



Der lebende Ozean

Biodiversität in marinen Ökosystemen

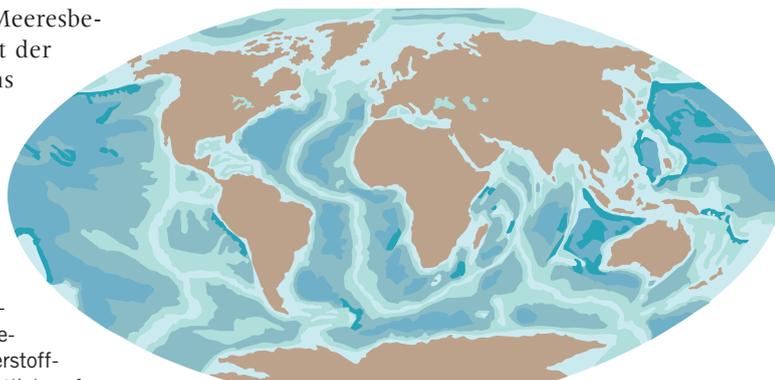
**von Michael
Türky**

Der Ozean gehört zu den am wenigsten erforschten Regionen unseres Planeten, obwohl er für den Wärme- und Energiehaushalt der Erde und die Gemeinschaft ihrer Bewohner eine wichtige Rolle spielt. Der Mensch fischt und badet vor allem in den Flachmeeren. Dort ist auch die Schifffahrt am dichtesten. Doch obwohl die Flachmeere nur etwa 5 Prozent des Ozeanbodens ausmachen, wirken sich Veränderungen empfindlich auf alle Meeresbewohner aus, bis in die dunkle, kalte und nahrungsarme Tiefsee.

Alles Leben kommt aus dem Meer. Vor etwa 3,3 Milliarden Jahren begannen sich alle heute bekannten Tierstämme zu entwickeln und einige darüber hinaus. Erst vor etwa 400 Millionen Jahren, als genügend Sauerstoff in der Atmosphäre war, um einen schützenden Ozongürtel zu bilden, krochen die ersten Meeresbewohner an Land. Bis heute ist die Vielfalt der Baupläne im Meer größer als an Land. Das spiegelt die Vielgestaltigkeit dieses Lebensraumes wider und seine große Ausdehnung. Etwa 70 Prozent der Erdoberfläche sind von Meeren bedeckt. Der größte Teil der riesigen untermeerischen Räume ge-

hört zur Tiefsee: Etwa 80 Prozent des Ozeanbodens liegen unter 1000 Metern Wassertiefe. Intensiv erforscht ist davon aber nur ein verschwindend kleiner Teil; zusammengenommen beträgt die untersuchte Fläche

■ Diese Karte der Meerestiefen zeigt, dass die von Menschen am häufigsten genutzten Flachmeere (weiß) nur einen Bruchteil des Meeresbodens bedecken. Umweltfaktoren wie Temperatur und Sauerstoffgehalt des Wassers wirken sich hier besonders deutlich auf die Verbreitung der Organismen aus.



■ 6000m ■ 5000m ■ 4000m ■ 3000m ■ 0m

■ Meeresforscher müssen seefest sein, wie die Aufnahme vom Forschungsschiff F. S. Meteor zeigt. Im Seegebiet um die Kanarischen Inseln nehmen sie zusammen mit der Mannschaft Messungen vor. Dazu müssen Geräte ausgesetzt und wieder eingeholt werden.

etwa fünf Quadratkilometer. Für die Erforschung der Biodiversität bilden dieser Raum und auch der gesamte Ozean eine riesige Herausforderung, technologisch wie auch wissenschaftlich.

Wer zählt die Arten, nennt ihre Namen?

Wie viele Tierarten gibt es im Meer? Diese Frage ist deshalb hochaktuell, weil wir uns aufgrund globaler Veränderungen des Klimas und anderer Randbedingungen des Lebens fragen müssen, wohin die Biosphäre driftet. Es reicht nicht, zu wissen, welche Temperaturen auf der Erde herrschen werden, wie stark die Polkappen abschmelzen oder die Zahl der Wirbelstürme zunimmt. Wichtig ist für uns Menschen auch die belebte Umwelt, aus der wir Nahrung gewinnen. Lebewesen halten die dazu notwendigen Stoffkreisläufe in Gang. So ist auch der Ozean weit mehr als eine mit Wasser gefüllte Wanne, die in Klimamodellen als ein berechenbarer Wärmespeicher auftritt. Die planktonischen Kleinalgen des Ozeans produzieren ungeheure Mengen Sauerstoff, die sie in die Atmosphäre abgeben – etwa so viel wie die tropischen Regenwälder. Sie produzieren Nahrung für immer größere Organismen bis hin zu Menschen und Walen.

