2 Was das Meer zu leisten vermag

> Viele Ökosystemleistungen, die das Meer bringt, sind heute durch Übernutzung, Umweltverschmutzung und Treibhausgase bedroht. Wie stark die einzelnen Lebensräume geschädigt und die Ökosystemleistungen beeinträchtigt sind, ist aber vielfach nicht bekannt. Forscher versuchen daher, den Zustand der marinen Ökosysteme genau zu bestimmen. Eine solche Analyse ist wichtig, um konkrete Schutzmaßnahmen zu planen sowie Grenz- und Zielwerte zu definieren.

Das Gute im Meer

> Wir Menschen leben seit Ewigkeiten mit und von den Meeren. Sie stellen Nahrung, Bodenschätze, Transportwege und andere Dienstleistungen für uns bereit. Von fundamentaler Bedeutung sind die klimaregulierende Wirkung der Ozeane und die im Meer ablaufenden biochemischen Prozesse. Manche dieser Dienstleistungen sind heute bedroht, weshalb es an der Zeit ist, Konzepte für eine nachhaltigere Nutzung der Meere zu entwickeln.

Vom bedrohlichen zum bedrohten Ozean

Jahrtausendelang erschien den Menschen das Meer unendlich weit. Die Bewohner der Küsten, die Fischer und Seefahrer empfanden das Meer als übermächtig und sogar bedrohlich, obgleich es ihre Lebensgrundlage war. Mythen von Seeungeheuern und Meeresgöttern rankten sich um die unergründlichen Tiefen.

In den meisten Ländern und Regionen ist das Meer längst entmystifiziert. Und wie sich zeigt, sind die Ozeane keineswegs so unverwundbar, wie unsere Vorfahren glaubten – im Gegenteil: Heute beeinflusst und schädigt der Mensch den Ozean. Er leitet Gifte und übermäßig viele Nährstoffe ins Meer und plündert Fischbestände. Durch den Ausstoß des Klimagases Kohlendioxid, das sich in großen Mengen im Meerwasser löst, verändert der Mensch inzwischen sogar die Chemie der Wassermassen. Viele Klimaforscher gehen davon aus, dass sich durch die Erwärmung der Atmosphäre und des Ozeans künftig Meeresströmungen und in der Folge die Wetterbedingungen an Land verändern werden. Die durch den Menschen verursachten – anthropogenen – Veränderungen im Meer, in der Atmosphäre und auch an Land sind so tief greifend, dass Wissenschaftler um den Meteorologen Paul Crutzen im Jahr 2000 vorschlugen, den Zeitabschnitt seit Beginn der industriellen Revolution als eigene erdgeschichtliche, durch den Menschen geprägte Epoche zu betrachten. Crutzen, einer der Mitentdecker des Ozonlochs, bezeichnet diese Epoche passend als Menschen-Zeitalter, als Anthropozän (von dem altgriechischen Wort *ánthrōpos*: Mensch).

2.1 > Eine Keramik aus dem 5. Jahrhundert vor Christus. Sagengestalten wie das griechische Meeresungeheuer Skylla waren beliebte Motive für die Verzierung von Alltagsgegenständen.

Steigender Ressourcenverbrauch

Obwohl die Schäden, die der Mensch verursacht, längst bekannt sind, ist es bislang nicht oder allenfalls in geringem Maße gelungen, die Weltwirtschaft auf einen nachhaltigen Kurs zu bringen. Stattdessen nimmt der Verbrauch an Erdgas, Erdöl und Kohle sowie an Metallen und anderen Rohstoffen weiter zu. Seit Anfang der 1970er Jahre hat sich der weltweite Energieverbrauch verdoppelt. Bis zum Jahr 2035 wird er sich nach Angaben der Internationalen Energieagentur (IEA) in Paris nochmals um mehr als ein Drittel erhöhen.

Auf der Suche nach neuen Rohstoffvorkommen dringt der Mensch auch immer weiter ins Meer vor. Heute wird rund ein Drittel des Erdöls im Meer gefördert – Tendenz steigend. Dabei erobert die Mineralölindustrie dort inzwischen die letzte Bastion: den Tief- und Tiefstwasserbereich unterhalb von 400 beziehungsweise 1500 Metern. Etwa 10 Prozent des weltweit geförderten Erdöls werden derzeit aus so großen Tiefen heraufgeholt. Die Investitionen der Mineralölkonzerne für die Ölgewinnung im Meer sind entsprechend hoch.

Des Weiteren erwarten Fachleute, dass im Jahr 2016 auch die Gewinnung von Erzen im Meer beginnen könnte.

2.2 > Der Tiefwasserliegeplatz der chinesischen Firma CIMC Raffles in der Provinz Schandong. An dieser Anlegestelle können bis zu 9 Bohrinseln zugleich festmachen. Das zeigt, welche Dimension die Förderung von Erdgas und Erdöl im Meer inzwischen erreicht hat.

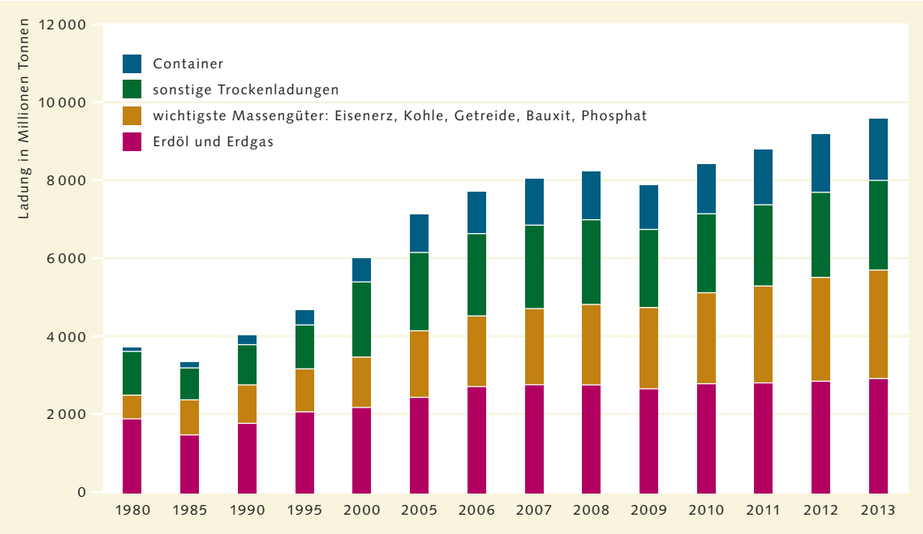
So will der kanadische Bergbaukonzern Nautilus Minerals 2016 vor Papua-Neuguinea endgültig mit dem Abbau von Erzen beginnen, nachdem im Herbst 2014 ein Streit um die Finanzierung zwischen dem Konzern und dem Inselstaat beigelegt wurde. Nautilus Minerals will dort sogenannte Massivsulfide abbauen: Ablagerungen, die sich an heißen vulkanischen Quellen am Meeresboden gebildet haben und die reich an Edelmetallen sind.

In die Tiefsee locken auch Manganknollen oder Kobaltkrusten, die teils hohe Metallgehalte aufweisen und ingesamt sogar größere Mengen an bestimmten Metallen enthalten als entsprechende Lagerstätten an Land. Für den Bergbau im Meer werden derzeit die ersten schweren Unterwasserfahrzeuge gebaut.

