

MEER UND MUSEUM



BAND 12

Zum Geleit

In der Welt der Elektronik ist die Miniatisierung, die extreme Verkleinerung der Geräte, in den letzten Jahren in atemberaubender Geschwindigkeit vorangeschritten. So besitzen heute kleine Personal-Computer die Leistungsfähigkeit von ehemaligen Großrechnern, die noch vor drei Jahrzehnten ganze Büroräume ausfüllten. Von der Tatsache, über kleine, leistungsstarke und preisgünstige Elektronikbauteile verfügen zu können, machen nun auch die Meeresbiologen vermehrt Gebrauch. Die Fernerkundung oder Telemetrie wird zunehmend eines ihrer Handwerkzeuge. Mittels Radio- oder Satellitentelemetrie sowie mit Hilfe von Datenschreibern werden Erkenntnisse zum Wander- und Tauchverhalten von Meerestieren gesammelt. Hatten noch vor zehn Jahren gute Telemetriesender ein Gewicht von einigen Kilogramm und konnten nur großen Tieren, wie z. B. Hirschen, angebracht werden, so haben heute leistungsgleiche Geräte die Größe eines Daumennagels und können ohne große Beeinträchtigung für das Tier sogar im Gefieder von Vögeln befestigt werden. Erstaunliche physiologische Leistungen von Tieren wurden mittels der modernen Telemetrie aufgedeckt. So ermittelten z. B. dänische Walforscher, daß Narwale bis zu 1.000 Meter tief tauchen können, was man bisher nur Pott- und Entenwalen zugestanden hatte. Pinguinforscher stellten fest, daß Königspinguinelterne ihre Küken in der Kolonie bis zu 59 Tage allein ließen, um in einem 1.800 Kilometer entfernten Gebiet nach Nahrung zu suchen. Dabei legten sie insgesamt über 5.000 Kilometer Wegstrecke zurück.

Der hier vorliegende Band soll einen Überblick geben über die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten dieser modernen Methode in der Meeresbiologie. Dabei wird die Telemetrie als Mittel zum Aufspüren der Wanderwege von Fischen, insbesondere von Aalen und Lachsen, bis hin zum Untersuchen des Tauchverhaltens von Walen und Delfinen von fachkundigen, auf diesem Gebiet forschenden Wissenschaftlern beschrieben. Besonders freut es uns, daß in diesem Band zum ersten Mal überhaupt über Untersuchungen zur strömungsdynamischen Formoptimierung von Telemetrieegeräten für Wale berichtet wird.

Die jährlich stattfindende wissenschaftliche Podiumsdiskussion „Neues vom Meer“ ist ein fester Bestandteil des Veranstaltungsprogramms des Deutschen Museums für Meereskunde und Fischerei geworden. Unter dem Thema „Geheimnisse der Tiefsee - geologische und biologische Tiefseeforschung“ berichteten am 23. Mai 1996 deutsche Tiefseeforscher über ihre aufwendigen Arbeiten in den am schwersten zugänglichen Naturräumen der Erde. Wie bei der Telemetrie, ermöglichte auch hier die rasante Entwicklung von Technik und Elektronik der vergangenen Jahrzehnte eine intensive und effektive Tiefseeforschung. Die technischen Probleme und der betriebene Aufwand sind nur noch vergleichbar mit denen der Raumfahrt. Die während der Podiumsdiskussion gehaltenen Beiträge sind in diesem Band zusammengestellt worden. Gleichzeitig wurde die Veranstaltung zum Anlaß genommen, den neuen Ausstellungsbereich „Geowissenschaftliche Meeresforschung“ zu eröffnen.

Mit den beiden Themenblöcken dieses Bandes „Telemetrie bei Meerestieren“ und „Geheimnisse der Tiefsee - geologische und biologische Tiefseeforschung“ möchten meine Mitarbeiter und ich die Bemühungen meines Vorgängers, Dr. Sunnfried Streicher, fortsetzen, wissenschaftliche Erkenntnisse aus der Meeresforschung der breiten Öffentlichkeit vorzustellen.

Dr. Harald Benke

Untersuchungen zum Tauch- und Wanderverhalten von Kleinwalen mit telemetrischen Methoden

R. P. Sonntag, U. Siebert und H. Benke

Schon seit der Antike üben Wale und Delphine eine große Faszination auf den Menschen aus. Seit dieser Zeit versucht er, die Lebensweise dieser Tiere zu erforschen. Allerdings liegt ein Großteil davon immer noch im Verborgenen, da sich Wale und Delphine weitgehend unter der Wasseroberfläche, zum Teil in großen Tiefen, aufhalten. Von den meisten Arten ist bis zum heutigen Tag nicht bekannt, wie tief und wie lange sie tauchen können. Nur gelegentliche, zufällige Ereignisse lieferten Erkenntnisse über die Tauchfähigkeiten einiger Arten. So verfangen sich z. B. tauchende Pottwale in Tiefseekabeln, die in 1.000 Meter Tiefe auf dem Meeresgrund lagen. Oder man fand in Mägen von Pottwalen, die man in Gewässern mit einer Mindesttiefe von 3.000 Metern gejagt hatte, auf dem Meeresgrund lebende Haiarten. Dies deutete dann darauf hin, daß Pottwale mindestens bis in diese Tiefen tauchen können.

Auch war bis vor kurzem nur wenig über die Wanderungen der verschiedenen Arten bekannt. Einige Wale konnten auf Grund natürlicher Kennzeichen über große Entfernungen hin verfolgt werden. So haben beispielsweise Buckelwale (*Megaptera novaeangliae*) eine individuell einmalige Pigmentierung auf der Unterseite ihrer Schwanzflosse (Fluke) (Abb. 1). Mit Hilfe von Flukenfotos konnten einzelne Individuen sowohl in ihren Paarungsgebieten (tropische Gewässer) als auch in den Nahrungsgründen (kältere Gewässer), die tausende von Kilometern voneinander entfernt sind, identifiziert werden. Diese sogenannte Foto-Identifikation ist bei vielen anderen Walarten, wie z. B. dem

Großen Tümmler (*Tursiops truncatus*), dem Schwertwal (*Orcinus orca*) oder dem Amazonasflußdelphin (*Inia geoffrensis*), bei denen man die Rückenfinne oder den Rücken zur Identifizierung nutzt, auch möglich (Abb. 2). Bei den kleinen Schweinswalen kann dagegen diese Methode nicht angewandt werden. Diese Tiere haben fast immer eine gleich geformte und gleich pigmentierte Rückenfinne. Darüber hinaus sind die Schweinswale schwer zu sichten und zu fotografieren.

Um dennoch mehr über deren Wanderungen zu erfahren, wurden die Schweinswale mittels Telemetrie verfolgt. Diese Methode hat sich bereits bei anderen Kleinwalarten bewährt. Dabei wurden die Wale mit einem VHF-Sender versehen. Die Lokalisierung der Tiere erfolgte durch Dreieckspeilung von Küstenstationen oder durch direktes Verfolgen mit einem Boot. Dies war sowohl aufwendig als auch schwierig, und der Kontakt zu den Tieren ging häufig nach wenigen Tagen verloren. Daten über das Tauchverhalten der Wale konnten auf diese Weise nur indirekt gewonnen werden. Da der Kontakt mit den Sendern nur über Wasser geschlossen werden kann, deuteten die Wissenschaftler, daß die Tiere während der übrigen Zeit unter Wasser waren. Wesentlich einfacher gestaltete sich die Untersuchung von Wanderungen und Tauchprofilen mit der Entwicklung von satellitengestützten Sendern, die sowohl die Positionen der Tiere als auch aufgezeichnete Tauchdaten eines Time-Depth-Recorders (TDR) übermittelten. Im Folgenden wird zunächst

Abb. 1: Unterseite der Schwanzflosse (Fluke) eines abtauchenden Buckelwals vor der isländischen Küste. Da die Pigmentierung der Flukenunterseite individuell verschieden ist, kann man die einzelnen Tiere an ihrer Fluke erkennen und so ihre Wanderungen verfolgen.



Abb. 2: Der Wissenschaftler Thomas Henningsen fotografiert die Rückenfinne eines Großen Tümmlers im Golf von Mexiko. Anhand der unterschiedlichen Formen, Verletzungen und Pigmentierungen der Finne und des Rückens (Sattel) kann der Forscher verschiedene Individuen unterscheiden.



die Methode der Satellitentelemetrie beschrieben. Im Anschluß daran werden anhand ausgewählter Einzelbeispiele erste Erkenntnisse, die durch den Einsatz dieser modernen Methode gewonnen werden konnten, vorgestellt.

Das Argos System

Die meisten satellitengestützten Telemetrie-Projekte verwenden das ARGOS-System. Dieses System nutzt zwei Satelliten der TIROS-Familie, die sich in einem terrestrischen Orbit in etwa 850 km Höhe befinden. Beide Satelliten transportieren ein „Argos Data Collection and Location System“ (DCLS), das die Signale der Sender empfängt, wenn sie sich über der Wasseroberfläche befinden. Um Strom zu sparen, sind deshalb heute die meisten Sender mit einem Wasserschalter ausgestattet, der sie unter Wasser ausschaltet. Diese Sender, die inzwischen von diversen Anbietern hergestellt werden, haben eine Übertragungsfrequenz von 401,650 Mhz \pm 4 kHz. Die Genauigkeit dieser Frequenz ist unerlässlich, da mit Hilfe von Frequenzänderungen, die durch den Dopplereffekt entstehen, die Position des Senders berechnet wird. Hierbei erhöht sich die vom Satelliten empfangene Frequenz, wenn er sich auf den Empfänger zubewegt, bzw. erniedrigt sich, wenn der Satellit sich vom Sender entfernt. Dieses Phänomen beruht auf demselben physikalischen Prinzip wie die Frequenzänderung bei einem vorbeifahrenden Zug. Die Positionsbestimmung ist umso genauer, je häufiger es zum Kontakt zwischen Sender und Satellit während einer Umlaufphase kommt. Dies ist wiederum abhängig von den Phasen, welche die Wale an der Oberfläche verbringen. Die Satelliten überfliegen eine Position, d. h. einen Wal mit Sender, je nach Breitengrad zwischen sechs und 28 mal pro Tag. Dabei kann der Satellit einen Punkt, den er überfliegt, etwa zehn bis zwölf Minuten überwachen. Das bedeutet, daß ein Wal, der in diesem Zeitraum nur sehr kurz oder überhaupt nicht auftaucht, evtl. keinen Kontakt zum Satelliten bekommt und daher nicht registriert wird.