Tiere und Pflanzen des Meeresbodens bestimmen Küstenformen und ihre Stabilität gegenüber den Gewalten des Wassers. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist, dass erst die Vielfalt der Lebensformen, Stoffwechselwege und Anpassungen ein komplexes und stabiles Gefüge erzeugt. Solche Systeme können teilweise extreme Abweichungen von ihren gewöhnlichen Lebensbedingungen bewältigen, ohne umzukippen. Damit werden die Funktionen, die auch für uns Menschen von Bedeutung sind, nachhaltig gesichert. Um die Prozesse, ihre Mechanismen und Schwachstellen zu verstehen und damit auch ihre Schutz- und Erhaltungsstrategien, ist der erste Schritt die Erforschung der Arten- und Formenvielfalt.

Die großen Wissenslücken in Bezug auf die Tiefsee fordern dazu heraus, zunächst einmal ganz einfache und klassische Bestandsaufnahmen durchzuführen. Das von der amerikanischen Sloan Foundation ins Leben gerufene Großprogramm »Census of Marine Life« stellt drei Fragen: Welche marinen Arten gibt es? Wo kommen sie vor? Wie ist ihre globale Häufigkeitsverteilung? Diese einfach erscheinenden Fragen sind die Basis eines internationalen 10-Jahres-Programms, das im Jahre 2000 begonnen hat und an dem auch deutsche Gruppen, darunter das Forschungsinstitut Senckenberg, beteiligt sind.

Schon die erste Frage nach der Artenzahl ist nicht leicht zu beantworten. Solide Schätzungen gehen davon aus, dass es etwa 250 000 beschriebene marine Tierartengibt. Aber wie viele unbekannte Arten gibt es darüber hinaus? Eine in Expertenkreisen kontrovers diskutierte amerikanische Studie kam 1992 bei einer Hochrechnung auf Grundlage einer kontrollierten Probenahme zu dem Ergebnis, dass die globalen Artenzahlen allein der Tiefsee bei etwa zehn Millionen liegen müssen. Selbst wenn die Forscher sich grob verschätzt hätten, würde bereits ein Fünftel ihrer Schätzzahl die Anzahl der bisher im Meer und an Land beschriebenen Tierarten um etwa 25 Prozent übersteigen. Das zeigt: Wir kennen erst einen verschwindend kleinen Teil der marinen Biodiversität.



3 Am Ende der Nahrungskette stehen Fische, die der Mensch als Nahrung verwertet, hier ein Makrelenschwarm.

Meere vor unserer Haustür

Der Mensch nutzt überwiegend die Flachmeere. Aus ihnen schöpft er Nahrung, nutzt sie im Urlaub zur Erholung und beeinflusst sie durch sein Handeln nachhaltig. Zwar handelt es sich nur um etwa 5 Prozent des Ozeanbodens, aber diese sind empfindlich und örtlich bereits stark verändert. Für die Forschung sind sie von großem Interesse, da sich in ihnen die abiotischen Umweltfaktoren wie Temperatur und Sauerstoffgehalt des Wassers besonders deutlich auf die Verbreitung der Organismen auswirken. Umgekehrt sind die Verbreitung und das Vorkommen bestimmter Tierarten und Tiergemeinschaften Indikatoren, manchmal auch Frühwarnsysteme für definierbare Umweltbedingungen, seien es Erwärmung, Sauerstoffmangel, Schwermetallbelastung und vieles mehr. Um diese Indikatorfunktion nutzen zu können, ist zuvor die genaue Kenntnis der beteiligten Akteure, der Arten, erforderlich.

