TIEFSEE

VIELFALT IN DER DUNKELHEIT

Thorolf Müller, Gerd Hoffmann-Wieck (Hrsg.)

Leseprobe

PROJEKT NEUES MUSEUM
Senckenberg

SENCKENBERG

INHALTSVERZEICHNIS

Grußworte 6

1 ERFORSCHUNG DER TIEFSEE
Thorolf Müller, Gerd Hoffmann-Wieck 10
1.1 Zur Geschichte der Meeres- und Tiefseeforschung in Westeuropa und den USA
Gerd Hoffmann-Wieck 14
1.2 Tiefseeforschung bei Senckenberg Angelika Brandt, André Freiwald 23
1.3 Warum Tiefseeforschung? Torben Riehl 28
1.4 Meerestechnik für die Tiefseeforschung Peter Linke 31

2 LEBENSRAUM TIEFSEE
Gerd Hoffmann-Wieck, Thorolf Müller 38
2.1 Bedingungen in der Tiefsee Thorolf Müller, Gerd Hoffmann-Wieck 42
2.2 Geologie der Tiefsee Philipp A. Brandl, Anna Krätschell, Nico Augustin 46
2.3 Hotspots des Lebens – die geologischen Voraussetzungen Sven Petersen 51
2.4 Die Unabhängigen – Oasen des Lebens an Hydrothermalquellen
Terue Cristina Kihara, Gritta Veit-Köhler 56
2.5 Cold-Seep-Ökosysteme – Oasen oder Leben am Limit Stefan Sommer, Peter Linke 62
2.6 Manganknollenfauna Torben Riehl, Dorte Janussen 69
2.7 Die Lebenswelt der Tiefsee Henk-Jan Hoving 74
2.7.1 Gepanzerte Gliedertiere Angelika Brandt, Terue Cristina Kihara, Torben Riehl 80
2.7.2 Pelikanaal, Fußballfisch und Co. Friedhelm Krupp, Uwe Zajonz 86
2.7.3 Meeresborstenwürmer der Tiefsee Dieter Fiege 93
2.7.4 Tintenfische der Tiefsee Véronique Merten 96
2.7.5 Schwämme der Tiefsee Dorte Janussen 100
2.7.6 Riffe in der Tiefsee André Freiwald, Lydia Beuck 105
2.7.7 Die (fast) Unsichtbaren – Kleinstlebewesen in der Tiefsee
Gritta Veit-Köhler, Terue Cristina Kihara 109
2.7.8 Haste Töne? – Kommunikation im Meer Bernd Ueberschär 114
2.7.9 Biolumineszenz – Licht im Dunkel der Tiefsee Eva-Lena Stange 119
2.7.10 Wale in der Tiefsee?! Torben Riehl 124

3 KREISLÄUFE UND ZUSAMMENHÄNGE IN DER TIEFSEE
Torben Riehl 128
3.1 Walfälle – Oasen der Tiefsee Torben Riehl 136

4 NUTZUNG, GEFÄHRDUNG UND SCHUTZ DER TIEFSEE
Thorolf Müller, Gerd Hoffmann-Wieck 142
4.1 Mineralische Rohstoffe der Tiefsee Sven Petersen, Matthias Haeckel 147
4.1.1 Manganknollen Sven Petersen 150
4.1.2 Massivsulfide Sven Petersen 153
4.1.3 Methanhydrate Matthias Haeckel 156
4.2 Fischerei in der Tiefsee und ihre Folgen Moritz Sonnewald, Friedhelm Krupp 159
4.3 Vom Telegrafenkabel zum Internet-Glasfaserkabel in der Tiefsee
Gerd Hoffmann-Wieck, Thorolf Müller 165
4.4 Plastikabfälle in der Tiefsee Mark Lenz 168
4.5 Das Ringen um den Schutz der Meere und der Tiefsee Bettina Wurche 174
4.6 Das internationale Seerecht Nele Matz-Lück 180
4.7 Die menschgemachte Klimaerwärmung und die Tiefsee Tobias Bayr 184

PROJEKT NEUES MUSEUM SENCKENBERG
Katrin Böhning-Gaese, Martin Cepek, Sören Dürr 186

Glossar 190
Adressen der Autorinnen und Autoren 194
Anhang 196
Impressum 204

Leseprobe

1 ERFORSCHUNG DER TIEFSEE

Thorolf Müller, Gerd Hoffmann-Wieck

Für uns Menschen ist die Tiefsee mit ihren extremen Bedingungen absolut lebensfeindlich. Zahlreiche Mythen rank(t)en sich um die Lebewesen, die tief unten in der ewigen Finsternis leben. Auch heute noch wissen wir über den größten Lebensraum unseres Planeten weniger als über die Rückseite des Monds. Die Kontinente der Erde scheinen uns zwar riesig, bedecken aber gerade einmal knapp ein Drittel der Erdoberfläche. Über 60 % der Erdoberfläche liegen mehr als 1.000 m tief unter dem Meeresspiegel, in 4.000 m Tiefe und darunter sind es noch immer 35 %. Wenn wir den höchsten Berge der Erde, den Mt. Everest, im Marianengraben, der tiefsten bisher bekannten Stelle des Ozeans, versenken würden, so befände sich zwischen dessen Gipfel und der Wasseroberfläche immer noch 2.000 m wassergefüllter Raum.

Die Erforschung der Tiefsee mit wissenschaftlichen Methoden nahm vor etwa 160 Jahren ihren Anfang. Vor dieser Zeit gab es die Hypothese, die Tiefen seien unbelebt („azoisch"), was 1860 eindrucksvoll wiederlegt wurde. Ein im Mittelmeer liegendes, defektes Tiefseekabel sollte repariert werden. Nachdem man das Kabel heraufgeholt hatte, stellten die Anwesenden verblüfft fest, dass sich etliche Organismen darauf angesiedelt hatten. Seitdem stieg das Interesse am „Leben in der Kelleretage" stetig. Etliche Schiffsexpeditionen wurden ausgerüstet und – mit spezifischen Forschungsfragen sowie großen Forschungsteams ausgestattet – auf monate- und jahrelange Fahrten durch alle Weltmeere geschickt. Im Jahr 1898 stieg Deutschland mit der *Valdivia*-Expedition in die Tiefseeforschung ein (vgl. Kap. 1.1).

Nicht nur die Forschungsgeräte, auch die Methoden der Forschung haben sich seit dieser Zeit stark verändert. So lassen sich Organismen inzwischen relativ schnell und sicher molekularbiologisch bestimmen. Geologische sowie chemisch-physikalische Untersuchungen sind durch technisches Gerät einfacher geworden. Komplexe Computertechnik und zunehmende Digitalisierung sorgen dafür, dass immense Datenmengen über die Tiefsee vorliegen. Dazu gehören neben den physikalischen und chemischen Messwerten Fotografien und Filmaufnahmen. Die weltweite Vernetzung von Wissenschaftlern sowie zahlreiche Forschungsprogramme und -projekte mehren das Wissen um die Tiefsee

(vgl. Kap. 1.2). Inzwischen verfügen Meeresforscher über einen ansehnlichen Fuhrpark technischer Gerätschaften, die die Erkundung, Beobachtung und Beprobung der Tiefsee von Forschungsschiffen aus ermöglichen. Wie aus einem Science-Fiction-Abenteuer muten Glider, Crawler, Floats, Multicorer, Lander und Roboter an. Tatsächlich sind die Anforderungen an Tiefseegeräte genauso hoch wie an Geräte für die Weltraumforschung (vgl. Kap. 1.4).

Die Fragestellungen, die Tiefseeforscher mittels technischen Equipments und Methoden beantworten möchten, sind mannigfaltig. Es geht um die Grundlagen: Wie ist der Lebensraum Tiefsee geologisch beschaffen? Welche Organismen leben dort unten? Wie hält das Leben den extremen Bedingungen in der Tiefsee stand? Inzwischen stellen sich auch Fragen nach der Bedeutung der Tiefseeforschung: Welchen Wert und welchen Einfluss hat die Tiefsee auf das Leben auf unserem Planeten? Welche Rohstoffe birgt die Tiefsee und können wir diese nachhaltig und gewinnbringend abbauen? Gibt es medizinische Wirkstoffe in der Tiefsee? Wie schützen wir die Tiefsee? Einen Hauptantrieb für die Beschäftigung mit der Tiefsee bildeten und bilden die Freude am Entdecken und die Neugier auf einen Lebensraum, der faszinierend und immer noch weitgehend unerforscht ist (vgl. Kap. 1.3).

Tiefseeforschung ist teuer und aufwendig. Es dauert viele Stunden, bis ein Bohrgerät oder Roboter in die Tiefsee hinabgelassen und wieder heraufgeholt wird. Die Anzahl geborgener Organismen ist teilweise überschaubar, die Probennahme punktuell begrenzt und die Analyse des Materials braucht lange Zeit. Infolgedessen lassen sich nur mit Vorsicht Aussagen über die tatsächliche Beschaffenheit der Habitate und die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften treffen. Veränderungen sind nur erkennbar, wenn uns verlässliche Daten aus der Vergangenheit vorliegen oder derselbe Lebensraum über längere Zeiträume durch den langfristigen Einsatz von Tiefsee-Observatorien beobachtet wird.

Über 90 % der Tiefsee sind unbekanntes Gebiet und die Menschheit verändert den Planeten gegenwärtig schneller, als wir ihn erforschen können – das ist nicht nur in der Tiefsee ein Problem. Der Satz „Nur was man kennt und schätzt, kann man auch schützen" stimmt zwar, für die Tiefsee jedoch ist zutreffender: „Obwohl wir diesen riesigen Lebensraum nur schlaglichtartig kennen, sollten wir ihn schützen." Denn wir können auf der Basis unseres heutigen Wissens nicht beurteilen, welche planetaren Auswirkungen massive Veränderungen der Tiefsee hätten.

Leseprobe

1.1 ZUR GESCHICHTE DER MEERES- UND TIEFSEEFORSCHUNG IN WESTEUROPA UND DEN USA

Gerd Hoffmann-Wieck

Lange galt das Meer als unendlicher Ressourcenraum, den wir Menschen nicht nachhaltig beeinflussen könnten. Heute wissen wir, dass auch das Meer endlich ist. Es wird diskutiert, ob der Mensch das gigantisch große „Ökosystem Meer" kollabieren lassen könnte. Gleichzeitig wird die Bedeutung der Meere für das Leben auf der Erde nicht mehr bestritten und die Relevanz der Meeresforschung für nachhaltiges gesellschaftliches, politisches und wirtschaftliches Handeln deutlich.

Die Generalversammlung der Vereinten Nationen hat den Schutz der Ozeane als eigenes Nachhaltigkeitsziel (Sustainable Development Goal; SDG 14; Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development) auf dem Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung 2015 verabschiedet. Auf der ersten Ozeankonferenz der Vereinten Nationen im Juni 2017 wurde vereinbart, den Meeresschutz in regionale, nationale und globale Strategien zu integrieren.

Ein umfassendes Wissen und Verständnis der marinen Prozesse und Organismen sowie ihrer Geschichte und ihres gegenwärtigen Zustands mit all ihren interdependenten Verknüpfungen sind von entscheidender Bedeutung für das Prozessverständnis der gesamten Lebewelt des Planeten und damit für die Prognose zukünftiger Entwicklungen.

Erst eine ganzheitliche meereswissenschaftliche Forschung von Natur- und Wirtschaftswissenschaftlern, Medizinern, Soziologen, Historikern, Juristen u. a. wird ein globales und nachhaltiges Management der Ozeane ermöglichen. Die Exzellenzcluster in Kiel und Hamburg – „Ozean der Zukunft" und „Climate, Climatic Change, and Society" (CLICCS) – sind gute Beispiele für einen solchen Denk- und Forschungsansatz.

EXPEDITIONEN IN DIE TIEFSEE

Die Ursprünge der wissenschaftlichen Ozeanografie liegen in der britischen und US-amerikanischen Erkundung der Tiefsee seit Mitte des 19. Jahrhunderts. Hatte das Meer zuvor als feindlicher, gefährlicher Lebensraum gegolten, so entwickelte sich nun ein nationaler Entdeckergeist für die Tiefsee. Die Erkundung der Tiefsee war in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ein sehr präsentes Thema in der Gesellschaft. Expeditionen wurden mit großem Interesse verfolgt, Veröffentlichungen und Ausstellungen wurden enthusiastisch aufgenommen. Erste Aquarien eroberten die privaten Haushalte, das Sammeln und Studieren von Meerestieren galt in den gebildeten Kreisen als angemessene Form der Unterhaltung. Aquarien wurden erstmals auf der Londoner Weltausstellung 1851 ausgestellt. Interesse weckten auch Jules Vernes (1828–1905) Roman „Zwanzigtausend Meilen unter dem Meer" (1870) und die Präsentationen von Meeresorganismen, z. B. im Pariser Naturkundemuseum 1884. Dort wurden die Ergebnisse der französischen Tiefsee-Expeditionen der *Travailleur* und der *Talisman* ausgestellt. In Deutschland veröffentlichte Carl Chun die Ergebnisse der Deutschen Tiefsee-Expedition (1898/99) in einem populärwissenschaftlichen Band und Ernst Haeckels (1834–1919) Bildband „Kunstformen der Natur" (1889) trug zur Verbreitung der Idee des Darwinismus und zugleich zur Begeisterung für die Meeresorganismen bei, ebenso die Bände von „Brehms Tierleben" von Alfred Edmund Brehm (1829–1884), die 1863 bis 1869 veröffentlicht wurden.

