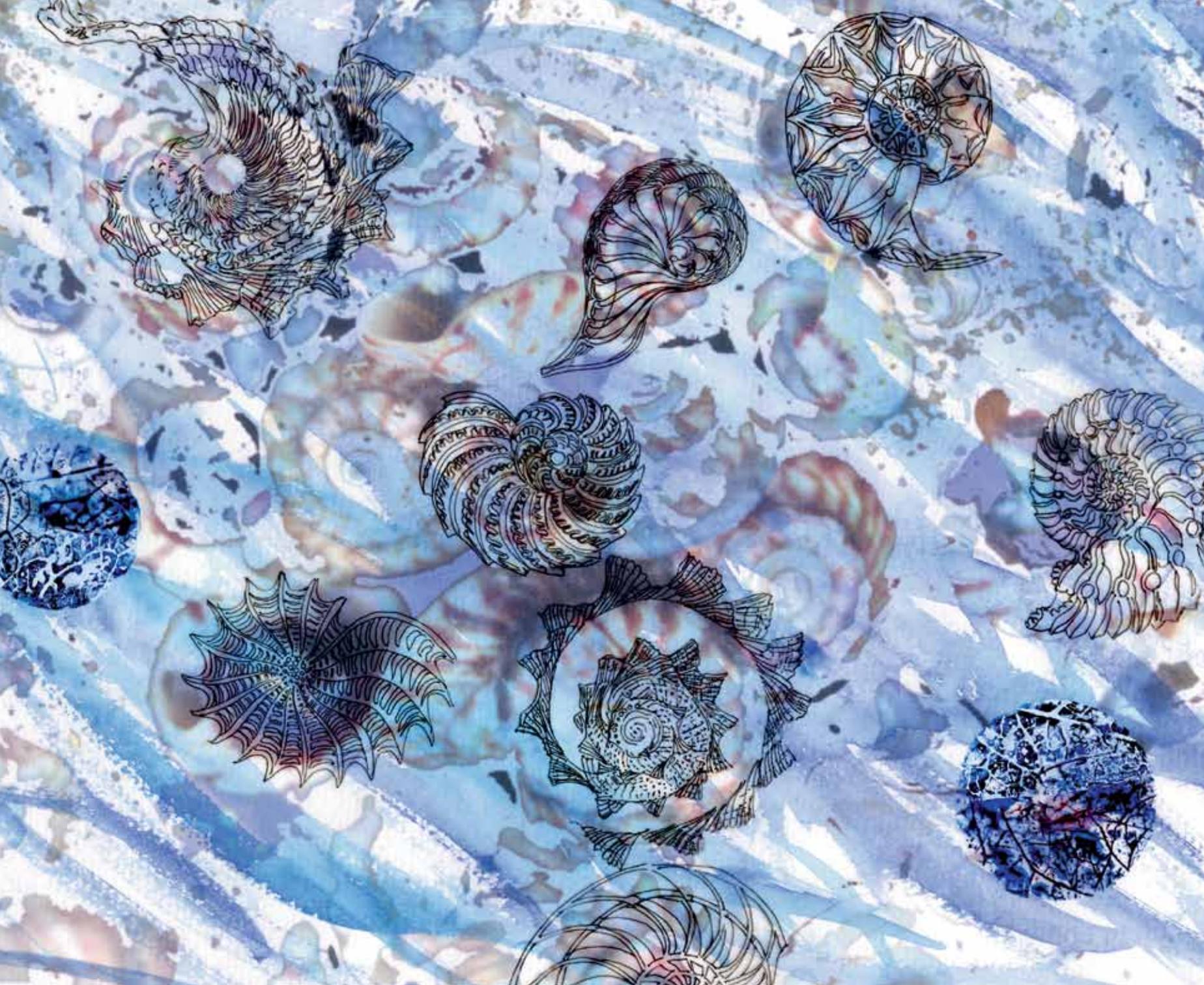
Je kälter das Oberflächenwasser, umso mehr CO₂ kann es aufnehmen. Im Nordatlantik zum Beispiel, wo sich das Oberflächenwasser des Golfstromes auf dem Weg nach Norden abkühlt, nimmt es CO₂ aus der Atmosphäre auf. Sinken die Wassermassen in der Grönland- und Labradorsee ab, wird damit CO₂ in den tiefen Ozean transportiert und somit dem Austausch mit der Atmosphäre entzogen. Gelangt die Wassermasse wieder an die Oberfläche und erwärmt sich, kann das vorher aufgenommene CO₂ wieder freigesetzt werden. Die biologische Pumpe beschreibt die CO₂-Aufnahme durch Meeresalgen bei der Photosynthese. Sie wandeln im Wasser gelösten Kohlenstoff in Biomasse um, die nach dem Absterben der Algen in die Tiefe sinkt, wo der Kohlenstoff aus der Biomasse durch mikrobiellen Abbau wieder gelöst wird. Daher gilt: je stärker das

Algenwachstum, umso mehr CO₂ kann der Ozean aufnehmen. Der dritte Mechanismus für den CO₂-Gasaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre ist die sogenannte Kalziumkarbonat-Gegenpumpe: einige Meeresalgen bilden Kalkschalen, wobei Kohlendioxid an das Wasser und damit auch an die Atmosphäre abgegeben werden kann. Die größte Rolle für die CO₂-Aufnahmekapazität des Ozeans spielt allerdings die Löslichkeitspumpe.

Mit der Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Öl, Gas) erhöht der Mensch nun die Gesamtmenge von Kohlenstoff im System, wo er als Treibhausgas (CO₂) klimawirksam ist. Bislang verbleibt nur etwa die Hälfte der anthropogenen Emissionen in der Atmosphäre. Die andere Hälfte wird zu etwa gleichen Teilen von Ozean und Landbiosphäre aufgenommen. Auch in Zukunft wird weiterhin CO₂ vom Ozean aufgenommen werden, solange sich der CO₂-Partialdruck in der Atmosphäre erhöht. Allerdings kann sich das Verhältnis zwischen aufgenommenem und in der Atmosphäre verbleibendem CO₂ ändern. Dies wird zum einen durch eine verringerte Löslichkeit bei steigenden Temperaturen in Folge des Klimawandels erwartet. Zum anderen kommt eine Veränderung des chemischen Gleichgewichts des Oberflächenwassers hinzu, die zu einer verringerten Pufferkapazität und damit einer niedrigeren CO₂-Löslichkeit führt. Darüber hinaus können Veränderungen in der Ozeanzirkulation die Nährstoffzufuhr an die Oberfläche und damit die biologische Produktivität verringern. Auch ist davon auszugehen, dass die Landbiosphäre, die derzeit noch eine Senke für anthropogenes CO₂ darstellt, aufgrund eines im Klimawandel verstärkten mikrobiellen Kohlenstoffabbaus in den Böden zu einer CO₂-Quelle wird. Alle diese Prozesse sind positive **Rückkopplungsmechanismen** auf den ursprünglichen Anstieg von CO₂ in der Atmosphäre, die den Klimawandel weiter verstärken werden. Die Effizienz der marinen Kohlenstoffsенke wird deutlich sinken.



Eine positive Rückkopplung ist ein Zusammenwirken von sich gegenseitig verstärkenden Effekten, zum Beispiel der Anstieg von CO₂ in der Atmosphäre, der einen Anstieg der Temperatur verursacht und umgekehrt.



Unsere Vision für den Ozean in 2100 ist, dass sich die Kapazität des Ozeans, Kohlendioxid aufzunehmen nicht weiter verringert hat. Dies konnte nur bewirkt werden, indem die globalen CO₂-Emissionen endlich stabilisiert bzw. gesenkt wurden. Hierzu waren nicht nur wirksame politische Klimaschutzmaßnahmen notwendig, sondern ein grundsätzliches, gesamtgesellschaftliches Umdenken: Das Ziel des Wachstums ist in unserer Vision durch das Ziel des Gleichgewichtes ersetzt. Denn der Blick auf den Ozean und auch der Blick auf den Klimawandel genügen nicht. Bereits jetzt müssen wir mit erheblichen, teils unumkehrbaren Folgen für die Ökosysteme und damit für unsere Wirtschaftssysteme rechnen – Folgen, die nicht allein auf den exzessiven CO₂-Ausstoß zurückzuführen sind, sondern auf ein generelles Übernutzen und Missbrauchen der natürlichen Ressourcen. Nur durch eine ausgewogene, an natürlichen Kapazitätsgrenzen und Gleichgewichtszuständen orientierte Ressourcennutzung können wir diese Folgen vermeiden.



Bedrohlich einmalig: das Anthropozän

ULF RIEBESELL

Wir nennen es das Anthropozän: das Zeitalter, in dem sich der Einfluss des Menschen auf die Umwelt vergleichbar stark oder stärker als natürliche Einflüsse auswirken. Seinen Anfang nahm das Anthropozän mit dem Beginn der Industrialisierung, also um das Jahr 1800. Auch wenn es bislang die mit Abstand kürzeste Epoche auf der geologischen Zeitskala ist, könnte es als einmalig in die Erdgeschichte eingehen. Mehrfach seit Bestehen der Erde haben es Organismen vollbracht, die Umweltbedingungen auf unserem Planeten nachhaltig zu verändern. Denken wir an die Freisetzung von Sauerstoff durch Photosynthese betreibende Einzeller vor etwa 2,5 Milliarden Jahren. Der Wechsel von einer ursprünglich sauerstofffreien zu einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre hat erst ermöglicht, dass sich tierisches Leben entwickeln und ausbreiten konnte. Oder denken wir an die Erstbesiedlung des Festlandes im ausklingenden Silur vor etwa 420 Millionen Jahren, zunächst durch einfache Moose, gefolgt von einer sich rasch entwickelnden Pflanzen- und Tierwelt im sich daran anschließenden Devon. Selbst im Lichte dieser tiefgreifenden Umwandlungen könnte das Anthropozän als eine Besonderheit in die Erdgeschichte eingehen: Nie zuvor hat es eine einzige Art zustande gebracht, unseren Planeten so drastisch und nachhaltig zu verändern, wie es sich aktuell anbaut.

Prof. Dr. Ulf Riebesell ist Leiter der Forschungseinheit Biologische Ozeanographie am GEOMAR. Seine Forschungsinteressen sind die Stoffkreisläufe im Ozean und die sie antreibenden biologischen Prozesse. Riebesell untersucht den Einfluss des Ozeanwandels, besonders den der Versauerung, auf marine Organismen und Ökosysteme. Er setzt große Forschungsplattformen, sogenannte Mesokosmen, im Meer ein, in denen er die Bedingungen im Ozean der Zukunft simuliert.