In der Nordsee sind aufgrund langer Forschungstradition die meisten Arten bereits bekannt, wir wissen aber wenig über die Entwicklung der Tiergemeinschaften, die Richtung, in der diese Prozesse ablaufen, und die Anpassungsfähigkeit von Organismen. Solche Fragestellungen erfordern Langzeitbeobachtungen, also die ständig wiederkehrende Probenahme am selben Ort und mit denselben Methoden. Langzeitbeob-



4 Ein typischer Netzfang im Gebiet der südlichen Nordsee. Die Fauna ist bereits durch Sieben vom Sediment getrennt. In einem weiteren Schritt konserviert man die Organismen mit geeigneten Chemikalien. Später im Labor heißt es: auswerten, bestimmen und zählen.

achtungen werden in der Gezeitenzone wie auch im tieferen Wasser der Deutschen Bucht und der offenen Nordsee vorgenommen. Im Weichbodenwatt leben die meisten Organismen im Sediment, sehr wenige an der Sedimentoberfläche. Entsprechend sind Spaten und Wattstechkasten die wichtigsten Geräte zum Sammeln von Proben. Diese werden anschließend gesiebt, und die Tierwelt wird quantitativ erfasst. So kann sowohl die Abundanz (Individuenzahl je Art) als auch die Biomasse auf die Fläche bezogen werden. Vergleichende Untersuchungen über viele Jahre liefern wertvolle Informationen darüber, wie sich die Zusammensetzung der Arten und ihre Häufigkeit verändern. Daraus kann man auch Rückschlüsse auf die Funktionsweise des Ökosystems ziehen.

In der offenen See werden dieselben Untersuchungen von einem Forschungsschiff aus gemacht, allerdings mit anderen Geräten. Kastengreifer mit einem automatischen Schließmechanismus stechen Blöcke aus dem Meeresboden aus und bringen sie nach oben an Deck. Auch hier wird dann die Fauna durch Sieben vom Sediment getrennt, die Organismen werden mit geeigneten Chemikalien (meist Formaldehyd) konserviert und später im Labor ausgewertet, bestimmt und gezählt. Im Gegensatz zum Watt gibt es im tiefen Wasser reichlich Tiere, die auf der Meeresbodenoberfläche leben und daher nicht mit kleinflächigen Greifern erfasst werden können. Sie werden in Schleppnetzen gefangen. An Deck wird der Fang gesiebt, und die häufigen Arten der Grobfraction werden gleich vor Ort bestimmt, gezählt und registriert. Der Rest wird konserviert und ebenfalls mitgenommen.

Auch in solchen Unterwassergebieten sind Langzeituntersuchungen von großer Bedeutung, da sie klimatisch oder anderweitig bedingte Veränderungen der Tierwelt erkennen lassen. Sie dienen damit als Indikatoren für Prozesse, die unsere maritime Umwelt bestimmen. Solche Langzeitserien existieren bei Senckenberg seit den 1970er Jahren: Begonnen haben wir am Jadebusen, 1975 kam die Helgoländer Reede hin-

zu, 1978 das Gebiet nördlich von Norderney und 1982 die Helgoländer Tiefe Rinne. Dort werden in wöchentlichen bis vierteljährlichen Abständen Proben entnommen. Die meisten Stationen gibt es auf der Doggerbank, wo seit 1991 40 Stationen existieren, an denen jährlich Proben genommen werden. Diese Datensätze sind gerade in der derzeitigen Klimadebatte von großem Wert, da sie die Reaktionen eines Teiles unserer Biosphäre detailliert nachzeichnen.

Korallenriffe und Mangrovenwälder

Nicht nur in unseren gemäßigten Breiten ist die Untersuchung der Biodiversität wichtig, sondern auch in den Tropen und Subtropen. Korallenriffe und küstennahe Mangrovenwälder sind in den Flachmeeren der Tropen die bestimmenden Lebensräume. Sie beherbergen eine große Artenvielfalt, deren Erforschung schon in sich eine große Herausforderung darstellt. Dieser Aufgabe widmen wir uns schwerpunktmäßig im Roten Meer und den ostasiatischen Meeren, um die beiden weit auseinanderliegenden Extreme des Indopazifischen Ozeans vergleichen zu können.

Neben dieser taxonomisch-biogeografischen Fragestellung interessiert uns besonders die Zusammensetzung der Arten in unterschiedlichen Typen von Habitaten (Lebensräumen). Korallenriffe sind heute durch vielfältige Einflüsse stark gefährdet. Hohe Wassertemperaturen führen zur Korallenbleiche: Die farbenprächtigen Lebewesen sterben ab und lassen die weiße Kalkunterlage, auf der sie einst lebten, zurück. Lokal können ganze Riffe absterben. Küsten- und Hafenbaumaßnahmen tun ein Übriges zu ihrer Vernichtung. Sterben die Korallen ab, verändert sich auch die Sekundärbesiedlung mit Gastorganismen, denn im kranken Riff nehmen die Höhlungen im Korallengestein zu und bieten vielfältigere Behausungen für Organismen, die sich dort gewöhnlich nicht ansiedeln. Je detaillierter man die spezialisierten Tiergemeinschaften kennt, die das gesunde Korallenriff kennzeichnen, desto besser kann man sie als Indikator für den Gesund-



☒ Korallenriffe gehören zu den artenreichsten Lebensräumen des Meeres. Sie sind durch hohe Wassertemperaturen besonders gefährdet.