Bisher übliche Anbringung der Sender

Die Sender werden in den meisten Fällen mit Hilfe von Kunststoffbolzen an der Rückenfinne des Wales befestigt, da Metallbolzen entzündliche Reaktionen hervorrufen (GERACI und SMITH, 1990). Dabei wird die Rückenfinne mit einem speziellen Bohrer durchbohrt, nachdem sie mit einem Lokalanästhetikum betäubt wurde. Die aus Metall hergestellten Muttern, die den Bolzen halten, korrodieren nach einer gewissen Zeit und bewirken so das Abfallen des Sendergehäuses, das je nach Bauart schwimmfähig sein kann. Es enthält neben dem eigentlichen Transmitter häufig noch weitere Sensoren (z. B. für Tauchtiefe, Temperatur, Geschwindigkeit u. a.), deren Werte ebenfalls per Satellit weitergegeben werden. Bei anderen Geräten werden die Werte auf einem Datalogger gespeichert - besonders dann, wenn sehr viele Daten erfaßt werden sollen. Diese Geräte müssen allerdings wiedergefunden werden, um an die Daten zu gelangen.



Abb. 3: Eine von Dr. F. Townsend entwickelte Telemetrie-geräthalterung, die mittels Saugnäpfen an der Rückenfinne von Schweinswalen befestigt wird. Sie ermöglicht ein schnelles Anbringen und verzichtet auf das sonst übliche Durchbohren der Rückenfinne.

Es gibt bisher wenig Erkenntnisse, wie die Tiere auf die Befestigung reagieren. Den Beobachtungen verschiedener Wissenschaftler zufolge zeigten die Wale ein normales Verhalten, nachdem sie mit einem Sender versehen wieder freigelassen wurden. Ein Großer Tümmler wurde vier Monate nach Verlust des Senders wieder gesichtet und fotografiert. Seine Identität konnte mit Hilfe der Foto-Identifikation zweifelsfrei festgestellt werden. Die Rückenfinne des Wals war völlig verheilt und zeigte nur eine leichte Verfärbung an den Stellen, wo drei der fünf Bolzen befestigt waren (MATE et al., 1995). Ähnliches konnte dieses Jahr bei einem Beluga festgestellt werden, der in Kanada gefangen wurde (HEIDE-JØRGENSEN, pers. Mitteilung).

Entwicklung der Sendergehäuse und Halterungen in Deutschland

Bei der Entwicklung der Gehäuse und Halterungen für telemetrische Geräte (Satellitentelemetrie und Time-Depth-Recorder) wurde in Deutschland besonders darauf geachtet, daß die Schweinswale möglichst wenig durch diese beeinträchtigt werden. Halterung und Gehäuse können eine beachtliche Behinderung beim Schwimmen und Nahrungserwerb verursachen. Ferner sollte ausgeschlossen werden, daß die Geräte einen negativen Einfluß auf die Gesundheit der Tiere haben, daß beispielsweise eine Entzündung oder Degeneration von Gewebe hervorgerufen oder die Thermoregulation der Tiere beeinträchtigt wird. Die beste Anbringungsmöglichkeit der Geräte am Tier ist die Rückenfinne. Jedoch ist die Finne auch ein wichtiges Organ für die Thermoregulation der Schweinswale. Die folgenden Ausführungen zeigen gewonnene Er-



Abb. 4: Blick auf die Innenseite der von Dr. F. Townsend entwickelten Telemetrieerätehalterung mit den Saugnäpfen. Bei Versuchen mit Großen Tümmlern und Schweinswalen in den USA blieb diese Halterung bis zu vier Wochen an den Tieren.

fahrungen bei der Entwicklung geeigneter Sendergehäuse und Halterungen.

Zunächst wurde versucht, für die Anbringung von TDR's, die nur wenige Tage am Schweinswal verbleiben sollten, ein System zu entwickeln, bei dem das sonst übliche Durchbohren der Rückenfinne mit kleinen Befestigungsbolzen überflüssig ist, d. h. daß ein invasiver Eingriff am Schweinswal unnötig wäre. Dank der Unterstützung und Beratung von Dr. Ron Kastelein und seinem Team vom Rehabilitationszentrum Harderwijk (Niederlande) konnten „nicht-invasive Halterungen“ an rehabilitierten Schweinswalen getestet werden. Diese Tiere boten die Möglichkeit, ihre Schwimmbewegungen mit den angebrachten Geräten genau zu studieren.

Als erstes wurde ein ca. 20 cm breiter Gurt aus Neopren entworfen, der auf Höhe der Brustflossen an dem Schweinswal angebracht wurde. Auf der Rückenseite war der Sender in das Neopren eingearbeitet. Der Gurt wurde mit einem Reißverschluß geschlossen, der im Salzwasser korrodierte. Nach einer vorbestimmbaren Korrosionszeit sollte der Schweinswal dann wieder von seiner Bürde befreit sein.

Da bei den Untersuchungen in Harderwijk festgestellt wurde, daß der Schweinswal durch den angelegten Gurt erheblich in seiner Bewegungsfreiheit eingeschränkt war, wurde auf die Weiterentwicklung dieser Anbringungsmethode verzichtet.

Im Herbst 1993 wurde in den USA eine Halterung entwickelt, die mit Hilfe von vielen kleinen Saugnäpfen an der Rückenfinne haftete. Erste Tests an Großen Tümmlern in Delphinarien ergaben, daß die Tiere die Halterung gut akzeptierten und sie anfangs bis zu zwei Wochen an dem Tier blieb, bis sie von alleine abfiel. Dr. Forrest Townsend (Gulfarium, Florida) er-

klärte sich bereit, eine solche Halterung für einen Schweinswal herzustellen. So wurde von der Rückenfinne eines Tieres aus dem Rehabilitationszentrum in Harderwijk ein Gipsabdruck erstellt und daraufhin in Florida eine Halterung mit Saugnäpfen gefertigt (Abb. 3 und 4).

Die ersten drei- bis vierstündigen Versuche in Harderwijk zeigten, daß der Wal die Halterung gut akzeptierte, sein Verhalten nicht sichtbar änderte und lediglich von seinem Artgenossen im Becken etwas genauer beobachtet wurde. Weiterführend wurde die Halterung für acht Stunden an einem anderen Schweinswal, einem jüngeren und kleineren Tier, getestet. Auch er verhielt sich über den gesamten Zeitraum völlig normal. Bei der Abnahme der Halterung zeigten sich jedoch weißliche Kreise auf der Haut, von denen sich einer am nächsten Tag zu einer ca. 1 cm großen Blase entwickelte, die offensichtlich schmerzhaft für das Tier war. Eine Punktion dieser Blase ergab, daß sie mit Blut und Eiter gefüllt war. Dr. Ron Kastelein (der für die Wale verantwortliche Biologe) brach daraufhin das Experiment sofort ab. Warum sich eine derartige Blase als Reaktion auf die Halterung bei dem kleinen Schweinswal bildete, blieb ungeklärt. Ähnliche Veränderungen wurden bisher bei keinem der in den USA getesteten Tiere beobachtet. Mittlerweile wurde diese Halterung in den USA auch an Tümmlern und Schweinswalen in freier Wildbahn erprobt. Sie blieb bis zu vier Wochen auf den Tieren. Bei den Versuchen mit verschiedenen Gehäuseformen und Halterungen im Delphinarium in Harderwijk wurde deutlich, daß gerade für die Anbringung von Satellitentelemetriesendern, die bedeutend größer sind als VHF-Sender und drei bis sechs Monate an dem Schweinswal verbleiben sollen, eine hydrodynamisch optimale Form des Gehäuses und der Halterung für das Wohlbefinden des Wales von entscheidender Bedeutung ist. Selbst das Anbringen von kleinsten Teilen an dem hydrodynamisch optimal geformten Schweinswalkörper, die Turbulenzen erzeugen und somit eine laminare Strömung verhindern, erhöht den Gesamtwiderstand erheblich.

Abb. 5: Als Ergebnis von zahlreichen Tests im Wind- und Wasserkanal wurde von Dr. Bannasch diese Gehäuseform für den Einsatz von Satellitensendern und TDR's an Schweinswalen entwickelt (s. folgenden Beitrag).





Abb. 6: Belugas waren die ersten Kleinwale, die mit Hilfe der Satellitentelemetrie untersucht wurden. Diese Aufnahme wurde bereits 1979 in der Croker Bay auf Devin Island, Kanada, gemacht.



Abb. 7: Einem weiblichen Narwal wird ein Satellitensender am Rückenwulst angebracht.

Bei der Entwicklung von Datenschreibergehäusen für Pinguine ist dieser Sachverhalt bereits ausführlich berücksichtigt worden (BANNASCH et al., 1994). BANNASCH (Institut für Bionik und Evolutionstechnik der Technischen Universität Berlin) entwickelte auch für Schweinswale hydrodynamisch geformte Telemetriegehäuse mit besonders niedrigem Reibungswiderstand. Diese Entwicklung wird von BANNASCH ausführlich in diesem Band beschrieben. Die Form des Gehäuses, die das Ergebnis von zahlreichen Tests im Wind- und Wasserkanal ist und die Basis der Rückenfinne umgibt, ist in Abb. 5 abgebildet.