1854 veröffentlichte der US-amerikanische Hydrograf M. F. Maury (1806–1873) mit der bathymetrischen Karte des Nordatlantiks die erste Tiefenkarte eines großen Ozeanbereichs. Grundlage waren mit der Lotmaschine ermittelte Tiefen. Diese Karte war Grundlage der Trasse des ersten interkontinentalen Telegrafenkabels zwischen Neufundland und Irland. Im Jahr 1860 entdeckte man an defekten Telegrafenkabeln, die aus über 2.000 m Tiefe vor Sardinien heraufgeholt worden waren, fest angeheftete, inkrustierende Organismen. Man konnte also sicher sein, dass sie nicht aus höher gelegenen Meeresbereichen stammten. Damit war die „azoische Theorie" des Briten Edwards Forbes aus dem Jahre 1843 endgültig widerlegt.

1859 veröffentlichte Charles Darwin (1809–1882) sein Hauptwerk „On the Origin of Species by Means of Natural Selection". Nach Darwin sollten sich die Organismen in der Tiefsee viel langsamer entwickelt haben als die Bewohner des festen Lands. Daher müssten sich in der Tiefsee Organismen finden lassen, die als „missing links" der „unendlich zahlreichen Verbindungsglieder" seine Theorie stützen würden. Eine Sammlung dieser „alten Gattungstypen" trug der norwegische Meeresbiologe Michael Sars (1805–1869) zusammen.

Zur Klärung weiterer Fragen über die Tiefsee führte der Professor für Naturgeschichte an der Universität Belfast Charles Wyville Thomson (1830–1882) 1868–1871 Tiefsee-Expeditionen zur Vorbereitung der *Challenger*-Expedition mit den Vermessungsschiffen *Lightning* und *Porcupine* durch, die tierisches Leben bis in 4.454 m Tiefe nachweisen konnten. Die Ergebnisse publizierte Thomson 1873 in seinem Buch „The Depths of the Sea". Auch der amerikanische Coast Survey entsandte 1867–1871 auf Anraten von Louis Agassiz (1807–1873) Expeditionen an die Küste von Florida und nach Südamerika, die ebenfalls Nachweise von Organismen bis in 1.500 m Tiefe erbrachten. Die US-amerikanischen Expeditionen setzten die Royal Society im Vereinigten Königreich unter Druck. Kurze Zeit später wurden die Pläne für die *Challenger*-Expedition positiv beschieden, sowohl von der Royal Society als auch von der British Association for the Advancement of Science.

DIE *Challenger*-EXPEDITION (1872–1876) – DER BEGINN MODERNER MEERESFORSCHUNG

Mit der Forschungsfahrt der *HMS Challenger* 1872–1876 wird heute oft der Beginn der modernen Meeresforschung definiert. Auf dieser Expedition, wie auch auf allen folgenden bis zur Deutschen Atlantischen Expedition 1925–1927, gab es nur wenig Zusammenarbeit zwischen den Forschern an Bord. Jeder betrieb separat seine eigenen Untersuchungen – je nach Fachgebiet. Die Expedition führte auf ihrer 69.000 sm (Seemeilen) langen Forschungsreise durch alle Ozeane insgesamt 363 Stationsmessungen durch: Tiefenlotungen, Temperaturmessungen in verschiedenen Tiefen, Schleppnetzfänge, Dredgenzüge zur Gewinnung von Bodenproben und Tiefseeorganismen wurden erfolgreich durchgeführt. Es war die erste große Forschungsreise mit meteorologischen, hydrografischen, geologischen und biologischen Aufgaben. Charles Wyville Thomson (s. o.) und William Benjamin Carpenter (Universität London, 1813–1885) planten die Reise. Bis zu dieser Expedition waren mit Ausnahme des Nordatlantiks nur vereinzelte Ozeantiefen bekannt. Die *Challenger*-Expedition erbrachte die ersten Tiefenkarten der großen Ozeane mit der damals tiefsten Lotung auf 8.184 m.

Leseprobe

1.3 WARUM TIEFSEEFORSCHUNG?

Torben Riehl

Eine dunkle, kalte, eintönige Wüste, harsch und lebensfeindlich, unbewohnt, azoisch. So oder so ähnlich sah man die Tiefsee bis weit in das 19. Jahrhundert hinein. Bedeutende Naturforscher dieser Zeit, wie Louis Agassiz, David Page und Henry de la Beche, aber allen voran Edward Forbes, verbreiteten die Idee, dass in den großen Meerestiefen tierisches Leben nicht existieren könne. Warum sollte man sich also für einen Raum interessieren, in dem man nichts zu erwarten hatte? Erst der schottische Naturforscher Wyville Thomson konnte, angetrieben von seiner Entdeckung des besiedelten Tiefseekabels 1860 (vgl. Kap. 1.1), auf einer Expedition mit dem britischen Schiff *Porcupine* in den Jahren 1868–1870 die Theorie der azoischen Tiefsee endlich widerlegen. Es ist also nur knapp über 150 Jahre her, dass die bloße Existenz von Tiefseetieren allgemein bekannt wurde.

Selbstverständlich hat die Tiefseeforschung seitdem enorme Fortschritte gemacht und die Tiefsee ist inzwischen auch aus wirtschaftlichen Gründen in das Blickfeld von Staaten und Unternehmen gerückt. Nichtsdestoweniger konnte der Vorsprung des Wissens um terrestrische Systeme bislang nicht wettgemacht werden. Noch heute sind sich Wissenschaftler einig, dass sie lediglich an der sprichwörtlichen Oberfläche (in diesem Fall der Tiefsee) gekratzt haben und noch viele bahnbrechende Erkenntnisse über diesen faszinierenden Lebensraum zu erwarten sind. Die Tiefseeforschung ist jung und entwickelt sich deshalb sehr dynamisch.

„TOO BIG TO FAIL" – EIN SCHEITERN KÖNNEN WIR UNS NICHT LEISTEN

In der Wirtschaft werden Unternehmen und Staaten ab einer gewissen Marktbedeutung als „systemrelevant" eingestuft und bei Schräglagen mit aller Kraft staatlich gestützt, damit nicht die gesamte Wirtschaft negative Konsequenzen fürchten muss. Sie sind „too big to fail", also „zu groß, um zu scheitern" – oder auch „zu groß, um sie scheitern zu lassen". Die Erde ist zu etwa 70 % vom Meer bedeckt! Schaut man aus dem Weltraum auf die Erde hinab, erscheint sie als blaue Kugel. Die Bezeichnung „Blauer Planet" ist also wirklich gerechtfertigt. Die Durchschnittstiefe des Weltmeers liegt bei etwa 3.800 m. Das Wasservolumen der Tiefsee repräsentiert ganze 98,5 % des gesamten von Tieren dauerhaft bewohnbaren Raums auf der Erde.

Die Tiefsee ist also anteilsmäßig – sowohl was ihre Fläche als auch ihr Volumen angeht – der bedeutendste Lebensraum der Erde. Die tiefste Stelle der Erde befindet sich ca. 10.980 m unter der Wasseroberfläche. Diesen Ort am Grund des Ozeans bezeichnet man als das Challenger-Tief. Es liegt im Marianengraben im westlichen Pazifik. Die genaue Tiefe ist umstritten, denn es gibt keine 100 % genaue Messmethode für derartige Abgründe. Eins aber steht fest: Würde man wirtschaftliche Maßstäbe ansetzen, müsste man die Tiefsee als „too big to fail" einstufen, denn zu groß ist ihr Anteil am Erdsystem, als dass man sie vernachlässigen darf. Es wäre fahrlässig, das, was die Tiefsee noch an Unbekanntem birgt, nicht ans Licht zu holen.

Abb. 1: Das Gorgonenhaupt *Gorgonocephalus arcticus Leach* (1819) ist vermutlich die erste Art, die aus der Tiefsee geborgen wurde. Kapitän John Ross setzte im Jahre 1818 die Segel, um die Tiefe des Arktischen Ozeans und insbesondere der Nordwestpassage zu vermessen. Am Ende seiner Lotleine befand sich ein Greifer, der bei Bodenkontakt auslöste und, einem Bagger ähnlich, Bodensedimente aufnahm. Aus ca. 1.095 m Tiefe brachte der Greifer neben Meeresborstenwürmern auch ein Exemplar dieses spektakulären Stachelhäuters mit an die Oberfläche. Dieser Beweis für eine belebte Tiefsee wurde noch 50 Jahre ignoriert. Mit freundlicher Genehmigung von SERPENT Project, D.O.B. Jones, Creative Commons BY-SA 4.0.

WARTET AUF ENTDECKER – DIE UNBEKANNTE VIELFALT AM MEERESGRUND

Neue Kartierungen und Vermessungen des Meeresbodens bringen immer wieder unerwartete Erkenntnisse. Ganze Berge und Lebensraumtypen, die bislang nicht bekannt waren, werden im Zuge neuerer Forschungen zutage gefördert; dasselbe gilt für Organismen, von denen ständig neue Spezies in der Tiefsee entdeckt werden.

Hochrechnungen lassen darauf schließen, dass ca. 2,2 Mio. Arten Eukaryoten (Lebewesen, deren Zellen Zellkerne besitzen) in den Meeren existieren, von denen 91 % noch nicht beschrieben oder überhaupt entdeckt sind. Da die Tiefsee zu den am wenigsten erforschten Lebensräumen gehört, werden vor allem dort sehr viele unbekannte Arten erwartet. Manche Schätzungen überschreiten diese Zahl deutlich und gehen von annähernd 10 Mio. Arten aus, die wir alleine in der Tiefsee noch entdecken könnten.

SCHWER ZU (ÜBER)SCHÄTZEN – DER WERT DER TIEFSEEFORSCHUNG

Die Bedeutung von Tiefseeforschung in Zahlen auszudrücken, ist zurzeit kaum möglich. Und trotzdem – oder gerade weil sie noch so viele Geheimnisse birgt – ist die Tiefsee von enormer Bedeutung: Sie spielt Schlüsselrollen in verschiedenen globalen Prozessen, deren Gesamtverständnis auch vom Verständnis der Vorgänge in der Tiefsee

Leseprobe

Abb. 5: Der Crawler VIATOR am Meeresboden. Hier noch mit einer „Nabelschnur" zur Oberfläche zu sehen wird er später mit seinen optischen und chemischen Sensoren den Meeresboden hochauflösend kartieren und selbstständig in seine „Herberge" zurückkehren. Foto: SUBMARIS.

Maria S. Merian in einem Hydrothermalfeld vor Island durchgeführt, wo zuvor das AUV ABYSS (Autonomous Underwater Vehicle, ein autonomes Unterwasserfahrzeug, kurz: AUV) hochauflösende Karten geliefert hatte. Gleichzeitig ermöglichen moderne Satellitensysteme eine Breitbandverbindung zwischen Forschungsschiff, Forschern und Öffentlichkeit an Land, sodass Videoaufnahmen quasi in Echtzeit übertragen werden können. Dies eröffnet großartige Möglichkeiten für die Wissenschaft, aktuelle Daten innerhalb der Gemeinschaft auszutauschen und Spezialisten, die nicht an Bord sein können, zu informieren und fachkundige Unterstützung einzuholen.

IN DEN UNENDLICHEN WEITEN – DER TIEFSEE

Nicht umsonst wird die Tiefseeforschung mit der Weltraumforschung verglichen. Diese Gemeinsamkeiten und möglichen Synergien wurden in dem von der Helmholtz-Gemeinschaft geförderten Projekt ROBEX (Robotics in Extreme Environments) – in Analogie zum Mars-Rover – u. a. mit Tiefsee-Raupenfahrzeugen, sogenannten Crawlern gezielt gesucht. Sowohl der TRAMPER des Alfred-Wegener-Instituts als auch der VIATOR des GEOMAR wird mittels einer videogeführten Vorrichtung am Meeresboden abgesetzt, um dort autonome Missionen durchzuführen. Im Falle des VIATOR geschieht dies in Kombination mit dem Lander MANSIO, der als „Herberge" (so die Übersetzung des lateinischen Namens) für den „Wanderer" (so die Übersetzung des lateinischen Namens VIATOR) dient (Abb. 4).

