

Die Tiefsee, der größte Lebensraum

Einleitung

Wenn Menschen an große Lebensräume denken, fallen ihnen die tropischen Regenwälder, Wüsten wie die Sahara oder die arktische Taiga ein. Diese hinterlassen auf den Besucher den Eindruck unendlicher Weite. Für viele ist es kaum vorstellbar, daß es einen einzigen Lebensraum auf unserem Planeten gibt, in den alle diese erstgenannten großartigen Landschaften spielend hineinpassen und dazu noch einiges mehr: Die Tiefsee. Ihre Böden unter 1000m Wassertiefe bedecken 318,9 Mio km² und damit 62,3 % der Erdoberfläche. Immer noch 35,3 % liegen unter 4000m Wassertiefe. Zum Vergleich: alle Kontinente zusammen bringen es auf 29,2 %. Ungeheure Weiten, die kaum vorstellbar sind. Sie liegen unter ständiger Wasserbedeckung und sind daher dem Normalbürger kaum zugänglich und bewußt. Auch die Wissenschaft hat lange gebraucht, bis sie in dieses faszinierende Reich der Dunkelheit vorstoßen konnte. Seit gerade einmal 140 Jahren existieren Proben vom Tiefseegrund und erst seit wenigen Jahrzehnten haben wir die Technologie zur direkten Beobachtung. Zählt man alle Flächen unter 1000m Wassertiefe weltweit zusammen, von denen bisher Proben und Informationen existieren, kommt man auf schätzungsweise nicht mehr als 5 km². Bezogen auf die Gesamtfläche sind dies 0,0000016 %, also ein verschwindend kleiner Anteil. Die Oberflä-

che des Mondes ist uns ganz offensichtlich besser bekannt als die Tiefsee, die auf unserem Planeten liegt und den Wärme- und Stoffhaushalt der Ozeane wesentlich mitbestimmt. Wundert es da, daß jede Expedition in die Tiefsee neues bringt? Nicht nur neue Arten gibt es zu entdecken, sondern ganz neue Tierformen, an deren Existenz zuvor niemand gedacht hatte. Wir kennen gerade einmal die äußerste Spitze des Eisberges. Was heute noch unter der Oberfläche verborgen ist, wird unser Wissen und unsere Theorien grundsätzlich verändern.

Die Erforschung der Tiefsee

Die Tiefsee war schon immer für Überraschungen gut, aber dem Menschen auch unheimlich. Das gesamte Mittelalter und auch große Teile der Neuzeit hindurch wollten die Menschen gar nicht erst wissen, was für Ungeheuer sich da verbargen. FRIEDRICH SCHILLER hat dies im Gedicht „Der Taucher“ (1797) trefflich ausgedrückt:

Es freue sich, wer da atmet im rosigen Licht,
da unten aber ist's fürchterlich,
und der Mensch versuche die Götter nicht
und begehre nimmer zu schauen,
was sie gnädig bedecken
mit Nacht und Grauen.

Erst Mitte des XIX. Jahrhunderts begannen die ersten zaghaften Versuche zur Erforschung der

Die Tiefsee, der größte Lebensraum

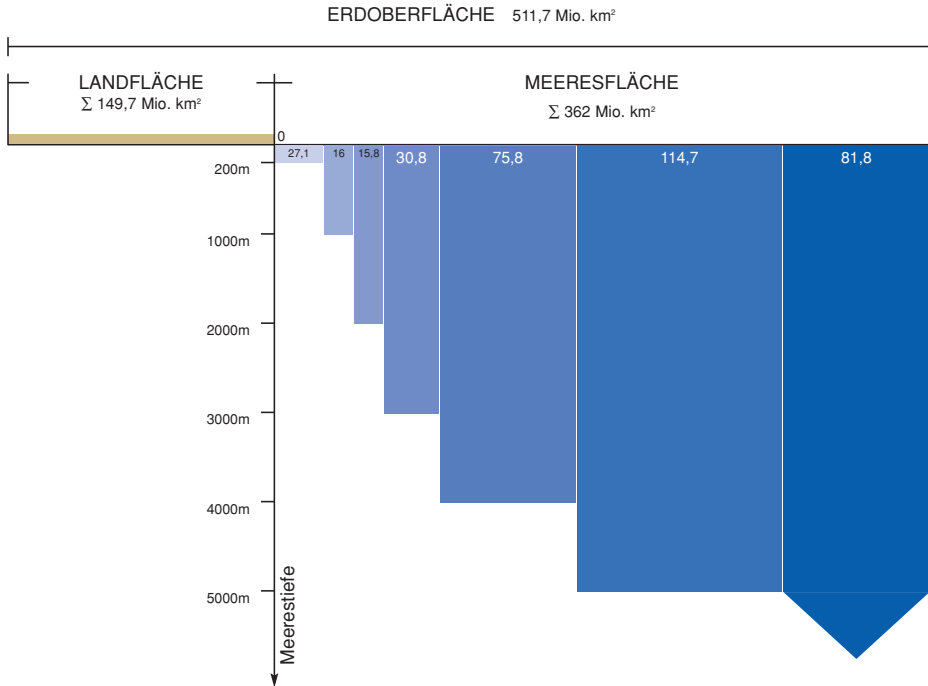


Abbildung 1. Fläche der Kontinente und Meeresböden.

Tiefsee und ihrer Lebewelt. Von besonderer Bedeutung sind die Arbeiten des schottischen Forschers EDWARD FORBES in der Ägäis. Durch systematische Probenahmen konnte er nachweisen, daß das Leben mit zunehmender Tiefe abnimmt. In einer vielbeachteten Arbeit aus dem Jahre 1843 stellte er die Theorie der azoischen Tiefen auf, d. h. er behauptete, daß unterhalb von 550m Wassertiefe aufgrund der dort herrschenden extremen Bedingungen kein Leben im Ozean möglich sei.

FORBES Theorie wurde zur Lehrmeinung, so daß eine weitere Beschäftigung mit der Tiefsee

als nicht lohnend erschien, bis 1860 ein Tiefseekabel, das quer über das Mittelmeer, von Sardinien nach Nordafrika ging, zur Reparatur aufgenommen wurde. Dabei wurde festgestellt, daß es offensichtlich nicht nur durch Tiere beschädigt worden war, sondern daß auf ihm auch noch Tiere siedelten. Diese Meldungen gingen um die Welt und beunruhigten vor allem die britische Admiralität. Diese war zuvor von der Regierung ihrer Majestät beauftragt worden, ein Kabel nach Nordamerika zu verlegen. Wenn das Konzept der azoischen Tiefen nicht stimmte, war die technologische Her-

ausforderung größer und einer möglichen Beschädigung durch Tiere mußte Rechnung getragen werden.