BEDROHLICH EINMALIG:

Der Blick in die Erdgeschichte bringt aber auch eine andere wichtige Erkenntnis: Wandel ist die Norm. Die Umweltbedingungen sind in ständigem Wandel und die Organismen passen sich daran an. Entscheidend dabei ist allerdings die Geschwindigkeit, mit der sich der Wandel vollzieht. Findet er allmählich statt, wie es in der Erdgeschichte die Regel ist, greifen die Mechanismen der Evolution. Besser angepasste Arten verdrängen jene, die dem Wandel zum Opfer fallen. Kritisch wird es dann, wenn die Änderungen der Umweltbedingungen schneller ablaufen als die evolutionäre Anpassung. Dann kann es zu Massenaussterben kommen. Wohl am bekanntesten ist das Massenaussterben an der Kreide-Tertiär-Grenze vor 65 Millionen Jahren, als der Einschlag eines Meteoriten nahe der Halbinsel Yucatán 50 Prozent aller Arten auf der Erde auslöschte, darunter auch die Dinosaurier.

Ein Massenaussterben könnte auch am Ende des Anthropozäns stehen. Dafür spricht, dass die Geschwindigkeit, mit der der Gehalt an Kohlendioxid (CO_2) in der Atmosphäre ansteigt, um ein Vielfaches höher ist als in vergangenen Epochen. Entsprechend schnell wird sich auch der Klimawandel vollziehen. Für den Ozean ergibt sich daraus aber noch eine andere Konsequenz. Rund ein Viertel des von uns Menschen freigesetzten CO_2 wird aktuell vom Ozean aufgenommen – ein Service von unschätzbarem Wert. Er bewahrt uns vor einem noch rascheren Klimawandel. Im Meer reagiert das Kohlendioxid zu Kohlensäure – das Wasser wird saurer. Und hier kommt wieder die Geschwindigkeit des CO_2 -Anstiegs als kritischer Faktor ins Spiel. Findet die CO_2 -Freisetzung allmählich statt, im Verlauf von einigen tausend bis zehntausend Jahren wie in der Erdgeschichte üblich, ist der Ozean imstande, dem Versauern entgegen zu wirken, indem Kalk aus den Tiefseesedimenten gelöst wird. Wie der Kalk, den wir in unseren Gärten ausbringen, neutralisiert das gelöste Tiefseekarbonat freiwerdende Säure. Durch diesen Prozess blieb der Säuregrad des Meerwassers vergangener Epochen innerhalb enger Grenzen. Wird – wie aktuell – das CO_2 schneller freigesetzt als die Durchmischung des tiefen Ozeans, was etwa 1.000 Jahre



BEDROHLICH EINMALIG:

in Anspruch nimmt, läuft die Pufferung durch Tiefseekalk der Versauerung des Ozeans hinterher. Als Folge davon kommt es zu einer fortschreitenden Ozeanversauerung, ein Prozess, der in dieser Form und Intensität vermutlich einmalig in der Erdgeschichte ist.

Entsprechend unvorbereitet trifft der steigende Säuregehalt viele Tier- und Pflanzenarten im Meer. Vor allem Kalk bildende Organismen wie Muscheln, Schnecken, Seeigel, Seesterne und Korallen bekommen Schwierigkeiten, unter den sich verändernden Bedingungen ihre Kalkschalen und -skelette aufzubauen. Aber auch viele Planktonorganismen, die an der Basis der Nahrungskette stehen, können bei zunehmender Ozeanversauerung in ihrem Wachstum und ihrer Fortpflanzung beeinträchtigt werden. Welche Konsequenzen sich daraus für die marinen Lebensgemeinschaften ergeben, ist im Moment noch ungewiss. Bei ungebremster Ozeanversauerung ist ein drastischer Rückgang der **Artenvielfalt** im Meer jedoch sehr wahrscheinlich. Besonders stark werden all jene Ökosysteme betroffen sein, in denen Kalkbildner wichtige Funktionen tragen. Hierzu zählen die tropischen Korallenriffe. Sie sind neben den tropischen Regenwäldern die artenreichsten Ökosysteme der Erde.

Auch die ozeanweit verbreiteten Riffe der Kaltwasserkorallen, die artenreichsten Lebensgemeinschaften der Tiefsee, könnten der Ozeanversauerung zum Opfer fallen. Gelingt es nicht, die CO₂-Emissionen deutlich zu reduzieren, werden bis Ende des Jahrhunderts zwei Drittel der heute bekannten Bestände an Kaltwasserkorallen korrosiven Bedingungen ausgesetzt sein. Der Effekt ist vergleichbar mit dem Entkalken einer Kaffeemaschine:

in korrosivem Wasser löst sich der Kalk. Für die Korallen bedeutet dies, dass ihre Skelette sich auflösen. Die Riffe fallen in sich zusammen und mit ihnen das daran angepasste Ökosystem.

Welchen Verlauf das Anthropozän in den nächsten Jahrhunderten nehmen wird, liegt in unserer Hand. Ungebremster Klimawandel, drastische Ozeanversauerung und Massenaussterben sind nicht unausweichlich. Es erfordert

Artenvielfalt: Wissenschaftler geben davon aus, dass bisher erst ein geringer Teil der Lebewesen im Meer bekannt ist. Viele neue Arten werden in bisher unerforschten Gebieten, wie weiten Arealen der Tiefsee, vermutet.



allerdings ein züiges Umdenken. Beides, Klimawandel und Ozeanversauerung, lässt sich nur in einem vertretbaren Rahmen halten, wenn es uns gelingt, die CO₂-Emissionen innerhalb weniger Jahrzehnte drastisch zu reduzieren. Die technischen Möglichkeiten dazu existieren bereits in Form regenerativer Energieerzeugung. Jetzt heißt es, sie weiter zu entwickeln und züig auszubauen.

Doch was bewegt uns zum Umdenken? Die Motive für unser Handeln sind meist emotional. Die Bereitschaft zum Umdenken setzt daher voraus, dass wir die Dringlichkeit des **Umsteuerns** selbst erfahren und uns die Konsequenzen eines möglichen Scheiterns unter die Haut gehen. Die prachtvolle Schönheit der Lebensgemeinschaften im Meer geht unter die Haut. Sie zu erfahren und zu verstehen kann helfen, den Prozess des Umdenkens einzuleiten. Sie zu bewahren geht uns alle an. Am Ende könnte das Anthropozän als ein Zeitalter des Umdenkens in die Erdgeschichte eingehen. Wäre das nicht etwas, auf das wir alle stolz sein könnten?

Umsteuern: Ein Begriff aus der Seefahrt der Kraft und Mut erfordert und mit Entschlossenheit durchgeführt werden muss.



*„Der Schritt von der Erfindung bis zur Etablierung in die
Praxis ist aufwändig und steinig,
aber auch notwendig für den Fortschritt.“*

MALTE BRAACK

Mathematische Modellierungen des Ozeans

MALTE BRAACK

Kann der Flügelschlag einer asiatischen Fliege einen Hurrikan im Golf von Mexiko auslösen? Wohl nicht. Andernfalls wäre jegliche numerische Simulation von Strömungsvorgängen in der Atmosphäre oder auch im Ozean aussichtslos. Dennoch weist dieses als Schmetterlingseffekt bekannte Gleichnis darauf hin, warum es so schwierig ist, Vorhersagen für komplexe Systeme zu treffen: Kleine Skalen haben ihre Rückwirkung auf größere Skalen. Großskalige Phänomene können sich hierdurch verstärken oder vermindern. So wird großen Wirbeln im Ozean oder der Atmosphäre durch deren Zerfall in kleinere Wirbel die Energie entzogen. Andererseits findet aber häufig auch ein Energietransfer von kleinen zu großen Skalen statt. Im Extremfall führen nichtlineare Effekte zu sogenannten Bifurkationen, die mit einem Verlust der Stabilität einhergehen und dynamische Änderungen auch auf großen Skalen einleiten. Die Entstehung von Wirbelstürmen ist letztendlich das Resultat solcher Instabilitäten. Derartige Wetterextreme fallen kurzfristig ins Gewicht. Auf lange Sicht, in Zehn-Jahres-Zeiträumen, verhalten sich Klima- und Meereswandel träger und damit auch gutmütiger. Davon profitieren wir Menschen wie auch alle anderen Lebewesen und Pflanzen. Diese Trägheit und Kontinuität bringt aber auch mit sich, dass man die allmählichen Änderungen, wie zum Beispiel den allmählichen Meeresspiegelanstieg oder die Versauerung der Ozeane nicht wirklich wahrnimmt und ihre Effekte unterschätzt.

Prof. Dr. Malte Braack ist Professor für Mathematik an der CAU. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Dynamik von Fluiden, Numerik und Optimierung. Im Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ optimiert er die Vorhersagequalität für Ozeanmodelle besonders hinsichtlich ihrer regionalen Auflösung.