Der Crawler verlässt den Lander über eine Rampe; er erfasst die chemischen Parameter im Bodenwasser und kartiert den Meeresboden mit Kameras und einem Laser-Line-Scanner in Millimeter-Auflösung (Abb. 5).

Die Daten werden im Bordrechner zu einer Karte verarbeitet, die den Crawler zusammen mit akustischer Navigation und optischer Naherkennung (wie bei der Annäherung einer Raumfähre an eine Raumstation im All) wieder den Weg zurück in die Herberge finden lässt. Dort werden die Batterien wieder aufgeladen, gesammelte Daten übertragen sowie neue Aufträge für Messungen und Fahrtrouten empfangen. Danach kann der Wanderer die nächste Mission starten, so lange bis auch die Energievorräte in der Herberge aufgebraucht sind (Abb. 6).

FANTASIEVOLLES GERÄT FÜR FANTASTISCHE WESEN

Aber nicht nur am Meeresboden befinden sich Lebensräume, die wir noch nicht ausreichend erforscht haben.

Abb. 6: VIATOR eingeparkt im Lander MANSIO. Über Induktion werden die Energievorräte wieder aufgetankt. Foto: SUBMARIS.

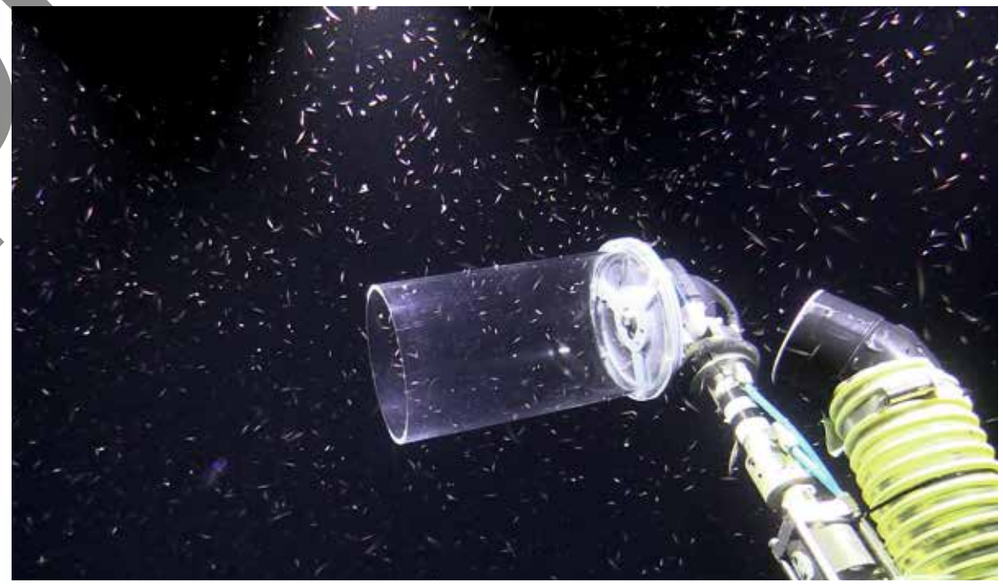

Abb. 7: (oben) JAGO auf der Pirsch nach Plankton. Vor dem Bug des Tauchboots befinden sich sogenannte Scoop Tubes oder übersetzt Fangrohre (rechts oben) sowie ein Saugrohr am Greifarm (rechts unten), mit denen der Pilot die fragilen Organismen behutsam einfangen kann. Foto oben: U. Kunz, Foto unten: J. Schauer/JAGO-Team, GEOMAR.

Leseprobe

2 LEBENSRAUM TIEFSEE

Gerd Hoffmann-Wieck, Thorolf Müller

Lebensräume bestehen aus anorganischen und organischen Anteilen. Gesteine und Minerale bilden den mehr oder weniger harten Untergrund und Böden, auf denen sich – je nach sonstigen Umweltbedingungen – die unterschiedlichsten Pflanzen ansiedeln. Pflanzen stellen mithilfe des Sonnenlichts aus anorganischen Stoffen Biomasse her (Produzenten). Sie dienen Pflanzenfressern als Nahrung und diese wiederum werden von fleisch- und allesfressenden Organismen verzehrt (Konsumenten). Die Gesamtheit aller Lebewesen in einem bestimmten Lebensraum heißt Biozönose. Sonnenlicht, Luft und Wasser sind weitere, für das Leben entscheidende Komponenten eines Ökosystems.

Die Tiefsee ist ein sehr spezielles Ökosystem. Weichböden dominieren den Tiefseeboden. (Sonnen-)Licht fehlt in Tiefen ab 1.000 m gänzlich. Es herrscht ein unglaublicher Wasserdruck, Nahrung ist knapp und es ist kalt (vgl. Kap. 2.1). Trotzdem gibt es auch hier Netzwerke aus Produzenten (meist Bakterien) und Konsumenten.

Um die Tiefsee als System zu verstehen, entdecken, erfassen und analysieren Wissenschaftler die Komponenten dieses riesigen Lebensraums. Der Ozeanboden ist eine dynamische Struktur, die durch Vorgänge im zähflüssigen Erdmantel geformt und stetig verändert wird. Gebirgsketten, Bänke und Seeberge türmen sich auf, und es entstehen riesige Ebenen. Vulkanismus und Erdbeben treten in der ozeanischen Kruste ebenso auf wie in der kontinentalen Kruste, auf der wir leben (vgl. Kap. 2.2).

Geologische Vorgänge in der Tiefsee erzeugen Strukturen, die von Lebewesen genutzt werden. Erst in den 1970er Jahren wurden die „Schwarzen Raucher“ entdeckt, untermeerische domartige Strukturen (Hydrothermalquellen; engl. hydrothermal vents). Aus ihnen strömen bis zu 400 °C heiße metallhaltige Lösungen. In dieser Suspension sind mineralische Stoffe aus dem Erdinneren gelöst, die sich ablagern und kaminartig aufragende Strukturen bilden. Auch in diesem scheinbar lebensfeindlichen Milieu leben Organismen, die nur hier existieren können (vgl. Kap. 2.4). Diesen Rauchern entströmt je nach Zusammensetzung und Menge der gelösten Stoffe schwarzer, weißer oder klarer „Rauch“ (vgl. Kap. 2.3). An anderen Stellen tritt Methangas aus Spalten und Rissen im Meeresboden aus. An diesen „kalten Sickerstellen“ (engl. cold seeps) bildet sich eine Lebensgemeinschaft, deren Basis meist aus methanliebenden Bakterien besteht (vgl. Kap. 2.5).

Die Lebewelt der Tiefsee ist weniger artenreich als die auf dem Land. Bakterien bilden die Lebensgrundlage in der Tiefsee. Nichtsdestoweniger tummeln sich Vertreter diverser Tiergruppen in der Tiefsee (vgl. Kap. 2.7.1–2.7.10). Sogar Säugetiere (Wale) schaffen es als „Besucher“ bis in die Tiefsee hinab (vgl. Kap. 3.1). Pflanzen, z. B. Algen und pflanzliches Plankton, finden sich in der Tiefsee jedoch nur in Form von Kleinstteilen, die von oben herabsinken. Die meisten Tiere sind mikroskopisch klein und auf unterschiedlichste Weise an die extremen Bedingungen angepasst. Riesenassel und Riesenkalmar dagegen setzen auf Größe – der Tiefsee-Gigantismus ist ein Weg, dem ständigen Nahrungsdruck zu begegnen: Je größer ein Tier ist, desto geringer die Wahrscheinlichkeit, dass es selbst zur Beute wird.

Kommunikation unter Wasser ist ebenso entscheidend wie auf dem Land. Schallwellen können sich im Wasser viel schneller und sehr weit ausbreiten. Fische nutzen das Seitenlinienorgan, um sich in Schwärmen zu orientieren oder drohende Gefahr zu erspüren (vgl. Kap. 2.7.8). Das für uns ästhetisch schöne Leuchten der Tiefseeorganismen, die Biolumineszenz, ist ein lebensnotwendiges Mittel, um Nahrung und/oder Fortpflanzungspartner zu finden. Es kann aber auch der Tarnung, der Abschreckung von Fressfeinden und der Flucht dienen (vgl. Kap. 2.7.9).

Leseprobe

2.1 BEDINGUNGEN IN DER TIEFSEE

Thorolf Müller, Gerd Hoffmann-Wieck

Je nach Definition beginnt die Tiefsee bei 200, 500 oder 1.000 m unter der Wasseroberfläche. Die Tiefsee ist dunkel, kalt, nährstoffarm, spärlich besiedelt und steht unter dem enormen Druck der auf ihr lastenden Wassersäule. Sämtliche Tiefseeorganismen müssen diesen z. T. lebensfeindlichen Bedingungen standhalten bzw. an diese angepasst sein. An einigen Stellen, den sogenannten Hotspots, ist die Artenvielfalt jedoch trotz dieser Extrembedingungen sehr hoch.

Von der Wasseroberfläche bis in die Tiefseegräben erstreckt sich der freie Wasserkörper, das sogenannte Pelagial (griech. pelagos, ‚Meer'). Das Pelagial wird in fünf Zonen oder ‚Etagen' unterteilt. Das Epipelagial (griech. epi, ‚auf') reicht von der Oberfläche bis in 200 m Tiefe. Das darauffolgende Mesopelagial (griech. méson, ‚mittig') liegt zwischen 200 und 1.000 m Tiefe. Danach beginnen die „Zonen absoluter Dunkelheit". Das Bathypelagial (griech. bathýs, ‚tief') umfasst den Bereich zwischen 1.000 und 4.000 m. Ihm schließt sich das Abyssopelagial (griech. ábyssos, ‚bodenlos') von 4.000 bis 6.000 m Tiefe an. Die unterste (und zugleich höchste) Etage bildet das Hadopelagial (griech. Hades, ‚Unterwelt'). Es reicht von 6.000 bis 11.000 m Tiefe. Auch der Meeresboden – das Benthal – ist in Zonen gegliedert, von denen je nach Definition das Bathyal, das Abyssal und das Hadal der Tiefsee zugerechnet werden.

Abb. 1: Nur die Tauchgeräte des Menschen bringen viel Licht in die ewige Nacht der Tiefsee. Hier beleuchtet ein Tauchroboter Garnelen, Muscheln und Fische am Logatchev-Hydrothermalfeld im zentralen Atlantik. Foto: Christian Borowski; MPI Bremen; ROV Jason 2; © SPP1144, German Science Foundation.

DENN DIE IM DUNKLEN SIEHT MAN NICHT …

Die Dunkelheit der Tiefsee ist (für uns Menschen) ab dem Bathypelagial, also 1.000 m Tiefe, vollkommen, denn das Meerwasser wirkt wie ein Filter. Es absorbiert zuerst die langwelligen Anteile des Lichts; das sind die roten, orangen und gelben Anteile des für uns sichtbaren Bereichs des elektromagnetischen Spektrums (ca. 400–700 nm Wellenlänge). Sie verschwinden bereits 100 m unterhalb der Meeresoberfläche. Rote Organismen und menschliches Blut erscheinen unterhalb dieser Grenze braunschwarz. Nach etwa 300–700 m verschwindet grünes und nach 600–1.000 m das am tiefsten vordringende kurzwellige blaue Licht. Danach ist es für uns Menschen stockfinster. Nur das für uns nicht sichtbare UV-Licht kann noch tiefer vordringen.

Leseprobe

Tarnung in absoluter Finsternis ist im Grunde simpel: Entweder sind die Organismen rot oder sehr dunkel gefärbt, annähernd durchsichtig oder farblos weiß (Abb. 1). Alle diese Anpassungen sind von Tiefseeorganismen bekannt. Wenn die Organismen trotzdem entdeckt werden, versuchen sie zu flüchten. Dennoch müssen sie auch Nahrung finden und Partner zur Fortpflanzung anlocken. Für diese Zwecke nutzen einige Organismen Licht, das sie entweder selbst oder mithilfe von Bakterien in Leuchtorganen produzieren. Dieses Phänomen heißt Biolumineszenz (vgl. Kap. 2.7.9). So erzeugtes „kaltes Licht" leuchtet grünblau und hat aufgrund der kurzen Wellenlänge eine große Reichweite. Die meisten Tiefseeorganismen, die überhaupt noch Augen besitzen, nehmen infolgedessen ausschließlich kurzwelliges, grünblaues Licht wahr und haben meist stark vergrößerte Sehorgane, um das wenige vorhandene Licht aufzufangen. Einige Drachenfische haben sich darauf spezialisiert, rotes Licht als „Suchscheinwerfer" einzusetzen, das für die „Grünblau-Sehenden" unsichtbar bleibt. Ihre eigenen Augen nehmen rote Wellenlängen wahr, sodass sie erfolgreiche Beutegreifer in der Dunkelheit sind. Der „Glaskopffisch" (*Macropinna microstoma*) kann mittels seiner sehr großen, nach oben gerichteten Teleskopaugen, die einen Grünfilter enthalten, bestimmte Anteile des Lichts filtern. Dadurch nimmt er das Leuchten anderer Organismen, z. B. Quallen und Garnelen, die ihm als Nahrung dienen, besser wahr.