☒ Die wichtigsten Geräte zum Sammeln der Tierwelt der Mangroven sind Spaten und Eimer. Hier der Autor bei einer Probeaufnahme auf Martinique.

heitszustand eines Riffes einsetzen. Dasselbe gilt für die Mangrovenwälder, deren Bestand ebenfalls gefährdet ist durch zunehmende Austrocknung, den Bau von Garnelenfarmen, Brennholzgewinnung, Überweidung und Küstenbau. Nur für wenige dieser Ökosysteme gibt es detaillierte Untersuchungen.

Der Tiefe Ozean

Die Tiefsee ist der größte Lebensraum unseres Planeten. Sie ist gekennzeichnet durch gleichmäßig niedrige Temperaturen um 2 °C und weiträumige Gleichförmigkeit. Trotzdem beherbergt sie eine sehr große Artenzahl. Von dieser ist nur der geringste Teil bekannt und beschrieben. Proben, insbesondere kleinwüchsiger Bodentiere, sind für die Forschung sehr ergiebig, denn sie enthalten oft über 90 Prozent Neues. Noch spannender ist die Frage, wie eine solch hohe Biodiversität bei einer so großen Gleichartigkeit des Lebensraumes zustande kommt. Isolationsbarrieren sind nicht zu erkennen, obwohl sie vorhanden sein müssen.

Für den Tiefseeforscher ergeben sich daraus viele Fragen: Welche Rolle spielt etwa der räumliche Abstand zwischen Populationen in diesem gering besiedelten Lebensraum? Bilden die Rücken zwischen den großen Tiefseebecken von über 4000 Metern Wassertiefe eine wirksame Verbreitungsbarriere? Solche Fragen lassen sich nur mithilfe einer repräsentativen Beprobung beantworten, die bisher fehlt oder sehr selten ist. Für eine einzige Probenahme muss man ein Schleppnetz in über 5000 Meter Wassertiefe fahren. Das dauert etwa 13 Stunden. Aufgrund des großen Zeitaufwandes wurden stets nur einzelne Proben in den großen Tiefen des Ozeans genommen.

Die Ozeanbecken des Atlantiks werden nach und nach von Süd nach Nord im Rahmen des Großprojekts DIVA untersucht. DIVA (Diversitätsgradienten in der Tiefsee des Atlantiks) ist Teil des »Census of Marine Life« und wird vom Deutschen Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung, einer Abteilung des Senckenberg-Instituts, geleitet. Mehrere Expeditionen mit dem

☒ Diesen Rattenschwanzfisch (*Macrouridae*) fingen die Frankfurter Forscher mit einem Schleppnetz in 5000 Metern Tiefe im Südatlantischen Ozean. Um sehr geringe von seinen Nahrungstieren ausgehende Lichtreize wahrzunehmen, hat er Teleskop-Augen.



☒ Die Tiefseegarnele der Gattung *Sergestes* lebt im Südatlantischen Ozean.



Forschungsschiff F. S. Meteor dienten der Untersuchung des Kap-, des Angola- und des Guinea-Beckens, alle über 5000 Meter tief, deren Tierwelt zuvor kaum erforscht war. Auf langen Strecken innerhalb der Becken und quer über sie hinaus haben wir untersucht, welchen Einfluss der Abstand zwischen den Probenahmen auf die Vielfalt der Bodentierwelt hat. Dabei interessiert uns vor allem, ob die Unterschiede beim Überschreiten der Beckengrenze größer sind als innerhalb desselben Tiefseebeckens. Erstaunlicherweise konnten wir bei diesen noch nicht ganz abgeschlossenen Untersuchungen nachweisen, dass die biologische Produktivität des Wassers in den oberen und mittleren Schichten bis auf den Tiefseeboden in mehr als 5000 Metern Tiefe hinab wirkt. Auf diese Weise wird die Gleichförmigkeit der Umweltbedingungen durchbrochen.