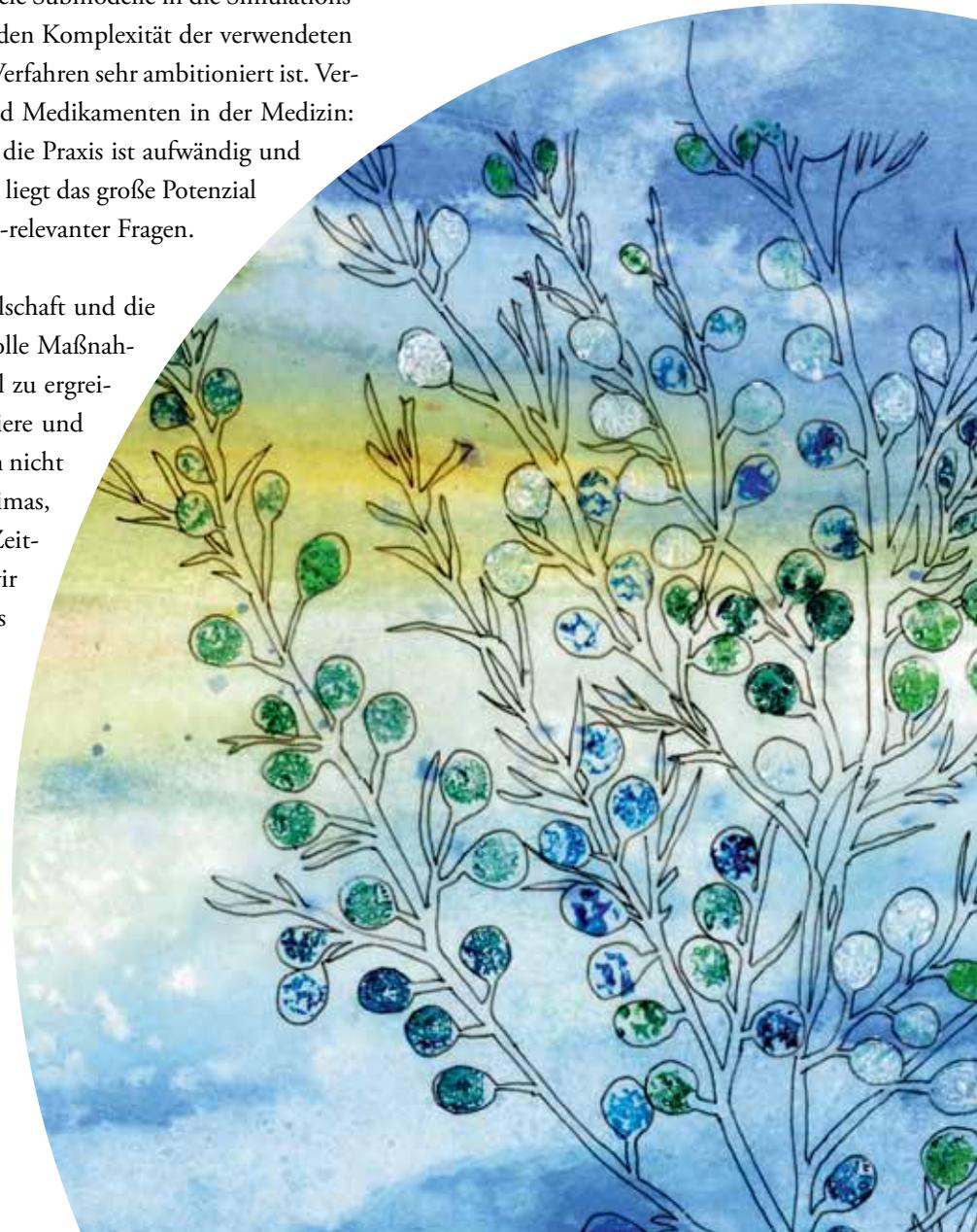


Die numerische Simulation solcher Vorgänge erlaubt es, in die Zukunft zu blicken, die langfristigen Folgen abzuschätzen und damit Zeit zu gewinnen. Zeit, die man braucht, um zum Beispiel Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Die Simulation des Ozeans bringt einige Herausforderungen mit sich. So müssen einerseits die involvierten Prozesse mathematisch genau beschrieben werden und andererseits die Mehrskaligkeit der Prozesse durch geeignete numerische Verfahren berücksichtigt und gekoppelt werden. Es geht also darum, numerische Methoden zu entwickeln, die die Wirklichkeit möglichst genau abbilden. Aus Gründen der Machbarkeit und der Effizienz kann das große Spektrum an den oben beschriebenen Skalen nur zu einem gewissen Grad in ein numerisches Schema einfließen. Der Einfluss kleinskaliger Effekte auf die größeren Skalen muss häufig modelliert werden. Das heißt kleinskalige Phänomene, die man aufgrund der begrenzten Auflösung (Gitterweite) im numerischen Modell nicht integrieren kann, werden nicht simuliert, wohl aber wird deren Effekt auf die uns relevant erscheinenden Skalen durch einfachere Gesetze zumindest annäherungsweise berücksichtigt. Durch die stetig wachsende Rechnerleistungen und die mathematische Entwicklung von effizienten Methoden und Algorithmen wird es in Zukunft möglich sein, mehr und mehr kleinskalige Effekte direkt mitzusimulieren. Aber dennoch wird es bei der numerischen Beschreibung von Ozeanströmungen niemals gelingen, so viel Rechenleistung zur Verfügung zu haben, um das gesamte Spektrum an Skalen aufzulösen.

In der Angewandten Mathematik entwickeln wir für diese Art von Simulation genaue und effiziente Methoden und Algorithmen. Die Mathematik hat in den letzten Jahrzehnten große Fortschritte in der numerischen Simulation für viele Bereiche erzielt, in denen Mehrskaligkeit eine Rolle spielt. Hierzu zählen insbesondere ingenieurstechnische Anwendungen mit ihren zahlreichen Facetten. Der Einsatz neuester numerischer Methoden in den Klimawissenschaften bietet hingegen noch sehr viel mehr Potenzial. Dies liegt

darin begründet, dass aufgrund der Notwendigkeit, viele Submodelle in die Simulationswerkzeuge einzubeziehen und der damit einhergehenden Komplexität der verwendeten Programme, die Integration innovativer numerischer Verfahren sehr ambitioniert ist. Vergleichbar ist dies mit neuen Operationsmethoden und Medikamenten in der Medizin: Der Schritt von der Erfindung bis zur Etablierung in die Praxis ist aufwändig und steinig, aber auch notwendig für den Fortschritt. Hier liegt das große Potenzial interdisziplinärer Forschung zur Beantwortung Klima-relevanter Fragen.

Meine Vision für den Ozean 2100 ist, dass die Gesellschaft und die Politik davon überzeugt werden konnten, wirkungsvolle Maßnahmen gegen die Erderwärmung und den Ozeanwandel zu ergreifen und damit dramatische Folgen für Menschen, Tiere und Pflanzen abgewendet wurden. Dazu beigetragen haben nicht zuletzt unsere Simulationen des Ozeans und des Erdklimas, mit denen wir heute Szenarien für 2100 (und andere Zeiträume) aufzeigen. In hundert Jahren dann werden wir uns durch Simulationen vor Augen führen, wie sich das Erdklima ohne diese Maßnahmen entwickelt hätte, und werden froh sein, doch noch rechtzeitig auf die damaligen Prognosen gehört und reagiert zu haben. Bis 2100 werden auch die mathematischen Modelle für Vorgänge im Ozean und die numerischen Methoden weiter verbessert sein, so dass eine exzellente Forschung ohne diese Methoden nicht nur undenkbar scheint, sondern auch ist.



„Der zukünftige Ozean wird voller Leben sein.“

RAINER FROESE

Fischfang im Jahr 2100

RAINER FROESE

Falls sich gesunder Menschenverstand durchsetzt, dann wird der Fischfang im Jahr 2100 mit dem heutigen Fischfang wenig Ähnlichkeit haben. Der zukünftige Ozean wird voller Leben sein mit ausgedehnten Austernbänken und Kelpwäldern, riesigen Fischschwärmen, Walen in Familienverbänden und einer wilden Seevogelschar. Es wird nur ein kleiner Teil der belastbaren Fischbestände befischt und doch mehr Protein für den menschlichen Verbrauch geliefert als heute. Die Fischbestände werden nur befischt bis sie 75 Prozent ihrer natürlichen Größe erreicht haben, damit sie ihre wichtige Rolle im Ökosystem als Räuber- und/oder Beutetiere trotz Befischung wahrnehmen können. Einzelne Fische werden erst gefangen, nachdem sie ihre maximale **Wachstumsrate** erreicht und sich fortgepflanzt haben. So wird die Beeinträchtigung des Fischbestandes minimiert und eine unnatürliche Selektion vermieden. Das Fischereigerät der Zukunft besteht hauptsächlich aus intelligenten, ferngesteuerten Fallen, die nur die gewünschten Arten in der erforderlichen Größe und Qualität fangen. Händler können den Fisch in der Falle sehen und können ihn gezielt zum Kauf auswählen. Fische, die in kurzer Zeit keinen Käufer finden, können wieder freigelassen werden. Verkaufte Fische hingegen werden aus den Fallen entnommen, schnell und schmerzfrei getötet und binnen 24 Stunden zum Verbraucher befördert. Die Fallen und die Fischerboote für den Service werden mit regenerativer Energie betrieben, sind hochautomatisiert und überwiegend ferngesteuert. Die Fischer der Zukunft sind fast alle Techniker, die von Land aus ihre Anlagen betreiben und warten.

Dr. Rainer Froese ist Wissenschaftler am GEOMAR. Seine Forschungsfelder sind die Fischereibiologie und Biodiversitätsstrukturen bei Fischen. Ein Ziel seiner Arbeit ist die fundierte Darstellung der Fisch- und anderen Tierarten des Ozeans im Internet und auf anderen Plattformen.

Die Wachstumsrate bezeichnet in der Biologie die durchschnittliche relative Zunahme einer Größe, wie Körpergewicht oder Individuenzahl, pro Zeiteinheit.

FISCHFANG

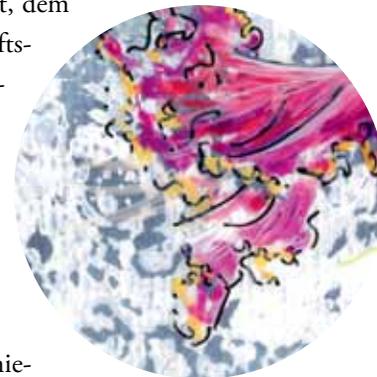
Die Schwimmblase ist ein Organ, das nur Knochenfische haben. Mit ihr kann der Fisch sein spezifisches Gewicht dem des Wassers angleichen und im Wasser schweben.

Obwohl alle oben beschriebenen Techniken schon heute – wenn auch für andere Zwecke – auf Fischerbooten existieren, ähnelt die Denkweise der heutigen Fischer eher der von Walfängern im 19. Jahrhundert. Ihre Verbände fordern immer wieder überhöhte Fangquoten und Einsatzmöglichkeiten für zerstörende Fangtechniken, selbst in geschützten Gebieten. Die Landwirtschaftsminister, die üblicherweise für die Fischerei zuständig sind, sehen oft kein Problem darin, dass der Meeresboden umgepflügt wird, um Schollen oder Kabeljau zu fangen. Die breite Öffentlichkeit hegt häufig noch romantische Gefühle für die Fischer, die neben ihren trocknenden Netzen in der sinkenden Sonne sitzen, obwohl die Realität der industriell betriebenen Fischerei weit davon entfernt ist. Verbraucher, die nur Eier von freilaufenden Hühnern akzeptieren, wissen häufig nicht, was Fische erleiden, bevor sie in den Handel kommen. Dass sie zum Beispiel bis zu 12 Stunden lang über den Meeresboden gezogen werden, einen Tag lang an einem Haken im Maul hängen oder so an die Oberfläche gezogen wurden, dass ihre sich ausdehnende **Schwimmblase** aus dem Maul quillt. Einzelne Fische werden unter Tonnen von Fisch zu Tode gequetscht, an Bord kleiner Schiffe qualvoll erstickt oder an Bord von Fabriksschiffen lebend geschlachtet.

Unnötig große Fischereifloten und destruktive Fangmethoden wie Bodenschleppnetze sind nur möglich, weil die Fischerei massiv mit dem Geld der Steuerzahler subventioniert wird. In Deutschland übersteigen die Subventionen für Treibstoff, Innovationen, Sicherheitsausrüstung und anderes den Wert der angelandeten Fische. Als ein Ergebnis dieser Praxis sind die Fischbestände weltweit überfischt und die Anzahl der kollabierten Bestände steigt. Seit 1994 gibt es verbindliche internationale Abkommen für einen nachhaltigen Fischfang. Die ersten Nationen, die das im nationalen Recht umgesetzt haben, sind Neuseeland, Australien und die USA. Die Fischbestände ihrer Ausschließlichen Wirtschaftszonen haben sich mittlerweile erholt, ihre Fischwirtschaft ist profitabel und die meisten Subventionen für die Fischerei sind ausgelaufen.

Auch in Europa haben jahrzehntelange Überfischung und der Einsatz zerstörerischer Fangtechniken zum Zusammenbruch von Beständen und zu einer starken Schädigung der Meeresumwelt geführt. Zu hohe Fangmengen wurden jährlich bei den Treffen der europäischen Landwirtschaftsminister beschlossen und die Überfischung damit legalisiert. Doch die Kampagnen von Organisationen wie Greenpeace und WWF zur Information der Öffentlichkeit, zum Beispiel mit Broschüren zu nachhaltigem Fischkonsum und die vorausschauende Reaktion einiger Händler, die ein „grünes“ Image anstreben, haben in den letzten Jahren die politische Landkarte verändert. Die Europäische Kommission hat einen umfassenden Reformvorschlag für die Europäische Fischereirichtlinie eingereicht, der sich an den internationalen Maßstäben für nachhaltige Fischerei orientiert. Dieser Reformvorschlag würde Europa auf einen Stand mit den reformierten Fischereien Neuseelands, Australiens und der USA bringen, den internationalen Fischhandel stark beeinflussen und die Welt einen großen Schritt voran bringen, hin zu der oben beschriebenen Vision für die Fischerei im Ozean der Zukunft.