LEBEN IN LÄHMENDER KÄLTE UND UNTER HOHEM DRUCK

Es ist kalt in der Tiefsee. In mittleren Breiten nimmt die Temperatur von etwa 200 m bis etwa 1.000 m Wassertiefe rapide ab (sogenannte Thermokline; Abb. 2). In der Tiefsee herrschen Temperaturen von –1 bis +4 °C. Die meisten Stoffwechselprozesse der dort lebenden Organismen – das Erreichen der Geschlechtsreife sowie die Produktion von Biomasse (Wachstum) eingeschlossen – laufen aufgrund der niedrigen Temperatur wesentlich langsamer ab. Auch ist es sehr energieaufwändig, bei dieser

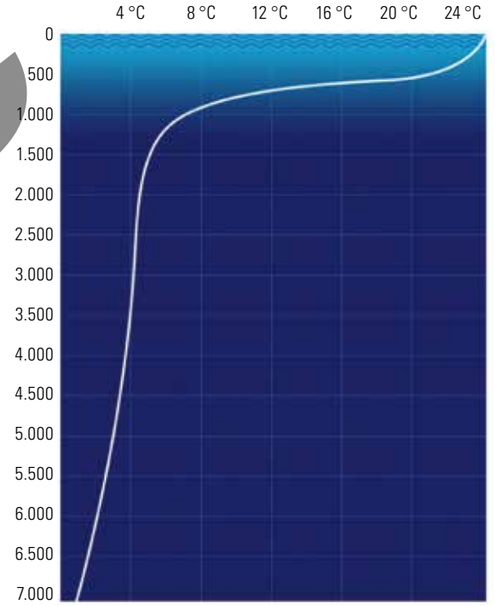

Abb. 2: Zwischen etwa 500 und 1.000 m fällt die Wassertemperatur im offenen Ozean drastisch. Grafik: Praveenron, Wikimedia commons, CC BY-SA 3.0.

Kälte schnelle Bewegungen auszuführen – und so schwimmen Fische in den Videoaufnahmen der Tauchgeräte meist „träge" herum. Das liegt jedoch nicht nur an der Kälte, sondern auch am enormen Wasserdruck.

In 10 m Wassertiefe herrscht ein hydrostatischer Druck von 1 bar. In 1.000 m Wassertiefe wird ein Druck von 100 bar, das sind etwa 100 kg/cm^2, gemessen. In 4.000 m Tiefe sind es bereits 400 bar, also 400 kg/cm^2. In 10.000 m Tiefe lastet 1 t Gewicht pro cm^2 auf den Organismen, die dort überhaupt noch leben können (die durchschnittliche Tiefe der Ozeane beträgt etwa 3.800 m). Die tiefsten Stellen der Ozeane, das Witjastief und das Challengertief des Marianengrabens, liegen im westlichen Pazifischen Ozean bei etwa 11.000 m. Beide Stellen sind benannt nach

Distanzen von mehreren Kilometern zurücklegen können. Das vulkanische Gestein, das durch den Ausfluss der Lava entsteht, hat eine basaltische Zusammensetzung und wird deshalb „Mittelozeanischer Rückenbasalt" genannt. Die Mächtigkeit dieser Lava-Abfolgen kann bis zu 500 m erreichen. Nach der geologisch aktiven Phase der Bildung neuer ozeanischer Kruste kühlt diese ab und entfernt sich langsam von den Mittelozeanischen Rücken. Im Laufe der Jahrmillionen lagern sich Sedimente auf der Kruste ab (je nach Wassertiefe weißer Karbonatschlamm oder roter Tiefseeton) und bilden eine im Mittel 400 m mächtige Sedimentbedeckung (Abb. 2).

DIE TIEFSEE – EINE GEOLOGISCHE WÜSTE?

Lange dachte man, dass sich die geologische Aktivität der ozeanischen Kruste auf ein Zeitfenster von einigen Hunderttausend bis wenige Millionen Jahre nach deren Entstehung beschränkt. Erst durch den Einsatz modernster Technik kann der Ozeanboden bis zu seinem tiefsten Punkt im Marianengraben kartiert und mit Tauchbooten und Tiefseerobotern visuell beobachtet und beprobt werden. Heute wissen wir, dass die Geologie des Meeresbodens deutlich komplexer und der Meeresboden nicht so platt, eintönig und tot ist, wie man jahrzehntelang angenommen hat. Geologische Aktivität auf alter ozeanischer Kruste kannte man bislang nur von der Nähe zu Subduktionszonen und Hotspots. Letztere werden durch aktiv aufsteigende, heiße Manteldiapire (engl. mantle plumes) verursacht. Der damit einhergehende Vulkanismus führt zur Entstehung von Unterseebergen oder Ozeaninseln wie Hawaii. Kürzlich fanden Forscher des GEOMAR jedoch Hinweise darauf, dass auch kleinräumig Vulkanismus auf mehrere Millionen Jahre alter Ozeankruste auftreten kann. Hier steht die Forschung jedoch erst am Anfang, denn die Erkundung des Meeresbodens ist extrem zeit- und kostenintensiv. Weltweit sind gerade einmal 10 % der Fläche der Tiefsee mit Fächerecholot kartiert, und es bleibt die Frage, was auf den restlichen 90 % noch entdeckt werden wird.

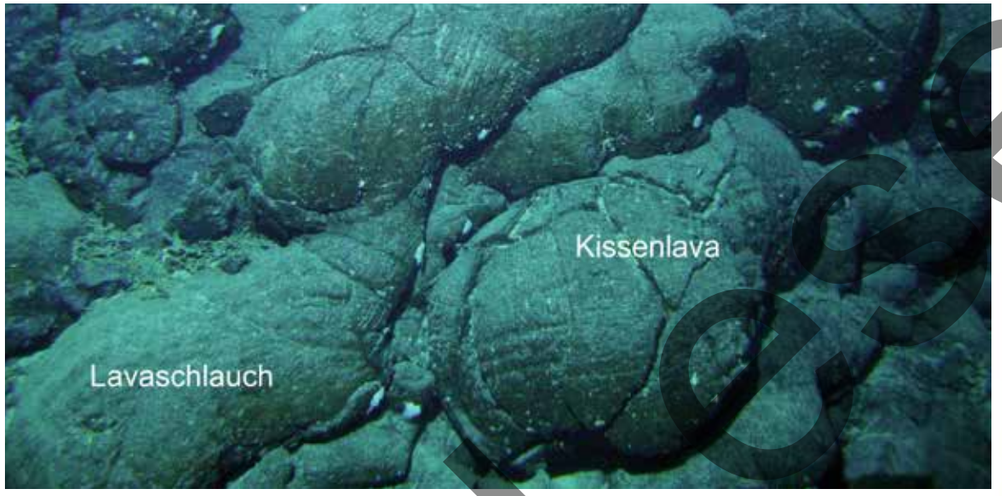

Abb. 3: Kissenlava und Lavaschlauch am Mittelatlantischen Rücken, ca. 500 km südwestlich von Island. Das Foto wurde in rund 730 m Wassertiefe vom GEOMAR-Tiefseeroboter PHOCA aufgenommen. Foto: Philipp Brandl; ROV-Team, GEOMAR.

Leseprobe

2.3 HOTSPOTS DES LEBENS – DIE GEOLOGISCHEN VORAUSSETZUNGEN

Sven Petersen

Geologische Prozesse und dabei entweichende wässrige Lösungen sind in vielen Bereichen der Ozeane für die Entstehung von Oasen in der Tiefsee verantwortlich. Das Leben dort ist an die spezifischen Eigenschaften der auftretenden Gesteine und chemischen Lösungen angepasst und unterscheidet sich daher erheblich von dem der normalen Tiefsee-Ebenen oder Seeberge. Zu den außergewöhnlichen Lebensräumen gehören die sogenannten Schwarzen Raucher, die sich in der Umgebung vulkanisch aktiver Bereiche bilden und an denen heiße (hydrothermale) Lösungen austreten. Dazu gehören aber auch Austrittsstellen von Gasen und Lösungen mit geringerer Temperatur, die sich häufig in den Schelfgebieten der Kontinente oder in sehr stark sedimentierten Bereichen der Tiefsee finden. Diese werden unter dem Begriff „Cold Seeps" („kalte Sickerstellen") zusammengefasst, obwohl diese Stellen sehr unterschiedlich sein können.

SCHWARZE UND ANDERE RAUCHER

Hierbei handelt es sich um sulfidische (schwefelhaltige) Ablagerungen, die sich an submarinen Plattengrenzen bilden, an denen durch das Zusammenwirken von vulkanischer Aktivität und Meerwasser ein Wärme- und Stoffaustausch zwischen den Gesteinen des Meeresbodens und dem Ozean stattfindet. Kaltes Meerwasser wird entlang tief reichender Spalten und Risse z. T. mehrere Kilometer in den Meeresboden gepresst und in der Nähe einer Magmakammer auf Temperaturen von mehr als 400 °C erhitzt. Das Wasser reagiert dabei chemisch mit dem umgebenden Gestein und löst Metalle heraus. Aufgrund der Erwärmung verringert sich die spezifische Dichte und das veränderte Meerwasser steigt sehr schnell zum Meeresboden auf, wo es unter hohem Druck aus kaminähnlichen Schloten, den „Schwarzen Rauchern", am Meeresboden austritt (Abb. 1).

Beim Kontakt von heißen Lösungen mit kaltem Meerwasser werden feine Sulfidpartikel ausgefällt, die mit den ausströmenden Lösungen in der Wassersäule verteilt werden und die namensgebende Färbung der Suspensionswolke hervorrufen. Die Farbe der Raucher hängt jedoch von der Bildungstemperatur und der chemischen Zusammensetzung ab. So werden „echte" Schwarze Raucher nur bei sehr hohen Temperaturen gebildet (über 300 °C), da nur hier dunkel gefärbte Sulfide entstehen. Bei niedrigeren Temperaturen werden auch Sulfate und Silikate gebildet, die das Scheinwerferlicht hell reflektieren. So gibt es, je nach Mischungsverhältnis auch Graue oder gar Weiße Raucher. Befindet sich unter den ausgefällten Mineralen in größeren Mengen Schwefel, kann die Suspension sogar gelbliche Farbtöne annehmen. Sind die Metallionen bereits im Untergrund ausgefällt worden, kann es auch zum Austritt transparenter heißer Lösungen kommen.

2.4 DIE UNABHÄNGIGEN – OASEN DES LEBENS AN HYDROTHERMALQUELLEN

Terue Cristina Kihara, Gritta Veit-Köhler

Seit sie in den späten 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts entdeckt wurden, sorgen Hydrothermalquellen immer wieder für Überraschungen. In der sonst von größeren Tieren eher dünn besiedelten, nahrungsarmen Tiefsee können diese vergänglichen Ökosysteme Oasen voller Leben sein.

Abb. 1: Deutlich sichtbar strömt das heiße, mit Schwefelwasserstoff angereicherte Fluid aus einer Spalte an der Flanke eines aktiven Schwarzen Rauchers. Krabben, Garnelen und Muscheln besiedeln diesen Lebensraum. Foto: ROV KIEL 6000, GEOMAR.

Leseprobe

Abb. 2: Anderer Raucher, andere Zonierung: Seeanemonen, Garnelen, Krabben und Muscheln teilen sich die Mikrohabitate an den Flanken eines Tiefseeschlots. Foto: BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe), ROV KIEL 6000, GEOMAR.

Organismen, die an heißen Quellen leben, müssen mit besonderen Umweltbedingungen zurechtkommen: Giftiger Schwefelwasserstoff strömt gemeinsam mit gelösten metallischen Verbindungen aus dem Meeresboden und im Vergleich zur kalten Umgebung sind die stark erhöhten Wassertemperaturen für Tiefseeorganismen eher ungewohnt. Direkt an den Schloten leben die „härtesten" Tiere, weiter weg die Organismen, die vom Nahrungsreichtum profitieren, aber nicht so gut mit den Extrembedingungen umgehen können. Das führt zu typischen und je nach Meeresregion unterschiedlichen Zonierungen, die von unterschiedlichen Charakterarten dominiert werden (Abb. 1–3).