☒ Das Forschungsschiff F. S. Meteor ist auf seinem Hauptdeck mit 20 Laboratorien ausgestattet, in denen bis zu 28 Wissenschaftler auf 400 Quadratmetern arbeiten können. Das Schiff gehört der Bundesrepublik Deutschland und wird zu 70 Prozent von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und zu 30 Prozent für Projekte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) genutzt.





Der Unterwasserroboter QUEST gehört zu den neuesten Erfindungen der deutschen Meeresforschung. Er wird vom Zentrum der Meereswissenschaften an der Universität Bremen (MARUM) betrieben und steht auf Antrag allen interessierten Arbeitsgruppen zur Verfügung.

»Warme« Tiefsee: Rotes Meer und Mittelmeer

Von dem Muster einer gleichmäßig kalten Tiefsee gibt es zwei wichtige Ausnahmen, das Rote Meer und das Mittelmeer. Beide Nebenmeere sind von der großen ozeanischen Zirkulation durch flache Schwellen an ihren Eingängen ausgeschlossen, so dass ihr Tiefenwasser vor Ort gebildet wird und daher auch nicht kälter sein kann als in den Bildungsgebieten im Winter. Im Roten Meer sind dies 20,5 °C, die bis in die größten Tiefen von über 2000 Metern herrschen, im Mittelmeer 13,5 °C bis in 5000 Meter Tiefe. Solche Bedingungen sind einzigartig: Da alles absinkende Material schneller bakteriell zersetzt wird als im »Kühlschrank« der ozeanischen Tiefsee, kommt am Meeresboden weniger an,

so dass dort eine extreme Nahrungsarmut entsteht.

Die Lebensgemeinschaften der Bodentiere müssen sich auf eine unregelmäßige Nahrungszufuhr einstellen, die überwiegend nicht aus der Produktion im Freiwasser gespeist wird, sondern durch Strömungen aus nahe liegenden nährstoffreicheren Gebieten oder vom Land aus, etwa durch Absinken von Material, das durch Regen ausgewaschen wurde. Die Tierwelt muss schnell auf solche Ereignisse reagieren, aus entfernten Gebieten zuwandern oder kleinwüchsig sein, um den Nahrungseintrag unmittelbar zu nutzen, in der kurzen Zeit zu wachsen und sich fortzupflanzen. Besonders gut können dies Mikroorganismen und Einzeller, die außerdem lange Perioden des Nahrungsmangels eingekapselt und inaktiv überdauern können.

Je größer die Organismen werden, umso seltener sind sie, die Megafauna schließlich besteht nur aus



Mit QUEST lassen sich unter direkter Beobachtung in bis zu 4000 Meter Wassertiefe gezielte Proben nehmen und Experimente durchführen.

Der Autor



Prof. Dr. Michael Türkay, 60, studierte, promovierte und habilitierte sich an der Goethe-Universität. 1976 wurde er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungsinstitut Senckenberg, seit 1989 ist er dort Abteilungsleiter der Evertibratenzoologie (heute Marine Zoologie) und seit 1995 Stellvertretender Direktor. 2008 wurde Türkay

zum außerplanmäßigen Professor am Fachbereich Biowissenschaften der Goethe-Universität ernannt. Seine Forschungsinteressen sind die Taxonomie, Systematik, Biogeografie und Ökologie der Großkrebse (Crustacea: decapoda), die Langzeitentwicklung der Nordseefauna, die Biodiversität und Ökologie der ozeanischen Tiefsee sowie die Crustaceenfauna und Biogeografie tropischer Flachmeerküsten.

michael.tuerkay@senckenberg.de
www.senckenberg.de/mtuerkay

mobilen und zur Wanderung über lange Strecken befähigten Organismen. Die Einzigartigkeit sowohl einer speziell angepassten Warmwasser-Tiefseefauna als auch die Besonderheiten der Struktur und des Funktionierens solcher Lebensgemeinschaften haben wir sowohl im Mittelmeer als auch im Roten Meer mithilfe der Forschungsschiffe »Meteor«, »Sonne« und »Valdivia« studiert. Mittlerweile sind die oben beschriebenen Zusammenhänge gut belegt, und wir konnten dokumentieren, dass die Biodiversität von den abiotischen Parametern abhängt.