Der Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ trägt mit seiner Grundlagenforschung seinen Teil zu einer nachhaltigen Fischerei bei. Wissenschaftler vom Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel GEOMAR, dem Kieler Institut für Weltwirtschaft, dem Walther-Schücking-Institut für Internationales Recht und der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Kieler Universität haben sich zusammengetan, um die biologischen, wirtschaftlichen, rechtlichen und ökonomischen Schwächen zu analysieren, die zum Scheitern/Versagen der Europäischen Fischereirichtlinie führten. Sie ziehen in ihrer im Wissenschaftsjournal „Marine Policy“ veröffentlichten Studie folgenden Schluss: Die überzogenen Fangquoten gepaart mit den direkten und indirekten Subventionen der EU und ihrer Mitgliedsstaaten führten zu überhöhten Fischereianstrengungen und Fangmengen und damit zu niedrigen Bestandsgrößen, niedrigen Fängen und schwer beschädigten Ökosystemen.





In einer zweiten Studie untersuchten die Wissenschaftler, ob Europa in der Lage sein wird, die europäischen Fischbestände bis 2015 wieder herzustellen. Diese Zusage hatte die EU auf dem Nachhaltigkeitsgipfel der UN 2002 in Johannesburg gemacht. Die Analyse ergab, dass, bei fortgesetztem Fischereidruck, 91 Prozent der europäischen Fischbestände dieses Ziel nicht erreichen werden. Gemeinsam mit Wissenschaftlern aus Australien und den USA haben die Kieler Arbeitsgruppen in einer dritten Studie Regeln für die Fangkontrollen der europäischen Fischerei gestaltet, die ökonomisch fundiert sind, die internationale Fischereiabkommen berücksichtigen, ein Ökosystem basiertes Fischereimanagement zugrunde legen und vereinbar mit der Biologie der europäischen Fischbestände sind. Verglichen mit den aktuellen **Fischereirichtlinien** führen diese Regeln langfristig zu höheren Erträgen von größeren Beständen bei geringeren Kosten und geringerem Umwelteinfluss. Eine weitere Studie zeigt, dass die Gewinne der Fischerei auf den östlichen Ostseedorsch um das Dreifache in den nächsten fünf Jahren steigen werden, wenn der Bestand entsprechend der Fangkontrollen behandelt wird. Als Anerkennung dieser Erfolge wurden die Wissenschaftler von dem renommierten Wissenschaftsjournal „Nature“ aufgefordert, einen Artikel über die europäische Fischerei in ihrer einflussreichen Sektion „World View“ zu schreiben.

Die Ergebnisse aller Studien wurden Entscheidungsträgern und Stakeholdern bei unterschiedlichen Anlässen bekannt gemacht, zum Beispiel mit Präsentationen bei Arbeitsgruppen im Europäischen Parlament, beim WWF in Brüssel, bei Treffen mit Repräsentanten des deutschen Landwirtschaftsministeriums oder bei Expertenanhörungen im holländischen Parlament. Wir hoffen, dass solches Zusammenspiel von Wissenschaft, Entscheidungsträgern und Öffentlichkeit zu unserer Vision des gesunden Ozeans der Zukunft beiträgt.



Fischereirichtlinien werden von Staaten oder Staatenverbänden erlassen. Sie geben der Fischerei häufig Fangquoten vor, die das Ergebnis zäher Verhandlungen zwischen Interessensgruppen sind und sich nicht unbedingt an dem Zustand der Fischpopulationen orientieren.

*„Da wir nicht in der Lage sind, Erdbeben,
Hangrutschungen und Tsunamis zu verhindern,
ist die zentrale Herausforderung,
die Konsequenzen zu minimieren.“*

SEBASTIAN KRASTEL-GUDEGAST

Gefahren aus dem Meer: Erdbeben, Hangrutschungen und Tsunamis

Mit dem Meer verbindet man viel Schönes und Nützliches wie Sonnenuntergänge, Badeurlaube und Fischfang. Es drohen aber auch Gefahren durch Erdbeben, Hangrutschungen und Tsunamis (Flutwellen). Insbesondere Tsunamis können in den Küstenregionen verheerende Auswirkungen haben, wie diverse Beispiele in der jüngeren Vergangenheit gezeigt haben. Mehr als die Hälfte der Menschheit wohnt in einem etwa 50 Kilometer breiten Streifen entlang der Küste. Daher ist es ein zentrales Thema der Meeresforschung, submarine Naturgefahren zu untersuchen und Strategien zur Minimierung ihrer Auswirkungen zu entwickeln.

Erdbeben treten vor allem an den Nahtstellen der Lithosphärenplatten auf, also dort, wo die Platten sich aufeinander zu, aneinander vorbei bewegen oder auseinander driften. Viele dieser Nahtstellen liegen unter dem Meer. Durch die stetige Bewegung der Platten bauen sich an den Nahtstellen Spannungen auf, da die Platten nicht gut geschmiert aneinander vorbeigleiten. Überschreiten die Spannungen die Scherfestigkeit des Gesteins, kommt es zu einem Erdbeben. Dabei können die Bruchflächen bei großen Beben Längen von mehr als 1.000 Kilometer erreichen und immense Energien freisetzen. Ein Beben der Stärke 9 auf der Momenten-Magnituden-Skala (z. B. das Tōhoku-Erdbeben 2011 in

Prof. Dr. Sebastian Krastel-Gudegast ist Professor für submarine Gefahren am GEOMAR. Seine Forschungen widmen sich submarinen Gefahren wie Erdbeben, Hangrutschungen und Tsunamis. Krastel-Gudegast untersucht Kontinentalhänge im Ozean. Dabei interessiert er sich für die Stabilität der Hänge, ihr Gefährdungspotenzial und Transportprozesse.

GEFAHREN AUS DEM MEER:



Japan) entspricht der Energie von circa 38.000 Hiroshima-Atombomben. Neben der Zerstörung durch das Erdbeben selbst können unterseeische Beben verheerende Flutwellen auslösen. Notwendige Bedingungen für die Entstehung eines Tsunamis durch ein Erdbeben sind eine Magnitude von mindestens 7, ein Hypozentrum (Punkt, von dem das Beben ausgeht) nahe am Meeresboden (< 30 km Tiefe) und ein vertikaler Versatz des Meeresboden. Diese Bedingungen sind fast ausschließlich an Subduktionszonen erfüllt, in denen eine Lithosphärenplatte unter eine andere taucht. Neun der Zehn größten Erdbeben seit 1900 fanden an Subduktionszonen statt; diese Erdbeben haben alle Tsunamis ausgelöst. Hangrutschungen stellen eine weitere submarine Naturgefahr dar. Sie sind um ein Vielfaches größer als an Land. Submarine Rutschungen können Volumina bis zu 20.000 Kubikkilometer erreichen und bis 800 Kilometer lang sein.

Submarine Hangrutschungen können die Infrastruktur am Ozeanboden zerstören (z. B. Plattformen, Kabel) und Tsunamis auslösen. Beim Versagen eines Hanges kann sich eine große Rutschmasse plötzlich hangabwärts bewegen. Durch diesen ruckartigen Impuls ist die gesamte Wassersäule oberhalb der Rutschmasse in Bewegung.

Flankenkollapse auf Ozeaninseln können ebenfalls Tsunamis auslösen. Diese Ereignisse sind allerdings sehr selten (z. B. ein großer Kollaps pro 100.000 Jahren auf den Kanarischen Inseln). Die Tsunamihöhe solcher Kollapse wird sehr kontrovers diskutiert und reicht von wenigen Metern bis mehrere hundert Meter.

Durch Erdbeben und Hangrutschungen ausgelöste Tsunamis haben viele Gemeinsamkeiten, weisen aber auch Unterschiede auf. Beiden gemein ist, dass sie auf offener See kaum bemerkbar sind, da sie dort nur geringe Wellenhöhen und extrem lange Wellenlängen (teils mehr als 100 km) aufweisen. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist von der Wassertiefe abhängig und beträgt im offenen Ozean bis zu 900 Stundenkilometer. Im flachen Wasser verringert sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit, gleichzeitig steigt die Höhe der Welle. Trifft diese Welle dann an Land, dringt sie, anders als Windwellen, weit ins Landesinnere

ein. Daher stammt auch der Name Tsunami, was „Hafenwelle“ bedeutet (Japanisch „tsu“ Hafen und „nami“ Welle). Geprägt wurde der Name von japanischen Fischern, die auf See keine Wellen bemerkt haben, dann aber die Häfen komplett zerstört vorfanden. Der wesentliche Unterschied zwischen Erdbeben- und Hangrutschungs-Tsunamis ist ihre Ausdehnung. Aufgrund der großen Bruchlängen entstehen bei Erdbeben Tsunamis, die ganze Ozeanbecken betreffen können. Hangrutschungen erzeugen aufgrund ihrer begrenzten Ausdehnung eher regionale Tsunamis, die allerdings große Höhen aufweisen können. Katastrophale Beispiele von großen Tsunamis als Folge von Erdbeben in der jüngeren Vergangenheit sind der Weihnachtstsunami im Indischen Ozean im Jahr 2004 (mehr als 200.000 Opfer) und der Tsunami in Japan im Jahr 2011 (ca. 25.000 Opfer), der auch das Kernkraftwerk in Fukushima zerstörte. Auch Hangrutschungen haben in der jüngeren Vergangenheit Tsunamis ausgelöst. 1998 wurde ein circa 40 Kilometer langer Küstenstreifen in Papua-Neuguinea durch einen bis zu 15 Meter hohen Tsunami zerstört (> 2.000 Opfer). Dort wurde durch ein relativ schwaches Erdbeben eine Rutschung ausgelöst, die dann die Ursache für den Tsunami war. Gut 80 Prozent aller Tsunamis werden durch Erdbeben ausgelöst; die Übrigen entstehen durch Hangrutschungen und Vulkaneruptionen bzw. **Flankenkollapse**. Der überwiegende Teil aller Tsunamis (ca. 80 Prozent) findet im Pazifischen Ozean statt. Aber auch im Mittelmeer treten circa 10 Prozent aller Tsunamis auf. Große Tsunami-Frühwarnsysteme gibt es im Pazifischen Ozean und im Indischen Ozean. Das System im Indischen Ozean wurde mit deutscher Hilfe im Rahmen des Projekts GITEWS (German-Indonesian Tsunami Early Warning System) aufgebaut.

Flankenkollaps: Wird die Flanke eines Ozeanvulkans instabil, können große Inselteile ins Meer abrutschen.