Das Meer – der wichtigste Handelsweg

Auch in anderer Hinsicht ist das Meer für die Menschen von großer ökonomischer Bedeutung. Es ist nämlich der wichtigste Handelsweg. Kein anderes Verkehrsmittel transportiert so viele Güter wie das Schiff. Und anders als die Straßen an Land, für die man in vielen Ländern Maut zahlen muss, stehen die Handelsrouten über den offenen Ozean kostenlos zur Verfügung. Per Schiff werden Erdöl, Kohle, Erze und Getreide um die Welt getragen. Elektrogeräte, Kleidung und Lebensmittel gelangen in Containern von Asien nach Nordamerika und nach Europa. In Öltankern wird Rohöl vom Persischen Golf oder aus Südamerika verschifft. Abgesehen von sinkenden Transportzahlen während der Wirtschaftskrise 2008 und 2009 ist die Menge der per Schiff transportierten Güter seit Mitte der 1980er Jahre ständig gewachsen – von rund 3,3 Milliarden Tonnen im Jahr 1985 auf rund 9,6 Milliarden Tonnen 2013. In der Seefahrt sind allein rund 620 000 Schiffsoffiziere beschäftigt. Hinzu kommen viele Millionen Menschen, die als Matrosen oder als Hafenarbeiter tätig sind.

Von besonderem Interesse für die Menschen sind vor allem die Meeresküsten. Nicht umsonst befinden sich hier viele Großstädte wie etwa Hongkong, New York oder Singapur. Zahlreiche Industrieanlagen wurden und werden am Meer errichtet, denn über das Wasser können Rohstoffe und Güter schnell an- und abtransportiert werden. Fachleute schätzen, dass heute 41 Prozent der Weltbevölkerung höchstens 100 Kilometer entfernt vom Meer



2.3 > Die Ozeane sind der weltweit wichtigste Transportweg. Die Menge der auf dem Seeweg transportierten Güter hat seit den 1980er Jahren zugenommen.

leben. Nach Auffassung der Vereinten Nationen dürfte diese Zahl künftig weiter steigen. Hinzukommen in vielen Regionen Millionen von Touristen aus dem Inland, die die Küsten zum Baden und zur Erholung aufsuchen.

Die wichtigste lebende Ressource des Meeres ist aus Sicht des Menschen der Fisch. So bestreiten nach Schätzungen der Welternährungsorganisation (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) heute 600 bis 820 Millionen Menschen weltweit ihren Lebensunterhalt direkt oder indirekt mit der Fischerei. Dazu zählen die Familien der Fischer und auch Zulieferer wie zum Beispiel Hersteller von Fanggeräten. Fisch ist zudem vielerorts Hauptbestandteil der Nahrung und eine sehr wichtige Eiweißquelle. Insgesamt deckt die Menschheit ihren Nahrungsbedarf zu etwa 20 Prozent aus dem Meer. Konsumiert werden neben Fischen, Krebsen und Muscheln auch Algen und Quallen.

Unsichtbare Missstände im Meer

Der Druck auf das Meer nimmt weiter zu, und so stellt sich die Frage, wie sich unter diesen Umständen überhaupt eine nachhaltige Nutzung der Ozeane erreichen lassen könnte. Üblicherweise beziehen sich Nachhaltigkeitstheorien auf die Situation an Land, wo Missstände evident sind. Werden zum Beispiel durch das Abwasser einer Mine Flüsse und Böden für lange Zeit verseucht, dann gibt es direkt Betroffene, deren Nutzungs- oder Eigentumsrechte verletzt sind. Schäden sind meist direkt sichtbar oder zumindest messbar. Schnell ist auch klar, wer Nutznießer ist. So können Interessengruppen klar definiert, Konflikte ausgetragen und am Ende Verhandlungen um eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen geführt werden.

Die Vorgänge im Meer aber bleiben für die meisten Menschen unsichtbar und sind schwer zu veranschaulichen. Vor der Mündung des Mississippi im Golf von Mexiko etwa hat sich in den vergangenen Jahren im Küstenbereich eine 20 000 Quadratkilometer große „dead zone“, eine Todeszone, gebildet, in der kaum noch Sauerstoff vorhanden ist. Die Ursache dafür sind große Mengen von Nährstoffen, die aus der Landwirtschaft in den Fluss und dann in die Küstenregion eingetragen werden. Im Meer führen die Nährstoffe zu üppigem Algenwachstum. Wenn die Algen absterben, sinken sie in die tieferen Wasserschichten, wo sie von Bakterien abgebaut werden, die dabei Sauerstoff verbrauchen. Gibt es nun besonders viele Algen, wird der Sauerstoff beim mikrobiellen Abbau nach

und nach vollständig verbraucht. Für höhere Organismen wie etwa Fische, Krebse, Muscheln und Schnecken ist das eine Katastrophe. Sie fliehen oder sterben bei Sauerstoffmangel. Der Mensch an Land aber bemerkt davon wenig – abgesehen von einigen Fischern, deren Fanggründe sich durch die Ausdehnung der Todeszone verkleinert oder verlagert haben.

Der zweite große Unterschied zum Land ist der, dass zusammenhängende Meeresgebiete nationale Grenzen überschreiten oder – wie die Hohe See – sogar internationale Gebiete sind. Nachhaltigkeit im Meer lässt sich also nur dann erreichen, wenn viele Nationen an einem Strang ziehen. So werden heute neue Konzepte für eine nachhaltige Nutzung des Meeres benötigt, die vor allem international anwendbar sind.

Die Grenzen im Blick

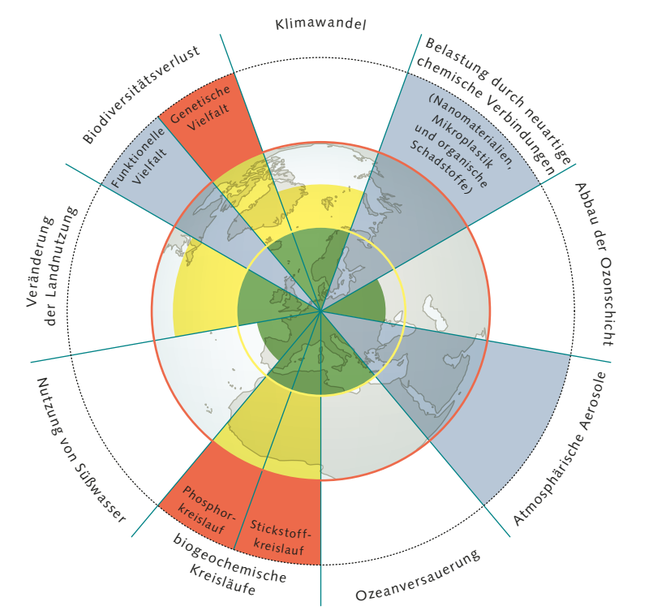
Ein anschauliches Konzept, das derzeit die Nachhaltigkeitsdiskussion international befeuert und Land und Ozean verbindet, ist das Konzept der planetaren Grenzen (planetary boundaries). Bei diesem Konzept, das zuerst 2009 im Fachmagazin „Nature“ veröffentlicht und 2015 im Magazin „Science“ aktualisiert wurde, hat sich ein internationales Forscherteam unter schwedischer Leitung die Frage gestellt, wie sich potenziell katastrophale Umweltveränderungen in der Zukunft vermeiden lassen. Zu diesem Zweck definierten sie 9 essenzielle ökologische Dimensionen beziehungsweise Erdsystemprozesse wie zum Beispiel Klimawandel, Süßwasserverbrauch oder Ozeanversauerung. Für 7 dieser Dimensionen können die Forscher – nach den vorliegenden und zum Teil vorläufigen Berechnungen – Grenzwerte bestimmen. Würden diese überschritten, sagen sie, könne es zu schwerwiegenden globalen oder regionalen Umweltveränderungen kommen – mit unabsehbaren Folgen für das Leben auf der Erde. Nach Auffassung der Wissenschaftler gilt das insbesondere für den Klimawandel und das Artensterben.