Je mehr Hydrothermalfelder erkundet werden, desto mehr ganz speziell an diese Lebensräume angepasste Tierarten werden entdeckt. Meist gehören die neuen Arten zu Ringelwürmern (Annelida, z. B. Poly- und Oligochaeta) und Krebsen (Crustacea), aber auch Fische (Pisces), Schwämme (Porifera) oder Seescheiden (Ascidiacea) sind

Abb. 3: Große Ansammlungen von Muscheln der Gattung *Bathymodiolus*, Verwandten unserer heimischen Miesmuscheln, leben in nächster Nähe zu den Schloten. Auf den Muscheln wiederum sitzen winzige Schnecken. Foto: ROV KIEL 6000, GEOMAR.

— Kommerzielles Interesse an Cold Seeps. Cold Seeps stellen einzigartige genetische Fundgruben für die Suche nach neuartigen hochspezifischen Stoffwechselprozessen dar. Weiterhin besteht großes Interesse an Gashydraten und deren Exploration zur Energiegewinnung.

— Zunehmend haben Cold Seeps auch die breite Öffentlichkeit fasziniert, wozu der Bestseller-Roman „Der Schwarm" von Frank Schätzing (2004) nicht unerheblich beigetragen hat. Nicht zuletzt aber, unabhängig von allen menschlichen Interessen, verfügen Cold Seeps über einen intrinsischen Wert und sind um ihrer selbst willen schützenswert.

— Chemosynthetische Lebensgemeinschaften stehen vielleicht auch Pate für Lebensformen auf fernen Planeten und Monden. Als Kandidaten, auf denen derzeit mit gewisser Wahrscheinlichkeit extraterrestrisches Leben zu erwarten ist, sind neben den eisigen Polen des Mars, die Eismonde Europa (im Jupiter-System) und Enceladus (einer der 62 Monde des Saturn) zu nennen. Auf beiden Monden werden unter einer dicken Eisschicht von mehreren Kilometern Mächtigkeit tiefe Ozeane vermutet, die alle Ingredienzien für chemosynthetisches Leben enthalten.

BLEIBEN SIE NEUGIERIG.

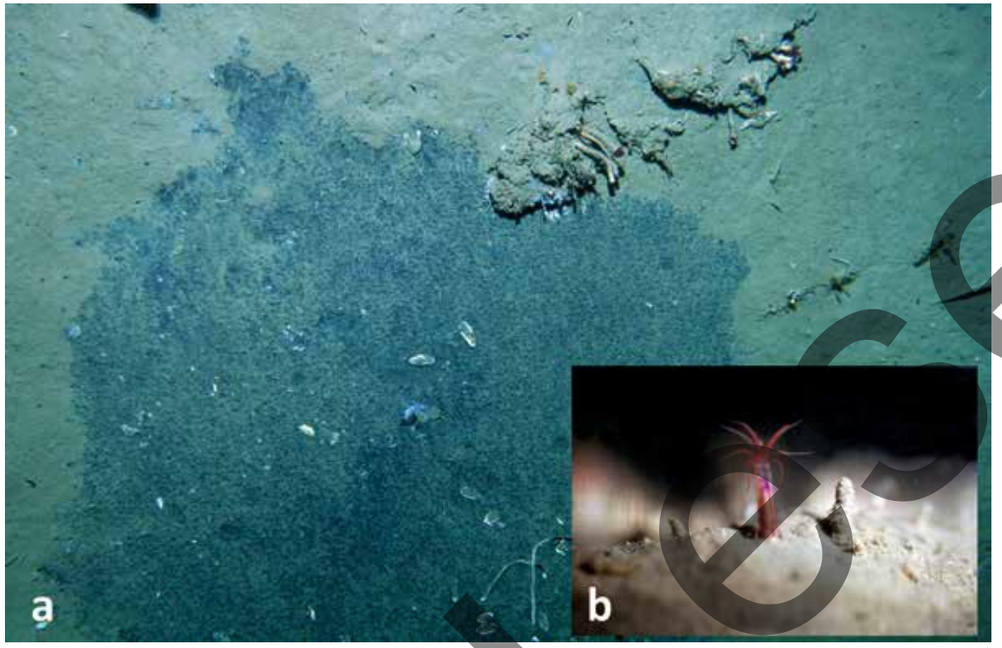

Abb. 6a: „Rain Drop Sites" in Cold Seeps vor Neuseeland; 6b: jeder dunkle Fleck dieses nur wenige Meter großen Areals wird von mindestens einem Borstenwurm aus der Familie der Ampharetidae besiedelt. Foto a: D. A. Bowden, NIWA, Foto b: S. Sommer, GEOMAR.

2.6 MANGANKNOLLENFAUNA

Torben Riehl, Dorte Janussen

Polymetallische Knollen, auch als Manganknollen bekannt, stellen einen besonderen Lebensraum dar, da sie in ausgedehnten Feldern reichlich Hartsubstrat bieten. Der Meeresboden der abyssalen Tiefenzone erstreckt sich hauptsächlich über Ebenen und Hügellandschaften, die von Feinsedimenten wie Ton oder Mergel geprägt sind. Er wird in der Regel als relativ eintönig beschrieben. Feste und harte Strukturen gelten als selten und sind daher nur sehr begrenzt für die Meeresbodenfauna als Substrat verfügbar. Manganknollen sind somit ein kostbarer Siedlungsraum in der Tiefsee.

Manganknollen sind typischerweise von einer Aufwuchsfauna (Epifauna) bewachsen, die sich aus speziellen Mikroben-, Protisten- und Tiergemeinschaften zusammensetzt. Sie ähneln eher der Fauna anderer Hartsubstrate als derjenigen auf und in den umgebenden Sedimenten. Auch die Hohlräume der Manganknollen sind von einer besonderen Lebensgemeinschaft bewohnt. In dem durch das Wachstum der Knollen entstandenen Labyrinthsystem leben Fadenwürmer, verschiedene Krebstiere wie Harpacticoida (vgl. Kap. 2.7.1), Eichelwürmer, Borstenwürmer (vgl. Kap. 2.7.3) und Wasserbären – alle typische Vertreter der Sedimente. Sie kommen jedoch in anderer Artenzusammensetzung und Dichte vor. Bis zu 170 dieser Kleinstlebewesen wurden in einer einzigen Manganknolle gefunden – eine beeindruckende Zahl, wenn man bedenkt, dass der Lebensraum selbst arm an Nahrung ist. Die Höhlensysteme der Knollen bieten Schutz vor Fraßfeinden.

Zur Manganknollen-Epifauna zählt eine Fülle festsitzender Meerestiere, deren Larven zum Anwachsen ein Hartsubstrat benötigen, z. B. Seerosen, Oktokorallen, Ruderfußkrebse und Seelilien sowie allerlei Schwämme und deren Mitbewohner. Vielerlei Organismen sind also auf derartige Hartsubstrate angewiesen, weil sie z. B. als sessile (festsitzende) Arten einen festen Untergrund als Anheftungsstelle brauchen. Andere profitieren von einem solchen Hartboden, weil dieser sich in der Regel zumindest etwas über die Sedimentoberfläche erhebt und somit exponierter gegenüber Meeresströmungen ist – so bekommen beispielsweise Filtrierer besseren Zugang zu ihren vorbeidriftenden Nahrungspartikeln (vgl. Kap. 3.1).

Tiere, die typischerweise an Hartböden angeheftet sind, stellen mit ihrem eigenen Körper eine Siedlungsfläche für andere Organismen dar – sogenannte „biogene Substrate". Auf diese Weise entstehen dreidimensionale Lebensräume, die in der Fachliteratur als „Animal Forests", also „Tierwälder", bezeichnet werden. Diese Strukturierung ist ein deutlicher Unterschied der Manganknollenfauna gegenüber der sie umgebenden Weichsubstratfauna.

Mit ihren unzähligen Übergängen zwischen Hartsubstrat und Sediment bilden Manganknollenfelder komplexe Lebensraummosaike, die zu den artenreichsten Lebensgemeinschaften im Abyssal gehören. Untersuchungen in der Clarion-Clipperton-Bruchzone im äquatorialen Nordost-Pazifik, dem weltgrößten potenziellen Abbaugebiet für den Tiefseebergbau polymetallischer Knollen mit einer Gesamtfläche von etwa 5,2 Millionen km², haben ergeben, dass hier Tiergruppen leben, deren Stammesgeschichte

Lesepro

2.7 DIE LEBENSWELT DER TIEFSEE

Henk-Jan Hoving

Die Tiefsee beginnt in einer Tiefe von 200 m. Der darüberliegende Bereich lichtdurchfluteter Wasserschichten wird „photische Zone“ genannt, da hier genügend Licht zur Verfügung steht, um die Fotosynthese zu unterstützen, die für das Wachstum von Pflanzen und Algen erforderlich ist. Unterhalb von 200 m kommt nur wenig Licht an, nicht genug für die Fotosynthese. Dieser Bereich heißt Dämmerungszone oder auch „mesopelagische Zone“.

Die meisten chemischen und physikalischen Prozesse, wie zum Beispiel die Regulierung des Salzhaushalts, Temperaturschwankungen oder Wellenbewegungen, finden in den oberen 1.000 m der Ozeane statt. Hier können Sauerstoffkonzentration, Salzgehalt und Temperatur starke Gradienten aufweisen. Dies führt zu Sauerstoffminimumzonen und sogenannten Thermoklinen, dem Übergang von Wasserschichten unterschiedlicher Temperaturen. Diese speziellen Umweltbedingungen können die Biodiversität sowie die Biologie vieler Organismen beeinflussen. Der Wasserkörper zwischen 1.000 und 3.000 m Tiefe ist die bathypelagische Zone, in der relativ konstante Bedingungen herrschen. Die meso- und die bathypelagische Zone machen zusammen geschätzte 90 % des gesamten Ozeanvolumens aus. Der tiefe Meeresboden erstreckt sich von den Kontinentalhängen bis zu den Tiefsee-Ebenen auf 3.000–11.000 m Tiefe. Weitere große topografische Merkmale auf dem Meeresboden sind Seeberge, Bergrücken und Vulkaninseln, die unterschiedliche Lebensräume schaffen.

VON VERTIKALWANDERERN, ECHOSTREUUNG UND TARNUNG DURCH LICHT

Die meisten Organismen in der Tiefsee sind direkt oder indirekt von organischer Substanz abhängig, die in den sonnendurchfluteten, oberen Ozeanschichten produziert wird. Wolken aus abgestorbenen Mikroalgen und kleinem Zooplankton sinken passiv nach unten und bilden einen kontinuierlichen Regen von Partikeln, der als „Meeresschnee“ bezeichnet wird. Viele Tiefseeorganismen profitieren von der hohen Produktivität in den oberen Schichten, indem sie nachts aktiv Richtung Oberfläche wandern. Sie können bis nahe an die Oberfläche aufsteigen; dieses Phänomen ist als „Vertikalwanderung“ bekannt. Hier oben ernähren sie sich von Plankton und meiden optisch jagende Raubtiere. Indem sie tagsüber in die Tiefsee abwandern und hier ihre Nahrung verdauen und veratmen, transportieren sie organische Stoffe von der Oberfläche in tiefere Meeresschichten. Das Absinken von Partikeln aus Meeresschnee und anderen organischen Stoffen sowie die tägliche Migration von Organismen transportiert Kohlenstoff in die Tiefsee. Dieser Prozess wird „biologische Kohlenstoffpumpe“ genannt (vgl. Kap. 3).

Tagsüber konzentrieren sich die wandernden Organismen in Schichten in 300–500 m Tiefe. Diese Ansammlungen sind auf Echoloten als dicke Schicht, die sogenannte Echo-Streuschicht (engl. deep scattering layer), sichtbar. Diese dichte Schicht verleitete frühere Besatzungen von Tauchbooten zu der Annahme, sie seien schon am Meeresboden angekommen, obwohl sie sich noch mitten in der Wassersäule befanden.

Ein großer Teil der mesopelagischen Organismen in diesen Schichten besteht aus der Familie der Laternenfische (Myctophidae). Ihr Name leitet sich von den Leuchtorganen ab, den sogenannten Photophoren, die überall auf ihrem Körper vorhanden sind und wie kleine Laternen aussehen. Auf der unteren Seite ihres Körpers befindet sich ein Muster aus diesen Photophoren, das ihren Bauch beleuchtet und ihnen so die Helligkeit des sie umgebenden Wassers verleiht. Dies macht sie unsichtbar gegen die geringe Lichtmenge, die noch in diesen Tiefen von oben ins Wasser vordringt und ihren Schatten nach unten projizieren würde – wodurch sie zu einer leicht erkennbaren Beute für unter ihnen lauernde Räuber würden. Dieses Phänomen der optischen Tarnung wird „Gegenbeleuchtung“ (engl. counter illumination) genannt. Laternenfische sind nach den Borstenmäulern (Gonostomatidae) die häufigsten Fische in der Tiefsee und dadurch extrem wichtig für die Ozeane. Sie sind Beute für viele Meerestiere, darunter Schwertfische, Thunfische und Tintenfische.