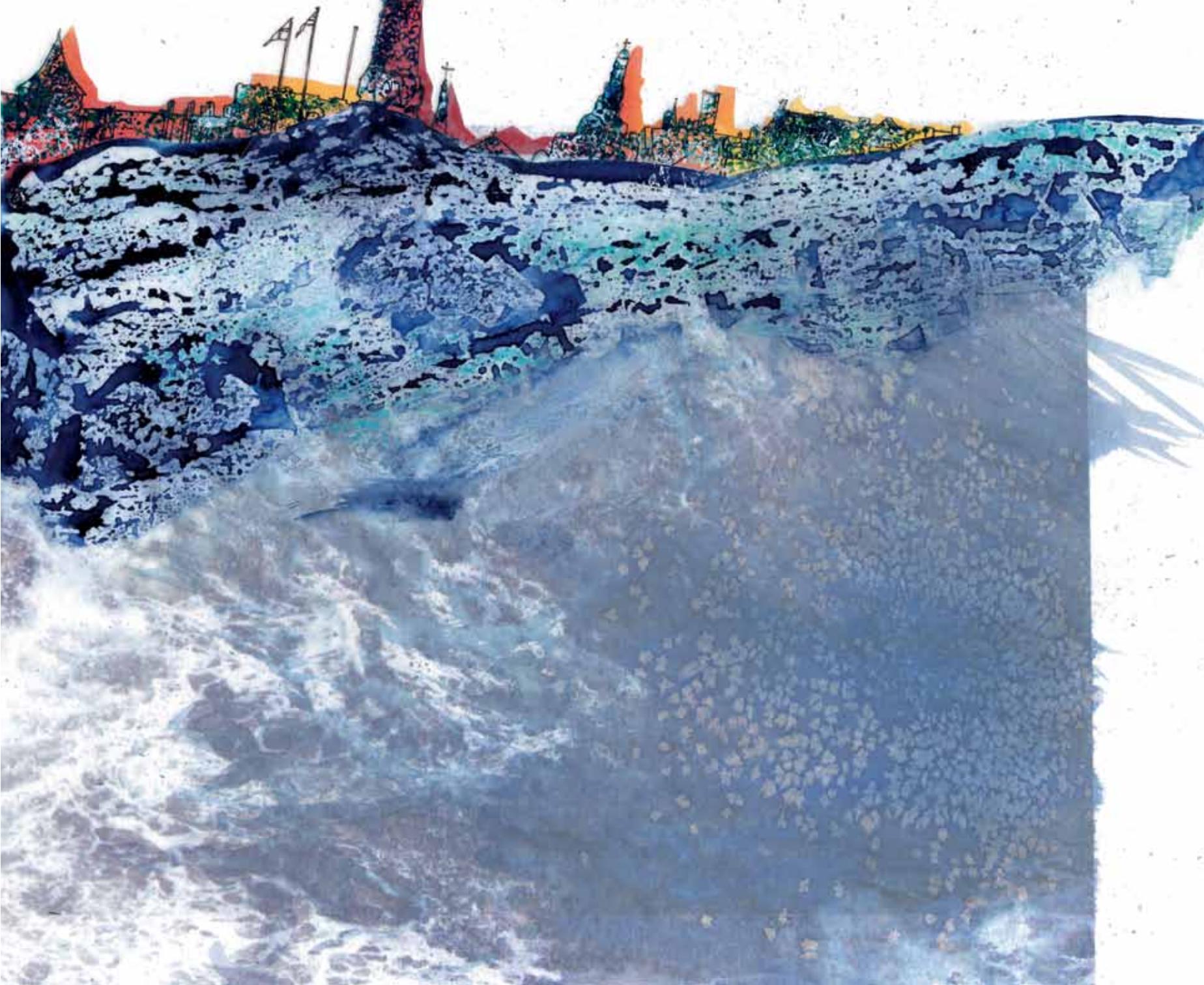
Meine Vision für den Ozean 2100 ist, dass die Küstenregionen durch funktionierende Warnsysteme und Maßnahmen an der Küste sehr gut auf Gefahren aus dem Meer vorbereitet sein werden, um so große Opferzahlen und Zerstörungen zu vermeiden. Da wir nicht in der Lage sind, Erdbeben, Hangrutschungen und Tsunamis zu verhindern, ist die zentrale Herausforderung, die Konsequenzen zu minimieren. Erdbeben werden wir auch

GEFAHREN AUS DEM MEER:

Auf Küstenregionen lastet ein enormer Siedlungsdruck. Die Bevölkerung in Küstenregionen wächst etwa dreimal so schnell wie die Landbevölkerung.

im Jahr 2100 nicht vorhersagen können. Ob Rutschungen verlässliche Vorläuferphänomene zeigen, ist bisher nicht untersucht, wird aber Gegenstand zukünftiger Forschung sein. Daher werden gut funktionierende Frühwarnsysteme, geeignete Schutzmaßnahmen an Land sowie eine gut geschulte und vorbereitete Bevölkerung an der Küste von zentraler Bedeutung sein. Dass es bis dahin noch ein weiter Weg ist, zeigen die jüngsten Ereignisse in Japan. Japan ist das Land, welches weltweit am besten auf Naturkatastrophen vorbereitet ist. So werden zum Beispiel Züge im Falle eines Erdbebens sofort automatisch angehalten. Erdbebensicheres Bauen verhindert größtenteils Schäden an der Infrastruktur. Schutzmauern und Fluchttürme sowie Evakuierungspläne sollen Schäden und Opfer im Falle eines Tsunami minimieren. Die Bevölkerung ist extrem gut geschult. Trotzdem hatte der Tsunami im Jahr 2011 katastrophale Auswirkungen, insbesondere da der Tsunami deutlich höher als erwartet war. Es wird eine zentrale Aufgabe der Wissenschaft sein, alle denkbaren Archive zu entschlüsseln, um verlässliche Angaben für die Größe von Naturkatastrophen in unterschiedlichen **Küstenregionen** zu bekommen. Opfer durch Naturkatastrophen wird es aber auch im 22. Jahrhundert noch geben, da geeignete Schutzmaßnahmen (zu teuer sind und die Natur nie berechenbar sein wird.





*„Die marinen Organismen sind die Patentbibliothek
für die Technologien der Zukunft.“*

STANISLAV N. GORB

Das Meer als Ingenieur: Eine Million Ideen aus dem Ozean

Die biologische Vielfalt in den Ozeanen ist faszinierend. Die Gesamtzahl uns bekannter mariner Arten beträgt etwa 230.000. Vermutlich leben aber fünf bis sechs mal so viele Arten im Ozean. Auf 1,15 Millionen schätzt Mark J. Costello, Leigh Marine Laboratory, University of Auckland, New Zealand die Zahl der marinen Arten. Der Grund für diese große Differenz zwischen geschätzten und bekannten Arten liegt in dem mangelnden Wissen über die kleinen Organismen auf der Erde. Faszinierend ist diese Biodiversität vor allem wegen der Präsenz von unterschiedlichen Lebensformen, Strukturen, Baumaterialien und Substanzen, die wir von landlebenden Arten nicht kennen. Biologen, Ökologen und Evolutionsbiologen sind immer wieder gefesselt von diesen häufig „extraterrestrisch“ anmutenden Kreaturen und ihren Bausteinen und haben sie schon lange in den Mittelpunkt ihrer Forschung gestellt. Inzwischen interessieren sich aber auch immer mehr Ingenieure und Materialwissenschaftler für diese Diversität.

Das ist nicht überraschend: Die Natur agierte und agiert während der gesamten Evolution als Ingenieur, sie löste eine Reihe von technischen Problemen und entwickelte eine immense Vielfalt von Formen und Strukturen, um sich etwa durch Fliegen, Schwimmen oder Springen fortzubewegen. Bemerkenswert sind zum Beispiel auch Pflanzenoberflächen, die durch spezifische Mikro- und Nanostrukturen unter Wasser trocken bleiben

Prof. Dr. Stanislav N. Gorb ist Zoologe an der CAU und Direktor am Zoologischen Institut. Seine Forschungsgebiete sind Morphologie, Biomechanik und Bionik. Gorb versucht biologische Prinzipien für die Ingenieurs- und Materialwissenschaften verständlich aufzubereiten und so die Funktionsprinzipien der biologischen Systeme in die technische Entwicklung zu übertragen.



oder feinste hierarchisch aufgebaute Härchen, die bei Geckos und anderen Reptilien ein Kleben ohne Klebstoff gewährleisten. Obwohl diese Formen häufig sehr komplex und fragil sind, können sie gut mit einer extremen mechanischen Belastung umgehen. Diese „Lösungsansätze“ der Natur können als Vorbilder für technische Innovationen durch Bionik dienen. In der Wissenschaftsdisziplin Bionik untersuchen Biologen und Ingenieure gemeinsam unter anderem das riesige Potenzial mariner Organismen für technische Anwendungen mit dem Ziel, industrielle Produkte zu entwickeln.

Viele gut funktionierende Lösungen basieren auf einer Reihe genialer struktureller Lösungsansätze. Die Mikrostrukturen auf Haifischschuppen zum Beispiel minimieren beim Schwimmen den Strömungswiderstand, Schwämme punkten mit eleganten und effektiven Leichtbaukonstruktionen und Fische erscheinen allein durch die besondere Struktur in schillernden Farben – ohne Einsatz von Farbpigmenten. Meeresorganismen sind eine wichtige Informationsquelle für die Bionik, weil sie vielfältige mechanisch optimierte Formen, eine große Auswahl an sonst unüblichen Materialien und Oberflächen besitzen und über eine reichhaltige sensorische Ausstattung verfügen. Das Verständnis der funktionellen Prinzipien marinen Lebens, seiner Materialien, Strukturen, Sinnesorganen, Bewegungsmustern und Steuersystemen ist von großem Interesse für verschiedene Technologiefelder wie Materialwissenschaften, Oberflächenforschung, Klebstoffforschung, Photonik, Sensorik und Robotik. Mögliche Innovationen können im Grenzgebiet zwischen der Biologie und diesen Technikfeldern entstehen. Da in der Evolution ähnliche funktionelle Lösungen parallel in verschiedenen Organismengruppen entstanden sind, können aus vergleichenden Studien optimale Lösungsansätze spezifischer Probleme herauskristallisiert werden.



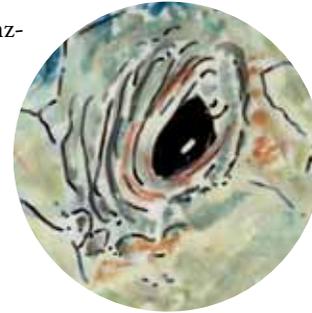
Durch die Bionik aus dem Ozean sind eine Reihe möglicher Anwendungen entstanden. Phil Messersmith von der Northwestern University, USA, hat sich von der bemerkenswerten Klebefähigkeit der Miesmuschel inspirieren lassen, um eine neue Klasse medizinischer Klebstoffe zu entwickeln. Bei medizinischen Klebstoffen ist die kräftige und dauerhafte Haftfähigkeit ein wichtiges Qualitätskriterium. Nachteile bisheriger synthetischer Klebstoffe sind eine mangelnde Klebfähigkeit unter Wasser und das allergene Potenzial. Für den Einsatz im klinischen Bereich wird ein leicht verfügbarer, haltbarer und starker Klebstoff benötigt, der Gewebe auch bei nassen Bedingungen zuverlässig klebt und zu minimalen Immunreaktionen führt. Die Proteine, die die Miesmuschel absondert, um sich mit ihrem Fuß am Untergrund festzukleben, sind ideal als Prototypen, um dieses Optimierungsproblem zu lösen. Erste klinische Tests dieses bionischen Klebstoffs sind sehr vielversprechend.