Solche Zeiten sind Sternstunden der Wissenschaft. Während es oft schwierig war, ein interessantes Thema nur aufgrund des damit verknüpften Erkenntnisgewinns zu bearbeiten, richtete sich plötzlich das öffentliche Interesse auf die Frage, ob es Leben in der Tiefsee gäbe. Prof. CHARLES WYVILLE THOMPSON, ein bekannter Meeresbiologe aus Edinburgh wurde mit der Klärung der Frage beauftragt. Nach einigen Vorexpeditionen, während derer die Methodik der Probenahme getestet wurde, startete in Portsmouth am 21. Dezember 1872 die Korvette *CHALLENGER* zu einer Forschungsreise. Am 15. Februar 1873 begann mit Station 1 vor Teneriffa in 3456m Tiefe die ozeanische Tiefseeforschung. Nach fast 3,5 Jahren, am 24. Mai 1876 machte die *CHALLENGER* nach einer Weltumsegelung in Spithead fest. Ihre Ergebnisse hatten das damalige Weltbild völlig verändert. Die Tiefsee der Ozeane war voller Leben, bizarr und unbekannt.

In der Folgezeit herrschte Aufbruchstimmung in der Tiefseeforschung. Alle Industrienationen rüsteten Tiefsee-Expeditionen aus, darunter auch das Deutsche Reich. Die „Deutsche Tiefsee-Expedition“ auf dem Dampfer *VALDIVIA*, die in den Jahren 1898/1899 unter der Leitung des Leipziger Zoologen Prof. CARL CHUN ausgeführt wurde, markiert den Beginn deutscher Tiefseeforschung. Es kann hier nicht auf die spannende Geschichte der Entdeckungen eingegangen werden, die der biologischen, aber auch geologischen, sedi-

mentologischen und hydrographischen Forschung ein breites Feld eröffneten. Langsam formte sich das Bild einer abhängigen Biozönose, die von der weit entfernten Produktion von Nahrung an der Meeresoberfläche lebt und daher unter Nahrungsmangel leidet. Bizarre Anpassungen an diese Nahrungsarmut und Dunkelheit wurden entdeckt und beschrieben.

Nach dem zweiten Weltkrieg begann die Bundesrepublik Deutschland erst relativ spät mit der modernen Tiefseeforschung. Das Forschungsschiff *METEOR* wurde 1963 gebaut und in Dienst gestellt. Mit der Beteiligung an der „International Indian Ocean Expedition“ im Jahre 1964 wurde in Deutschland wieder Tiefseeforschung betrieben. Die, wie wir heute sagen, „alte“ *METEOR* unternahm bis 1985 73 Reisen, von denen eine ganze Reihe der Tiefseeforschung gewidmet waren. Die Tiefseebiologie wurde vor allem im Atlantischen und Indischen Ozean betrieben. Sie bezog sich sowohl auf den Meeresboden (Benthal) als auch die freie Wassersäule (Pelagial). Besondere Schwerpunkte der Erforschung des Tiefseelebens waren die Gewässer um Europa, aber auch die Auftriebsgebiete um Mauretanien und Westafrika.

Die marine Rohstoffforschung, die in der Bundesrepublik Deutschland wie in allen Industrienationen Anfang der siebziger Jahre einsetzte, benötigte eigene Schiffseinheiten und beschränkte sich geographisch nicht auf die klassischen Gebiete der Forschung mit *METEOR*. Der Pazifische Ozean war wegen der Manganknollen von großem Interesse, ebenso das Rote Meer wegen der Erzschlämme

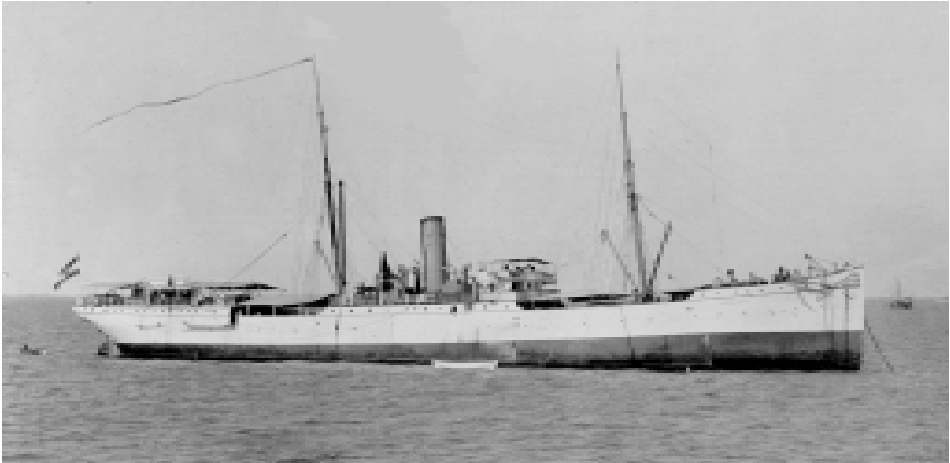


Abbildung 2. Dampfer *VALDIVIA*, Forschungsschiff der Deutschen Tiefsee-Expedition 1898/99.



Abbildung 3. Forschungsschiff *SONNE*. – Photo: RF-Reedereigemeinschaft Forschungsschiffahrt.



Abbildung 4. Forschungsschiff *METEOR*. – Photo: Leitstelle *METEOR*, Universität Hamburg.

in den tiefen Becken. So wurde 1970 der 1961 vom Stapel gelaufene Fischtrawler Vikingbank gekauft, zum Forschungsschiff umgebaut und auf den Namen *VALDIVIA* umgetauft. Es war nicht in Bundeseigentum, sondern in Privat-hand einer eigens gegründeten Partnerreederei „MS Valdivia“ und ging später in den Besitz der Reedereigemeinschaft Forschungsschiff-fahrt in Bremen über. Der Bund, aber auch die Industrie, charterten das Schiff für Vorhaben der Rohstoffforschung. Für die deutsche Tief-seebiologie fuhr die *VALDIVIA* unter anderem 1979-1981 im Roten Meer. Im Jahre 1981 wurde sie von der Deutschen Forschungs-gemeinschaft gekauft und der Universität

Hamburg zur Verfügung gestellt, die das Schiff überwiegend in der Nordsee- und Nordatlantik-forschung einsetzte.

Gegen Mitte der siebziger Jahre wurde klar, daß die Rohstoffforschung größere Schiffs-einheiten benötigte. Wiederum wurde ein Fischereifahrzeug (Heckfänger), die *SONNE* (Baujahr 1969) durch die Reedereigemein-schaft Forschungsschiffahrt 1977 erworben und als Forschungsschiff umgebaut. Dieses nunmehr weltweit operierende Schiff machte die *VALDIVIA* entbehrlich. Es wurde 1991 umgebaut und wesentlich modernisiert. Derzeit gehört es zu den modernsten Hochtechnologie-schiffen der Welt. Für die deutsche Tiefsee-

biologie war und ist die *SONNE* von erheblicher Bedeutung. Erst durch sie wurde es möglich, auf allen Weltmeeren zu operieren und damit auch dort international sichtbar zu werden. Zwei Beispiele sind Untersuchungen im Peru-Becken und an Tiefsee-Heißwasserquellen im Westpazifik, Indik und Atlantik.

Die 1982 in Dienst gestellte *POLARSTERN* ist das größte Schiff der deutschen Forschungsflotte. Es hat Eisbrecherqualität und wurde speziell für die Polarforschung gebaut. Die Öffentlichkeit bringt dieses Schiff eher mit Eisbergen, Polareis und Krillforschung in Verbindung. Nur wenige wissen, daß es auch für die Tiefseeforschung bestens ausgerüstet ist und Untersuchungen dieser Art, z. B. im arktischen Becken bereits erfolgreich durchgeführt hat. In jüngster Zeit werden große Anstrengungen unternommen, auch die antarktische Tiefsee biologisch adäquat zu erforschen (für 2002 geplante Expedition ANDEEP und Folgeprogramme).