Untersuchungen an Belugas und Narwalen

Zu den ersten Kleinwalen, die mit der Satellitentelemetrie untersucht wurden, gehören die bis zu 5,5 m langen Belugas (*Delphinapterus leucas*) (Abb. 6). MARTIN und SMITH (1992) befestigten mit Hilfe von jeweils drei 4,5 mm dicken Kunststoffbolzen das Sendergehäuse am Rückenwulst dreier Weißwale, die im kanadischen Cunningham Inlet gefangen wurden. Die Sender waren mit einem Drucksensor verbunden, der in der Lage war, alle 20 Sekunden die Tiefe zu messen. Bei jeder Datenübertragung wurden die Druck-

Abb. 8: Die Wanderungen von zwei Narwalen von der Melville Bay, Grönland, südwärts in die zentrale Baffin Bay. Dabei zeigte sich, daß die Wale auf ihrem letzten Stück

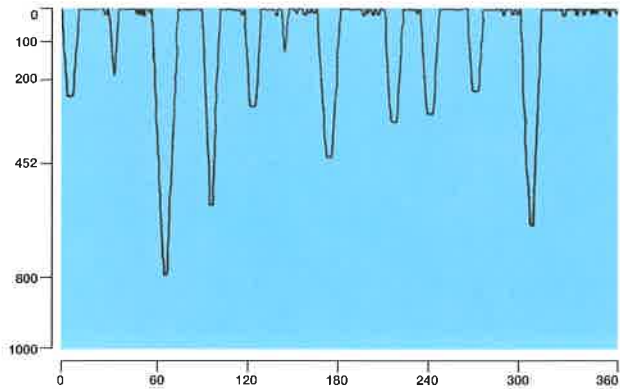
Weg ähnliche Routen nahmen. Ihr Ankunftsgebiet lag ca. 700 km vom Besenderungsort entfernt (DIETZ und HEIDE-JØRGENSEN, 1995).



September:

Aufenthalt im küstennahen Gebiet nahe der Gletscher im flachen Wasser mit gelegentlichen Besuchen des tieferen Wassers.

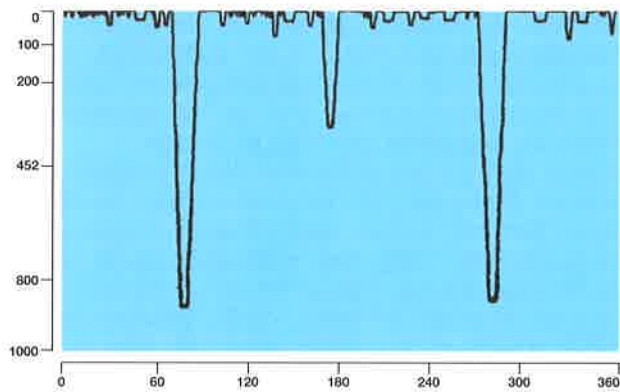
links: Tauchtiefe in Metern, unten: Tauchzeit in Minuten



Oktober:

Wanderung durch tieferes Wasser auf dem Weg zu dem Überwinterungsgebiet.

links: Tauchtiefe in Metern, unten: Tauchzeit in Minuten



November:

Aufenthalt an der Kontinentalkante, wo die Wassertiefe 500 bis 1.000 Meter beträgt.

links: Tauchtiefe in Metern, unten: Tauchzeit in Minuten

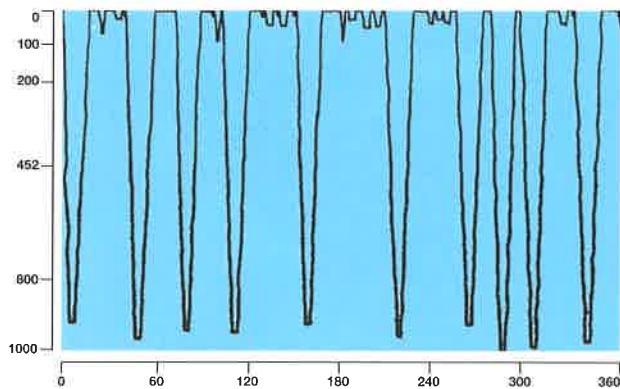


Abb. 9: Tauchprofile eines Narwals, der mittels Satellitentelemetrie verfolgt wurde (HEIDE-JØRGENSEN und DIETZ, 1995).

messungen der letzten 10,3 Minuten vor dem Auftauchen an den Empfänger weitergegeben. Dadurch konnten, wie sich später herausstellte, etwa 23 % der Tauchzeiten erfaßt werden.

Bei dieser Untersuchung wurden Tauchtiefen bis zu 350 m Tiefe und Tauchzeiten zwischen 9,3 und 13,7 Minuten gemessen. Diese tiefen Tauchgänge führten die Tiere bis an den Meeresgrund oder zumindest in die unmittelbare Nähe des Bodens. Daraus schließen die Wissenschaftler, daß es sich bei diesen Tieftauchgängen um die Jagd auf den Grönland-Heilbutt (*Reinhardtius hyperglossoides*), der am Meeresboden lebt, handelt. Die Tatsache, daß Belugas häufig Benthosorganismen jagen, wird auch durch Magenuntersuchungen von toten Tieren bestätigt (BRODIE, 1989). Bei weiteren Untersuchungen, die MARTIN (pers. Mitteilung) zur Zeit in der Beaufort See in Alaska durchführt, wurden sogar Tauchtiefen bis zu 1.165 m bei einem Männchen und Tauchzeiten bis zu 25 Minuten gemessen. Allerdings werden diese Extremwerte nur selten erreicht. Normalerweise tauchten die Tiere in Tiefen zwischen 500 und 800 m und blieben dabei 12 - 20 Minuten unter Wasser.

Neben dem Beluga wurde auch der andere arktische Kleinwal, der Narwal (*Monodon monocerus*), mit Hilfe der Telemetrie näher untersucht. Hier wurde neben den Tauchdaten besonderer Wert auf Wanderungsdaten gelegt. MARTIN et al. (1994) befestigten die Sender wie bei den Belugas am Rückenwulst der Tiere. Sie konnten feststellen, daß die Narwale ebenfalls zum Meeresboden tauchten. Bei diesen Tauchgängen erreichten sie Tiefen bis zu 257 m und jagten dort etwa sieben Minuten, bevor sie nach maximal 15 Minuten wieder auftauchten. Die Wissenschaftler berechneten, daß einer der untersuchten Wale insgesamt nur 10 % mit der aktiven Suche nach Beute verbrachte. Addiert man Auf- und Abtauchzeiten hinzu, nutzte dieser Wal insgesamt 29 % des Tages für die Nahrungssuche.

Neuere Untersuchungen der beiden Dänen HEIDE-JØRGENSEN und DIETZ (1995) zeigten, daß auch Narwale in der Lage sind, sehr tief zu tauchen. In der Melville Bay im Nordwesten Grönlands befestigten die beiden Wissenschaftler Sender an neun Walen. Bei den Weibchen befestigten sie die Sender wie MARTIN et al. (1994) am Rückenwulst (Abb. 6), während sie bei den Männchen den langen Stoßzahn nutzten. Ihre Ergebnisse beweisen, daß die Einhörner der Meere über 1.000 m tief tauchen können, was man bisher nur Pottwalen und Entenwalen zugestanden hat. Allerdings blieben sie nur selten länger als 20 Minuten unter Wasser. Meist dauerten die Tauchgänge nur ca. fünf Minuten.

Die beiden Wissenschaftler fanden auch heraus, daß die Wale 39% des Tages in den oberen 5 m des Meeres verbringen und in dieser Zeit von einem Flugzeug aus gesehen werden können. Diese Informationen sind für exakte Bestandsabschätzungen dieser Walpopulationen wichtig, die mit Hilfe von Flugzählungen durchgeführt werden. Bei den Zählungen werden nur die Tiere in den obersten Wasserschichten erfaßt. Mit Hilfe der Tauchdaten kann dann der Anteil der Population bestimmt werden, der dabei nicht gesehen wird und um den das Ergebnis korrigiert werden muß.



Abb.10: Ein Heringsnetz an der Küste der Bay of Fundy, Kanada. In diese Netze geraten gelegentlich auch Schweinswale, die dann vor der Freisetzung mit Sendern versehen werden können.

Von den Tieren, die MARTIN et al. (1994) untersuchten, konnten nur während 19 Tagen geographische Positionen erhalten werden. Die Narwale hielten sich in diesem Zeitraum stets in demselben Gebiet auf. Im Gegensatz dazu konnten die beiden dänischen Forscher bis zu 100 Tage die Wanderung der besonderten Tiere verfolgen (HEIDE-JØRGENSEN und DIETZ, 1995). Die Narwale verließen Ende Oktober die Melville Bay und wanderten mit einer Geschwindigkeit von 3 bis 8 km/h entlang dem Kontinentalschelf bei Wassertiefen von 500 bis 1.000 m nach Süden. Es zeigte sich, daß sich die Subpopulationen der Narwale jeweils an ganz bestimmte Routen halten, die oft nur 20 km breit waren. Diese Nutzung relativ kleiner Seegebiete macht sie daher auch anfälliger gegenüber

Abb. 11: Ein Schweinswal, der in ein Heringsnetz geraten ist, wird zu seiner Freisetzung mit Hilfe einer Ringwade und eines Tauchers gefangen.



Abb. 12: Der Taucher übergibt den gefangenen Schweinswal vorsichtig an die beiden Wissenschaftler Professor Andy Read und Andrew Westgate.

Störungen durch Menschen. Sie erreichten Ende November ein Gebiet, das etwa 700 km weiter südlich lag (Abb. 8). Während des Winters wurden fast keine Wanderungsbewegungen mehr beobachtet, dafür suchten sie bei ihren Tauchgängen größere Tiefen auf und verbrachten weniger Zeit an der Wasseroberfläche als in anderen Jahreszeiten (Abb. 9). Neben den beiden arktischen Walen wurden noch weitere Kleinwale mit Satellitensendern versehen. Dazu gehören neben dem Pilotwal (*Globicephala melas*) (MATE, 1989), dem Weißseitendelphin (*Lagenorhynchus acutus*) (MATE et al., 1994) und dem Großen Tümmler (TANAKA, 1987; TANAKA et al., 1987; MATE et al., 1995) auch die sehr kleinen Schweinswale.