Um das Gefahrenpotenzial der Grenzüberschreitungen zu veranschaulichen, werden für jede Dimension 3 Risikostufen angegeben: erstens ein sicherer Bereich; zweitens ein Unsicherheits- beziehungsweise Gefahrenbereich, der anzeigt, dass das Risiko schwerwiegender Effekte ansteigt; und drittens ein Bereich, der signalisiert, dass ein hohes Risiko für schwerwiegende Effekte besteht oder solche Effekte bereits eingetreten sind. Eingetreten und eindeutig unumkehrbar ist beispielsweise das massenhafte Aussterben von Lebewesen.

Derzeit, so die Forscher, werden bereits bei 4 der 9 Dimensionen die planetaren Grenzen beziehungsweise die ökologischen Grenzwerte überschritten: bei der Artenvielfalt, dem globalen Phosphor- beziehungsweise Stickstoffkreislauf, dem Klimawandel und der Landnutzung. Betrachtet man die Situation nicht global, sondern regional, so werden auch in anderen Dimensionen, etwa dem Wasserverbrauch, schon Grenzen überschritten, beispielsweise in trockenen Regionen wie dem Westen der USA, Teilen Südeuropas, Asiens und des Mittleren Ostens.

Nach Schätzungen der Internationalen Union zur Bewahrung der Natur und natürlicher Ressourcen (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN) gehen weltweit durch die anhaltende Zerstörung artenreicher und naturnaher Lebensräume in zunehmender Geschwindigkeit Spezies – und damit deren genetische Informationen – unwiederbringlich verloren. Verglichen mit fossilen Daten ist die Aussterberate heute

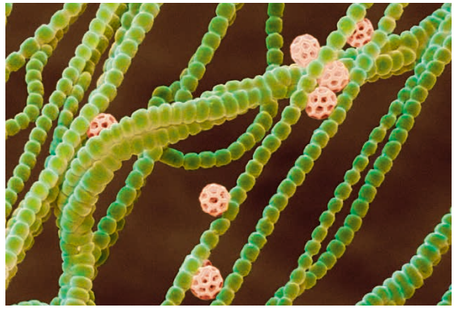
2.4 > Das Modell der planetaren Grenzen verdeutlicht, wie stark die Menschheit die Ressourcen übernutzt. Der Zustand der einzelnen ökologischen Dimensionen wird in unterschiedlichen Farben dargestellt.



Aminosäuren
Aminosäuren sind die Bausteine von Eiweißen (Proteinen). In den Zellen von Pflanzen und Tieren werden Aminosäuren über einen komplizierten biochemischen Prozess, die Proteinbiosynthese, zu Proteinen zusammengesetzt. Je nach Aminosäurezusammensetzung unterscheiden sich die Proteine in ihrer Funktion. Manche werden in Muskelmasse eingebaut, andere regulieren Stoffwechselprozesse. Der zentrale Bestandteil jeder Aminosäure ist die sogenannte Aminogruppe, die Stickstoff enthält.

wesentlich höher. In historischen Zeiten starb pro Jahrtausend beispielsweise nur eine Säugetierart aus. Im Zeitraum von den 1970er Jahren bis heute lag die Rate 100- bis 1000-mal höher. Bis zum Jahr 2050 dürfte sie sich noch einmal um den Faktor 10 erhöhen. Ein wesentlicher Grund für das Artensterben ist die fortschreitende Landnutzung. So werden weiterhin Wälder abgeholzt, um Ackerfläche zu gewinnen, etwa in Südamerika oder in China und Südostasien. Weltweit dürfte die Fläche an Wald und Grasland bis 2050 durch intensivere Landnutzung um weitere 10 bis 20 Prozent schrumpfen – und damit naturnahe Lebensräume mitsamt den in ihnen lebenden Arten.

Stickstoff ist unter anderem für den Aufbau von Aminosäuren wichtig, die sich wiederum zu Proteinen zusammensetzen. Daher benötigen sowohl Pflanzen als auch Tiere Stickstoff. Stickstoff kommt in der Natur in der Atmosphäre als Luftstickstoff vor. Höhere Tiere und Pflanzen können diesen Luftstickstoff aber in der Regel nicht direkt aufnehmen und verwerten. Dazu sind nur einige spezialisierte Organismen wie etwa Bakterien in der Lage. Im Meer zählen dazu die Cyanobakterien, Einzeller, die frei im Wasser schweben und früher als Blaualgen bezeichnet wurden. Cyanobakterien nehmen Luftstickstoff auf, der sich in den oberen Meeresschichten im Wasser löst. Auf diesem Weg gelangt der Stickstoff in die marinen Nahrungsnetze. Der Mensch setzt Stickstoff vor allem in Form von Kunstdünger in der Landwirtschaft ein. Insbesondere in Mitteleuropa sowie in den Agrarregionen Chinas und der USA wird dieser Dünger im Übermaß genutzt und führt zur Eutrophierung von Flüssen, Seen und Küstengewässern, zu Algenblüten und zum gefürchteten Sauerstoffmangel.



2.5 > Die länglichen Cyanobakterien ähneln, unter dem Mikroskop betrachtet, Perlenketten. Die früher als Blaualgen bezeichneten Wasserbewohner sind in der Lage, reinen Stickstoff zu verarbeiten.

Auch der Klimawandel überschreitet die planetare Grenze, die durch eine maximale Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre von 350 ppm (parts per million, Teile pro Million Teile) definiert ist. Mit einer aktuellen Konzentration von 399 ppm liegt sie in einem Gefahrenbereich, in dem ein hohes Risiko schwerwiegender und irreversibler Umweltänderungen herrscht. Seit Langem mahnen Klimaforscher, dass sich die Temperatur der Erdatmosphäre weltweit im Durchschnitt nicht um mehr als 1,5 bis 2 Grad Celsius erwärmen dürfe, um die schlimmsten Folgen des Klimawandels zu verhindern.

Um Nachhaltigkeit zu erreichen, müssen für jede dieser ökologischen Dimensionen nicht nur die richtigen Grenzen bestimmt, sondern auch umfassende Lösungen erarbeitet werden, die sich politisch sowohl auf regionaler als auch überregionaler Ebene durchsetzen lassen. Wie schwierig das im Kontext Meer ist, zeigt unter anderem der langjährige Streit um die Fischfangmengen in der Europäischen Union zwischen Politikern und Fischereiwissenschaftlern. Da die Forscher Fischmengen nur schätzen können, ist dieser Schwachpunkt häufig von politischer Seite ausgenutzt worden, um höhere Fangquoten festzulegen.