Christian Hamm vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven hat eine innovative Autofelge entwickelt, die – durch ihre enorme Straßenstabilität bei gleichzeitig geringerem Gewicht – den konventionellen Autofelgen ernsthaft Konkurrenz macht. Bei der Konstruktion der neuen Felge nutzte er die Kenntnisse zur Oberflächenstruktur einer **Kieselalgeschale**. Basierend auf elektronenmikroskopischen Untersuchungen wurde zunächst ein Computermodell der Schale entwickelt. Die komplexe Schale der Kieselalge besteht aus einem Gerüst mit zellulären Strukturen und Poren. Sie ist extrem leicht, aber stabil. Diese Schalen haben sich entwickelt als Kompromiss zwischen der Notwendigkeit als im Wasser schwebender Organismus leicht sein zu müssen und sich gleichzeitig mit einer extrem harten Schale gegen Räuber verteidigen zu können. Bei den im Mikro-Maßstab durchgeführten „Crashtests“ konnten die Schalen einem Druck von 700 Tonnen pro Quadratmeter widerstehen. Die nach dem biologischen Vorbild der Kieselalgeschalen konstruierte Felge ist in vielen Simulationen für straßentauglich befunden worden. Demnächst werden die Prototypen im Straßentest geprüft.

Kieselalgen oder Diatomeen sind einzellige Algen, deren Zellkörper von einer stark strukturierten Hülle aus zwei Kieselsäureschalen umgeben ist. Derzeit sind etwa 6.000 Arten bekannt, die im Süß- und Salzwasser oder auf Böden leben.

Diese beiden Beispiele machen Hoffnung, dass die speziellen Eigenschaften der mehr als eine Million marinen Arten in der Zukunft noch mehr Ideen für Zukunftstechnologien liefern werden. Um die Forschungen in diesem Bereich zu bündeln, haben sich Arbeitsgruppen von 30 deutschen Universitäten im Bionik-Kompetenz-Netzwerk BIONIKON zusammengetan. Die marine Bionik ist hier eines der wichtigsten strategischen Themen.

Wir haben gerade erst begonnen, die marinen Organismen auf ihr biomimetrisches Potenzial hin zu untersuchen. Die Bionik stützt die Notwendigkeit, die marine Biodiversität zu schützen. Die marinen Organismen sind die Patentbibliothek für die Technologien der Zukunft.



Meine Vision für den Ozean der Zukunft im Jahr 2100 ist, dass dieses immense Potenzial für Innovationen wenigstens in Teilen erforscht ist und genutzt wird. Es ist dann gut zu wissen, dass diese Ressource unendlich ist, nachhaltig genutzt wird und frei für alle ist. Um die Erfindungen aus dem Ozean zu holen, braucht es viele aktive und motivierte Wissenschaftler, die helfen, die **Meerespatente** zu erforschen und in die Sprachen anderer Wissenschaften, wie zum Beispiel den Materialwissenschaften, zu übersetzen. Dabei dürfen wir nicht vergessen, dass wir, wenn wir diese freien Patente aus dem Ozean nehmen und damit eventuell viel Profit machen, dem Ozean auch etwas zurückgeben müssen.

Patente schützen das Eigentum von Erfindern über eine bestimmte Zeitspanne und dürfen nur gegen eine entsprechende Gebühr genutzt werden.



„Das Meer enthält Partner, die wir nicht kennen.“

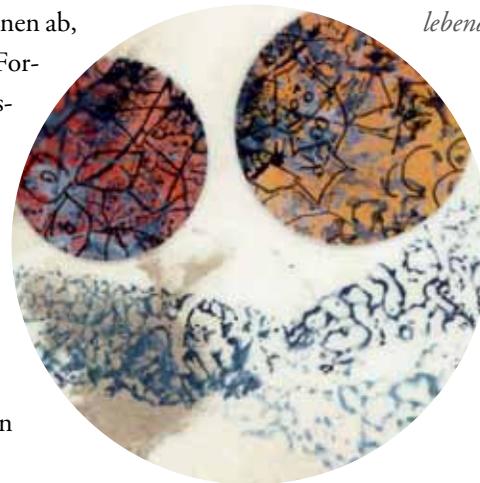
THOMAS C. G. BOSCH

Die ungezählten Partner: Kleinstlebewesen im Ozean

THOMAS C. G. BOSCH

Das Meer enthält Partner, die wir nicht kennen. In jedem Liter Meerwasser finden sich eine Milliarde Bakterien und zehn Milliarden Viren. Und nicht nur das Meer, auch alle seine Bewohner, genauso wie der Mensch, sind mikrobiell besiedelt: Fische und Meeressäuger enthalten 10-mal mehr Bakterien als eigene Zellen und etwa 100 bis 150-mal mehr bakterielle als eigene Gene. Alle diese Organismen – Bakterien, Viren und Wirtszellen – verbinden sich zu „Super-“ oder „Meta-Organismen“. Das Zusammenleben in diesem „multikulturellen“ Verbund läuft im Verborgenen ab, gesteuert durch unsichtbare Signale. Erst allmählich lernen Forscher, die geheime Sprache der Metaorganismen zu entschlüsseln. Oberflächensensoren in der Zellmembran und Rezeptoren im Zellinnern überwachen permanent das komplexe Gefüge der Wirtszellen mit ihren Partnern. Mittels kleiner Eiweißmoleküle, sogenannter antimikrobieller Peptide, können die Wirtszellen die Zusammensetzung der Mikrobiota direkt kontrollieren. Die Mikroben nutzen den tierischen oder pflanzlichen Körper als Lebensraum und kommunizieren nicht nur untereinander auf hochkomplexe Weise, sondern haben auch einen direkten Draht zu ihrem Wirt.

Prof. Dr. Thomas Bosch ist Biologe an der CAU und Vizepräsident der Universität. Seine Forschungsfelder sind Evolutionsbiologie, Entwicklungsbiologie und Vergleichende Immunologie. Bosch untersucht die Evolution und die Funktion von Genen, die bei Menschen Krankheiten auslösen können. Dazu untersucht er relativ ursprünglich organisierte, wasserlebende Lebewesen.



DIE UNGEZÄHLTEN PARTNER:

Bakterien gehören zu den ersten Bewohnern der Erde und überlebten überall, egal wie unwirtlich der Lebensraum auch sein mochte. Gigantische Massen von Bakterien besiedelten bereits vor mehr als 3,5 Milliarden Jahren den Meeresboden. Wie eine Art lebender schleimiger Teppich überzogen sie riesige Gebiete und kamen selbst ohne Sauerstoff zurecht. Nach einigen Millionen Jahren entstand schließlich eine neue Bakteriengruppe, die Cyanobakterien, die aus Licht, Kohlenstoff und Wasser Sauerstoff herstellen konnten. In den folgenden Jahrtausenden haben sich dann in ständiger Anwesenheit der Mikroben alle vielzelligen Pflanzen und Tiere entwickelt. Wundert es da, wenn die fortwährende Interaktion mit den Mikroben nicht nur Evolutionsprozesse, sondern auch individuelle Entwicklungsvorgänge gestaltet hat und immer noch gestaltet?

Süßwasserpolyphen sind kleine Lebewesen, die sich mit relativ einfachen Zellstrukturen von ihrer Umwelt abgrenzen. Ihr einfacher Bauplan und die gute Kultivierbarkeit machen sie zu beliebten Forschungsobjekten.

Es mehren sich auch die Hinweise, dass die mit einem bestimmten Organismus assoziierten Mikroben sehr spezifisch für diesen Organismus sind. Jede Art hat ihr eigenes Set an Bakterien. Labor-Beobachtungen am **Süßwasserpolyphen** zeigen, dass unterschiedliche Arten auch nach 30 Jahren Haltung unter standardisierten und identischen Bedingungen immer noch ihre unterschiedlichen Mikrobiota haben. Ein brasilianischer Student der Universität Townsville, Queensland/Australien, hat vor kurzem Tiefseekorallen untersucht. Er findet auch in weit voneinander entfernten Gegenden immer die gleichen Bakterien mit der gleichen Korallenart verbunden. Umweltfaktoren wie Temperatur oder Nahrung scheinen also nur geringen Einfluss auf die Zusammensetzung der Mikrobiota zu haben. Der entscheidende Faktor ist der Wirt. Es herrscht offensichtlich ein ungeheuer starker Selektionsdruck auf der artspezifischen Wirt-Mikroben Beziehung. Warum nur?

Wie unabhkömmlich die Mikroben sind, merken wir, wenn sie fehlen. Korallen bestehen seit gut 200 Millionen Jahren nur durch das Zusammenspiel von Nesseltieren, Algen und Bakterien. Wenn Korallen ihre Mitbewohner verlieren, bleichen sie und sterben. Nur mit einer vollständigen Mikrobenflora sind sie in der Lage, Infektionen abzuwehren. So





haben wir im Labor festgestellt, dass Polypen, die in Abwesenheit von Bakterien unter sterilen Bedingungen aufgezogen wurden, vermehrt von Pilzen attackiert werden. Bakterien beschützen also die Polypen vor Feinden. Bricht die Kommunikation zwischen dem Wirt und seinen Besiedlern zusammen, wird der Metaorganismus in seiner Zusammensetzung gestört. Forscher um Ariel Kushmaro von der Universität in Tel Aviv, Israel, haben bereits vor Jahren gezeigt, dass das Bleichen der Mittelmeer-Koralle *Oculina patagonica* durch eine Infektion mit dem Bakterium *Vibrio shiloi* verursacht wird. In der Schleimschicht, die alle gesunden Korallenstöcke umgibt und in der sich zahllose Bakterien befinden, konnten sie nun auch eine antibakterielle Aktivität nachweisen, die vermutlich vor dem Befall mit dem gefährlichen Bakterium schützt.

Das Gleichgewicht zwischen Wirt und Mikroben ist empfindlich. Das belegen Laborexperimente. Wir untersuchten Hydra-Polypen, die ein winziges Eiweißmolekül von etwa 50 Aminosäuren vermehrt in ihren Zellen herstellen. Bei dem Eiweißmolekül handelt es sich um ein antibakterielles **Peptid**, das Bakterien töten kann. Ein Zuviel an diesem Molekül bedeutet nun aber nicht, dass die Mikroben einfach verschwinden. Es bedeutet vielmehr, dass sich die Zusammensetzung der mikrobiellen Flora innerhalb des Metaorganismus Hydra ändert. Offensichtlich benutzt der Wirt dieses und ähnliche Moleküle, um zu kontrollieren, welche Mikroben in welcher Menge das Gewebe besiedeln dürfen. Antimikrobielle Peptide gelten in der Medizin als Hoffnungsträger und neue Generation von Antibiotika. In der Natur werden diese Moleküle als Feinregulatoren eingesetzt, die den Metaorganismus mit seinem komplexen Gemisch aus Bewohnern in Balance halten. Ändert sich das Gleichgewicht von Wirt und Mikroben, kann der bakterielle Schutzschild an Wirksamkeit verlieren und potenziell gefährliche Mikroben können Gelegenheit zur Ausbreitung bekommen. Es kann aber auch eine Chance sein, mit neuen Partnern neu entstandenen Lebensbedingungen gegenüber gewappnet zu sein.