Abb. 13: Im Boot wird der Schweinswal vermessen und gewogen; es wird eine Blutprobe entnommen und je nach Zustand und Größe des Tieres ein Sender angebracht.



Untersuchungen an Schweinswalen

Wesentlich schwieriger gestaltet sich die Telemetrie bei dem deutlich kleineren Schweinswal, da selbst kleine Transmitter für die Tiere eine Belastung darstellen können. Kanadische Wissenschaftler weisen auf diesem Gebiet bereits eine zwanzigjährige Erfahrung nach (GASKIN et al., 1975, READ et al., 1985, READ und WESTGATE, 1995 und 1996, WESTGATE et al., 1995).

Für ihre Forschung nutzten sie Wale, die in Heringsnetze (sogenannte „weirs“) geraten waren (Abb. 10). Diese Netze sind Lebendfallen, um Heringsschwärme, die nachts in die oberen, ufernahen Wasserschichten kommen, zu fangen. Es geschieht häufig, daß ein Heringsschwarm von einem Schweinswal bis ins Netz verfolgt wird. Die Wale müssen zu ihrer Freisetzung mit Hilfe eines kleineren Netzes (einer Ringwade) und eines Tauchers gefangen werden (Abb. 11). Anschließend werden sie an Bord eines kleinen Bootes gebracht, vermessen und gewogen (Abb. 12 und 13). Außerdem wird eine Blutprobe an der Fluke genommen, um Informationen über den Hormonhaushalt des Tieres und andere Blutparameter zu gewinnen (KOOPMAN et al., 1995). Gesunden und kräftigen Tieren wird dann ein Time-Depth-Recorder (TDR) oder ein Satellitensender an der Rückenfinne befestigt. Jüngere Schweinswale werden nur mit einem VHF-Sender versehen (Abb. 14). Tiere, die unterernährt sind oder in Panik geraten, werden schnellstmöglich wieder freigelassen. Mit Hilfe der TDR's untersuchten die kanadischen Wissenschaftler das Tauchverhalten der Schweinswale in der Bay of Fundy in Kanada (WESTGATE et al., 1995). Die TDR's wurden mit einem VHF-Radiosender gekoppelt, der es den Wissenschaftlern ermöglichte, die Tiere nach der Freilassung zu verfolgen.

Die Sender wurden mit zwei Kunststoffbolzen an der Rückenfinne der Tiere befestigt. Dabei wurden Magnesiummuttern mit Stahlunterlegscheiben benutzt. Durch die Kombination beider Metalle im Seewasser korrodierte das Magnesium, so daß sich die Muttern spätestens nach vier bis fünf Tagen auflösten und ein Abfallen der TDR's bewirkten. Mit Hilfe des VHF-Senders wurden sie dann angepeilt und wiedergefunden. Die Auswertung der Daten ergab, daß Schweinswale in der Lage sind, zum Grund der etwa 220 - 230 m tiefen Bay of Fundy zu gelangen. Eines der Tiere erreichte eine Tiefe von 226 m. Da das Untersuchungsgebiet keine größeren Tiefen aufweist, kann man vermuten, daß die Tiere durchaus fähig sind, noch tiefer zu tauchen.

Im Gegensatz zu den vorher erwähnten Belugas und Narwalen blieben die Schweinswale selten länger als ein bis zwei Minuten unter Wasser. Der längste registrierte Tauchgang dauerte 321 Sekunden. In der Untersuchung konnte auch festgestellt werden, daß sich die Schweinswale in diesen tiefen Gewässern zwischen 33 % und 60 % der Überwachungszeit in den oberen zwei Metern der Wassersäule aufhielten, wo sie von einem Flugzeug aus gesehen werden können (wichtig für Bestandsabschätzungen mittels Flugzählungen, s. o.).

Die kanadischen Wissenschaftler haben bisher neun Schweinswale mit Satellitensendern ausgestattet (READ und WESTGATE, 1995; 1996). Das 11 x 5 x 2 cm große und 200 g schwere Gerät wurde mit drei 6,5 mm dicken Deldrin-Bolzen an der Seite der Finne befestigt. Das Material der Bolzen wurde so gewählt, daß es unter Belastung, wie sie beispielsweise beim Verfangen des Tieres in einem Fischernetz auftreten würde, bricht. Mit Hilfe des ARGOS-Systems konnten READ und WESTGATE (1996) eines der Tiere über 212 Tage verfolgen. Das ist die bisher längste Verfolgung eines Wales mit Hilfe der Satellitentelemetrie. Die besenderten Wale machten ausgedehnte, mehrere Hundert Kilometer lange Wanderungen in den Golf von Maine, wobei sie sich vorwiegend entlang der 100 m-Tiefenlinie aufhielten. Diese langen Wanderungen bestätigten die Vermutung, daß Schweinswale aus der Bay of Fundy und dem Golf von Maine zur selben Subpopulation gehören. Außerdem konnte durch diese Untersuchungen erstmals gezeigt werden, daß die Schweinswale große Teile des Seegebietes bis in seine tiefsten Regionen (s. o.) nutzen. Dies ist eine wichtige Erkenntnis für die Planung von

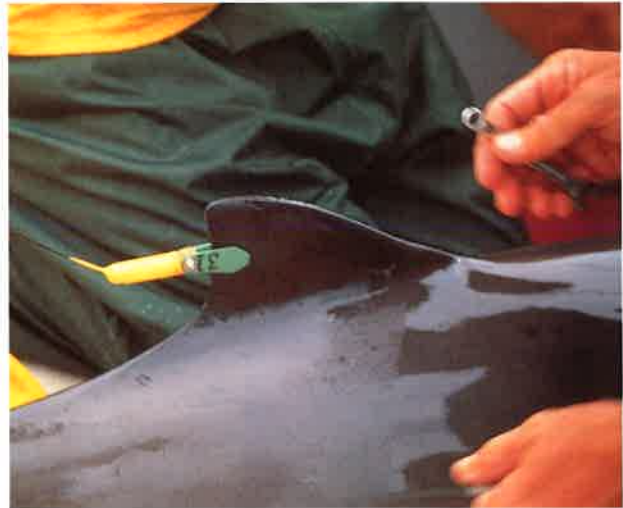


Abb. 14: Jüngeren Schweinswalen wird lediglich ein kleiner VHF-Sender an der Rückenfinne befestigt.

wirksamen Schutzmaßnahmen für diese bedrohte Population, die einem starken Druck durch hohe Verluste aufgrund der Beifänge in der Stellnetzfisherei ausgesetzt ist. Neuesten Erkenntnissen zufolge werden jährlich bis zu 4,3 % der Population in Stellnetzen. Da dies über der jährlichen Zuwachsrates liegt, gelten die Schweinswale in diesem Gebiet als bedroht.

Durch die telemetrischen Forschungen können Gebiete identifiziert werden, die besonders stark von den Walen genutzt werden, um dort Schutzmaßnahmen für die Schweinswale zu entwickeln. Solche Erkenntnisse zu gewinnen, ist auch ein Ziel von einem deutsch-dänischen Forschungsvorhaben. In der Kieler und Mecklenburger Bucht sind die Schweinswale bis auf wenige hundert Exemplare verschwunden (HAMMOND et al., 1995; BENKE und SONNTAG, 1995). In diesem Gebiet waren sie noch vor hundert

Jahren in großen Zahlen aufgetreten (SCHULZE, 1996; SIEBERT et al., 1996). Alten Beobachtungen zufolge wanderten die Schweinswale früher in großer Zahl im Frühsommer durch die Belte und den Sund in die Ostsee. Dort bekamen sie ihre Kälber, paarten sich und zogen im Herbst wieder nach Norden. Es ist unklar, ob sie dieses Wanderverhalten auch heute noch zeigen. Außerdem ist auch nicht bekannt, wann und wo sich die Wale in der Ostsee bevorzugt aufhalten. Die Telemetrie soll helfen, diese Fragen zu beantworten.

Literatur:

- BANNASCH, R., R. P. WILSON und B. CULIK (1994): Hydrodynamic aspects of design and attachment of a back-mounted device in penguins. *J. exp. Biol.* 1194: 83-96.
- BENKE, H. und R. P. SONNTAG (1995): Bestand und Verteilung der Kleinwale in Nord- und Ostsee. *Meer und Museum* 11: 13-20.
- BRODIE, P. F. (1989): The White Whale, *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776). In: *Handbook of Marine Mammals*. Vol. 4. (Eds: Ridgway, S. H. und R. J. Harrison) Academic Press: 119-144.
- DIETZ, R. und M.-P. HEIDE-JØRGENSEN (1995): Movements and swimming speed of narwhals (*Monodon monoceros*) instrumented with satellite transmitters in Melville Bay, northwest Greenland. *Can. J. Zool.* 73: 2106-2119.
- GASKIN, D. E., G. J. D. SMITH und A. P. WATSON (1975): Preliminary study of movements of harbor porpoises *Phocoena phocoena* in the Bay of Fundy using radiotelemetry. *Can. J. Zool.* 53 (10): 1466-1471.
- GERACI, J. R. und G. J. D. SMITH (1990): Cutaneous response to implants, tags, and marks in beluga whales, *Delphinapterus leucas*, and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.* 224: 81-95.
- HAMMOND, P. S., H. BENKE, P. BERGGREN, D. L. BORCHERS, S. T. BUCKLAND, A. COLLET, M.-P. HEIDE-JØRGENSEN, S. HEIMLICH-BORAN, A. R. HIBY, M. P. LEOPOLD und N. ØIEN (1995): Distribution and abundance of the harbour porpoise and other small cetaceans in the North Sea and adjacent waters. *Life 92-2/UK/027*. Final report to the European Commission, May 1995, 242 Seiten.
- HEIDE-JØRGENSEN, M.-P. und R. DIETZ (1995): Some characteristics of narwhal, *Monodon monoceros*, diving behaviour in Baffin Bay. *Can. J. Zool.* 73 (11): 2120-2132.
- KOOPMAN, H. N., A. J. WESTGATE, A. J. READ und D. E. GASKIN (1995): Blood chemistry of wild harbor porpoises *Phocoena phocoena* (L.). *Marine Mammal Science* 11(2): 123-135.
- MARTIN, A. R., M. C. S. KINGSLEY und M. A. RAMSAY (1994): Diving behaviour of narwhals (*Monodon monoceros*) on their summer grounds. *Can. J. Zool.* 72: 118-125.
- MARTIN, A. R. und T. G. SMITH (1992): Deep diving in wild, free-ranging beluga whales, *Delphinapterus leucas*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49 (3): 462-466.
- MARTIN, A. R., T. G. SMITH und O. P. COX (1993): Studying the behaviour and movements of high Arctic belugas with satellite telemetry. *Symp. Zool. Soc. Lond.* 66: 195-210.
- MATE, B. (1989): Satellite-monitored radio tracking as a method for studying cetacean movements and behaviour. *Rep. Int. Whal. Commn* 39: 389-391.
- MATE, B. R., K. M. STAFFORD, R. NAWOJCHIK und J. L. DUNN (1994): Movements and dive behavior of a satellite-monitored atlantic white-sided dolphin (*Lagenorhynchus acutus*) in the Gulf of Maine. *Marine Mammal Science* 10 (1): 116-121.
- MATE, B. R., K. A. ROSSBACH, S. L. NIEUKIRK, R. S. WELLS, A. B. IRVINE, M. D. SCOTT und A. J. READ (1995): Satellite-monitored movements and dive behaviour of a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in Tampa Bay, Florida. *Marine Mammal Science* 11 (4): 452-463.
- READ, A. J., und D. E. GASKIN (1985): Radio tracking the movements and activities of Harbor Porpoises, *Phocoena phocoena* (L.), in the Bay of Fundy, Canada. *Fishery Bulletin* 83 (4): 543-552.
- READ, A. J. und A. J. WESTGATE (1995): Monitoring the movements of harbour porpoises in the Bay of Fundy with satellite telemetry. Paper SC/47/SM19 presented to the IWC Scientific Committee, May 1995, 14 Seiten.
- READ, A. J. und A. J. WESTGATE (1996): Habitat utilization of harbour porpoises in the Bay of Fundy as determined by satellite telemetry. Report for the Endangered Species Recovery Fund World Wildlife Canada, 14 Seiten.
- SCHULZE, G. (1996): Die Schweinswale - Familie Phocoenidae. 2. überarb. Auflage, Neue Brehm-Bücherei Bd. 583, Westarp Wissenschaften Magdeburg, 191 Seiten.
- SIEBERT, U., H. BENKE, G. SCHULZE und R. P. SONNTAG (1996): Über den Zustand der Kleinwale. In: *Warnsignale aus der Ostsee*. (Eds: Lozan, J. L., R. Lampe, W. Matthäus, E. Racher, H. Rumohr und H. von Westernhagen) Parey Buchverlag, Berlin: 242-248.
- TANAKA, S. (1987): Satellite radio tracking of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 53 (8): 1327-1338.
- TANAKA, S., K. TAKAO und N. KATO (1987): Tagging techniques for bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 53 (8): 1317-1325.

Zur strömungsdynamischen Formoptimierung von Telemetriegeräten für Schweinswale (*Phocoena phocoena*)

R. Bannasch

Im vorangegangenen Beitrag haben R. P. Sonntag, U. Siebert und H. Benke die Möglichkeiten zur Aufklärung der marinen Ökologie von Walen umrissen. Dabei wurde deutlich, daß der Einsatz von Tauchtiefenrekordern und Telemetriesystemen den derzeit einzig gangbaren Weg verkörpert, zielgerichtet und systematisch Daten über die Schwimm- und Tauchaktivitäten sowie die Wanderwege dieser Tiere zusammenzutragen. Tatsächlich hat es im Bereich dieser Techniken in der jüngsten Zeit eine stürmische Entwicklung gegeben, zumal sie mit Erfolg auch für eine breite Palette anderer Meerestiere (Robben, Pinguine, Meeresschildkröten etc.) angewendet werden konnten (siehe z. B. CASTELLINI et al., 1992; KOOMAN et al., 1992 a, b; MARTIN and SMITH, 1992, sowie die Beiträge von D. Adelung, E. H. Ries und A. Redlich in diesem Band). Durch den konsequenten Einsatz der Mikroelektronik in Kombination mit neuartigen Sensoren konnten Geräte entwickelt werden, die uns nicht nur ermöglichen, die großen Raum-Zeit-Strukturen des Verhaltens der Meeresbewohner aufzuklären und dabei gelegentlich auch schon ökologisch relevante Umweltparameter mit zu erfassen, sondern meßtechnisch zunehmend auch in die Details, ja sogar in die physiologischen Abläufe vordringen zu können. Dabei ist den Meeresbiologen zunehmend bewußt geworden, daß die Geräte, die sich von ursprünglichen Radio-Markern und einfachen Tauchtiefensonden zu immer komplexeren Miniaturcomputern gemausert haben, einen nicht unerheblichen Effekt auf das Verhalten und die Energetik der betreffenden Tiere haben können, der allerdings schwer zu quantifizieren ist. Lediglich für den Einsatz von Sendern und Fahrtenschreibern an Pinguinen gibt es einigermaßen handfeste Studien, da diese Tiere insbesondere in der Brutperiode an Land leicht zugänglich sind, was nicht nur die Befestigung und Rückgewinnung von Geräten erleichtert, sondern insgesamt einen breiten methodischen Zugang eröffnet. Entsprechend vielschichtig ist die mittlerweile akkumulierte Datenbasis, anhand derer auch geräteinduzierte Effekte vergleichend abgeschätzt und in der Folge auch minimiert werden konnten (siehe z. B. WILSON et al., 1986; WILSON & CULIK, 1992; CULIK et al., 1994; BANNASCH et al., 1994). Eigentlich nicht überraschend, für einige weniger umsichtige Experimentatoren aber sicherlich ernüchternd war, daß sich in der Gegenüberstellung z. B. hinsichtlich der Tauchtiefen selbst auf dem Hintergrund regionaler Besonderheiten der Zusammenhang zwischen Gerätekonfiguration und registrierten Maximalwerten unverkennbar abzeichnete. Für den Einsatz an Walen sind die bisherigen Befunde noch zu sporadisch, um vergleichend wichten zu können. Hier bildet jeder Einzelbefund noch einen wissenschaftlichen Meilenstein. Die Möglichkeiten zur Beurteilung und Minimierung methodischer Einflüsse unter Einsatzbedingungen im offenen Meer sind sehr begrenzt. Verhaltensbeobachtungen können Anhaltspunkte liefern, sind in der

Regel jedoch eher zufällig, meist auch sehr subjektiv und auf den oberflächennahen Bereich begrenzt. Eine echte wissenschaftliche Alternative bilden vorbereitende Experimente mit Tieren in Ozeanarien bzw. mit zahmen, für den Freiwassereinsatz trainierten Walen. Hier gibt es erste positive Ansätze (siehe Sonntag et al. in diesem Band), die Möglichkeiten sind jedoch längst nicht ausgeschöpft. So fehlen z. B. bewegungskinematische und hydrodynamische Untersuchungen noch völlig.

Gerade die Wale, und hier speziell die Delphine, gelten als Paradebeispiel für strömungsdynamisch perfekt angepaßte Lebewesen, die die Forscher unterschiedlichster Profession spätestens seit den Untersuchungen von Sir JAMES GRAY (1936) in Atem halten. Gray hatte festgestellt, daß die Delphine zum Erreichen der vergleichsweise hohen Geschwindigkeiten etwa 7 - 8 mal weniger Energie verbrauchen, als nach Berechnungen für starre Strömungskörper erforderlich wäre. Auch wenn durch eine Vielzahl neuerer Studien das Gray'sche „Delphin-Pradoxon“ etwas relativiert werden konnte, beginnen wir gerade erst, das perfekte Zusammenspiel von Antriebs- und widerstandsreduzierenden Mechanismen zu verstehen. So wurden von Gray die Wirkungsgrade der Muskulatur und der Schwanzflosse unterschätzt (FISH & HUI, 1991). Auch spielt im Fall der Delphine und sicherlich der Wale allgemein die Laminarhaltung der wandnahen Körperumströmung eine entscheidende Rolle bei der Reduzierung der Schwimmkosten. Dabei greifen Körperform, instationäre Effekte infolge Rumpfschwingungen und Flossenschlag (ROMANENKO, 1994), Dämpfung mittels der elastischen Haut (KRAMER, 1960; CARPENTER, 1989; BABENKO et al., 1993) und möglicherweise auch reibungsvermindernde Effekte von in der Tränenflüssigkeit enthaltenen langfädigen Molekülverbindungen (Polymere) (USKOVA et al., 1975) ineinander.

Durch das Anbringen externer Geräte wird dem Tier nicht nur ein zusätzlicher Widerstand aufgebürdet, es kann darüber hinaus das gesamte, in millionenjähriger Evolution diffizil abgestimmte Gefüge der Widerstandsverminderung empfindlich gestört werden. Sicher kommen Delphine und Wale auch noch recht gut vorwärts, wenn sie mit auf Sätteln montierten und mit Bauchgurten befestigten Gerätschaften bepackt sind. Es ist allgemein bekannt, daß sowohl die US-amerikanischen als auch die russischen Militärs die nicht unerheblichen Leistungsreserven dieser Tiere für ihre Zwecke zu nutzen wußten. Allerdings lassen sich mit einer solchen Herangehensweise schwerlich ökologisch relevante Daten über das natürliche Verhalten und den Energiebedarf der Wale in ihrem angestammten Lebensraum gewinnen. Vielmehr liegt es im ureigensten Interesse der Ökologen und Zoologen, ihre Techniken so auszulegen und zu verbessern, daß die physischen und zeitlichen Belastungen für die Tiere größtmöglich minimiert werden.