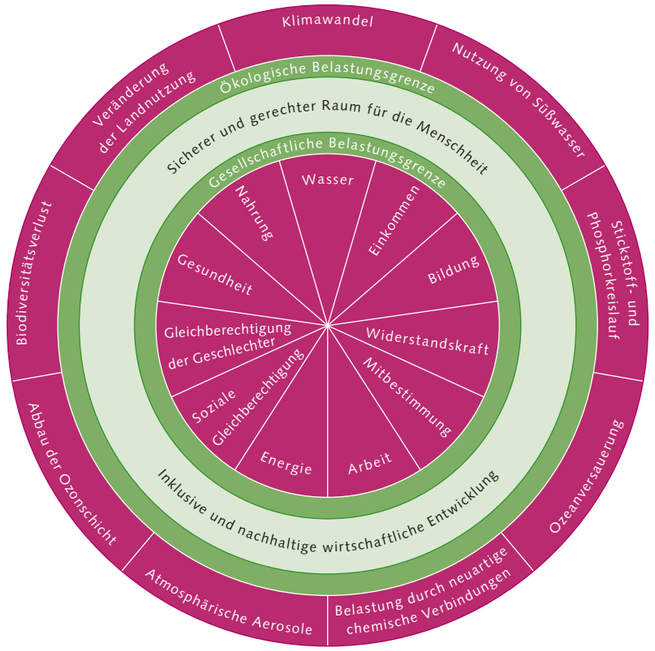
Der Wunsch nach sozialer Gerechtigkeit

Doch die planetaren Grenzen sind nur eine der vielen Herausforderungen für das künftige Leben auf der Erde. Die Menschheit sieht sich auch mit sozialen Problemen konfrontiert. Viele Menschen leiden immer noch Hunger und leben in extremer Armut. Das Gesundheits- und Bildungswesen ist in vielen Ländern weiterhin stark unterentwickelt, und soziale Gerechtigkeit ist vielerorts nicht gegeben. In den vergangenen Jahren wurde daher das Konzept der planetaren Grenzen weiterentwickelt und um diese sozialen Aspekte ergänzt. Erst wenn auch diese sozialen Dimensionen erfüllt sind und die entsprechenden gesellschaftlichen Belastungsgrenzen nicht überschritten werden, ist ein sicherer und gerechter Raum für die Menschheit verwirklicht. Dieser Zusammenhang wird mit dem Bild eines Donuts veranschaulicht, bei dem der sichere und gerechte Raum außen von den planetaren Grenzen und innen von den essenziellen Bedürfnissen der Menschen begrenzt ist. Sowohl der Donut als auch das Konzept der planetaren Grenzen sind so weit gefasst, dass sie sich auf alle Kulturen weltweit übertragen lassen. Trotzdem geben sie nicht im Detail vor, was zu tun ist. Um das Ideal eines sicheren und gerechten Raumes für die Menschheit zu erreichen, müssen einzelne Lebensräume daraufhin untersucht werden, wie sich künftig eine nachhaltige Nutzung erreichen lässt.

Des Guten so viel

Bevor man ökologische Grenzen definieren kann, muss man zunächst erkennen, welche Aspekte dabei überhaupt relevant sind. Die Meere etwa liefern besondere Dienstleistungen, die vielfach von globaler Bedeutung sind und die der Mensch direkt oder indirekt nutzt und ausbeutet. Meere speichern beispielsweise die Energie aus dem Sonnenlicht über viele Monate und gleichen so die jahreszeitlichen Klimaschwankungen aus. Die Meeresströmungen verteilen die Wärme zusätzlich über Tausende von Kilometern. Der Golfstrom etwa transportiert die subtropische Wärme aus dem Golf von Mexiko über den Atlantik in das kühlere Europa. Dank der ozeanischen Wärmespeicherung und des Golfstroms herrscht in Europa ein gemäßigtes Klima, was dort eine wichtige Voraussetzung für die Produktivität der Landwirtschaft ist.

Meeresexperten haben nach dem Vorbild des internationalen Großprojekts Millennium Ecosystem Assessment (MA) der Vereinten Nationen die Ökosystemleistungen des Meeres herausgearbeitet und in die 4 Kategorien bereitstellende Dienstleistungen, unterstützende Dienstleistungen, regulierende Dienstleistungen und kulturelle Dienstleistungen eingeteilt. Nicht immer lassen sich die einzelnen Dienstleistungen jeweils nur einer einzigen Kategorie zuordnen. So gibt es beispielsweise einige Meeresgüter, die sowohl eine bereitstellende als auch eine kulturelle Dienstleistung darstellen – Muscheln etwa, die nicht nur als wichtige Nahrung an die Bevölkerung, sondern auch als traditioneller Schmuck an Touristen verkauft werden.



2.6 > Das Donut-Schaubild visualisiert Zusammenhänge zwischen ökologischen und sozialen Dimensionen. Nur im grün gekennzeichneten Bereich ergibt sich ein sicherer und gerechter Raum für die Menschheit, da hier die Grenzwerte nicht überschritten werden.

Bereitstellende Dienstleistungen
Zu den wichtigen bereitstellenden Dienstleistungen des Meeres aus Sicht des Menschen zählen unter anderem die ozeanischen Transportwege oder der Fisch und die Meeresfrüchte, die für die Ernährung vieler Millionen Menschen essenziell wichtig sind. Pro Jahr werden weltweit rund 80 Millionen Tonnen aus den Ozeanen geholt. Der Wert der jährlich angelandeten Fische beträgt etwa 115 Milliarden US-Dollar. Durch die weitere Verarbeitung zu verschiedenen Fischprodukten, die ebenfalls verkauft werden, erhöht sich die Wertschöpfung in der Fischereiindustrie sogar noch. Fisch ist damit eine wichtige ökonomische Größe. Etwa 90 Prozent der Fischereiaktivitäten finden in den nährstoffreichen und produktiven Küstengebieten statt.

Vor allem in den Schwellenländern lebt die Küstenbevölkerung oftmals direkt vom Fischfang. Einer wissenschaftlichen Studie zufolge ist in 136 von 144 Küstenstaaten die Kleinfischerei in einfachen Motor-, Ruder- oder Segelbooten für viele Menschen der Haupterwerb. In eini-

Übersicht der marinen Ökosystemleistungen

Die Vorteile und der Nutzen, die die Meere aus Sicht des Menschen erbringen, werden als Ökosystemleistungen bezeichnet. Ökosystemleistungen können sowohl materieller als auch immaterieller Art sein und werden in 4 Kategorien eingeteilt.

UNTERSTÜTZENDE ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN

können als unabdingbare Basis für die übrigen Dienstleistungen angesehen werden

- Aufrechterhaltung von Lebensräumen (durch Zulieferung von Nahrung, Sauerstoff, sauberem Wasser o. Ä.)
- Erhaltung der Nahrungsnetzdynamik (funktionierende Räuber-Beute-Beziehungen)
- Wasserkreislauf (Verdunstung und Regen; Austausch zwischen Land, Atmosphäre und Meer)
- Sicherung der Artenvielfalt
- Primärproduktion (Produktion von Biomasse)
- Nährstoffkreisläufe (Bildung von Nährstoffen durch Primärproduktion, Abbau von Nährstoffen durch Bakterien sowie biochemische Umwandlung am Meeresboden oder im Wasser)
- Erhaltung der Widerstandsfähigkeit der Meereslebensräume

BEREITSTELLENDE ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN

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

- Fisch und Meeresfrüchte aus Wildfang und Aquakultur
- Transportwege
- Erneuerbare Energien (Gezeiten, Welle und Wind)
- Trinkwasser aus Meerwasserentsalzungsanlagen
- Flächen für Pipelines und Seekabel
- Medizinische Wirkstoffe und andere biochemische Substanzen, beispielsweise für die Lebensmittel- und Kosmetikindustrie
- Militärisch nutzbare Flächen
- Güter für Schmuck oder Souvenirs
- Nicht erneuerbare Ressourcen (Erdgas, Erdöl, Kies und Sand)
- Genetische Ressourcen aus Bakterien, Schwämmen und anderen Lebewesen, beispielsweise für die Entwicklung neuer Medikamente

KULTURELLE ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN

beinhalten vielfältige Funktionen, die dem immateriellen Wohlbefinden des Menschen dienen

- Beitrag für die Wissenschaft und für die naturkundlich-wissenschaftliche Bildung
- Ästhetischer Wert schöner Meereslandschaften
- Religiöser und spiritueller Wert von Meereslandschaften und Orten am und im Meer
- Inspiration für Folklore, Kunst, Architektur o. Ä.
- Erholung und Tourismus
- Kulturerbe (kulturell bedeutsame Landschaften und Orte am und im Meer, kulturell bedeutsame Meerestiere für traditionellen Schmuck o. Ä.)