MIT NEUEN METHODEN NEUE TIERE ENTDECKEN

Traditionell beproben Ozeanografen die Meere mit Netzen. Mit dieser Methode kann eine Vielzahl von Tieren untersucht werden, darunter Fische, Tintenfische, Krebstiere und einige robuste Quallen. Der Einsatz von Unterwasserkameras in der Tiefsee hat eine neue, zuvor verborgene Artenvielfalt aufgezeigt, die aus zerbrechlichen Lebensformen besteht. Diese Tiere werden auch als „gallertartiges Zooplankton“ bezeichnet. Dazu gehören Ctenophoren (Rippenquallen), Medusen (Quallen), Siphonophoren (Staatsquallen) und freischwimmende Manteltiere wie die Salpen. Was viele dieser Tiere gemeinsam haben, ist eine empfindliche und transparente Körperstruktur, die zu zerbrechlich ist, um in Netzen unversehrt

Abb. 1: Der große pelagische Siebenarm-Tintenfisch (*Haliphron atlanticus*), von einem Tauchroboter in 387 m Tiefe fotografiert, mit einer gefangenen Qualle der Art *Phacellophora camtschatica*. Die Mantellänge des Tiers beträgt etwa 29 cm; diese Art kann jedoch bis zu 3,5 m lang und 75 kg schwer werden und ist damit einer der größten bekannten Tintenfische weltweit. Foto: © 2017 MBARI.

Leseprobe

2.7.1 GEPANZERTE GLIEDERTIERE

Angelika Brandt, Terue Cristina Kihara, Torben Riehl

Viele verschiedene Krebstiere ganz unterschiedlicher stammesgeschichtlicher Herkunft bewohnen heute den Teil der Meere, den wir als Tiefsee bezeichnen. Sie kommen in allen Meerestiefen vor, aber das Ausmaß ihrer jeweiligen Spezialisierung und der Vielfalt der verschiedenen Gruppen hängt u. a. von der Zeitspanne ab, seit der sie mit der Besiedlung Tiefsee begonnen haben. Unter den besonderen, für uns Menschen feindlich erscheinenden Umweltbedingungen (vgl. Kap. 2.1) sind manche Krebstiergruppen geradezu aufgeblüht, wie z. B. die Ruderfußkrebse (Copepoda) der Harpacticoida (Abb. 1), die hauptsächlich der Meiofauna (unter 1 mm) zuzurechnen sind, und die Asseln (Isopoda), deren Arten meist im Größenbereich von 1 bis 10 mm liegen und somit der Makrofauna zuzurechnen sind. Die Asseln sind mit sehr hohen Artenzahlen und speziellen Anpassungen in der Tiefsee vertreten, die sie über große geologische Zeiträume, zum Teil seit dem Paläozoikum, evolviert haben. Typische Krebstiergruppen aus den Küstengewässern, wie etwa die Zehnfußkrebse (Decapoda) und Fangschreckenkrebse (Stomatopoda) sowie andere typische Vertreter der Megafauna (über 1 cm), kommen hingegen relativ selten in der Tiefsee vor. Für einige besondere Krebse und Krebsgruppen wollen wir im Folgenden etwas weiter ins Detail gehen.

DIE KLEINEN KÖNIGE DER MEERE

Ruderfußkrebse (Copepoda, Abb. 1) sind kleine Krebse von Mikrometer- bis Millimetergröße, die in allen Gewässern vorkommen und im Meer das freie Wasser und den Meeresboden – von der flachen Küstenregion bis in die tiefsten Gräben des Hadals – besiedeln. Sie sind die „Könige der Meere", denn mit ihren ca. 13.000 Arten stellen sie den größten Anteil des marinen Zooplanktons. Sie fressen Phytoplankton oder leben als Filtrierer, Räuber oder Parasiten und sind auch ein sehr wichtiges Element der marinen Nahrungskette. Der Körperbau der bodenlebenden Ruderfußkrebse aus der Gruppe der Harpacticoida kann,

Abb. 1: Fotos von Tiefsee-Harpactidoida (Ruderfußkrebse) aus verschiedenen Familien, aufgenommen mit einem konfokalen Laserscanning-Mikroskop. A) Aegisthidae (*Hase lagomorphicus*), C) Ectinosomatidae, B) Aegisthidae, D) Ancorabolidade, E) Paramesochridae (*Emertonia ingridae*), F) Paramesochridae (*Wellsopsyllus* (*Wellsopsyllus*) *antarcticus*), G) Idyanthidae (*Meteorina magnifica*). Maßstab: A, D, G = 200 µm; B = 250 µm, C, E, F = 50 µm. Quelle: Terue C. Kihara, Johanna Kottmann, Karin Pointner, Gritta Veit-Köhler, Deutsches Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung (DZMB), Wilhelmshaven.

in Anpassung an die jeweilige Lebensweise, stark modifiziert sein.

HÖHERE KREBSE (MALACOSTRACA)

Vertreter dieser mit etwa 28.000 Arten größten Gruppe der Krebstiere lebten bereits im Kambrium. Ihre bemerkenswerten Sinnesleistungen und komplexen Verhaltensweisen zeigen eine hohe Organisationsform. Zu den Höheren Krebsen gehören z. B. Fangschreckenkrebse, Flohkrebse und Meeresasseln, Leuchtgarnelen, Krabben, Hummer und Garnelen. Diese Krebse leben meist am Meeresboden, nur wenige Arten haben sich auf ein Leben in der freien Wassersäule spezialisiert. Ihnen gemein ist u. a. ein sehr kompliziert gebauter Kau- und Filtermagen, mit dem sie Nahrung weiter zerkleinern und sortieren und der ihnen die Nutzung ganz unterschiedlicher Nahrungsspektren ermöglicht. Viele Arten werden ihrerseits vom Menschen als Speisekrebse konsumiert.

Obwohl sie insgesamt in der Tiefsee seltener vorkommen als in Küstengewässern, gibt es auch unter den größeren Krebsen im Allgemeinen und den Decapoda im Speziellen einige Gruppen, die ihre Hauptverbreitung in der Tiefsee haben. Die Polychelidae – man könnte ihren

Abb. 2: Yeti-Krabbe *Kiwa tyleri* aus einen Hydrothermalgebiet bei den Südlichen Shetlandinseln (E2 Ventfield Dog's Head). Fotos: NERC, ChEsSO consortium.

Leseprobe

der Leuchtkalmar, benutzen meist das Molekül Coelenterazin als Luciferin: Entweder stellen sie es selbst her oder sie nehmen es über ihre Nahrung auf. Andere lassen sich lieber beleuchten: Anglerfische (hier der sogenannte Fußballfisch *Himantolophus groenlandicus*, Abb. 5), und Feuerwalzen (z. B. *Pyrosoma atlanticum*) leben in Symbiose mit biolumineszierenden Bakterien.

Im Stammbaum des Lebens hat sich die Eigenschaft, Licht zu produzieren, mehr als 30 Mal unabhängig entwickelt. Ob als Tarnung, zum Anlocken von Beute oder zur Partnersuche: Biolumineszenz könnte zunächst aus einem ganz anderen Grund entstanden sein. Die Leuchtreaktion verbraucht nicht nur Sauerstoff, sie kann auch Wasserstoffperoxid oder freie Radikale abfangen, die die DNA schädigen – Biolumineszenz hat also eine antioxidative Wirkung, wie z. B. Vitamin C bei uns Menschen. Als die Vorfahren der Tiefseelebewesen immer weiter ins Dunkel abtauchten, verringerte sich der oxidative Stress, dafür entpuppte sich die Leuchtfähigkeit als umso nützlicher.

Abb. 4: Sloans Vipernfisch (*Chauliodus sloani*) lebt in der Zwielichtzone der Tiefsee und besitzt auf der Bauchseite seriell angeordnete Leuchtorgane, die ihm eine Tarnung gegen Angriffe von unten ermöglichen. Er selbst ist ein Jäger und ernährt sich von kleineren Fischen und Krebstieren. Foto: Sven Tränkner, Senckenberg.

LEUCHTEN FÜR DIE FORSCHUNG

Seit wir die Sequenzen einiger Gene, die für Biolumineszenz verantwortlich sind, kennen, wird Biolumineszenz auch in der Wissenschaft genutzt. In der Krebsforschung werden Tumore in Mäusen mit Luciferasen markiert: So lässt sich nicht invasiv untersuchen, ob der Tumor nach der Verabreichung eines Medikaments weiter wächst. Das wichtigste lebenswissenschaftliche Leuchtsystem ist das der Qualle *Aequorea victoria*. Ihr Luciferin Aequorin produziert nur in Gegenwart von Calcium blaues Licht – das lässt sich ausnutzen, um Calcium-Konzentrationen in Lebewesen sichtbar machen. Doch berühmt ist die Qualle nicht etwa für blaues Leuchten: In den Leuchtorganen der Qualle befindet sich auch ein grün fluoreszierendes Protein (GFP): Es absorbiert das blaue Licht der Lumineszenzreaktion und leuchtet mit dieser Energie selbst grün. So ist die Biolumineszenz der Qualle im Meer auch grün statt blau. In der Wissenschaft wird GFP zur Untersuchung der Genexpression und Markierung von Proteinen verwendet. Diese Methoden sind so wichtig, dass die Entdecker des Proteins und seiner Anwendungen 2008 sogar den Nobelpreis für Chemie erhielten. Das Leuchten in der Tiefe ist also nicht nur ein unfassbares Spektakel der Natur, sondern auch wertvoll und nützlich. Die Wissenschaft sucht weiter nach neuen Leuchtstoffen aus dem Meer – die Tiefsee hält dabei in ihrer unbekannten Dunkelheit vermutlich noch viele Schätze bereit.

Abb. 5: Weibliche Fußballfische (*Himantolophus groenlandicus*) werden wesentlich größer als die männlichen Tiere. Sie tragen auf der Stirn als Angel (Illicium) einen umgebildeten Flossenstrahl, an dessen Ende sich das Leuchtorgan (Esca) befindet. In Aktion leuchten die darin lebenden Bakterien blau. Foto: Sven Tränkner, Senckenberg.

Probe

3 KREISLÄUFE UND ZUSAMMENHÄNGE IN DER TIEFSEE

Torben Riehl

Das Wissen um die Rolle und die Funktion der Tiefsee in globalen Kreisläufen – und somit ihre volle Bedeutung für uns Menschen – ist noch immer begrenzt. Dennoch können wir bereits jetzt sagen, dass die Tiefsee mit einer Vielzahl verschiedener Ökosystemleistungen in globale Kreisläufe eingebunden und essenziell für unser Überleben ist. Weil sie ein für uns unwirtlicher und unzugänglicher Lebensraum ist, haben wir viel zu lange eine „Aus den Augen, aus dem Sinn"-Mentalität gegenüber der Tiefsee an den Tag gelegt. Dabei ist sie seit jeher über Wasserströmungen, Stoffkreisläufe, geologische Prozesse und die Besiedlungsgeschichte der zahllosen Arten mit den Flachwasserbereichen, der Atmosphäre und dem Land – also unserem Lebensraum – im Austausch (Abb. 1). Die Biosphäre, zu der auch wir gehören, ist über vielfältige Prozesse und Kreisläufe mit der Geosphäre, der Hydrosphäre und der Atmosphäre verwoben. Selbst wenn unser Verständnis um die Zusammenhänge noch nicht erschöpfend ist, muss der heutige Kenntnisstand genutzt werden, um die Auswirkungen menschlicher Eingriffe in das Tiefseeökosystem abzuschätzen und entsprechende Regulierungsmaßnahmen zu fordern und umzusetzen. Schon allein aufgrund der enormen Größe der Tiefsee haben viele der Prozesse, die sich in ihr abspielen, große Bedeutung für globale Kreisläufe. Die Aufgabe der Tiefseeforschung besteht darin, die Wissensgrundlage stetig zu erweitern.