Ein erster, wesentlicher Schritt in dieser Richtung war

(wie auch in der Ornithologie, vergl. KENWARD, 1987) die Verabschiedung von allen Riemen und jeglichem Gurtzeug, welche - strömungstechnisch gesehen - rumpfumspannende Turbulenzgeneratoren verkörpern, die den Strömungswiderstand der Tiere wahrscheinlich mehr beeinflussen als die Geräte selbst. Die Befestigung der Sonden auf der glatten Haut mittels Saugnäpfen gelingt allerdings nur kurzzeitig und wird von den Tieren zwar toleriert, aber nicht immer gut vertragen. Klebetechniken versagten bisher, da die Epidermis bei Walen ständig erneuert wird (KEBKAL pers. Mitt.). So bleibt als derzeit einzige Alternative die Verankerung im Bindegewebe der Körperanhänge (Flossen). Aus Symmetriegründen und auch, um - im Fall von Sendern - während des Auftauchens ein Funksignal abstrahlen zu können, bietet sich dafür die Rückenfinne an. Die Befestigung mittels medizinisch verträglicher Stifte hat sich bewährt (WESTGATE et al., 1995; READ & WESTGATE, 1996). Die dazu erforderlichen Perforationen der Rückenfinne bedeuten, sofern sie sachkundig ausgeführt werden, sicherlich keinen größeren chirurgischen Eingriff als das Stechen von Ohrlöchern bei Menschen, zumal im letzten Fall in der Regel nicht einmal Lokalanästhetika eingesetzt werden. Etwas unbefriedigend ist derzeit noch der Einsatz von Magnesium-Muttern, über deren Korrosionszeit das Ablösen der Geräte vom Tierkörper am Ende der Mission gesteuert wird. An Mechanismen, die ein kontrolliertes Abkoppeln (etwa durch ein vorprogrammiertes Signal getriggert) ermöglichen, wird jedoch gearbeitet.

Generell liegen für den Einsatz externer Sender und/oder Fahrtenschreiber an Walen sowohl der Ort als auch die Art der Befestigung fest. Auch aus hydrodynamischer Sicht sind keine Alternativen erkennbar. Weiter vorn am Körper würden die sich hinter dem Fremdkörper keilförmig ausbreitenden Störungen die Rumpfumströmung noch großflächiger beeinträchtigen. Möglicherweise könnte bei sehr kleinen und ähnlich den Schiffshalterfischen geformten Geräten auf Grund des Druckabfalls entlang des Rumpfvorderteils ein laminares Wiederanlegen der Strömung (siehe SCHLICHTING, 1982) erreicht werden, doch das ist bei den heutigen Dimensionen der Sender, insbesondere beim Einsatz an den kleinen Schweinswalen, indiskutabel. Bei den Walen entfällt wegen der

Abb. 1: Abgußmodell eines Schweinswales im Rauchwindkanal, Anströmgeschwindigkeit 6 m/s.



Schwanzbewegungen auch die bei Pinguinen erfolgreich genutzte Methode, externe Fahrtenschreiber möglichst weit im caudalen Bereich des Rückens anzuordnen, wo die Grenzschicht ohnehin turbulent ist. Bleibt also nur die Rückenfinne. Die liegt bei den Schweinswalen jedoch kurz hinter der Stelle des größten Rumpfdurchmessers und bildet den höchsten Punkt der Rückenkontur. Infolge der Verdrängungswirkung des Körpers treten in diesem Bereich Übergeschwindigkeiten auf. Es ist strömungstechnisch nicht unproblematisch, ausgerechnet an dieser Stelle einen Fremdkörper zu plazieren, da der Strömungswiderstand proportional mit dem Quadrat der Geschwindigkeit anwächst. Hinzu kommt bei dieser Anordnung noch, daß auch die Stirnfläche des Gerätes - um nur einen Parameter herauszugreifen - als vollständiger Anteil in die hydrodynamisch wirksame Gesamtquerschnittsfläche eingeht. Maßnahmen zur Widerstandsreduzierung sind hier deshalb besonders wichtig.

Daß die Geräte so klein wie möglich gehalten werden müssen, liegt auf der Hand. Im Wasser spielt ihr Gewicht nur eine untergeordnete Rolle, da es weitestgehend durch den hydrostatischen Auftrieb kompensiert wird. Nun gibt es aber für die Miniaturisierung z. B. von leistungsstarken Sendern und deren Stromversorgung neben den technologischen auch physikalische Grenzen. Um so erstaunlicher sind die Fortschritte, die z. B. bei den Satellitensendern in den letzten Jahren gemacht wurden. Allerdings werden die diesbezüglichen Erfolge oftmals durch zusätzliche Funktionen, die im Interesse einer komplexeren Datenerfassung implementiert werden, wieder aufgezehrt. Der Anwender muß natürlich auch abwägen, in welchem Verhältnis der wissenschaftliche Nutzen zu dem Streß steht, der den Tieren durch den Fang und das Anbringen der Geräte zugemutet werden kann. Als Konsequenz dieses Widerstreites werden die Geräte zwar perfekter, aber kaum kleiner. Angesichts der brennenden Fragen, auf die die Meeresbiologen nicht zuletzt im Interesse der Arterhaltung Antworten suchen, kann nicht auf künftige Entwicklungsschübe etwa aus dem Bereich der Nanotechnologie gewartet werden. Ein sachkundiges Ökomanagement muß frühzeitig beginnen, und dazu werden qualifizierte Befunde benötigt.

Abb. 2: Schweinswalmodell mit Senderatrasse im Rauchwindkanal, Anströmgeschwindigkeit 6 m/s.



Nun wird der von den Geräten generierte schädliche Strömungswiderstand nicht nur von deren Größe, sondern in entscheidendem Maße auch von deren Form bestimmt (vergl. OBRECHT et al., 1988, BANNASCH et al., 1994). In der strömungsdynamischen Formgebung in Anpassung an die Körperumströmung liegt derzeit zweifellos das größte Optimierungspotential. Meine Aufgabe bestand nun darin, im Vorfeld von Tests an lebenden Schweinswalen (*Phocoena phocoena*) in Laborversuchen ein widerstandsarmes Gehäuse für den Einsatz einer Kombination aus Satellitensender und Time-Depth-Recorder (TDR) zu entwickeln. Dabei sollten zusätzliche Momente in vertikaler und horizontaler Richtung möglichst vermieden werden und die volle Beweglichkeit des Tieres erhalten bleiben. Außerdem muß gewährleistet werden, daß die Rückenfinne in ihrer Funktion als thermoregulatorisches Organ nicht vollständig blockiert wird.

Modellherstellung und Windkanalversuche

Vom Forschungs- und Technologiezentrum Westküste der Universität Kiel wurden mir zwei als Beifang in Fischernetzen verwendete Schweinswale zur Verfügung gestellt. Das besser erhaltene Exemplar (Körperlänge 1,23 m) wurde am Schwanz hängend bei minus 20 °C eingefroren, um es ohne Verdrückungen in einer dem Gleitschwimmen ähnlichen Körperhaltung zu fixieren. Anschließend wurde in Zusammenarbeit mit Jürgen Fiebig, Präparator am Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität zu Berlin, entsprechend der von BANNASCH & FIEBIG (1992) beschriebenen Methode ein Abgußmodell des Schweinswals aus glasfaserverstärktem Polyesterharz hergestellt. Die maximale Querschnittsfläche des Modellkörpers betrug $A = 0,05287 \text{ m}^2$, der mittlere Durchmesser an der betreffenden Stelle $D = 0,2594 \text{ m}$. Von dem Modell wurden die Brustflossen und die Fluke abgetrennt, um bei den späteren Widerstandsversuchen Meßwertverfälschungen durch eventuelle Querkräfte an diesen großflächigen Steuerorganen auszuschließen. In die Längsachse des Modellkörpers wurde eine 25 mm starke Rundstange aus Stahl eingebaut, die im Windkanal als Halterung und im Wasserkanal zur Befestigung an der Widerstandswaage diente. Mit einer freien Länge von 0,65 m gewährleistete die Stange einen ausreichenden Abstand des Modells von der Aufnahme, bei dem die Körperumströmung nicht durch Rückstaueffekte beeinträchtigt wurde.

Da Störungen der Körperumströmung bei niedrigen Reynoldszahlen am deutlichsten erkennbar sind, wurden die ersten Versuche im Rauchwindkanal durchgeführt. Die Sichtbarmachung der Stromlinien erfolgte mittels einer Rauchdrahtsonde (LEDER & GEROPP, 1988). Bei diesem Verfahren wird vor dem Modell ein dünner Draht (Durchmesser 0,3 mm) vertikal gespannt und mit Paraffinöl (Odina 17) benetzt. Bei Erhitzen des Drahtes auf ca. 200 °C durch einen elektrischen Stromstoß von 4 A läuft das Öl zu kleinen Tröpfchen zusammen, die dann verdampfen und im Luftstrom eine dünne Schicht paralleler Rauchlinien erzeugen. In der betreffenden Schnittebene kann nun die Körperumströmung qualitativ beurteilt werden. Bedauerlicherweise funktioniert diese Methode aber nur bis zu einer Anströmgeschwindigkeit von maximal 7 m/s,

darüber hinaus sind die Rauchfäden nicht mehr erkennbar. Nach dem Reynolds'schen Ähnlichkeitsgesetz entspricht diese Geschwindigkeit lediglich 0.47 m/s in Wasser und reicht auch nicht aus, um Strömungsablösungen am Heck des Modellkörpers zu vermeiden. Die Rückenfinne wird jedoch noch glatt umströmt (Abb.1), so daß diese Methode durchaus für die beabsichtigte Optimierung geeignet war.