REGULIERENDE ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN

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

- Klimaregulierung durch den Transport von Wärme durch die Meeresströmungen und den Austausch von Wärme zwischen Wasser und Atmosphäre
- Küstenschutz durch Dünen, Korallenriffe und Mangrovenwälder
- Wasserreinhaltung durch den Abbau von Nährstoffen, die aus Abwässern und der Landwirtschaft ins Meer gelangen
- Erhaltung der Luftqualität durch Produktion von Sauerstoff durch Algen oder Aufnahme von Kohlendioxid ins Meer
- Wasserreinhaltung durch den Abbau von Schadstoffen durch Verdünnung, durch chemische Veränderung in unschädliche Substanzen oder durch das Absinken und Einlagern ins Sediment

gen Regionen Madagaskars verdienen bis zu 87 Prozent der Erwachsenen ihren Lebensunterhalt mit Kleinfischerei. In Ozeanien wiederum betreiben 82 Prozent der in der Fischerei tätigen Menschen Kleinfischerei – industrielle Fischerei mit großen Fangschiffen ist dort quasi nicht vorhanden. In solchen Regionen hat Fisch eine besondere Bedeutung, weil er in Ermangelung von Alternativen Nahrung und Einkommen zugleich liefert.

Auch die handwerkliche Produktion von Meerestieren wie etwa Muscheln und Schnecken, die zu Souvenirs oder Schmuck verarbeitet werden, wird zu den bereitstellenden Dienstleistungen der Ozeane gezählt. In vielen Fällen werden heute bereits Substanzen aus dem Meer für kosmetische Produkte oder in der chemischen Industrie verwendet. Das aus Krebspanzern extrahierte Chitosan etwa wird Zahnpflegeprodukten beigemischt, da es den Zahnschmelz schützt.

Von zunehmendem Interesse ist ferner das medizinische Potenzial sowie die genetische Information von Meereslebewesen. So wurden aus Schwämmen Wirkstoffe gegen Herpes oder Krebstumoren isoliert. Außerdem hofft man, künftig Gene isolieren zu können, die die Bauanleitung für medizinisch interessante Proteine enthalten. Gelingt es, solche Gene in industriell genutzte Zuchtbakterien wie *Escherichia coli* zu übertragen, könnten die Wirkstoffe in großem Stil hergestellt werden. Auch verspricht man sich, aus Meerestieren neue antibakterielle Wirkstoffe zu isolieren, die auch gegen die gefürchteten multiresistenten Keime wirken, die mit klassischen Antibiotika nicht mehr zu bekämpfen sind.

Die Meere bieten ferner eine Reihe weiterer bereitstellender Dienstleistungen. Dazu zählen die nicht erneuerbaren Energieträger Erdgas und Erdöl sowie die Erze am Meeresgrund, aber auch Diamantenvorkommen. Sand, der vor den Küsten abgebaut wird, um Sandstrände nach schweren Stürmen aufzufüllen, oder auf Baustellen eingesetzt wird, zählt ebenfalls dazu. Und natürlich die Transportwege, die das Meer der Schifffahrt bietet.

Das Meer stellt aber nicht nur Energie in Form fossiler Brennstoffe bereit, sondern auch in Form erneuerbarer Ressourcen. So versucht man heute verstärkt, die Energie nutzbar zu machen, die in Wellen, in Tideströmungen und im Wind über dem Meer steckt. An der irischen Küste wurden vor einiger Zeit Unterwasserpropeller installiert, die durch das Steigen und Fallen des Wassers im Ablauf der Gezeiten in Bewegung gesetzt werden. Recht bekannt ist inzwischen auch die Anlage Pelamis. Dieser Wellenenergiewandler reitet wie eine Seeschlange auf dem Meer. Er besteht aus mehreren Segmenten, die sich gegeneinander bewegen und dabei hydraulischen Druck aufbauen. Der wiederum treibt eine Turbine an. Inzwischen gibt es mehrere Pelamis-Anlagen, die vor Portugal oder bei den Orkney- und Shetlandinseln in Betrieb sind. Experten schätzen, dass sich allein durch Wellenenergie jährlich 1700 Terawatt Strom erzeugen ließen, was in etwa 10 Prozent des weltweiten Strombedarfs entspricht. Inzwischen nimmt auch die Zahl der Windräder im Meer zu. Führend bei der sogenannten Offshore-Windenergie ist Großbritannien, vor dessen Küste bereits ein gutes Dutzend größere Windparks errichtet wurde.

2.7 > Fischer am Strand von Kayar, Senegal. Mit ihren Einbaumschiffen, den Pirogen, fahren sie aufs Meer hinaus, um die lokalen Märkte mit Fisch zu versorgen. Zehntausende an Senegals Küste betreiben „la pêche artisanale" – das handwerkliche Fischen.

Kulturelle Dienstleistungen

Bei den kulturellen Dienstleistungen handelt es sich um solche, die insbesondere gesellschaftliche, religiöse oder spirituelle Bedeutung haben beziehungsweise zu den Traditionen eines Volkes gehören. Ferner zählen zu den kulturellen Dienstleistungen die Ästhetik einer Landschaft sowie ihre Erholungsfunktion, ihr Freizeitwert oder die Inspiration, die sie bietet. Auch den Anreiz, der von einem Meeresgebiet für die Wissenschaft oder die Naturkunde ausgeht, zählen Nachhaltigkeitsexperten zu den kulturellen Dienstleistungen. Es ist durchaus möglich, dass sich diese mit anderen Ökosystemleistungen überlappen – beispielsweise mit den bereitstellenden Dienstleistungen.

Ein historisches Beispiel ist der Farbstoff Purpur, mit dem während der Antike reger Handel getrieben wurde. Der Farbstoff wurde seinerzeit vor allem in Griechenland aus den im Meer lebenden Purpurschnecken gewonnen. Da jede Schnecke nur sehr wenig Farbstoff enthält, benötigt man viele Tiere, was die Produktion aufwendig und teuer macht. Der gewonnene Purpur war ein exklusives Produkt und blieb lange Zeit Würdenträgern und hohen Beamten vorbehalten. Daher hatte er auch einen hohen symbolischen Wert. In Rom schmückten beispielsweise die Mitglieder des Senats ihre Togen mit purpurnen Bordüren. Der Purpurhandel war über Jahrhunderte ein profitables Geschäft.

2.8 > Die Purpurschnecke *Bolinus brandaris*. Der Purpurfarbstoff wurde aus einem weißlichen Sekret in der Mantelhöhle gewonnen. 8000 Purpurschnecken waren nötig, um 1 Gramm des Farbstoffs zu produzieren. 200 Gramm davon waren erforderlich, um 1 Kilogramm Wolle zu färben.

Ein anderes Naturprodukt, das große Bedeutung und beachtlichen Reichtum verkörperte, waren lange Zeit Perlen, die im Persischen Golf von Perlentauchern gewonnen wurden. Viele Jahre war der Perlenhandel der bedeutendste Wirtschaftszweig in dieser Region. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts erlebte die Perlenindustrie dort ihre letzte Blüte. Jährlich wurden Perlen im Wert von 160 Millionen US-Dollar umgesetzt. Kurze Zeit später jedoch gelang es in Japan, Perlmuscheln in großen Mengen zu züchten. Damit brach das Monopol der Perlentaucher am Persischen Golf zusammen.

Anders als Purpur und Perlen aus dem Persischen Golf ist Haifischflossensuppe auch heute noch von Bedeutung. Der Verzehr dieses Gerichts hat vor allem in chinesischsprachigen Regionen Tradition. Heute wird die Suppe zu sehr hohen Preisen angeboten. Sie dient nicht nur als Nahrung, sondern symbolisiert auch Prestige und Status, womit sie eine bereitstellende und eine kulturelle Dienstleistung zugleich ist.