Im Jahre 1986 wurde schließlich die neue *METEOR* in Dienst gestellt, die die „alte“ ablöste. Das mit neuester Technologie ausgestattete Schiff wurde am 15. März 1986 an Forschungsminister Dr. HEINZ RIESENHUBER übergeben und lief auch am selben Abend zu seiner ersten Forschungsreise aus. Seit ihrer Indienstellung hat *METEOR* bis August 2001 50 Reisen absolviert. Die neue *METEOR* arbeitet und arbeitet wie ihre Vorgängerin im Atlantischen und Indischen Ozean. Durch sie konnten die Aktivitäten der Tiefseebiologie auch in entlegene Gebiete beider Ozeane ausgedehnt und intensiviert werden. Größere biologische

Programme am Meeresboden der Tiefsee betrafen den Nord- und Südatlantik, das Mittelmeer, das Rote Meer, den Golf von Aden und das Arabische Meer.

Die Methoden der Biodiversitätsforschung in der Tiefsee

Die Biodiversitätsforschung benötigt zunächst einmal Tiere, die untersucht und in das zoologische System eingeordnet werden müssen. Daher arbeitet sie ganz überwiegend mit klassischen Fanggeräten, wie sie auch früher eingesetzt wurden. Durch die neue Schiffstechnologie ist es möglich geworden, diese Geräte viel präziser zu positionieren und ihre Arbeit am Meeresgrund zu überwachen. Damit sind viel gezieltere Probenahmen möglich als zuvor.

Bei dem Bodenleben (Benthos) unterscheidet man die Tiere, die im Schlick des Meeresbodens leben (Endobenthos) von denen, die an der Bodenoberfläche (Epibenthos). Das Endobenthos ist meist kleiner und viel weniger ortsbeweglich als das Epibenthos. Daher müssen zum Fang unterschiedliche Geräte verwendet werden.

Das Endobenthos wird mit Greifern erfaßt. Heute werden fast ausschließlich Kastengreifer verwendet, die einen Sedimentblock aus dem Meeresboden ausstechen, den Stechkasten nach unten und oben abdichten und geschlossen an Deck des Forschungsschiffes bringen. Dort werden, je nach Fragestellung, Unterproben genommen, verschiedene Messungen gemacht und schließlich werden die Tiere



Abbildung 5. Der Kastengreifer kommt mit Tiefsee-Schlick gefüllt an Deck von F. S. SONNE zurück. – Photo: M. TÜRKAY.

durch Absieben vom Sediment getrennt. Dabei muß man sehr sorgfältig vorgehen, da die Organismen oft sehr zerbrechlich sind und auch quantitativ gezählt werden müssen, um eine Idee über ihre Häufigkeit zu bekommen, die wiederum etwas über die Menge der vor Ort der zur Verfügung stehenden Nahrung aussagt. Um genügend Tiermaterial zu erhalten, wird heute meist mit Greifern gearbeitet, die eine Fläche von $50 \times 50 \text{ cm}$ ($= 0,25 \text{ m}^2$) ausstechen.

Kleinste Bodentiere werden mit Greifern nur unzureichend erfaßt, da trotz der Schlie-

ßung, die Kästen nie ganz dicht sind, Wasser schwappt hin und her und wirbelt gerade die an der Oberfläche lebenden Kleintiere auf. Zur Erfassung dieser sogenannten Meiofauna, aber auch der noch kleineren Nanoafauna (z. B. einzellige Tiere) wird heute der Multicorer eingesetzt, der eine Vielzahl von Proben mit Hilfe von Plastikrohren aussticht und viel hermetischer schließt als der Kastengreifer. Die Sedimentoberfläche wird hierdurch vollständig geborgen und ihre Kleinstbewohner können vorsichtig abgetrennt werden.

Bei dem Epibenthos handelt es sich oft um größere Fische, Krebse, Seegel, Seesterne, Seegurken und Nesseltiere (See-Anemonen, Korallen). Diese sind in der Tiefsee nicht häufig. Daher müssen mit Netzen größere Strecken abgefahren werden, um überhaupt etwas zu fangen. Die Arbeit mit diesen Grundschieppnetzen ist sehr zeitaufwendig. So dauert ein Einsatz in 5000m Wassertiefe etwa 13 Stunden. Das Netz muß erst heruntergelassen (gefiert) werden (6 Stunden) dann läuft es 2 Stunden am Grund (entspricht einer Strecke von etwa 3,5 Kilometern) und wird dann wieder eingeholt (gehievt) (5 Stunden). Damit die Maschen bei dieser ungeheuren Schleppestrecke nicht durch aufgewirbelten Schlick und andere Teilchen verstopfen, muß das Netz relativ grobmaschig sein. Es fängt daher nur große Tiere.

Zum Fang des kleinen Epibenthos wird ein feinmaschiges Netz benutzt, das in einen sogenannten Epibenthos-Schlitten eingehängt ist. Die Schleppestrecke bei dieser Art der Probenahme ist bedeutend kürzer als bei den großen Grundschieppnetzen. Man darf daher nicht

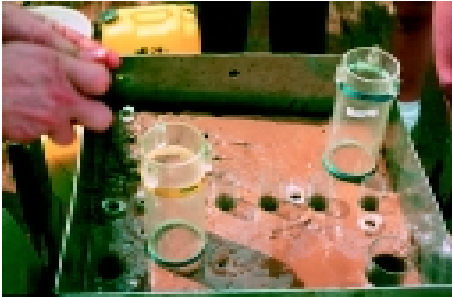


Abbildung 6. Aus dem Schlick des Kastengreifers werden Unterproben gewonnen – Photo: M. TÜRKAY.

erwarten, große und schnelle Tiere, wie Garnelen oder Tintenfische, mit einem solchen Gerät zu fangen. Dafür erhält man einen guten Querschnitt des kleinen Epibenthos.