Peptide sind kleine Eiweiße. Sie sind Grundbestandteil aller Lebewesen und haben häufig wichtige physiologische Funktionen. Sie fungieren zum Beispiel als Hormon oder haben antibakterielle Wirkung.

DIE UNGEZÄHLTEN PARTNER:

Bakterioplankton bezeichnet alle frei im Meer treibenden Bakterien, die mit den Strömungen bewegt werden. Sie können einzeln oder in Verbänden vorkommen.

Bakterien schützen nicht nur, sie greifen auch in die Entwicklung und das Verhalten von Tieren ein. Margret McFall-Ngai von der Universität Madison, Wisconsin/USA, konnte bereits vor Jahren zeigen, dass der kleine Tintenfisch *Euprymna scolopes* in seinem Leuchtorgan Bakterien der Art *Vibrio fischeri* beherbergt, die Biolumineszenz-Licht erzeugen können. Dieses Licht dient den Tintenfischen während des Fressens als eine Art Scheinwerfer. Gleichzeitig hilft es, den auffälligen Schatten, den die Tiere auf dem Meeresboden erzeugen, aufzuhellen und damit weniger deutlich sichtbar zu machen. Der Tintenfisch muss dafür allerdings zunächst im **Bakterioplankton** spezifisch die *Vibrio fischeri* Bakterien anlocken und von den mehr als 1.800 anderen Arten unterscheiden. Das Immunsystem des Tintenfisches muss dann lernen, die neuen Partner zu tolerieren und schließlich muss das Wachstum von Wirt und Bakterienzellen koordiniert werden. *Vibrio fischeri*, das in äußerst geringer Zahl im Meerwasser vorkommt, muss sich an zwei vollkommen verschiedene ökologische Nischen, den offenen Ozean und das Leuchtorgan im Tintenfisch spezifisch anpassen.

Nicht nur der Tintenfisch, auch die meisten anderen (wenn nicht alle) Meeresbewohner werden von zahllosen Mikroorganismen besiedelt, die nützliche Funktionen für ihre Wirte übernehmen. Im Gegenzug stellt ihnen der Wirt geeignete Lebensbedingungen zur Verfügung.

Marine Würmer zum Beispiel sind vollgestopft mit Bakterien, die man in dieser Dichte niemals im freien Wasser findet. Die Würmer haben komplexe Mechanismen entwickelt, ihre Bakterien über die Generationen hinweg zu behalten. Warum wohl? *Olavius algarvensis* zum Beispiel, ein mariner „Oligochaet“ oder „Wenigborster“ im sandigen Meeresboden vor der Mittelmeerinsel Elba, hat nicht nur sein Verdauungssystem komplett reduziert, hat also weder Mund, Magen noch Darm, sondern besitzt auch keine nierenähnlichen

Ausscheidungsorgane. Energiegewinnung und Abfallentsorgung wurden an mikrobielle Partner ausgelagert. Nicole Dubilier und ihre Mitarbeiter vom Max-Planck-Institut in Bremen erforschen seit Jahren dieses wunderbare Beispiel für „Outsourcing“ und konnten in einer Metagenom-Analyse zeigen, dass zwei Schwefelbakterien und zwei Sulfatreduzierer gemeinsam in dem Wurm vorkommen. Die Sulfatreduzierer produzieren reduzierte Schwefelverbindungen, die die Schwefeloxidierer als Energiequelle verwenden können. Alle vier Symbionten können ferner, ähnlich wie Pflanzen, Kohlendioxid fixieren. Der Wurm besitzt also ein regelrechtes endosymbiotisches Kraftwerk und kann damit begrenzte Ressourcen durch das Zusammenwirken von aufeinander abgestimmten Mikrobengemeinschaften auf kleinstem Raum effizient nutzen.

Da sich die meisten symbiontischen Mikroorganismen nicht isoliert züchten lassen, stellt es eine gewaltige Herausforderung dar, einen solchen komplexen Metaorganismus mit seinen engen gegenseitigen Interaktionen detailliert zu untersuchen. Dies ermöglicht seit kurzem die sogenannte Metagenomanalyse. Der Begriff „Metagenomik“ entstammt der Kombination der Begriffe Metaanalyse (Prozess der Statistik, der unterschiedliche Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen quantitativ vergleichbar macht) und Genomik (Analyse der kompletten Erbinformation eines Organismus). Das Metagenom ist die Gesamtheit aller genomischen Information eines Habitats zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Die Zusammensetzung des Bakterioplanktons in den Weltmeeren wird seit über fünfzig Jahren untersucht. Aber erst dank der Entwicklung in den Bereichen **Sequenziertechnik**, Bioinformatik und Robotik ist es möglich geworden, die gesamte Erbinformation eines Lebensraumes oder eines Metaorganismus zu erfassen und damit Vielfalt, Funktion und gegenseitige Wechselwirkungen der Meeresbewohner zu studieren.

Sequenziertechnik: Technik zur Entschlüsselung und Beschreibung des Genoms. Die Technik wurde in den vergangenen Jahren so leistungsfähig, dass inzwischen die Genome vieler Arten beschrieben wurden.

DIE UNGEZÄHLTEN PARTNER:

Symbiontengesellschaft: Symbionten sind Organismen verschiedener Arten, die eine Gesellschaft bilden, in der beide Partner Vorteile haben.

Das biologische Individuum: ein Irrtum

Tiere und Pflanze und auch der Mensch funktionieren nur in der Vielfalt, im Metaorganismus aus Abermilliarden verschiedenen Wesen. Nicht das biologische Individuum, sondern der Metaorganismus scheint die Einheit zu sein, auf die die Selektion wirkt. Der israelische Forscher Eugene Rosenberg und seine Frau Ilana Zilber-Rosenberg führen drei Gründe hierfür an: Erstens, alle Tiere und Pflanzen unterhalten symbiotische Beziehungen mit Mikroorganismen. Symbiotische Mikroorganismen werden von Generation zu Generation übertragen. Zweitens: Die Interaktionen von Wirt und Symbionten beeinflussen die Fitness des Metaorganismus. Und drittens kann sich die **Symbiontengesellschaft** relativ schnell verändern, etwa durch horizontalen Gentransfer, schnelle Vermehrung oder durch Veränderung der Artenzusammensetzung. Mikroorganismen reagieren auf Umweltveränderungen (Sauerstoff, CO₂, Temperatur) sehr schnell mit einer Umstellung ihres Stoffwechsels. Veränderungen in der Mikroorganismengemeinschaft können daher in der Folge wichtige Stoffflüsse im Wirt verändern und das viel rascher als es in einem

einzelnen Individuum über sexuelle Rekombination und Selektion möglich wäre. Genetiker schätzen, dass es in der Regel mindestens 50.000 Jahre dauert – also etwa 2.000 Generationen – ehe sich eine Mutation im Erbgut gefestigt hat. Genetische Veränderungen brauchen daher sehr viel Zeit – zu viel, um mit den gegenwärtigen Umweltveränderungen Schritt zu halten. Das Austauschen von Komponenten eines Metaorganismus dagegen geht sehr viel rascher.

Meine Vision für den Ozean 2100 ist, dass wir die unzähligen Partner, die das Meer enthält, nicht vergessen. Ohne sie könnten die Meeresbewohner nicht leben. Wir müssen insbesondere ein molekulares Verständnis des Organisationsprinzips Metaorganismus gewinnen, nicht zuletzt, weil es zu einem besseren Verständnis von



Krankheiten führen wird, die auf eine Störung der Wirt-Mikroben-Interaktion zurückzuführen sind. Noch kennen wir aber nur einige der Mikroben. Die meisten, und vor allem die nicht so häufigen, leben und wirken im Verborgenen. Sie könnten aber einmal – bei geänderten Umweltbedingungen – ungeheuer wichtig werden als Bestandteil des Metaorganismus. Der vorbeugende Einsatz von Antibiotika in Zuchtanlagen für Meeresprodukte (Aquakulturen) hat also nicht nur wegen der Resistenzbildung, sondern auch unter dem Gesichtspunkt der Notwendigkeit der Erhaltung der mikrobiellen Diversität unabschätzbare Auswirkungen. Sorgen wir dafür, dass auch unsere weniger häufigen mikrobiellen Partner im Meer überleben können.



*„Science-Fiction-Geschichten von früher
sind heute Realität.“*

KATRIN KNICKMEIER UND FRIEDERIKE BALZEREIT

Kinder an die Macht: Wie Wissen unseren Blick auf den Ozean verändert

KATRIN KNICKMEIER
UND FRIEDERIKE BALZEREIT

„Opa, habt Ihr früher wirklich mal die Fische im Ozean gerettet?“ Niko sitzt neben seinem Großvater am Strand. Gemeinsam schauen sie auf die Wellen und Schaumkronen. Der Ozean ist Nikos Ein und Alles. Er ist zwar erst zehn, aber er weiß schon jede Menge über das Meer und seine Bewohner.

„Ja, es ist noch gar nicht so lange her, da gab es in den Weltmeeren fast keine Speisefische mehr“, sagt Nikos Großvater. Er war noch ein kleiner Junge, ungefähr so alt wie sein Enkel jetzt – Fernsehen und Zeitungen waren voll von Meldungen über den drohenden Kollaps der Weltmeere. Fast alle Speisefische in Nord- und Ostsee und im Atlantik waren bedroht oder ausgerottet. Aber nicht nur das, der Bergbau in der Tiefsee hatte gerade begonnen. Ölkatastrophen häuften sich, einzelne Inseln verschwanden im Wasser. Und auch sonst sah es nicht besonders türkis aus für den einst so blauen Planeten. „Wie habt ihr das gemacht?“ Niko lässt nicht locker und sein Großvater erzählt:

„Es begann im Jahr 2012, einer Zeit, in der die Informationsflut immer größer wurde. Nicht nur Zeitungen, Zeitschriften und Fernsehen versorgten uns mit Nachrichten. Auch

Dr. Katrin Knickmeier ist Meeresbiologin an der CAU und leitet die Schulprogramme des Exzellenzclusters Ozean der Zukunft. Sie organisiert die Kinderuni, welche Meeresthemen und andere wissenschaftliche Themen für Schüler verständlich macht. Ihr Interesse ist es, Schülern meereswissenschaftliche Kenntnisse zu vermitteln.

Friederike Balzereit ist Leiterin der Öffentlichkeitsarbeit des Exzellenzclusters Ozean der Zukunft. Mit Ausstellungen, öffentlichen Veranstaltungen und im Internet vermittelt Balzereit die Forschungsergebnisse des Exzellenzclusters und informiert über dessen aktuelle Forschungsthemen und Aktivitäten.