Der Haifischfang jedoch ist stark umstritten. Da er sehr profitabel ist, werden Haie, unter anderem auch bedrohte Arten, intensiv bejagt, wodurch die Bestände zum Teil stark abgenommen haben. Zudem werden die gefan-

2.9 > Im belgischen Oostduinkerke gibt es noch einige Fischer, die Krabben auf sehr eigentümliche Weise fangen. Sie sitzen auf einem Pferd, das die schweren Krabbennetze hinter sich herzieht.

genen Tiere vielfach nicht komplett verwertet. Oftmals werden nur die wertvollen Flossen abgetrennt und die Kadaver ungenutzt zurück ins Meer geworfen.

Anders stellt sich die Situation der Nuu-chah-nulth dar, Indianer, die auf oder bei Vancouver Island an der kanadischen Pazifikküste leben. Sie betrieben Walfang, was heute aus Gründen des Artenschutzes verboten ist. Die Nuu-chah-nulth empfinden das Verbot als schweren Verlust einer Tradition. Denn der Walfang, das gemeinsame Jagen, das Schlachten der Tiere und die traditionellen Feste, die den Walfang begleiteten, förderten die Gemeinschaft der Indianer fundamental. Mit dem Walfangverbot ist dieses wichtige soziale Bindeglied entfallen. Dieser Fall macht deutlich, wie komplex die Bewertung von kulturellen Ökosystemleistungen sein kann.

Ein Beispiel für religiöse und spirituelle Aspekte des Meeres sind Seebestattungen, die in Europa oder auch in Japan üblich sind. So wünschen sich viele Menschen nicht in der Erde, sondern im offenen Meer, dem Ursprung des Lebens, bestattet zu werden. Nach der Verbrennung des Leichnams wird die Asche in einer wasserlöslichen Urne im Meer versenkt. Die Bestattung ist nur in bestimmten Meeresgebieten erlaubt. Zudem ist sie nur deshalb möglich, weil das Übereinkommen über die Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen und anderen Stoffen von 1972 (Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, kurz: London Convention, LC) das Versenken von Urnen als Ausnahme zulässt.

Von kultureller Bedeutung ist heute auch die alte Tradition des Lenj-Bootsbaus, die man im Iran pflegt. Die etwa 15 Meter langen Holzboote wurden an der Nordostküste des Persischen Golfs lange Zeit für den Handel, für Reisen, das Perlentauchen und die Fischerei genutzt. Es gibt viele Erzählungen, die sich um die Lenj-Boote ranken. Heute pflegen auch Künstler die Tradition. Mancherorts werden eigens Lenj-Festivals veranstaltet.

Die UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur) hat den Lenj-Bootsbau auf ihre Liste des sogenannten immateriellen Kulturerbes gesetzt. Darauf findet sich beispielsweise auch die traditionelle belgische Garnelen- beziehungsweise Krabbenfischerei, bei der schwere Arbeitspferde eingesetzt werden. Die Kaltblüter ziehen dabei ein Fanggeschirr durch das Wasser parallel zum Strand. Die weitaus meisten Krabben in Westeuropa werden seit Jahrzehnten mit Kuttern gefischt, doch gibt es an der Ärmelkanalküste bei Oostduinkerke immer noch Familien, die an der mühevollen Tradition mit dem Ross festhalten. Der Fang zu Pferd wirft gerade so viel ab, sagen die Fischer, dass es zum Leben reicht. Die wirtschaftliche Bedeutung für die Region ist eher zu vernachlässigen.

Derzeit enthält die UNESCO-Liste insgesamt 42 Meeres- und Küstengebiete oder entsprechende Traditionen.

Kulturelle Dienstleistungen – Basis für den Tourismus

Aspekte wie der Erholungswert oder die Schönheit einer Küstenlandschaft, die zu den kulturellen Ökosystemleistungen gezählt werden, sind eng mit dem Tourismus verbunden. Religiöse Stätten und andere Kulturdenkmäler, schöne Landschaften und Erholungsgebiete locken jedes Jahr Millionen Urlauber an. Wie viele Menschen am Meer Urlaub machen und wie groß damit die Bedeutung der Küsten für den Tourismus weltweit ist, lässt sich nach Auffassung der UN-Welttourismusorganisation (United Nations World Tourism Organization, UNWTO) heute kaum beziffern, weil die Daten in verschiedenen Regionen unterschiedlich erhoben werden oder unvollständig

2.10 > Die iranischen Lenj-Holzboote wurden früher am Persischen Golf für den Handel, das Perlentauchen oder die Fischerei genutzt. Die UNESCO will die Tradition des Lenj-Bootsbaus erhalten.

sind. Zudem lässt sich kaum analysieren, inwieweit vom Tourismus an der Küste auch das Hinterland profitiert – etwa durch Strandurlauber, die Städte im Binnenland besuchen. In Europa versucht man immerhin abzuschätzen, wie hoch der Anteil der Touristen in den Küstenregionen ist. So schätzt man, dass 2009 in 27 europäischen Ländern insgesamt etwa 28 Millionen Bettenplätze (in Ferienwohnungen, Hotels, Herbergen oder auf Campingplätzen) zur Verfügung standen. Davon befanden sich rund 60 Prozent in den Küstenregionen. Laut einer Umfrage in der Europäischen Union (EU) verbringen 46 Prozent der EU-Bürger ihren Jahresurlaub als Badegäste am Strand. In dieser Statistik nicht erfasst wurden Touristen, die ans Meer fahren, um dort zu tauchen oder anderen sportlichen Aktivitäten nachzugehen. Das wiederum bedeutet, dass die Gesamtzahl der maritimen EU-Urlauber höher einzuschätzen ist.

Als ein Beispiel dafür, wie beliebt das Meer bei Touristen ist, führt die UNWTO die Wal- und Delfinbeobachtungen an. Für dieses touristische Segment liegen ausreichend Daten vor. Walbeobachtungen wurden erstmals Anfang der 1950er Jahre auf der Point-Loma-Halbinsel in Kalifornien angeboten. Damals wurden die Meeressäuger noch vom Land aus beobachtet. Bereits zu jener Zeit lockten die Wale jährlich rund 10 000 Besucher an. Es zeigte sich, dass auch anderswo Menschen von den großen Tieren fasziniert sind, und so verbreitete sich diese Touristenattraktion schließlich über die ganze Welt. Wal- und Delfinbeobachtungen werden heute in 119 Ländern angeboten. Etwa 13 Millionen Menschen nutzen dieses Angebot jährlich. Dafür geben sie rund 800 Millionen US-Dollar aus. Rechnet man die Kosten für Unterkunft, Anreise und Verpflegung hinzu, belaufen sich die Ausgaben der Touristen auf 2,1 Milliarden US-Dollar pro Jahr.

2.11 > Die Kalksteinhöhlen auf der mexikanischen Halbinsel Yucatán sind bei Tauchern sehr beliebt.