Große bewegliche Tiere können nicht immer mit Hilfe von Netzen erfaßt werden, besonders wenn sie sehr schnelle Schwimmer sind und ein Netz mit Leichtigkeit vermeiden können. Daher werden oft zusätzlich beköderte Reusen eingesetzt, die am Meeresboden abgestellt und nach einiger Zeit wieder eingeholt werden. Heute werden meist Freifall-Systeme verwendet, die keine Verbindung zur Oberfläche haben. Sie sind mit einem Gewicht versehen, das sie so lange am Meeresboden hält, bis durch akustische Auslösung über einen Sender am Schiff das Gewicht freigegeben wird und die mit Auftriebskörpern versehenen Reusen aufschwimmen. Sie werden nach Auftauchen geborgen und an Bord geholt. Zur besseren Ortung haben sie einen Sender, der von Bord aus angepeilt werden kann. Solche Freifall-Systeme spielen auch für Experimente am

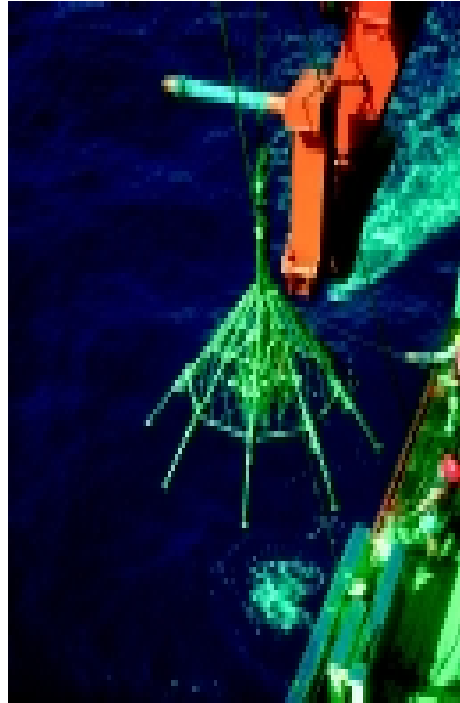


Abbildung 7. Multicorer im Einsatz – Photo: M. TÜRKAY.

Meeresboden eine große Rolle. So kann man z. B. Greifersysteme an den Meeresboden bringen, vor Ort Messungen machen lassen und das gesamte Gerät einschließlich der Proben und registrierten Meßwerte an die Oberfläche holen.

In neuerer Zeit spielt neben der Probenahme die direkte Beobachtung eine immer größere Rolle. Viele Schiffe sind mit einem Glasfaserkabel ausgerüstet, an dem Videosysteme in die Tiefsee gebracht werden können. Da die Energieversorgung auch über ein sogenanntes Koax-Kabel sichergestellt wird, ist die Einsatz-



Abbildung 8. Mit großen Schleppnetzen wird das Epibenthos erfaßt – Photo: M. TÜRKAY.

zeit praktisch unbegrenzt. Das Videosignal kann an Bord empfangen und aufgezeichnet werden. Auf Wunsch können auch mit einer Fotokamera Standbilder gemacht werden. Ein solches geschlepptes Gerät ist das OFOS (= Ocean Floor Observation System), das von Bord F. S. *SONNE* regelmäßig eingesetzt wird. Solche Videosysteme ergänzen die Probenahmen bestens, können sie aber nicht ersetzen. Hervorragende Aufnahmen von „lauter unbekanntem Tieren“ taugen nicht zum Erkenntnisgewinn in der Biodiversitätsforschung,



Abbildung 9. Der Epibenthos-Schlitten dient der Erfassung von kleinwüchsigem Epibenthos – Photo: M. TÜRKAY.

deren erster Schritt immer das Beschreiben und Unterscheiden von Organismen ist.

Mit geschleppten Systemen können große Meeresräume kartiert werden, gezielte Manipulation oder gar Probenahme ist mit ihnen nicht möglich. Auch kann man an einer interessanten Stelle nicht verharren, Tiere von unterschiedlichen Seiten und mit unterschiedlichem Abstand betrachten. Dazu werden Unterwasser-Roboter (sog. ROVs = Remotely Operated Vehicle) benötigt, die einen eigenen Antrieb besitzen und von Bord gesteuert wer-



Abbildung 10. Geschleppte Videosysteme, hier das OFOS an Bord F. S. *SONNE*, ermöglichen Beobachtungen großer Tiefseeräume. – Photo: J. STECHER.

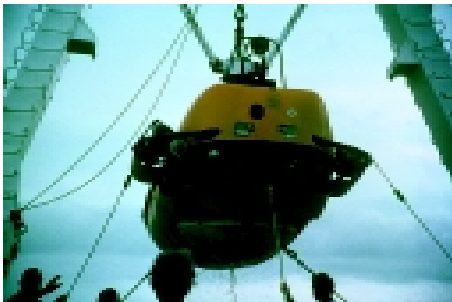


Abbildung 11. Mit Tauchbooten, hier die französische *CYANA*, kann der Mensch selber in die Tiefsee eindringen. – Photo: H. ZIBROWIUS.

den können. Mit Greifarmen können sie ganz gezielte Proben nehmen und auch Experimente am Meeresboden durchführen. Dasselbe gilt für Tauchboote, die völlig unabhängig vom Schiff operieren. Sie sind bemannt, so daß

Wissenschaftler sich mit ihnen frei in der Tiefsee bewegen, Beobachtungen machen und Proben nehmen können. Zu diesen beiden Technologien haben deutsche Forscher nur über eine Zusammenarbeit mit ausländischen

Kollegen Zugang. Deutschland selbst besitzt für wissenschaftliche Zwecke weder ein ROV noch ein Tauchboot.

Trotzdem werden gezielte Probenahmen von deutschen Forschungsschiffen aus in einer Kombination klassischer Methoden mit einer Videoübertragung durchgeführt. Ein Beispiel hierfür ist der von F. S. *SONNE* aus routinemäßig eingesetzte TV-Greifer. Mit Hilfe einer Videokamera kann man an Bord auf einem Fernsehschirm kontrollieren, ob der Greifer über der richtigen Stelle ist, um Proben zu nehmen. Diese Technik ist bei der Untersuchung und Beprobung von kleinräumigen Ökosystemen wie etwa der Tiefsee-Heißwasserquellen erfolgreich eingesetzt worden.

Der Lebensraum Tiefsee

Die Tiefsee ist ein Reich der Dunkelheit und Kälte. In ihr herrschen hohe Drucke von mehreren hundert Bar (10m Wassersäule entsprechen etwa einem Bar, in 5000m Tiefe herrschen demnach 500 Bar). Darüber hinaus sind weite Räume der ozeanischen Tiefsee durch extreme Nahrungsarmut gekennzeichnet. Mit all diesen Faktoren müssen Tiefseetiere zu Rande kommen, wenn nicht gar sich ihnen anpassen. Wie sind diese Faktoren zu erklären und wie gehen die Tiere mit ihnen um?

Licht dringt nur bis maximal 1000m Tiefe in den Ozean ein. Diese Aussage ist zwar global richtig, aber doch bezüglich der Lichtqualität zu differenzieren. Die unterschiedlichen Komponenten des Sonnenlichtes haben verschiedenen Energiegehalt und werden daher

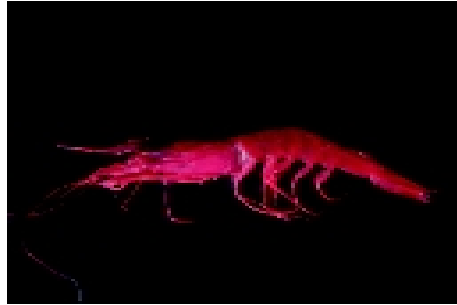


Abbildung 12. Rote Garnelen, hier ein Vertreter der für die Tiefsee typischen Aristeidae, erscheinen in der Zwiellicht-Zone schwarz – Photo: M. TÜRKAY.