Von der Elektronikfirma, die das Innenleben der Telemetriegeräte entwickelte, erhielt ich die genauen Abmaße der einzelnen Baugruppen. Von jedem Detail wurde ein form- und größenidentisches Replik aus Plastik hergestellt. Schritt für Schritt wurden diese Komponenten nun mittels doppelseitigem Klebeband beidseits der Rückenfinne des Walmodells befestigt, wobei unter ständiger visueller Kontrolle im Rauchwind die jeweils strömungsgünstigste Anordnung gesucht wurde. Um örtliche Verwirbelungen besser aufspüren zu können, wurde zusätzlich zum Rauchdraht noch ein abgewinkeltes Kapillarröhrchen eingesetzt, durch das ein feiner Rauchfaden gezielt in die betreffenden Stellen eingeblasen werden konnte. Da das menschliche Auge zu träge ist, um die Prozesse ausreichend genau auflösen zu können, wurden Videoaufnahmen mit kurzen Belichtungszeiten (1/250 bzw. 1/1000 s) angefertigt und der Einzelbildanalyse unterzogen.

Nachdem die günstigste Anordnung der Bauteile (mit geringster Verwirbelung im Nachlauf) gefunden worden war und auch die ungefähren Maße für die Gesamtkonfiguration feststanden (der tierseitige Umriß wurde an der Finne eingezeichnet), wurden die Klebestreifen entfernt und durch eine ca. 5 mm dicke Plastilinschicht ersetzt, die den Innenteil des späteren Gehäuses einschließlich einer möglicherweise erforderlichen Neoprenschiicht (zur Vermeidung von Scheuerstellen) simulieren sollte. Anschließend wurde die vorherige Anordnung wiederhergestellt und nochmals im Rauchwindkanal fein korrigiert. Im nächsten Arbeitsgang wurden alle Zwischenräume mit Plastilin aufgefüllt und zusätzlich eine dünne oberflächliche Schicht aufgetragen, so daß sich eine glatte Oberfläche ergab und alle Bauteile bedeckt waren. Damit war der Kernteil des späteren Gerätes fertiggestellt. Durch weiteren Plastilinauftrag, ständiges Nachformen und Glätten konnte nun an der Verbesserung der äußeren, strömungsdynamisch wirksamen Form gearbeitet werden. Im Resultat dieses „Feinschliffs“ ergab sich eine entsprechend der Rückenkontur des Wales leicht gekrümmte Form mit einem relativ lang ausgezogenen Heck. Zwar konnte insbesondere im letzten Arbeitsgang die Wirbelschleppe im Nachlauf des Gerätes deutlich reduziert werden, sie war jedoch (zumindest unter den Anströmverhältnissen im Windkanal) nicht vollständig wegzubekommen (Abb. 2). Leider können die in Abbildung 1 und 2 dargestellten Fotos als zufällige Momentaufnahmen nur ein unvollkommenes Bild von den dynamischen Strömungsverhältnissen wiedergeben. Unterhalb des Modells markieren große Wirbel die Grenze zwischen der Windkanalströmung und der ruhenden Luft. Sie hatten jedoch keinen Einfluß auf die von uns betrachtete Region.



Abb. 3 a, b: An einem Tierkörpermodell im Rauchwindkanal strömungsdynamisch optimierte Form eines Telemetrie-gerätes zur Befestigung an der Rückenfinne von Schweinswalen (verschiedene Ansichten).

Von dem Plastilinmodell des künftigen Gerätes wurde über ein Zwischennegativ aus Silikonkautschuk ein originalgetreues Abgußmodell (Abb. 3) aus Polyesterharz hergestellt (Länge: 210 mm, maximale Höhe: 45 mm, maximale Breite inklusive Aussparung für die Rückenfinne: 61 mm, maximale Breite der Halbseiten von der Rückenfinne aus gemessen: jeweils 2 cm, Stirnfläche nach Abzug der Aussparung für die Rückenfinne: 13 cm²). Dieses Duplikat diente als Stempel für die Anfertigung von Gehäuseschalen, die nun im thermischen Tiefdruckverfahren aus 1 mm starkem, schwarzem (bzw. glasklarem - für ein erstes Einbaumuster) PVC-Material in Serie gefertigt werden konnten. Zuvor sollte jedoch an dem Schweinswalmodell im Wasserkanal die geräteinduzierte Widerstandserhöhung quantitativ bestimmt werden.

Widerstandsmessungen im Wasserkanal

Die Widerstandsmessungen wurden in Zusammenarbeit mit Herrn Götz im großen Umlauftank der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau der Technischen Universität Berlin durchgeführt (Abb. 4). Die Abmessungen der Meßstrecke sind: Länge: 10 m; Breite: 5 m; Wassertiefe: einstellbar zwischen 1 und 3

Abb. 4: Versuchsvorbereitung für Widerstandsmessungen im Wasserkanal



m, für unsere Versuche wurden 1,5 m eingestellt. Die Dichte des Tankwassers betrug $\rho = 999,3 \text{ kg/m}^3$, die kinematische Zähigkeit, die stärker von der Temperatur abhängt (im Tank wurde eine Wassertemperatur von 12,4 - 13,1 °C gemessen) lag im Bereich von $\nu = 1,221 \cdot 10^{-6} - 1,198 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. In dem Kanal konnten während unserer Versuche Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 7 m/s gefahren werden. Wegen eines technischen Defektes mußte die zweite Meßreihe jedoch bei 6 m/s abgebrochen werden. Damit war jedoch der Geschwindigkeitsbereich, in dem sich die Schweinswale bewegen, mehr als abgedeckt. Die Tiere sind keine Schnellschwimmer. CURREN et al. (1994) registrierten bei bewegungskinematischen Studien im Außenbecken des New England Aquariums eine Maximalgeschwindigkeit von knapp 2 m/s. Aus freier Wildbahn sind mir keine exakten Daten bekannt. Für die Widerstandsmessung wurde das Schweinswalmodell mittels der Heckstange an einer Tiefeschleppwaage befestigt und auf halbe Wassertiefe abgesenkt, d. h. der Abstand der Körpermittellachse zur Wasseroberfläche betrug 0,75 m. Der Abstand zwischen Körpervorderkante und Meßstreckeneintritt betrug 5,26 m. Um Meßwertschwankungen infolge des relativ hohen Turbulenzfaktors ($T. F. = 2.0$, ermittelt aus Widerstandsmessungen mit Kugeln und Vergleich der kritischen Reynoldszahl im Kanal mit der in ruhender Luft) auszugleichen, wurden pro Geschwindigkeitsstufe 260 Meßwerte erfaßt und gemittelt. Die Anströmgeschwindigkeit wurde von 1 m/s in Schritten von jeweils +0,5 m/s bis auf den o. g. Maximalwert erhöht.

In der ersten Versuchsreihe bestimmten wir die Widerstandscharakteristik des Modellkörpers ohne Gerät. Danach wurde die Senderattrappe auf die Rückenfinne geschoben, mit zwei Messingstiften arretiert und der Meßvorgang wiederholt. Die Meßergebnisse sind in Abb. 5 graphisch dargestellt. Obwohl sich die Gesamtstirnfläche durch den Zusatzkörper nur um 2,5 % vergrößerte, ergab sich bei $v = 1 \text{ m/s}$ eine Widerstandserhöhung um 31 %. Bei 1,5 m/s fiel dieser Wert jedoch auf 17,2 % ab und pendelte sich dann mit zunehmender Anströmgeschwindigkeit auf einen Mittelwert von 18 % ein. Angesichts der eingangs erwähnten Problematik hinsichtlich der Anordnung in der Nähe des maximalen Rumpfquerschnitts und des nicht unbeträchtlichen Volumens des Gerätes, halte ich das für ein überraschend positives Ergebnis.

Als interessantes Nebenergebnis konnten bei stationären Anströmverhältnissen für den starren Schweinswalkörper ohne Brust- und Schwanzflossen und ohne elastische Haut die c_{wf} -Werte bestimmt werden.

$$c_{wf} = 2W / \rho v^2 A$$

W Widerstand in N, ρ Dichte des Wassers in kg/m^3 ,
 v Anströmgeschwindigkeit in m/s,
 A Stirnprojektionsfläche des Körpers in m^2 .

In Abb. 6 wurden die stirnflächenbezogenen Werte (c_{wf}) über der Reynoldszahl Re_D aufgetragen. Aus Konsistenzgründen wurde die Reynoldszahl, die sich aus der Beziehung $Re = v l / \nu$ (v Anströmgeschwindigkeit, l charakteristische Länge, ν kinematische Zähigkeit des Fluids) errechnet, auf den Rumpfdurchmesser D bezogen.

Die durchweg sehr niedrigen c_{wf} -Werte, die mit zunehmender Anströmgeschwindigkeit von 0,0492 bei 1 m/s ($Re_D = 2,12 \cdot 10^5$) auf 0,0353 bei 7 m/s ($Re_D = 15,15 \cdot 10^5$) abfielen, belegen eine strömungsdynamisch sehr günstige Ausformung des Modellkörpers. Sie liegen etwas höher als bei den Pinguinkörpern, die wir in früheren Versuchen vermessen konnten (BANNASCH, 1995), jedoch im Bereich der Bestwerte, die in ähnlichen Versuchen mit Modellen unterschiedlicher Kleinwalarten von anderen Autoren erzielt wurden (siehe z. B. ROMANENKO, 1995). Spätestens ab einer Anströmgeschwindigkeit von 2,5 m/s ($Re_D = 5,31 \cdot 10^5$) zeigt die Widerstandscharakteristik einen für optimal ausgeformte und ablösungsfrei turbulent umströmte Körper typischen Verlauf (vergl. HOERNER, 1965).