CO_2-SENKE UND PHYSIKALISCHE CO_2-PUMPE

Es ist zurzeit in aller Munde: das Kohlendioxid (CO_2). Zwar ist es nur in geringen Anteilen (0,04 % des Volumens) in der Erdatmosphäre vorhanden, doch das genügt, um merklich zu einem Treibhauseffekt beizutragen. Durch menschliche Aktivitäten, allen voran die Verbrennung fossiler Rohstoffe und die Abholzung von Urwäldern, wird die direkt verfügbare CO_2-Menge erhöht, wodurch sich die Erdatmosphäre erwärmt. Dieser Treibhauseffekt wäre noch viel stärker, würde die Tiefsee nicht einen großen Teil dieses Kohlendioxids speichern. Aber wie kommt das CO_2 aus der Luft ins Meerwasser? CO_2 ist zwar gasförmig, doch an der Grenzfläche zwischen Gasen und Flüssigkeiten – also in diesem Fall zwischen der Luft der Atmosphäre und dem Meer – kommt es durch Diffusion zum Austausch von Gasmolekülen und es entsteht eine sogenannte Lösung. Wie die anderen Bestandteile der Luft löst sich also auch das Gas CO_2 proportional, also in relativ geringer Menge, im Meerwasser. Darüber hinaus reagiert das CO_2 aber auch mit H_2O und es entsteht dabei Kohlensäure H_2CO_3. Wie an Land assimilieren auch diverse Meeresorganismen das CO_2 während der Fotosynthese. Derzeit sind rund 37.000 Gt CO_2 in der Tiefsee gespeichert, was einem Viertel der Gesamtmenge entspricht, die durch die Aktivitäten der Menschen freigesetzt wurde. Dieses CO_2 gelangt über Meeresströmungen und mithilfe von lebenden Organismen in die Tiefsee.

Kaltes Wasser kann mehr gelöstes CO_2 aufnehmen und hat eine höhere Dichte. In der Nähe der Pole sinkt dieses kalte, salzhaltige Meerwasser aufgrund seiner höheren Dichte ab und bildet das sogenannte Tiefenwasser. Durch diesen als „physikalische CO_2-Pumpe" bezeichneten Vorgang wird der Atmosphäre das Treibhausgas Kohlendioxid für ca. 1.000 Jahre entzogen – so lange dauert es, bis der abgesunkene Wasserkörper alle Ozeane durchflossen hat und sich schließlich wieder der Oberfläche nähert, wo er das CO_2 an die Atmosphäre zurückgibt. Für die Zukunft bedeutet das jedoch ebenfalls, dass das Meer dieses Gas dem Konzentrationsgefälle folgend vermehrt in die Atmosphäre abgeben wird, wenn der atmosphärische CO_2-Anteil wieder sinken sollte. Doch auch biologische Prozesse tragen zu einem Kohlenstofftransport in die Tiefsee bei.

REMINERALISATION UND DIE BIOLOGISCHE KOHLENSTOFF-PUMPE

Zu den Ökosystemleistungen der Tiefsee gehört das Zurverfügungstellen von Nährstoffen. Nahrung ist dort knapp bemessen. Von wenigen Ausnahmen abgesehen (vgl. Kap. 2.4–2.6) hängt das Leben in der Tiefsee von toten Pflanzen- und Tierteilen ab, die als sogenannter Detritus langsam von der Meeresoberfläche zu Boden sinken. Diese organische Materie wird von Planktern (passiv in der Wassersäule driftenden Lebewesen) sowie der Meeresbodenfauna und dem dort lebenden Mikrobiom konsumiert und in ihre Bestandteile zerlegt. Man spricht von „Remineralisation". In diesem Prozess entsteht der Dünger, von dem das Planktonwachstum an der Meeresoberfläche und somit das gesamte Nahrungsnetz zehren.

Leseprobe

4 NUTZUNG, GEFÄHRDUNG UND SCHUTZ DER TIEFSEE

Thorolf Müller, Gerd Hoffmann-Wieck

Die Tiefsee dient dem Menschen als Quelle für Nahrung, Rohstoffe und Medizin. Aber er gefährdet sie auch, unter anderem durch die Nutzung, und so gibt es vermehrt Bemühungen, diesen besonderen Lebensraum zu schützen (vgl. Kap. 4.5).

Nahezu alle Rohstoffe auf unserem Planeten sind begrenzt – auch die der Meere. Intensiver Abbau und Verbrauch einerseits und mangelhaftes Recycling sowie der exponentiell verlaufende technische Fortschritt andererseits führen dazu, dass wir ständig neue Rohstoffquellen suchen müssen. Rohstoffgewinnung (Öl, Gas, Sand, Metalle) aus den Ozeanen ist an sich nicht neu. Neu ist, dass die Gewinnung von Rohstoffen aus der Tiefsee wirtschaftlich interessant wird – seitdem sich die mit geringerem Aufwand auszubeutenden Rohstoffvorkommen verknappen. Besonderes Interesse besteht aktuell an der Förderung von Manganknollen und -krusten, Massivsulfiden und Methanhydrat. Verschiedene Forschungsprojekte versuchen einzuschätzen, welche Risiken dies für die betroffenen Ökosysteme mit sich bringt (vgl. Kap. 2.4, 2.6, 4.1).

Obwohl wir das Ökosystem Tiefsee nur ausschnittweise kennen, nutzen wir es bereits seit Jahrhunderten als Nahrungsquelle. Im 18. Jahrhundert holten die Menschen Fische in geringen Mengen mit sogenannten Langleinen aus der Tiefsee herauf. Seit 1950 werden die Tiefen mit hochseetüchtigen Fangschiffen und gigantischen Schleppnetzen systematisch befischt; inzwischen sind viele Fischarten und auch ihre Lebensräume durch die industrielle Fischerei bedroht. Ein Grund für die rasante Verringerung von Fischpopulationen in der Tiefsee: Viele Tiefseefische wachsen langsam, werden sehr spät geschlechtsreif und produzieren wenig Nachwuchs (vgl. Kap. 4.2).

„SEA-ME-WE 3“ lautet der Name eines 39.000 km langen Seekabel-Netzwerks, das Europa, Afrika, Asien und Australien miteinander verbindet. Wir kommunizieren durch die Tiefsee! Verschicken wir eine E-Mail, rasen die Daten zu 90 % durch Glasfaserkabel und häufig auch durch die Ozeane. Das „Netzwerk des Internets“ besteht aus Kabeln, die auf dem Land und zwischen den Kontinenten durch die Ozeane verlegt wurden und werden. Millionen Kilometer Strom- und Datenkabel und damit Tausende Tonnen Material verlegen „Kabelleger“ – riesige Schiffe – auf dem Grund der Ozeane. Diese „Hardware“ stellt für Organismen, die festsitzend leben, ein willkommenes Hartsubstrat auf dem sonst überwiegend weichen Untergrund dar (vgl. Kap. 4.3).

Die stetig wachsende Weltbevölkerung, drastisch steigender Konsum und die unterentwickelte Kreislaufwirtschaft sorgen für eines der größten Probleme unserer Zeit: Müll. Insbesondere Kunststoffabfälle werden von Deponien auf dem Land, durch den Wind und über Flusssysteme bis in die Meere transportiert. In riesigen Müllstrudeln, in der Wassersäule und an nahezu allen Stränden dieser Welt findet sich Plastikmüll – vom Plastikfass bis zu mikroskopisch kleinen Plastikfragmenten (vgl. Kap. 4.4). Sensible Ökosysteme, wie tropische Riffe aber auch Tiefwasserriffe (vgl. Kap. 2.7.6), sind massiv vom Abfallproblem betroffen. „Lost Fishing Gear“, also verloren gegangenes oder über Bord entsorgtes Material der Fischerei wie Netze und Leinen, sind Todesfallen für viele Meeresorganismen. Fische, Vögel und Wale fressen Plastikabfälle und verenden daran. Am Ende kommen das Plastik und die in Kunststoffen enthaltenen Schadstoffe in unseren eigenen Körper zurück, und zwar, wenn wir Fisch essen, der seinerseits Mikroplastik aufgenommen hat.

Die Probleme sind bekannt und es gibt Bestrebungen, die Ökosysteme des Ozeans zu schützen. Appelle für den freiwilligen Schutz sind eine Möglichkeit, doch besser funktioniert die Regelung mittels Gesetzen (vgl. Kap. 4.5). Denn außerhalb der 200 sm messenden sogenannten Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) beginnt die Hochsee. Sie wird von allen Menschen gemeinsam genutzt und zeigt die typische „Tragik der Allmende“ – die übermäßige Ausbeutung und ungeregelte Übernutzung eines Gemeinschaftsguts, was leider nicht im Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen SRÜ (United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS) für die Hochsee geregelt werden konnte. Das Internationale Seerecht (vgl. Kap. 4.6), rigide Fangquoten und das Ausweisen von

Leseprobe

schutzwürdigen Meeresgebieten (engl. Vulnerable Marine Ecosystems, VME) wirken diesem Mechanismus entgegen. Erst 1995 wurde eine Fläche von 370 km² vor Tasmanien zum ersten VME erklärt, da die Fischerei mit grundberührenden Schleppnetzen verheerende Schäden in den dortigen Seeberg-Ökosystemen verursacht hatte. Allerdings sind die Einhaltung und Kontrolle der Gesetze und Schutzgebiete im Bereich der Hochsee aufgrund der riesigen Flächen außerordentlich schwierig. Politik und Gesellschaft sind gefragt, die Ozeane und damit auch den Lebensraum Tiefsee nachhaltig zu nutzen und zu schützen. Die Ergebnisse guter wissenschaftlicher Forschung bzw. die daraus entwickelten Handlungsoptionen bieten die Grundlage dafür.

Abb. 1: Die Tiefsee als Mülldeponie: Nach dem 2. Weltkrieg im Bari Canyon (Mittelmeer, Adria) versenkte Munition mit dichtem Aufwuchs von Serpuliden (Kalkröhrenwürmer), Schwämmen und Korallen, dokumentiert mit dem ROV MARUM-QUEST auf der *Meteor* – Expedition M70/1 in 323 m Tiefe. Foto: MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen.

4.1 MINERALISCHE ROHSTOFFE DER TIEFSEE

Sven Petersen, Matthias Haeckel

Die Erde hält eine Vielzahl natürlicher mineralischer Rohstoffe bereit, die wir in unserer hochtechnisierten Gesellschaft benötigen. Zurzeit werden fast alle diese Rohstoffe auf einer Fläche abgebaut, die weniger als ein Drittel unseres Planeten ausmacht – der Landfläche. Hier wird es jedoch immer schwieriger, reiche Vorkommen zu finden. Dies zwingt die Bergbauindustrie dazu, Lagerstätten mit geringeren Konzentrationen abzubauen bzw. nach Lagerstätten in abgelegenen Regionen der Erde oder in großer Tiefe zu suchen. Dies ist jedoch mit einem erheblichen Anstieg des Flächenverbrauchs und mit zusätzlichen Umweltbeeinträchtigungen verbunden.

Gleichzeitig steigt durch das Bevölkerungswachstum, die Umstellung auf grüne Technologien, wie Elektrofahrzeuge, Windkraft- und Solarstromanlagen, die oft einen erhöhten Metallverbrauch gegenüber herkömmlichen Technologien aufweisen, und das weltweite Wirtschaftswachstum die Nachfrage nach Metallen weiter an. Die Vereinten Nationen prognostizieren bis zum Jahr 2050 einen Bevölkerungsanstieg auf 9,7 Milliarden Menschen, das sind knapp 2 Milliarden mehr als heute. Daher wird es in Zukunft vermutlich (noch) häufiger zu Landnutzungskonflikten zwischen Wohnungsbau, Infrastruktur und Landwirtschaft auf der einen Seite und dem Bergbau auf der anderen Seite kommen.

METALLERZE

Neben der steigenden Nachfrage nach Metallen können geopolitische Interessen (z. B. Zölle und Exportbeschränkungen) die Verfügbarkeit von Metallen weiter einschränken. Es gibt demzufolge vorhersehbare Risiken für eine sichere Rohstoffversorgung der Industrie. Aus diesem Grund rücken alternative Rohstoffquellen in den Fokus. Außer über neue Abbaumethoden an Land und deutlich erhöhte Recyclingraten wird dabei auch über einen Abbau in der Tiefsee nachgedacht, um die Rohstoffversorgung zu sichern.

Bereits heute ist der Meeresboden eine wichtige Rohstoffquelle für die Menschheit. So werden Sand und Kies sowie Öl und Gas bereits seit vielen Jahren aus dem Meer gewonnen, dasselbe gilt für die Förderung von Diamanten, Zinn, Titan und Gold entlang der Küsten Afrikas, Asiens und Australiens. Künftig dürfte aber eine Reihe mineralischer Rohstoffe hinzukommen, die aus der Tiefsee gefördert werden sollen. Dazu zählen Manganknollen (auf den sedimentbedeckten Tiefsee-Ebenen), kobaltreiche Mangankrusten (entlang der Flanken alter submariner Gebirgszüge) sowie Massivsulfide und Sulfidschlämme, die sich in Bereichen vulkanischer Aktivität bilden. Alle drei Rohstofftypen werden oftmals als „nachwachsende Rohstoffe" bezeichnet. Dies ist aber irreführend, da die Metalle z. B. in Manganknollen über einen Zeitraum von Jahrmillionen angereichert werden. Selbst die deutlich schneller wachsenden Massivsulfide benötigen Jahrtausende, um wirtschaftlich interessante Größenordnungen zu erreichen.