in unterschiedlichen Tiefen herausgefiltert. In den oberen 100m verschwindet das energiarme rote Licht, nur die blaue Komponente und das UV sind in 1000m noch nachweisbar. Dabei nimmt aber die Intensität, gleich welcher Lichtqualität, mit der Tiefe stark ab. Das bedeutet, daß eine Primärproduktion von organischer Substanz durch pflanzliches Plankton nur in einer dünnen Deckschicht der Ozeane erfolgen kann. Diese sogenannte euphotische Zone reicht in klaren tropischen Gewässern bis 200m Wassertiefe, im Durchschnitt aber nur bis 100m. In planktonreichen Gewässern hoher Breiten umfaßt sie nur wenige Meter. In der Tiefsee gibt es daher keine Produktion auf Lichtbasis. Die Färbung von Tieren aus der Zone des Zwiellichts unterhalb von 100m ist oft leuchtend rot. Da es aber dort kein rotes Licht mehr gibt, das sie reflektieren könnten, erscheinen sie im Lebensraum schwarz. Rot ist also hier eine Tarnfarbe. Unterhalb von 1500m Was-

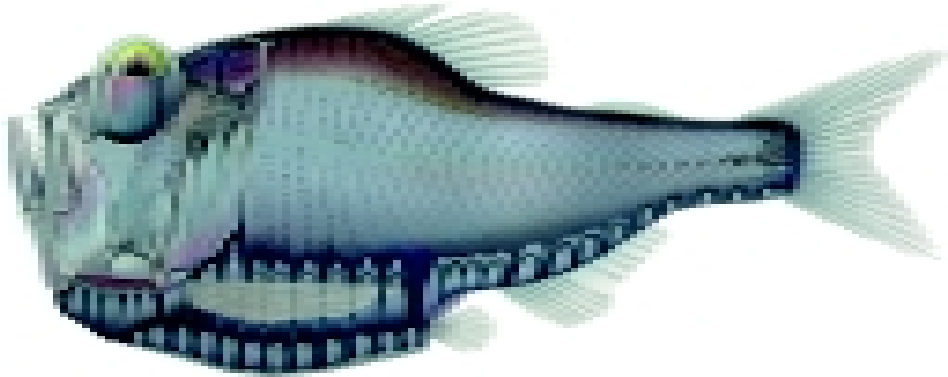


Abbildung 13. Tiefsee-Beilfisch (*Argyropsyllus affinis*) mit Leuchtorganen an der Bauchseite und Teleskopaugen. – Aus „Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Tiefsee-Expedition, Bd. 15, 1908“.

sertiefe sind überhaupt keine Farben mehr wahrnehmbar, da es nun gar kein Licht mehr gibt, das reflektiert werden könnte. Eine Färbung hätte also hier keine optische Funktion. Wenn uns Tiere aus diesen Tiefen „gefärbt“ vorkommen, handelt es sich vielmehr um Speicherung von gefärbten Substanzen in Hautzellen. Sehr viele Tiere größter Tiefen sind aber auch farblos, da es sich nicht lohnt, unter Energieaufwand Pigmente aufzubauen.

Einige Tiere mittlerer und tiefer Wasserschichten machen sich auch ihr eigenes Licht. Wir sprechen dann von Biolumineszenz. Diese Fähigkeit gibt es in einer großen Zahl von Tiergruppen. Besonders auffällig ist sie bei Fischen, Krebsen und Tintenfischen, die regelrechte Leuchtorgane besitzen. Diese dienen verschiedenen Zwecken, z. B. der Geschlechtererkennung, aber auch dem Aufspüren von Beute (rotes Licht, das wie ein Nachtsichtgerät

eingesetzt wird), manchmal auch als leuchtender Köder, um Beutetiere anzulocken. In den Zonen des Zwielichtes, in denen die flacheren Wasserschichten heller wirken, benutzen Fische Leuchtorgane zur Tarnung. Ihre Körperkontur wird durch eine Reihe von Leuchtorganen, die ein Licht von der Farbqualität und -intensität des hellen Hintergrundes (eigentlich „Obergrundes“) ausstrahlen, optisch aufgelöst. Für einen unter ihnen befindlicher Räuber bilden sie sich gegen den hellen Hintergrund so nicht scharf ab. Solche Tarnungen durch Positionslichter wurden in den Weltkriegen von der britischen Luftwaffe benutzt, ohne daß man damals ahnte, daß die Natur dieses Prinzip schon lange vorher erfunden hatte. Natürlich müssen Tiere, bei denen Leuchtorgane eine Rolle spielen, funktionsfähige Augen haben. Mit ihnen orten sie auch leuchtende Beute. Oft sind die Augen solcher Arten sehr groß und zei-

gen bizarre Formen (Teleskopaugen). Bei vielen anderen, bei denen dies keine Rolle spielt und die sich in den lichtlosen Tiefen ohnehin nur auf ihren Tast- oder Geruchssinn verlassen können, werden die Augen reduziert und sind damit funktionslos.

Das Licht wirkt auch mittelbar auf das Nahrungsangebot ein. Wie bereits erwähnt, können grüne Planktonalgen nur in der oberen Deckschicht der Ozeane organisches Material produzieren und damit eine Nahrungskette anstoßen, die über kleine Ruderfußkrebse schließlich bis zu großen Fischen und Säugetieren (Wale, Robben) reicht. Auch die menschliche Ernährung von Meeresprodukten geht letztlich auf diese Primärproduktion zurück. Man hat auch ausgerechnet, daß diese einzelligen Algen weltweit genauso viel Sauerstoff produzieren, wie alle tropischen Regenwälder zusammen. Der Überschuß an organischer Materie, der durch diese Produktionskette erzeugt wird, ist auch die Triebfeder für den ganz überwiegenden Teil des Lebens der Tiefsee. Kleine Partikel und größere Leichen sinken ständig in die Tiefsee ab. Je größer sie sind, um so schneller geht der Eintrag. Eine Wal- oder Thunfischleiche wird dem Oberflächensystem schneller entzogen als feine Partikel mit wenig Gewicht. Von der Masse des Eintrages her gesehen, spielen feine Partikel die deutlich größere Rolle. Ihr bakterieller Abbau während des Absinkens determiniert, wieviel letztlich am Tiefseeboden ankommt. Je länger sie unterwegs sind, d. h. je tiefer sie absinken müssen, um so weniger kommt an. Ein weiterer Prozeß, der für Eintrag von organischem Material in die

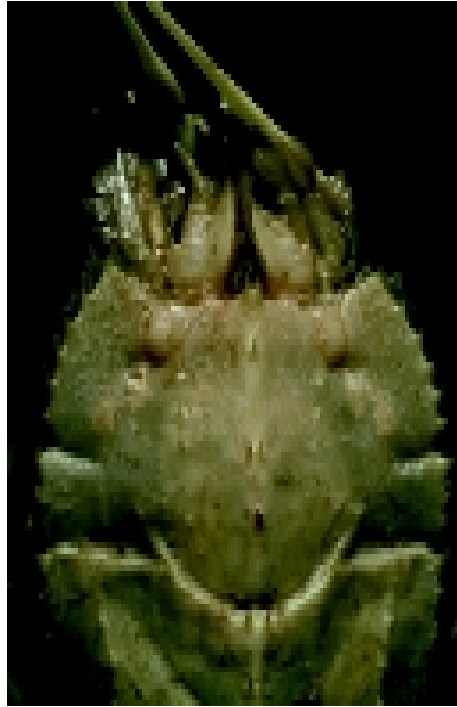


Abbildung 14. Tiefseekrebs (Vielscherer *Polychaela*) mit reduzierten Augen – Photo: M. TÜRKAY.