Oasen der Tiefsee

Oasen des Lebens in der Tiefsee stellen die Lebensgemeinschaften der Hydrothermalquellen dar, deren reiche Tierwelt nur auf bakterieller Produktion beruht. Bakterien oxidieren den aus dem Erdinneren ausströ-

☒ Oasen des Lebens in der Tiefsee sind die Lebensgemeinschaften der Hydrothermalquellen: Am Mittelatlantischen Rücken leben in etwa 3300 Metern Wassertiefe Tiefsee-Pferdemuscheln (*Bathymodiolus*) und Vent-Garnelen (*Rimicaris*).

menden Schwefelwasserstoff und das Methan und gewinnen dadurch Energie. Diese Art der Energiegewinnung und Produktion organischer Substanz ist vom Sonnenlicht unabhängig und kann daher als Alternative zur Fotosynthese durch grüne Pflanzen gesehen werden. Viele Tiere der Hydrothermalquellen leben nicht nur von Bakterien, sondern haben sie fest an sich gebunden, indem sie solche Bakterien als Symbionten in ihre Körpergewebe aufnehmen. Sie »füttern« ihre Symbionten mit dem reichlich vorhandenen Schwefelwasserstoff und ernähren sich dann von ihnen oder ihren Stoffwechselprodukten. Einige dieser charakteristischen Arten nehmen überhaupt keine Nahrung mehr auf, andere nur noch wenig, um die bakterielle Produktion in ihrem Körper zu ergänzen. Solche ungewöhnlichen Symbiosen haben bizarre und zuvor völlig unbekannt Anpassungen zustande gebracht. Das Studium dieser Tiergruppen und ihrer Taxonomie ermöglicht uns Einblicke in die Laboratorien der Evolution. Insbesondere interessiert uns die Verbreitung solcher Tiergemeinschaften in Raum und Zeit. Ziel ist es, ein Indikationssystem zu erzeugen, mit dessen Hilfe man Hydrothermalquellen am Meeresboden gezielt auffinden kann.

Wie geht es weiter?

Noch wissen wir wenig über die Mechanismen, die marine Ökosysteme in Gang halten. Ein Schlüssel dazu scheint aber die biologische Vielfalt der Lebensgemeinschaften zu sein. Nur wenn wir diese verstehen lernen, werden wir sie auch schützen können. Denn noch ist unklar, wie die Bewohner der Weltmeere, aus denen wir, aber auch andere Lebewesen Nahrung schöpfen, langfristig auf unsere Abfälle und die Erwärmung ihres Lebensraums reagieren werden. ◆



Weiterführende Literatur

Türkay, M. (2001) *Die Tiefsee* in: Hofrichter, R. (Hrsg.) *Das Mittelmeer*. Fauna, Flora, Ökologie 1: 416–423, Abb. 6.101–6.108; Heidelberg, Berlin (Spektrum Akademischer Verlag).

Türkay, M. (2002) *Meeresbiologie bei Senckenberg – Natur und Museum* 132(8): 257–272, Tab. 1, Abb. 1–11.

Kröncke, I. & Türkay, M. (2003) *Structural and functional aspects of the benthic communities in the deep Angola Basin* – Mar. Ecol. Progr. Ser., 260: 43–53, 1–4, text-figs. 1–7.

Kröncke, I., Türkay, M. & Fiege, D. (2003) *Macrofauna communities in the eastern Mediterranean deep sea* – P. S. Z. N.: Mar. Ecol., 24(3): 193–216, tables 1–4, text-figs. 1–7.

Türkay, M. (2007) *Meeresforschung. Aufbruch in eine neue Welt – Vernissage* 15(10/07): 60–65, 14 Abb.

Zu den Senckenberg-Tiefsee-Projekten siehe auch: www.cedamar.org

Anzeige



**BEDINGUNGSLOS
MENSCHLICH.**

Bitte schicken Sie mir unverbindlich Informationen

- über ÄRZTE OHNE GRENZEN
- für einen Projekteinsatz
- zur Fördermitgliedschaft
- zu Testamentsspenden
- zu Spendenaktionen

Name

Anschrift

E-Mail

ÄRZTE OHNE GRENZEN e.V. • Am Köllnischen Park 1 • 10179 Berlin
www.aerzte-ohne-grenzen.de

**Spendenkonto 97097
Bank für Sozialwirtschaft
BLZ 370 205 00**



1104908

Mit ÄRZTE OHNE GRENZEN helfen Sie Menschen in Not.