Unterstützende Dienstleistungen

Biologische, chemische und physikalische Prozesse, die in der Umwelt auf natürliche Weise ablaufen und damit Basis des Lebens auf der Erde sind, zählen zu den unterstützenden Dienstleistungen. Auch die Dynamik des Nahrungsnetzes im Meer, das fein abgestimmte Miteinander von Beute und Räubern, gehört dazu und ist letztlich auch für den Menschen von großem Nutzen, da Fisch ein wertvolles Lebensmittel ist. Sogar die Artenvielfalt der Lebensräume und die verschiedenen Lebensräume selbst zählen zu dieser Art von Dienstleistungen. Wissenschaftler haben festgestellt, dass die Artenvielfalt für die Stabilität der marinen Ökosysteme extrem wichtig ist. Das haben unter anderem Experimente in Großalgenwäldern gezeigt. In einem Freilandexperiment wurde beispielsweise die Anzahl der Großalgenarten künstlich reduziert, indem man einige zu Beginn der Wachstumsperiode entfernte. Tatsächlich verringerte sich in diesem artenarmen Lebensraum die Algenbiomasse insgesamt – und damit auch die Nahrung für die Konsumenten sowie die Zahl der verfügbaren Habitate.

Eine für das Leben im Meer bedeutende unterstützende Dienstleistung ist die sogenannte Primärproduktion, deren Grundlage die Photosynthese des pflanzlichen Planktons ist. Bei der Photosynthese bauen Pflanzen mithilfe des Sonnenlichts energiereiche Moleküle wie Zucker und Stärke auf. Stimmen Lichtstärke und Nahrungsangebot, können Algen sehr schnell wachsen und sich vermehren. Die Leistung der Meeresalgen ist beachtlich: Alles in allem erzeugen sie etwa 50 Prozent der pflanzlichen Biomasse weltweit.

Die Primärproduktion ist die Basis des Nahrungsnetzes. Einzellige Algen werden von Fischlarven und Kleinkrebsen gefressen, die ihrerseits wieder Nahrung für größere Fische oder Meeressäuger sind. Wie wichtig die Primärproduktion im Meer ist, zeigen Studien, in denen untersucht wurde, inwieweit die Größe von Fischbeständen mit der Primärproduktion zusammenhängt. Es zeigte sich, dass die Menge an gefangenem Fisch in Gebieten mit zeitweise hoher Primärproduktion um bis zu 30 Prozent stieg, während sie in anderen Regionen in Zeiten schwacher Primärproduktion um bis zu 40 Prozent abnahm.

Mit der Primärproduktion sind die verschiedenen biochemischen Prozesse und Stoffkreisläufe des Meeres verbunden. Ein Beispiel für diese fundamentalen Prozesse im Ozean ist der Kreislauf des Kohlenstoffs. Der Körper des Menschen ist aus Kohlenstoff aufgebaut, und auch tierische und pflanzliche Biomasse besteht zu einem großen Teil daraus. Pflanzen an Land und Algen im Meer nehmen ihn in Form von Kohlendioxid aus der Atmosphäre oder dem Wasser auf. Das CO_2 dient den Pflanzen dann als Baustein für die Zucker- und Stärkeproduktion während der Photosynthese. Durch den Stoffwechsel von Organismen und natürliche chemische Prozesse wechselt der Kohlenstoff immer wieder seinen Zustand. Im Meer etwa sinken große Kohlenstoffmengen in Form von abgestorbener Biomasse wie etwa Algen oder Kleinstkrebsen in die Tiefe, die während des Absinkens bereits zum Teil wieder von Bakterien als Nahrung genutzt und somit verstoffwechselt werden.

Neben dem Kohlenstoffkreislauf gibt es noch eine Reihe von anderen Kreisläufen, die für das Leben von Bedeutung sind. Ein Beispiel ist der Stickstoffkreislauf.

Region	Wal- und Delfinbeobachter 2008	Länder 2008	Direkte Ausgaben (Millionen USD)	Gesamtausgaben (Millionen USD)
Afrika and Mittlerer Osten	1 361 330	22	31,7	163,5
Europa	828 115	22	32,2	97,6
Asien	1 055 781	20	21,6	65,9
Ozeanien, Pazifische Inseln, Antarktis	2 477 200	17	117,2	327,9
Nordamerika	6 256 277	4	566,2	1 192,6
Mittelamerika und Karibik	301 616	23	19,5	53,8
Südamerika	696 900	11	84,2	211,8
GLOBAL TOTAL	**12 977 218**	**119**	**872,7**	**2 113,1**

2.12 > Wal- und Delfinbeobachtungen sind ein wichtiges Segment der Tourismusindustrie. 2008 gingen weltweit fast 13 Millionen Menschen auf eine solche Safari. Dafür gaben sie mit Anreise und Übernachtung 2,1 Milliarden US-Dollar aus.

Regulierende Dienstleistungen

Der Schutz vor Stürmen und Überflutungen, den etwa Mangrovenwälder, Dünen oder Korallenriffe bieten, zählt ebenso zu den regulierenden Dienstleistungen, wie der Schutz vor Erosion, also der Verlust von Sand an der Küste durch Stürme und Strömungen. Diesen Schutz leisten intakte Ökosysteme wie etwa die dichte Vegetation auf Dünen, die den Sand bei Sturm zusammenhält, oder **Seegraswiesen** und Muschelbänke im Wasser, die verhindern, dass Wellen das feine Sediment forttragen.

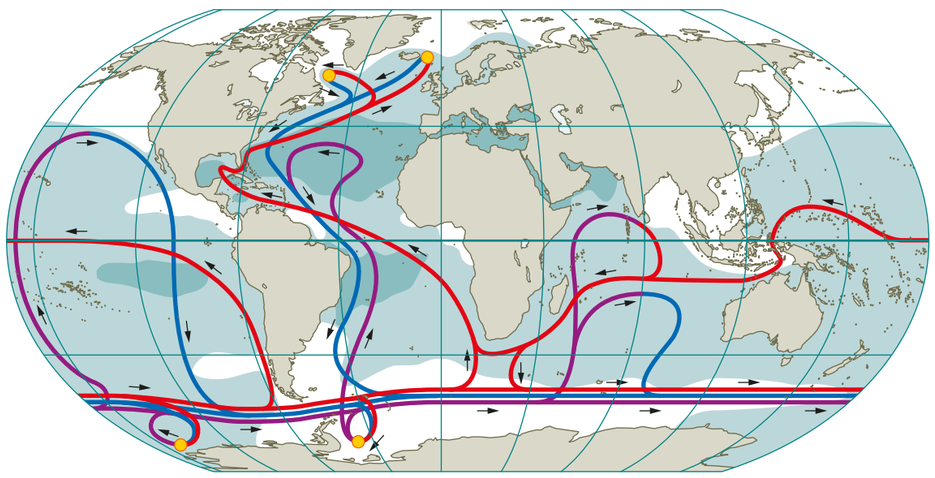
Abfall und Fäkalien gelangen in großen Mengen über die Flüsse ins Meer oder werden vielerorts aus der Kanalisation direkt in die Küstengewässer eingeleitet. Ihr biologischer Abbau wird ebenfalls als eine regulierende Ökosystemleistung betrachtet, wie auch die Aufnahme von Giftstoffen, die der Mensch freigesetzt hat, etwa Schwermetallen oder langlebigen Chlor- und Fluorverbindungen. Vor allem Einzeller und Bakterien bauen diese organische Schmutzfracht ab. Sterben sie und sinken zu Boden, setzen sich mit ihnen auch die Schadstoffe ab, die sich im Sediment sammeln und damit aus dem Wasser entfernt werden. Natürlich verbleiben die Giftstoffe im Sediment noch für längere Zeit in der Umwelt. Im Wasser aber wären ihnen viele Meereslebewesen direkt ausgesetzt gewesen. Vor allem Planktonorganismen hätten diese

Schadstoffe mit kleinen Nahrungspartikeln aus dem Wasser aufgenommen und dann in der Nahrungskette an andere Organismen weitergegeben.