Tiefsee sorgt, ist die Kette der Vertikalwanderungen. In unterschiedlichen Wasserschichten des Ozeans leben Tiere, die tagesperiodisch wandern. Das beginnt an der Oberfläche mit Abwärtswanderungen des Planktons am Tage. Mittags wird die größte Tiefe erreicht, dann geht es wieder aufwärts und um Mitternacht ist das Plankton an der Meeresoberfläche. Tiere noch tieferer Wasserschichten wandern ebenfalls tagesperiodisch und fressen in der Zone höchster Plankton-

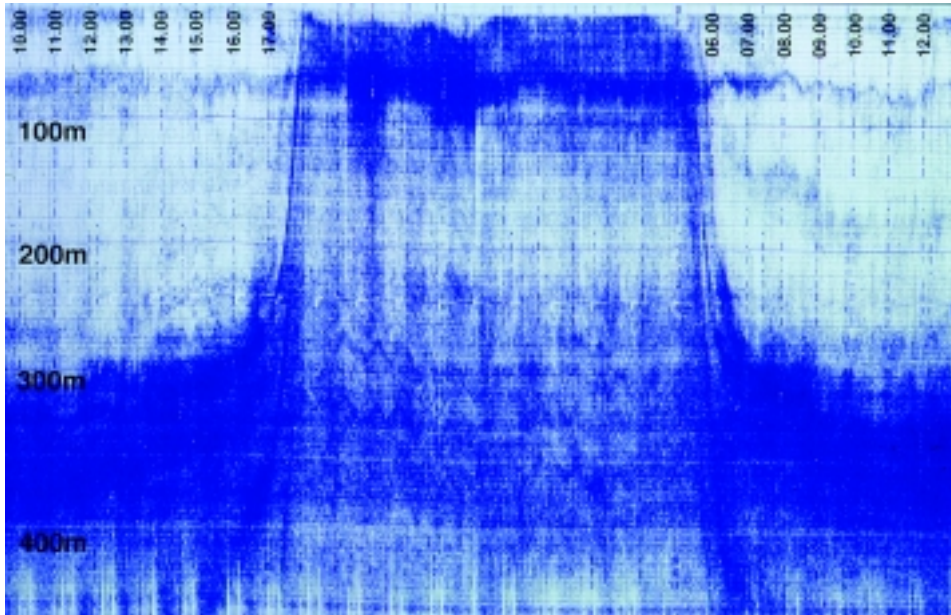


Abbildung 15. Vertikalwanderung des Planktons. Echolotaufzeichnung aus dem Pazifischen Ozean. Tagsüber befindet sich das Plankton (sichtbar als dicker Reflektor) in etwa 300m Wassertiefe, in der Nacht (18.00 – 06.00 Uhr) ist es an der Oberfläche und wandert dann zügig wieder in die Tiefe. – F. S. *SONNE*.

konzentration bei Tage. Sie sind aber wiederum Beute für noch tiefer lebende und ebenfalls wandernde Organismen, so daß schließlich die an der Oberfläche produzierte Nahrung über die Nahrungskette am Tiefseeboden ankommt. Der Schwund an Biomasse ist natürlich sehr groß und daher ist auch dieser Transport wenig effizient. Wir sehen also: Die Tiefsee ist eine abhängige Biozönose. Sie lebt von dem Eintrag des Überschusses der Oberflächenproduktion. Damit ist sie nahrungsarm. Die Tiere müssen also fressen, wenn Nahrung da ist und dann sollten sie so viel wie möglich fressen. Große

zahnbewehrte Mäuler, dehnbare Mägen und anatomische Besonderheiten, die ihnen erlauben, Beute zu fressen, die so groß ist wie sie selbst (Viperfische können wie Schlangen ihren Unterkiefer aushängen). Große, schnell bewegliche Fische und Krebse sind sofort zur Stelle, wenn ein großer Nahrungsbrocken ankommt, verwerten diesen schnell und verteilen sich wieder in den ungeheuren Weiten der Tiefsee. Mit ihrem Kot verteilen sie einen Teil dessen, was sie aufgenommen haben auf größere Flächen oder werden gar selber gefressen. Diese großen Organismen sollten uns aber nicht dar-

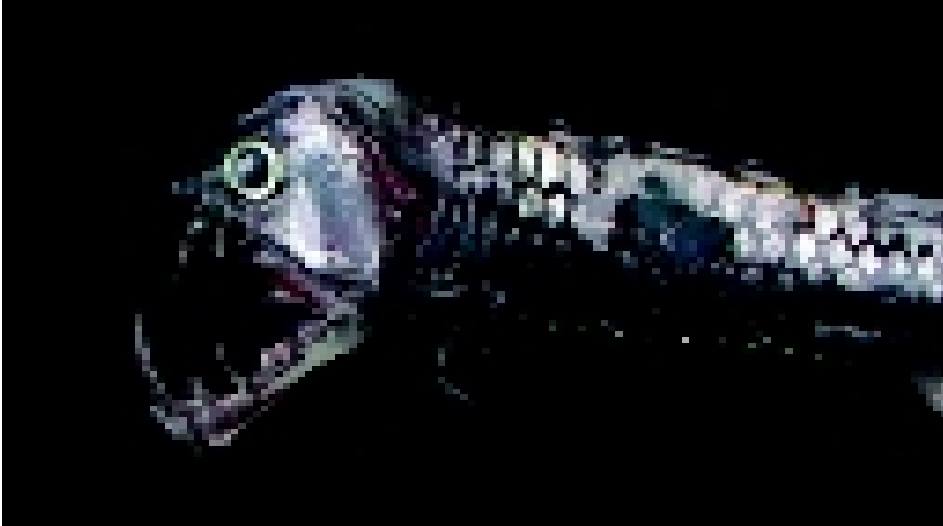


Abbildung 16. Viperfisch (*Chauliodus*) mit großen Fangzähnen aus der Tiefsee des Atlantischen Ozeans. – Photo: J. BOHN.

über hinwegtäuschen, daß die überwiegende Menge der Tiefseetiere zwergenhaft klein ist. Nahrungsarmut zwingt zu sparsamem Umgang mit den Ressourcen. Kleine Tiere haben einen günstigeren Stoffumsatz und kommen schneller zur Fortpflanzung. Dies sind die Hypothesen, die uns die Verzweigung erklären können. Aber richtig beobachtet und gemessen wurde dies noch nicht, da es bis heute noch nicht möglich war, solche Tiere unter den Bedingungen, unter denen sie leben, zu fangen, an die Meeresoberfläche zu bringen, zu halten und mit ihnen zu experimentieren. Alle Messungen wurden entweder vor Ort in der Tiefsee vorgenommen und stellen damit Momentaufnahmen dar, oder sie erfolgten an Tieren, die gefangen und an Bord oder im Labor wieder unter Bedin-

gungen gebracht wurden, die ihrer Tiefsee-Umwelt entsprachen. Langzeit-Beobachtungen, Wachstumskurven unter Laborbedingungen, etc. kennt man nicht. Daher kennen wir noch nicht einmal die Zeitskalen solchen Lebens. Sind die kleinen Tiere wirklich schnellwüchsig? Wäre es nicht möglich, daß die Lebensprozesse unter den Extrembedingungen der Tiefsee langsamer ablaufen? Fragen über Fragen, die auf ihre Klärung warten. Ihre Lösung ist eng verknüpft mit der Entwicklung von neuer Technologie, die dann sicher nicht nur der Grundlagenforschung in der Tiefsee dienen wird.