Bereits in den 1980er Jahren gab es – nicht zuletzt aufgrund der Vorhersagen des „Club of Rome" zur Rohstoffverknappung – großes Interesse an den Rohstoffen der

Leseprobe

4.4 PLASTIKABFÄLLE IN DER TIEFSEE

Mark Lenz

Die Reise des Mülls beginnt möglicherweise in der Hand eines Kinds auf Java, auf dem Tisch eines Straßenhändlers in Nigeria, bei einem Strandausflug an den Küsten Europas oder auf einem Fischerboot vor der Küste Chiles (Abb. 1). Sie kann eine Getränkeflasche, eine Einkaufstüte oder eine Fischkiste über Tausende von Kilometern in die entlegensten Ökosysteme der Erde führen – in die Ebenen und Gräben der Tiefsee.

Abb. 1: Der größte Teil des Plastikmülls im Meer stammt von Land. Hier sammelt ein Meeresbiologe leere Plastikflaschen an einem Strand der Kapverden-Insel São Vicente. Sie stammen aus einer nahen Siedlung oder wurden bei einem Strandausflug liegengelassen. Foto: Leo Gottschalck.

Abb. 2: Ein weiterer Teil des Mülls wird von Flüssen aus dem Hinterland an die Küsten getragen. Dieser Fluss auf der indonesischen Insel Java fließt von der 60 km landeinwärts gelegenen Stadt Bogor in Richtung der Bucht von Jakarta. Foto: Mark Lenz.

Denn all diese Gegenstände sind aus Kunststoff und daher leicht und langlebig. Sie können, bewegt von Wind und Wasser oder eingeschlossen in Eis, riesige Distanzen überwinden und Orte erreichen, die weit von jeder menschlichen Siedlung entfernt sind. Ein substanzieller Teil des weltweit anfallenden Abfalls besteht mittlerweile aus Kunststoffen, im folgenden Text kurz Plastik genannt, und dieses Material hat erst unser Leben verändert und nun verändert es auch unseren Planeten.

DER WEG DES MÜLLS: WO KOMMT ER HER?

Der größte Teil des Meeresmülls stammt von den Kontinenten und reist mit dem Wasser von Flüssen oft von weit aus dem Hinterland an die Küsten (Abb. 2). Man schätzt dass im Jahr 2010 zwischen 5 und 13 Mio. t Plastikmüll in die Weltmeere gelangt sind und dass ca. 20 % dieser Menge von nur zehn großen Flüssen in Afrika und Asien in die Ozeane gespült wurden. An der Küste angekommen, erfolgt die Auftrennung des Mülls in zwei Fraktionen. Die schweren Bestandteile werden zusammen mit den von den Flüssen mitgeführten Sedimenten in die Tiefe getragen, wo sie sich entweder küstennah ablagern oder weiter über den Schelf hinaus zu den Kontinentalhängen getragen werden. Dort gelangen sie dann möglicherweise in einen submarinen Canyon. Ein solcher Canyon fungiert nicht nur als Eintrittstor für Müll in die Tiefsee, sondern ist gleichzeitig einer der Orte im Meer, an denen sich Plastikmüll sammelt.

Der auf dem Grund des Schelfmeers abgelagerte Müll verbleibt möglicherweise nur eine Zeit lang vor der Küste und kann beim nächsten Anschwellen des Flussablaufs wieder mobilisiert und weiter in Richtung Tiefsee gewaschen werden. Entscheidend ist dabei die Breite des Schelfs und damit die Distanz zwischen einer Flussmündung und dem Beginn des Kontinentalhangs. Je breiter der Schelf, desto länger fungiert er als Zwischenlager für absinkenden Plastikmüll.

Müll, der leichter ist als Seewasser, wird küstenparallel weitertransportiert oder von Wind und Strömungen von den Kontinenten weg in die offenen Ozeane verfrachtet. Dort sind die großen ozeanischen Strudel seine vorläufige Endstation. Im Zentrum dieser Strudel, von denen sich weltweit fünf große und einige weitere kleine in den Ozeanen drehen, sinkt Wasser ab, und alles treibende Material bleibt – wie die Gummiente über dem Abfluss in der Badewanne – über dem absinkenden Wasser zurück. Auf diese Weise entstehen die sogenannten Müllstrudel,

Abb. 3: Unter dem Einfluss von Licht, Wärme und Wellenbewegungen entsteht im Meer aus dem großen Plastikmüll Mikroplastik. Man findet dieses feine Plastikmaterial mittlerweile an vielen Küsten, aber auch auf dem Meeresboden und in der Wassersäule.
Foto: Valeria Hidalgo-Ruz.

Leseprobe

4.5 DAS RINGEN UM DEN SCHUTZ DER MEERE UND DER TIEFSEE

Bettina Wurche

Die Hochsee gehört niemandem – dadurch gehört sie letztendlich allen. Noch vor 100 Jahren galten die Ozeane und ihre Ressourcen als nahezu unendlich, heute wissen wir, dass sie endlich sind. Und dass sie für unser Überleben elementare Bedeutung besitzen: Ihre einzigartige Artenvielfalt ist nicht nur die größte Nahrungsressource der Welt, sie stellen auch immer noch wichtige Verkehrswege dar und spielen eine zentrale Rolle in der Klimaregulierung – schließlich speichern sie einen erheblichen Teil des menschengemachten Kohlendioxids und fast die gesamte zusätzliche Wärme.

Das Miteinander der Staatengemeinschaft auf dem Meer wird durch das Seevölkerrecht geregelt. Das wichtigste internationale Abkommen ist das Seerechtsübereinkommen (SRÜ), eine Art Verfassung der Meere. Flankiert wird das Seerechtsübereinkommen von drei wichtigen Institutionen: dem Internationalen Seegerichtshof, der Internationalen Meeresbodenbehörde und der Kommission zur Begrenzung des Festlandsockels (vgl. Kap. 4.6). Jede an ein Meer grenzende Nation darf ihr Küstenmeer, die sogenannte 12-Meilen-Zone, und ihre Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ), die 200-Meilen-Zone, für sich beanspruchen und nutzen; dahinter liegt die Hochsee (Abb. 1).

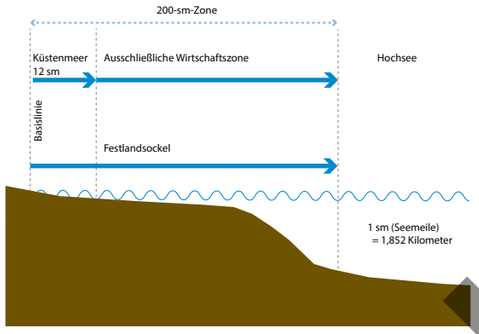

Abb. 1: Die seerechtlichen Zonen.
Quelle: Thorolf Müller, Senckenberg.

Das Seerechtsübereinkommen ist auch die Basis für den Meeresschutz. Weitere wichtige Rechtsgrundlagen sind die Biodiversitätskonvention, die Klimakonvention und das Kyoto-Protokoll, das Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen und anderen Stoffen (London-Übereinkommen) und das Protokoll zu dem Übereinkommen (London-Protokoll) sowie das Internationale Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch Schiffe (MARPOL). Dazu kommt eine Fülle weiterer internationaler und nationaler Gesetze.

Meeresschutzgebiete sind wichtige Instrumente zur Erhaltung maritimer Ökosysteme sowie zur Verbesserung von deren Widerstandskraft und Anpassungsfähigkeit im Hinblick auf Übernutzung und Klimawandel. Solche Schutzmaßnahmen sind regional unterschiedlich, sie reichen von der Erlaubnis von Fischerei, Bodenschatzabbau und Tourismus bis zu einem vollständigen Verbot jeglicher menschlichen Aktivität. Meeresschutzgebiete gibt es heute vor allem in den Küstengewässern von Staaten oder Staatenbünden. In den deutschen Meeresschutzgebieten in Nord- und Ostsee ist es – nach Meinung von Experten – um den Schutz der Ökosysteme allerdings nicht gut bestellt. Ein Grund sind zu viele Ausnahmen für wirtschaftliche Nutzung, ein anderer die Zersplitterung der Zuständigkeiten für Schifffahrt, Fischerei, Rohstoffabbau und Tourismus.

Abb. 2: Tropische Korallenriffe gehören als „Hotspots der Artenvielfalt" zu den besonders schützenswerten Ökosystemen. Foto: iStock.

DIE HOCHSEE: SCHÜTZENSWERTES GEMEINSAMES ERBE DER MENSCHHEIT

Die Hochsee unterliegt keiner Souveränität, sondern ist mit ihren lebenden und nicht lebenden Ressourcen ein „gemeinsames Erbe der Menschheit" – so die Präambel der „Meeresverfassung". Die Hochsee umfasst 60 % der Ozeane. Weniger als 1 % davon steht heute unter Schutz. Bis 2020 sollen es 10 % sein – so die Nachhaltigkeitsagenda 2030 der Vereinten Nationen. Die anthropogen verursachte Klimakrise mit ihren vielfältigen Begleiterscheinungen, die industrielle Überfischung, der Rohstoffabbau, die chemische, die akustische und die Müllverschmutzung (Abb. 3) sind schwere Belastungen für die Ozeane, die in Ökosystemen und ihren Bewohnern – vom Bakterium bis zum Blauwal – tiefgreifende Veränderungen verursachen.

Dieser riesige Wasserkörper ist ein Puffer für Wärme und Kohlendioxid, allerdings ist auch seine Kapazität nicht unendlich (vgl. Kap. 3). Gewaltige Meeresströmungen (thermohaline Zirkulation) verbinden die Ozeane mit den stark genutzten Küstenmeeren, sie sind Korridore für Meerestierschwärme und Müll gleichermaßen (vgl. Kap. 4.4).

Durch Erwärmung und Überdüngung sinkt der Sauerstoffgehalt der Meere, dies bedroht selbst hoch produktive Gewässer wie die vor Peru und Westafrika, die Millionen Menschen ernähren. Bis jetzt gibt es kaum internationale Mechanismen, die die Schaffung und Verwaltung von Hochsee-Meeresschutzgebieten ermöglichen. Ebenso fehlen rechtliche Verpflichtungen für Um-

Abb. 3: Plastikmüll ist in allen Ozeanen ein zunehmendes Problem. Tiere verfangen sich darin oder fressen den im Wasser treibenden Abfall. Auch in den Tiefseegräben sind Kunststoffpartikel und sogar ganze Tüten zu finden. Foto: iStock.

Leseprobe

SENCKENBERG-BUCH 83

HERAUSGEBER
Prof. Dr. Dr. h. c. Volker Mosbrugger
Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung, Senckenberganlage 25, 60325 Frankfurt am Main

HERAUSGEBER DES BANDS
Dr. Thorolf Müller, Projektleiter Sonderausstellungen, Senckenberg Naturmuseum, Senckenberganlage 25, 60325 Frankfurt am Main
Dr. Gerd Hoffmann-Wieck, Kommunikation und Medien, GEOMAR, Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Wischhofstr. 1–3, 24148 Kiel

LEKTORAT
Susanne Warmuth, Lektorat und Redaktion, Darmstadt
Martin Zimmermann, Wissenschaftslektorat Zimmermann, Magdeburg

LAYOUT, SATZ UND LITHOGRAFIE
Sandra Seibert, simply-s, Frankfurt am Main

DRUCK UND BUCHBINDERISCHE VERARBEITUNG
Druckerei Henrich Druck + Medien GmbH, Frankfurt am Main

VERTRIEB
E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, 70176 Stuttgart
www.schweizerbart.de, E-Mail: mail@schweizerbart.de

INFORMATIONEN ZU DIESEM TITEL: www.schweizerbart.de/9783510614158

© 2020 E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung und Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, des auszugsweisen Nachdrucks, der Herstellung von Mikrofilmen und der Übernahme in Datenverarbeitungsanlagen, vorbehalten.

Die Herausgeber und Autoren sind für den Inhalt des Bands verantwortlich.

www.senckenberg.de

ISBN 978-3-510-61415-8
ISSN 0341-4108

Printed in Germany

FSC www.fsc.org MIX Papier aus verantwortungsvollen Quellen FSC® C016059

Leibniz Gemeinschaft

Leseprobe