Klimamotor Meer

Das Meer hat einen entscheidenden Einfluss auf das Klima. Wissenschaftler bezeichnen es sogar als Klimamotor der Erde. Zum einen hat das Meer einen regionalen Einfluss. Da es Wärme lange speichern kann, heizt es im Winter die Atmosphäre auf und bringt damit in den Küstengebieten wärmere Luft auf das Festland. Weil über dem Meer viel Wasser verdunstet, liefern die Meere in vielen Regionen außerdem zu einem großen Teil den Regen, der über dem Land niedergeht.

Zum anderen hat das Meer eine globale Klimawirkung. So nimmt das Meerwasser in den Tropen große Mengen an Sonnenenergie auf und transportiert diese in Richtung der Pole. Da Wasser Wärmeenergie lange speichern kann, wird diese über viele Tausend Kilometer befördert. Doch die Sonne über den Tropen ist nicht der einzige Antrieb. Auch physikalische Prozesse an den Polen halten die Weltklimamaschine in Gang: Dort kühlt das Wasser stark ab, sodass sich Eis bildet. Da Eis kein Salz enthält und das Salz beim Gefrieren im Meerwasser zurückbleibt, steigt in den Meereisgebieten der Salzgehalt des Wassers. Der hohe Salzgehalt und die Abkühlung führen dazu, dass das Meerwasser dichter und damit schwerer wird. Dadurch beginnt das Wasser abzusinken. Dieses Phänomen, das in einigen wenigen polaren Meeresregionen auftritt, nennen Fachleute Konvektion. Unterhalb von etwa 2000 Metern schichtet sich das Wasser in die tiefen Wassermassen ein und strömt gemächlich zurück gen Äquator. Damit schließt sich der Kreis der großen Meeresströmungen, der in den Tropen beginnt. Da diese den Globus umspannenden Strömungen durch Temperaturen und Salzgehalt getrieben sind, nennen Wissenschaftler dieses Phänomen thermohaline Zirkulation (*thermo*: angetrieben durch Temperaturunterschiede; *halin*: angetrieben durch Salzgehaltsunterschiede).



2.13 > Die weltumspannenden Strömungen sind komplex und verbinden alle Ozeane. Die thermohaline Umwälzbewegung ist in der Grafik vereinfacht dargestellt. Die gelben Kreise stellen die wichtigsten Gebiete dar, in denen Wasser in die Tiefe absinkt. Die lila und blauen Linien, die von dort ausgehen, markieren die Pfade der Boden- und Tiefenströmungen. Auf ihrem Weg durch den Ozean werden diese Strömungen vermischt und erwärmt, bis sie schließlich aufsteigen. Die Pfade der warmen oberflächennahen Rückströmungen sind rot gezeichnet. Dunkle Gebiete weisen einen höheren, weiße Gebiete einen niedrigeren Oberflächensalzgehalt auf. Da der Atlantik im Durchschnitt salziger als der Pazifik ist, kann sich hier Tiefenwasser leichter bilden. Der Zirkumpolarstrom zeigt, dass alle Ozeane miteinander verbunden sind.

Doch nicht nur die thermohaline Zirkulation, sondern auch die Winde beeinflussen die Meeresströmungen. Winde entstehen dadurch, dass sich Meeresgebiete oder verschiedene Landmassen unterschiedlich stark aufheizen. Dadurch ergeben sich Luftdruckunterschiede, die durch Windströmungen ausgeglichen werden. Von besonderem Einfluss sind die Passatwinde, die in den Tropen und Subtropen mehrere Monate lang aus derselben Richtung wehen. In bestimmten Gebieten treiben die Passate das Oberflächenwasser von den Küsten fort. In der Folge steigt an den Küsten aus der Tiefe kaltes und nährstoffreiches Wasser auf. Fachleute nennen diese Meeresregionen Auftriebsgebiete. Beispiele dafür sind die Küstengewässer vor Peru und Südafrika. Da das aufsteigende Wasser viele Nährstoffe aus der Tiefe an die Oberfläche bringt, ist hier die Primärproduktion besonders hoch. Entsprechend sind die Gewässer besonders reich an Fisch.

Austausch von Gasen

Das Meer reguliert nicht nur das Klima, sondern auch Gase. So tauschen die Ozeane und die Atmosphäre permanent große Mengen an Gasen aus. Täglich nimmt das Meerwasser beispielsweise Kohlendioxidmengen auf, die dem Gewicht von 4 Millionen Mittelklasseautos entsprechen. Seit dem Beginn der industriellen Revolution haben die Meere etwa die Hälfte des gesamten Kohlendioxids (CO_2) geschluckt, das durch die Verbrennung von Erdgas, Erdöl und Kohle freigesetzt worden ist. Ohne diese stete CO_2-Aufnahme hätte sich die Atmosphäre bis heute bereits deutlich stärker erwärmt. Neben dem CO_2 gibt es eine Reihe von anderen Gasen, die zwischen Meer und Atmosphäre hin und her wandern, beispielsweise Stickstoff oder auch Methan.

Algenduft als Wolkenmacher

Seit einigen Jahren interessieren sich Forscher zudem für ein Gas, das lange unbeachtet war: das Dimethylsulfid. Es entsteht, wenn sich abgestorbene Algen zersetzen. Es verursacht den typischen Duft, den Algen am Meeresstrand verbreiten. Wissenschaftler haben herausgefunden, dass Dimethylsulfid in großen Mengen aus dem Meer aufsteigt und in der Atmosphäre als wichtiger Kondensationskeim zur Wolkenbildung beiträgt. Da Wolken Sonnenlicht und zum Teil auch Wärmestrahlung reflektieren, hat Dimethylsulfid eine Bedeutung für das Klima, vermuten die Wissenschaftler. Damit betrachtet man heute auch die Produktion von Dimethylsulfid und dessen Austausch zwischen Wasser und Luft als regulierende Ökosystemleistung des Meeres.

Verantwortung für kommende Generationen

Die regulierenden und unterstützenden Dienstleistungen des Meeres haben für das Leben auf der Erde eine besondere Bedeutung, weil zu ihnen fundamentale biologische, biochemische und physikalische Prozesse zählen. Diese Prozesse laufen seit Jahrtausenden ab und reagieren zum Teil sehr träge auf Veränderungen. Das gilt insbesondere für den Klimamotor Meer.

Die Meeresströmungen wälzen stetig ungeheuer große Wassermassen um, bewegen sich aber meist sehr langsam – oftmals langsamer als im Schritttempo. Das Tiefenwasser, das bei der thermohalinen Zirkulation an den Polen abgesunken ist, bewegt sich so langsam, dass es mehrere Hundert bis 1000 Jahre in der Tiefe verbleibt. Die durch den Menschen verursachten Klimaveränderungen, durch die sich das Meerwasser erwärmt, sind infolgedessen bislang vor allem an der Meeresoberfläche erkennbar. Es wird noch einige Zeit dauern, bis der Klimawandel wirklich in der Tiefe angekommen ist. Ein Grund zur Entwarnung ist das jedoch nicht. Die Veränderungen regulierender und unterstützender Ökosystemleistungen des Meeres wiegen damit in intergenerationeller Hinsicht besonders schwer. Veränderungen, die der Mensch heute bewirkt, könnten das Leben der Menschen noch in mehreren Hundert Jahren beeinflussen.

Angesichts der großen Bedeutung der regulierenden und unterstützenden Ökosystemleistungen des Meeres geben Nachhaltigkeitsexperten heute zu bedenken, dass auch der Golfstrom oder der Kohlenstoffkreislauf als kritisches Naturkapital beziehungsweise kritische Dienstleistungen gesehen werden könnten. Wichtigste Aufgabe für die Zukunft ist es daher, Strategien zu entwickeln, um diese kritischen und auch die anderen Ökosystemleistungen des Meeres im Kontext von nachhaltiger Entwicklung für die Zukunft zu sichern.