Ein weiterer wichtiger Faktor, unter dem die Tiefseetiere leben müssen, ist der Druck. Am Tiefseeboden herrschen extreme Bedingungen.



Abbildung 17. Große Krabben (hier *Chaceon maritae*) wandern über weite Strecken zu großen, abgesunkenen Nahrungsbrocken. Atlantischer Ozean 1300m Tiefe, Fotoschlittenaufnahme. – Photo: H. THIEL.

Mehrere hundert Bar sind zu ertragen. Das sind unvorstellbar hohe Werte. Zum Vergleich: Der Innendruck einer Autoreifens liegt bei 2 Bar, der einer Propangasflasche bei 8,4 Bar. Eine Preßluft-Tauchflasche bringt es auf 200 oder 300 Bar, in 5000m Tiefe herrschen aber 500 Bar. Viele Menschen vermuten hierbei mechanische Probleme. Der große Druck muß die Tiere ja zerquetschen oder sie müßten explodieren, wenn sie an die Oberfläche kommen. Nichts davon ist richtig. Die Tiere bestehen größtenteils aus Wasser und organischen Gewebeanteilen. Flüssigkeiten sind nicht kompressibel, wie wir aus der Hydraulik wissen. Es gibt also keine mechanischen Probleme, so lange keine Gasräume im Körper vorhanden sind. Macht Druck also nichts? Brauchen sich die Tiere nicht anzupassen? Auch wenn keine me-

chanischen Probleme auftreten, ist der hohe Druck von großer Bedeutung für den Organismus. Alle chemischen und enzymatischen Vorgänge des Stoffwechsels laufen unter hohem Druck anders ab als an der Oberfläche. Enzyme müssen in ihrer Wirkung angepaßt sein, die Stoffwechselfvorgänge in ihrer Energetik auch. Holt man Tiefseetiere nach oben, kann manchmal noch etwas Leben sichtbar sein. Sie sind aber schon weitgehend geschädigt. Wieviel davon auf die Dekompression zurückgeht, ist noch nicht klar. Höheres Leben unter Hochdruck ist bisher nur sehr unzureichend verstanden und ein weiteres faszinierendes Forschungsfeld. Anpassungen an Hochdruck kann man nicht sehen, man muß sie messen.

An wenigen Stellen, besonders entlang der ozeanischen Rücken, aber auch an Kontinental-



Abbildung 18. Kleine Flohkrebse (Amphipoda) haben einen als Köder benutzen Teil eines Haies bis auf die Wirbelsäule sauber abgenagt. Golf von Aden, 3000m Wassertiefe, F. S. *METEOR*. – Photo: M. TÜRKAY.

rändern kennen wir seit 1977 Tiefsee-Lebensgemeinschaften, die so gar nicht in das Bild von Nahrungsarmut passen. An Heißwasserquellen, die aus dem Erdinneren kommen oder schwefelwasserstoffhaltigen Sickerwässern findet man auch in wenigen tausend Metern Tiefe eine sehr reichhaltige Organismengemeinschaft. Nahrungsarmut scheint hier also nicht zu herrschen. Des Rätsels Lösung ist, daß diese Lebensgemeinschaften autark sind. Die Produktion von organischem Material (Primärproduktion) wird hier von Bakterien vorgenommen, die den Schwefelwasserstoff, mit dem die austretenden Fluide stark angereichert

sind, zu Schwefel oxidieren und daraus Energie gewinnen. Die höheren Glieder der Nahrungskette fressen diese Bakterien, oder sind Räuber höherer Ordnung. Besonders häufig kommt es aber auch vor, daß sich Tiere, die in diesen Lebensgemeinschaften vorkommen, Bakterien „zähmen“. Sie beherbergen solche Symbionten in ihrem Körpergewebe, ihren Kiemen, oder in ihrem Darm. Diese führen ihnen Schwefelwasserstoff zu und verdauen dann einen Teil der sich vermehrenden Symbionten. Die meisten dieser Tierformen waren zuvor unbekannt und sehen bizarr aus. Es gibt darunter solche, die das Fressen völlig einge-



Abbildung 19. Reiches Tierleben im Bereich schwefelfasserstoffhaltiger Sickerwässer am Edison-Seeberg (Bismarck-See, Papua Neu Guinea) in 1300m Wassertiefe. Zu sehen sind große Muscheln (Vesicomidae) und dicke Büschel von Entenmuscheln (*Neolepas*). OFOS-Aufnahme, F. S. *SONNE*. – Photo: P. Herzig.

stellt haben und nur noch ihren Bakterien Schwefelwasserstoff zuführen, um von ihnen leben zu können. Diese Oasen des Tiefsee-Lebens zeigen uns, daß nicht alle Tiefsee-Organismen von der lichtgesteuerten Produktion an der Meeresoberfläche abhängig sind. Aber sind diese speziellen Ökosysteme wirklich alternativ und exotisch? Welche Rolle spielt ihre Stoffproduktion in der gesamten Bilanz des Ozeans wirklich? Wir wissen es nicht, da wir ständig neue Gebiete dieser Art entdecken und ihre Ausdehnung bei weitem

nicht klar ist. Zu einer Bilanzierung fehlen zur Zeit noch verlässliche Daten. Diese Ökosysteme und ihre Entdeckungsgeschichte lehren uns aber vor allem eines: so lange unsere Kenntnisse über die Tiefsee noch so rudimentär sind, können wir nicht ausschließen, daß in den unendlichen Weiten irgendwann wieder ein bisher unbekanntes Ökosystem auftauchen könnte, das wir zuvor für unmöglich gehalten hatten. Insofern sind alle unsere Vorstellungen über die Tiefsee und die Biodiversität in ihr noch sehr vorläufig.



Abbildung 20. Vielfalt des Lebens in der Tiefsee. Ein Schleppnetzfang aus etwa 5000m Wassertiefe im Iberischen Tiefseebecken, F. S. METEOR. Schwämme, Seerosen, Krebse, Tintentisch (Zirrenkrake), Fische. – Photo: H. THIEL.

Wieviele Arten gibt es in der Tiefsee?