KINDER AN DIE MACHT:

über Handys und Computer strömte aus dem Internet eine gigantische Informationswelle über uns hinweg. Die Menge an täglichen Informationen war 200-mal so groß wie nur 15 Jahre zuvor. Wir Kinder wussten mit zehn Jahren so viel und doch so wenig von der Welt. Das sollte sich bald ändern. Eine Gruppe von Ozeanforschern aus Kiel wollte den Ozean verstehen, das Meer, auf das wir gerade blicken. Sie haben gesagt, unsere Zukunft hänge davon ab, wie wir Menschen mit den Weltmeeren umgehen. Und noch hätten wir die Chance, den richtigen Weg einzuschlagen, um den Lebensraum für die Kinder der Erde zu bewahren. Die Kieler Forscher haben sich mit vielen anderen internationalen Ozeanforschern zusammen geschlossen und nach gemeinsamen Lösungen gesucht.

Wir haben uns in unserer Schule viel darüber unterhalten, genau wie die Schulkinder auf der ganzen Welt und nicht viel später eine weltweite Initiative gegründet: „Kids save our ocean“. Anfangs lief es noch ein wenig schleppend. Aber nach und nach haben sich viele Kinder über ihre Online-Netzwerke, über Apps und Zeitschriften informiert. Sie hatten Forscher gefunden, die mitmachten, sie unterstützten und ihr Wissen weitergaben. Auch unsere Lehrer haben uns Rückendeckung gegeben und den Ozean in den Schulen zum Thema gemacht. Nicht nur bei uns drehte sich alles um den Zustand der Weltmeere. Alle Länder der Erde machten mit. Zeitungen, Zeitschriften und Fernsehen berichteten weltweit über die Weltmeere. Und so drang unser Anliegen auch zu den Regierungsvertretern rund um den Globus. Danach war es nur noch ein kleiner Schritt und nach wenigen Monaten wurde das Politikprogramm „Ocean Recovery“ gestartet, mit erheblicher Unterstützung internationaler Unternehmen. Das Ergebnis siehst Du vor Dir. Es gibt wieder ausreichend Fische, der **Plastikwirbel** im Pazifik ist sehr viel kleiner geworden, und wir leben heute schon ohne Atomkraftwerke.“

*Plastikwirbel: Im Zentrum großer ozeanischer
Wirbel sammeln sich Plastikteile und deren
Zersetzungsprodukte und bilden aufgrund ihrer
Langlebigkeit große Ansammlungen.*

Könnte dies eines Tages so passieren? Oder ist das alles Science Fiction? Sicher ist: Die Ozeanforscher in Kiel gibt es wirklich. Sie wollen den Ozean verstehen und ihr Wissen

weitergeben, um unsere Zukunft zu gestalten. Aber der Rest – das ist bestenfalls Zukunftsmusik. Ein Blick in die Lehrpläne und Schulbücher zeigt, dass der größte, faszinierendste und erstaunlichste Lebensraum unserer Erde, der Ozean, in den Schulen kaum Thema ist. Fragen Sie einmal Ihr Kind, was es in der Schule über den Ozean und seine Bewohner gelernt hat. Sie werden von der Antwort enttäuscht sein, wenn sie das Meer lieben und seine Bedeutung für uns Menschen kennen.

Nachfragen bei Kindern und Jugendlichen haben ergeben, dass die wenigsten Schüler in Deutschland den Ozean umfassend kennen lernen können. In einigen Bundesländern wird das Thema Weltmeere beispielsweise in der 10. Klasse in sechs Wochen und insgesamt kaum mehr als zwölf Schulstunden abgehandelt – im Unterrichtsfach Erdkunde. Für so komplexe und spannende Themen wie Rohstoffe aus der Tiefe oder das Meer als eine unserer wertvollsten Nahrungsquellen reicht die Zeit kaum. Auch über die Rolle des Ozeans als Kohlendioxid-Speicher, die Ozeanversauerung, den Meeresspiegelanstieg oder Medizin aus dem Meer werden viel zu wenig Worte verloren.

Warum werden die Merkmale eines Säugetieres noch immer am Beispiel Hund, Katze und Schwein erklärt statt an einem Wal? Warum werden physikalische Gesetze nicht am Beispiel der **Meeresströmungen** vermittelt? Es gibt viele faszinierende Themen in den Meereswissenschaften – und es gibt immer eine Schnittstelle zu anderen Fächern. Beschäftigen sich Schüler mit den Meereswissenschaften, lernen sie interdisziplinäres Denken.

Was einen Wissenschaftler zum Schwärmen bringt, lässt sich Laien meist nur schwer vermitteln. Aber in den Ausstellungen des Exzellenzclusters „Ozean der Zukunft“ stößt ein einfacher Reliefglobus mit dem mittelozeanischen Rücken und zahlreichen Bergen im Meer immer wieder auf Aufmerksamkeit und Erstaunen. Forschung und Messgeräte, richtig in Szene gesetzt, führen zu vielfältigen Fragen und wachsendem Interesse. Und

Meeresströmungen sind horizontale und auch vertikale Massenströme des Meerwassers. Man unterscheidet z. B. Gezeitenströme, die in kurzen Perioden die Richtung wechseln, und kontinuierliche Bewegungen globalen Ausmaßes wie den Golfstrom.



oftmals hören wir die Worte „Das habe ich noch nie so gesehen“ oder „Das habe ich nicht gewusst.“

Das Meer gibt seine Geheimnisse nicht freiwillig preis. Mit enormen technischem Equipment und großartigen Leistungen versuchen die Wissenschaftler, dem Ozean auf den Grund zu gehen. Es bleiben dennoch riesige Flächen und zahlreiche Arten, die wir vielleicht nie kennen lernen werden, weil wir im schlimmsten Falle gerade dabei sind, Teile des Ozeans zu zerstören. Wissen vermitteln – das ist ein Schlüssel zur Rettung der Weltmeere. Jeder Forscher, der einmal einen Vortrag vor wirklich Interessierten, aber Nichtwissenden, gehalten hat, hat das Interesse der Menschen für den Ozean gespürt. Wenn bei Ozeanbeobachtung von Segelflugzeugen in der Tiefsee die Rede ist, leuchten nicht nur Kinderaugen. Wie entstehen Tsunamis und was sind schwarze Raucher? Das alles sind Beispiele dafür, dass Wissenschaft spannend und richtig erklärt, mehr Menschen begeistert und für unsere Umwelt sensibilisieren kann, als viele Wissenschaftler es selbst für möglich halten.

„Scientific Literacy“ ist ein Begriff aus der Bildungsforschung und umfasst die naturwissenschaftliche Grundbildung.

Auf dem Weg ins Jahr 2100 wünschen wir uns deshalb, dass der Ozean, seine Schönheit und seine Bedeutung in den Köpfen und im Bewusstsein von allen Menschen angekommen ist. Jedes Schulkind, nicht nur die Küstenkinder, sollte über den Ozean und seine Bewohner ebenso selbstverständlich begeistert erzählen können, wie heute über den Wald. Im Bildungssystem und in pädagogischen Einrichtungen wird längst neben der „Scientific Literacy“ auch über „Ocean Literacy“ geforscht und referiert. In einigen Ländern wie in den USA ist das bereits heute der Fall.

In unserer Vision von der Zukunft wächst jedes Kind vom Kindergartenalter an mit Informationen über den Ozean auf. Der Ozean und die Meereswissenschaften sind in den Schulen, den Lehrplänen und der Lehrerbildung angekommen. Und die Faszination springt von begeisterten Pädagogen und Wissenschaftlern auf die Schülerinnen und

Schüler über. Aus deren Enthusiasmus schöpft sich der optimal vorbereitete Nachwuchs der zukünftigen Generation der Meereswissenschaftler. In jeder Schule gibt es einen Reliefglobus und didaktisch ausgearbeitete Unterrichtsmaterialien.

Apps, Spiele und Experimentiersets stehen zu vielen Fragen der Meereswissenschaften für Kinder und Erwachsene aller Bildungsschichten zur Verfügung. In Ausstellungen gibt es den Ozean zum Anfassen. Man kann mit neuen Medien einen Blick in den Ozean werfen, und die Visionen der Wissenschaftler geben der Kunst neue Formen. Ein respektvoller Umgang mit dem Meer und seinen Ressourcen hat sich durchgesetzt. Denn an der Seite der Lehrkräfte und Pädagogen der Zukunft stehen authentische Wissenschaftler, die einen Teil ihrer Forschungszeit und ihres Wissens mit der Öffentlichkeit teilen. Wissenschaftler aller Fachrichtungen widmen sich im Jahr 2100 einen Tag im Monat der Öffentlichkeit, erklären ihre Forschungsvorhaben und stellen sich den Fragen und Anregungen der Menschen. Experimentierkurse für jedermann gehören selbstverständlich zum **Portfolio** jedes Meeresforschungsinstituts. Gesellschaftliches Engagement und Wissensvermittlung wird gefördert, nicht nur von den Instituten, sondern auch von Land und Bund.

An der Seite der Lehrkräfte und Pädagogen der Zukunft stehen authentische Wissenschaftler, die einen Teil ihrer Forschungszeit und ihres Wissens mit der Öffentlichkeit teilen.

Utopisch? Vielleicht. Aber Science-Fiction-Geschichten von früher sind heute Realität. Es gibt drahtlose Telefone und Computer. Warum nicht auch mal Kinder, die den Lebensraum Ozean retten und später ihr Wissen wie selbstverständlich weitergeben ob als Wissenschaftler oder Lehrer?



ILLUSTRATIONEN

Seit 2008 arbeiten die Kieler Künstlerinnen Corinna Kraus-Naujeck und Kerstin Mempel gemeinsam in der Künstlergruppe BLAUSCHIMMER.

In BLAUSCHIMMER vereint sich der Wunsch der Künstlerinnen nach Vernetzung, Unterstützung und Austausch in Arbeit und Kommunikation. Der Name steht unter anderem für das Leben und Arbeiten am Meer, das Beobachten und Durchdringen der direkten Umgebung und die Übersetzung in die Vielschichtigkeit der Kunst. Das Sehen als geistige Grundlage des Zeichnens, die Zeichnungen als Ausgangsbasis der entstehenden Arbeiten – meist in Kombination mit Malerei und der Verwendung von transparenten Materialien.

www.leckerkunst.de // www.kunst-kiel.de

REDAKTION

Kerstin Nees, freie Journalistin, Hamburg

Friederike Balzereit, Anke Feiler-Kramer und Kirsten Schäfer, Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“

LAYOUT

Rita Erven, Grafik-Design, Kiel, www.rita-erven.de

DRUCK

Neue Nieswand Druck, Kiel

Februar 2012

EXZELLENZCLUSTER „OZEAN DER ZUKUNFT“

CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL

Christian-Albrechts-Platz 4

24118 Kiel

presse@ocean-der-zukunft.de

www.ocean-der-zukunft.de

ISBN 978-3-00-036812-7