Bis vor kurzem galt die Tiefsee als artenarm. Man konnte sich zwar vorstellen, daß es in ihr viele neue und unentdeckte Tierformen gibt, aber ging trotzdem davon aus, daß viele von ihnen weit verbreitet und nicht auf einzelne Tiefseeregionen beschränkt waren. Das Bild änderte sich schlagartig mit der Publikation einer Arbeit von FRED GRASSLE und NANCY MACIOLEK im Jahre 1992. Diese beiden Wissenschaftler hatten am Kontinentalhang der Ostkü-

ste der U.S.A. in Tiefen von 1500 bis 2000m ein dichtes Netz von Kastengreiferstationen bearbeitet. Die von ihnen untersuchte Fläche betrug insgesamt 21 m². Die Ergebnisse waren beachtlich. Auf dieser relativ kleinen Fläche wurden 898 Arten vielzelliger Tiere mit insgesamt mehr als 90.000 Individuen festgestellt. Bemerkenswert ist die hohe Artenzahl, die zuvor nicht erwartet worden war. Diese kam dadurch zustande, daß an jedem Probepunkt so viele Greiferproben genommen wurden, bis sich die Zunahme von Arten abflachte. Das geschah erst, wenn etwa 10 Proben am selben

Die Tiefsee, der größte Lebensraum

Punkt eingeholt und analysiert waren. Damit wurde klar, daß man früher die Artenzahlen grob unterschätzt hatte, da man glaubte, mit etwa 3 Greifern das Artenspektrum ausreichend erfaßt zu haben. Die Erklärung für dieses Mißverständnis ist logisch: in der Tiefsee treten alle Arten in geringen Individuenzahlen auf. Man kann sie also nur ausreichend erfassen, wenn genügend Proben am selben Ort genommen werden. Eine weitere Überraschung war, daß die Artenzahlen nicht mit zunehmender Tiefe kontinuierlich abnahmen. Vielmehr gab es in 2.000 m Wassertiefe ein Maximum an Arten, was sich auch später immer wieder bestätigt hat. Aber das eigentliche Ziel der Untersuchungen war es, zu einer Schätzung der Artenzahlen über große Räume zu kommen. Daher hatten die Forscher die Stationen so angeordnet, daß sie alle 100 km ein Tiefenprofil von 1.500 bis 2.000 m legten. Insgesamt betrug die Nord-Süd-Ausdehnung des Untersuchungsgebietes 1.000 km, d.h. daß 10 Tiefenprofile hintereinander lagen. Die Forscher entdeckten nun, daß bei gleich tiefen Stationen je 100 km Entfernung 70-100 zuvor nicht festgestellte Arten hinzukamen. Vergleich man unterschiedlich tiefe Stationen der selben Region, war die Zunahme sogar größer. Daraus kalkultierten FRED GRASSLE und NANCY MACIOLEK, daß es in der Tiefsee des Weltozeans 10 Millionen Arten geben müsse. Diese Zahl wurde in der Folgezeit intensiv diskutiert. Manche Wissenschaftler hielten sie für stark übertrieben, andere behaupteten sogar sie sei zu niedrig und man müsse in der Tiefsee mit 100 Millionen Arten rechnen. Tatsächlich kranken diese Rechenexempel dar-



Abbildung 21. Zivilisationsmüll aus 2500 m Wassertiefe im Mittelmeer – Photo: M. TÜRKAY.

an, daß die Untersuchungen in sehr variablen Hangregionen gemacht wurden, die noch stark vom Land beeinflußt werden. Spannend ist daher, was für Ergebnisse aus einer im Juli 2000 stattgefundenen deutschen Untersuchung im küstenfernen und mehr als 5.000m tiefen Angola-Becken herauskommen werden. Das Programm DIVA-1 mit F. S. *METEOR* (Reise 48/1) hatte zum Ziel, auf einer Strecke von 700km ebenfalls in Abständen von 100km die Zunahme der Artenzahlen zu erfassen. Erst nach Ende der Auswertung wird es möglich sein, die amerikanischen Zahlen richtig zu bewerten. Wie auch immer die Schätzzahlen in Zukunft ausfallen mögen: Die amerikanischen Untersuchungen haben deutlich gemacht, daß die Tiefsee ein sehr artenreicher Lebensraum ist, keine Wüste, wie man zuvor gedacht hatte.

Wie erklärt man die hohen Artenzahlen und die hohe Artbildungsrate in einem Lebensraum mit gleichmäßigen ökologischen Bedingungen, geringen Temperatur- und Salzgehaltsschwankungen? Das Vorkommen unterschiedlicher Arten setzt ungleichmäßigkeit voraus. Hier be-

steht noch großer Klärungsbedarf. Zur Zeit gibt es nur die Mosaik-Flecken-Hypothese von FRED GRASSLE und Mitarbeitern, die davon ausgeht, daß durch Eintrag von Nahrung aus flacheren Schichten oder durch andere Störungen, eine kleinräumige Inhomogenität entsteht. Während sich dieser begrenzte Raum wieder langsam „normalisiert“, passiert dasselbe an anderer Stelle. Damit entsteht ein Fleckenmuster von Systemen in unterschiedlichen Zuständen der Entwicklung und der Tiefseeboden wird dadurch bezüglich des unterschiedlichen Nahrungsangebotes strukturiert. Dieses Modell erscheint zwar plausibel, aber so lange wir nichts über die kleinräumigen Prozesse und die Zeitskalen wissen, läßt es sich schwer auf konkrete Situationen anwenden. Nur mit Hilfe von Langzeitbeobachtungen und kleinräumigen Untersuchungen ist in der Theoriebildung Fortschritt zu erzielen. Auch hier stehen wir noch am Anfang eines faszinierenden Forschungsgebietes.

Fazit

Die Tiefsee ist eines der letzten weitgehend unerforschten Gebiete unseres Planeten. Der Mensch hat aber schon längst seine Hand nach diesem unverstandenen aber verletzlichen Raum ausgestreckt. Rohstoffe sollen aus ihr gewonnen werden, sie soll aber auch als Depot für Industrieabfälle dienen, für Kohlendioxid, das wir aus der Atmosphäre weghaben wollen, für radioaktives Material, zu dem auch havarierte U-Boote zählen. So lange wir Zeitskalen und Funktionszusammenhänge so wenig beur-

teilen können, sind solche Nutzungsarten riskant. Sie sind es besonders deshalb, weil wir das Risiko eigentlich kaum abschätzen können. Tiefseeforschung ist auch Zukunftsforschung, eine technologische Herausforderung, die uns auch in der Technologieentwicklung weiterbringt. Für Biologen ist sie aber zuallererst ein faszinierendes Arbeitsfeld voller neuer Tierformen und Zusammenhänge.

Weiterführende und Quellenliteratur

- ANONYM (1991): *Biologie der Meere. Verständliche Forschung*, 223 S.; Heidelberg, Berlin, New York (Spektrum Akademischer Verlag GmbH).
- ETTER, R. J. & GRASSLE, J. F. (1992): Patterns of species diversity in the deep sea as a function of sediment particle size diversity. – *Nature*, **360**: 576-578.
- GAGE, J. D. & TYLER, P. A. (1992): *Deep Sea Biology*, XVI + 504 S.; Cambridge (Cambridge University Press).
- GRASSLE, J. P., MACIOLEK, N. J. (1992): Deep-sea species richness: regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples. – *American Naturalist*, **139**: 313-341.
- REINKE-KUNZE, C. (1994): *Welt der Forschungsschiffe*, 192 S.; Hamburg (DSV-Verlag).
- VAN DOVER, C. L. (2000): *The ecology of deep-sea hydrothermal vents*, XX + 424 S.; Princeton, New Jersey (Princeton University Press).