Es ist jedoch allgemein bekannt, daß Schleppversuche mit toten Tieren oder Abgußmodellen nur vage Anhaltspunkte für die tatsächlichen hydrodynamischen Errungenschaften dieser Lebewesen liefern können. Lebende Tiere können ihre Körperform nicht nur wechselnden Strömungsbedingungen anpassen, sondern auch eine erhebliche Widerstandsreduzierung durch Nutzung instationärer Effekte, z. B. in den Beschleunigungsphasen beim aktiven Schwimmen, erzielen (ROMANENKO, 1994). Davon war ebenso wie von der nach wie vor geheimnisumwitterten elastischen Delphinhaut eingangs schon die Rede. Anzumerken ist jedoch, daß die phänomenale Widerstandsreduzierung, die KRAMER (1960) angeblich mittels einer künstlichen Delphinhaut an technischen Rotationskörpern im offenen Meer erzielt haben will, bisher weder praktisch noch theoretisch nachvollzogen werden konnte. Daß mittels einer elastischen Oberfläche der laminar-turbulente Umschlag in der Grenzschicht herausgezögert und auch die Turbulenzstruktur beeinflußt werden kann, hat sich jedoch bestätigt. Nur sehen die neueren Theorien etwas anders aus, als sie sich KRAMER (1960) vorstellte (z. B. CARPENTER, 1989 oder auch BABENKO et al., 1993). Leider blieben die praktischen Erfolge eher moderat. In der ehemaligen UdSSR sollen angeblich 30 - 40 % Widerstandsreduzierung erreicht worden sein (SEMENOV, pers. Mitteilung), eine Bestätigung durch unabhängige Wissenschaftler steht aber noch

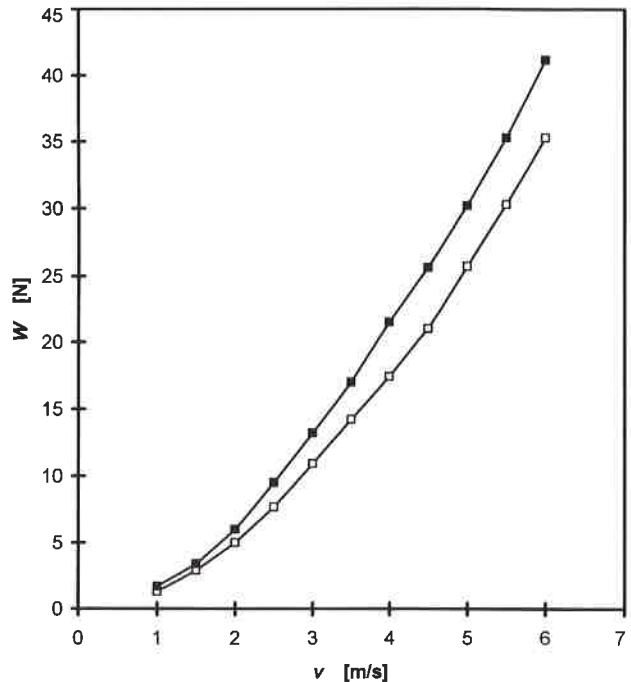
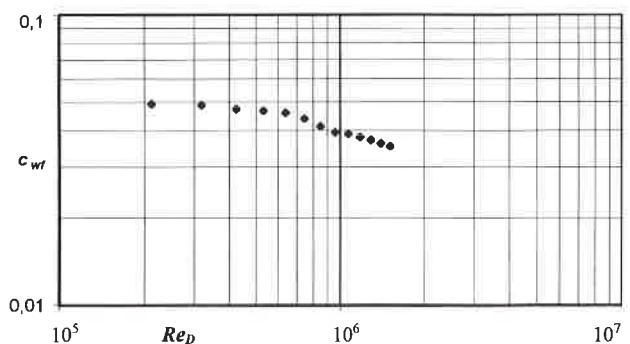


Abb. 5: Strömungswiderstand W in N des Abgußmodells eines Schweinswales mit (schwarze Kästchen) und ohne (offene Kästchen) Gerät in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit v in m/s in Süßwasser ($\rho = 999,3 \text{ kg/m}^3$).

aus. Vielleicht sind aber die Wale und Delphine wesentlich bessere Strömungsexperten als die menschlichen Techniker. Unklar ist auch, ob - wie USKOVA et al. (1975) experimentell nachzuweisen versuchten - die in der Tränenflüssigkeit enthaltenen Polymerverbindungen für die Widerstandsreduzierung bei Walen praktische Relevanz haben. Ich möchte an dieser Stelle die betreffenden Laborbefunde jedoch kurz nennen, weil sie sich auf die Tränenflüssigkeit von unseren Studienobjekten, den Schweinswalen, beziehen. In einem Rotationsprüfstand haben die Autoren untersucht, welchen Effekt die Zugabe von Tränenflüssigkeit zum Wasser auf die Wandreibung hat. Bei einer Reynoldszahl von $6 \cdot 10^5$ registrierten sie einen im Vergleich zu reinem Wasser um 15 % verminderten turbulenten Reibungswiderstand. Dabei betrug

Abb. 6: Stirnflächenwiderstandsbeiwerte c_{wf} (dimensionslos) des Schweinswalmodells. Die Reynoldszahl Re_D (dimensionslos) bezieht sich auf den Rumpfdurchmesser des Modells.



die Konzentration der Trockensubstanz $2,4 \cdot 10^{-4} \%$ und die der Eiweißfraktion $8 \cdot 10^{-4} \%$. Mir zumindest war bisher nur bekannt, daß Fischschleim eine solche Wirkung hat. Untersuchungen zur widerstandsvermindernden Wirkung von fischschleimähnlichen synthetischen Polymerverbindungen gehören seit langem zu den Standardexperimenten des Bionik-Praktikums, das wir mit unseren Studenten durchführen. Dabei werden in Fallversuchen mit Strömungskörpern im Wasserturm ähnliche Ergebnisse bei fast den gleichen Konzentrationen erzielt. Über den eigentlichen Effekt gibt es keine Zweifel. Bezüglich der Schweinswale erhebt sich allerdings die Frage, ob die Tiere beim Schwimmen weinen (was hier natürlich nicht emotional gemeint ist) und, falls ja, wie effektiv sich die Tränenrüsensekrete über der Körperoberfläche verteilen können. Fakt ist jedenfalls, daß wir keinen der o. g. Effekte in unserer hier zur Rede stehenden Studie berücksichtigen konnten.

Unberücksichtigt blieb bisher auch die Antenne des Satellitensenders. Deren Auslegung war zum Zeitpunkt der Optimierung der Gehäuseform noch nicht klar. Da eine aufrecht stehende Antenne als quer angeströmter Zylinder einen sehr schlechten c_w -Wert hat, andererseits aber ein besseres Profil zum Flattern neigt, war mein Vorschlag, die Antenne aus einem möglichst dünnen Federstahldraht zu fertigen, der entweder völlig, zumindest jedoch am Gehäuseübergang ausreichend elastisch sein sollte, um sich im Wasser in Strömungsrichtung auszurichten. Da die Antenne sich dann im Nachlauf von Gerät und Rückenfinne befinden würde, dürfte ihr Einfluß auf den Gesamtwiderstand zu vernachlässigen sein. Falls das auf technische Schwierigkeiten stoßen sollte, war - als Alternative - über einen möglichst flachen Anstellwinkel in Kombination mit einer schlanken Profilierung nachzudenken.

Hinsichtlich der quantitativen Beurteilung der Geräteinflüsse auf die Schwimmleistungen und Energetik von Schweinswalen befinden wir uns trotz unserer Messungen somit noch auf sehr unsicherem Terrain. Abgesehen von den eher ungünstigen Prognosen, die man aus den eben diskutierten Faktoren ableiten könnte, ist mit Sicherheit anzunehmen, daß sich die Tiere auf die Zusatzkörper einstellen und in gewissen Grenzen Störungen ausgleichen können. Bei unseren Pinguinversuchen haben wir diesbezüglich recht positive Erfahrungen gemacht. Nachdem wir in einem, der hier beschriebenen Vorgehensweise sehr ähnlichen Verfahren die geräteinduzierte Widerstandserhöhung allein durch Optimierung von Form und Befestigung der betreffenden Fahrtenschreiber von ursprünglich 60 - 100 % auf 15 - 20 % senken konnten, ergaben spätere stoffwechselfysiologische Untersuchungen an lebenden Pinguinen im Schwimmkanal eine Erhöhung der metabolischen Leistung um lediglich 5,6 % (vergl. BANNASCH et al., 1994; CULIK et al., 1994). Beim Flügelschwimmen der Pinguine treten jedoch - anders als bei den schwanzangetriebenen Walen - kaum Rumpfschwingungen auf (BANNASCH, 1995). Deshalb kann eine objektive Einschätzung erst im Rahmen der Feldversuche mit lebenden Schweinswalen vorgenommen werden.

Literatur:

- BABENKO, V. V., M. V. KANARSKIJ & V. I. KOROBOW (1993): Die Grenzschicht an elastischen Platten. Naukova Dumka, Kiew (in Russisch).
- BANNASCH, R. (1995): Hydrodynamics of Penguins - an experimental Approach. In *The Penguins, ecology and management*. (eds. P. Dann, I. Norman I. & P. Reilly). Sydney: Surrey Beatty, 141 - 176.
- BANNASCH, R. & J. FIEBIG (1992): Herstellung von Pinguinmodellen für hydrodynamische Untersuchungen. Präparator 38, 1 - 5.
- BANNASCH, R., R. P. WILSON & B. CULIK (1994): Hydrodynamic aspects of design and attachment of a back-mounted device in penguins. *J. exp. Biol.* 194, 83 - 96.
- CARPENTER, P. W. (1989): Status of transition delay using compliant walls. In *Viscous drag reduction in boundary layer*. (eds. D. M. Bushnell & J. N. Hefner), Vol. 123, of progress in *Astronautics and Aeronautics*, AIAA, Washington, DC, 79 - 113.
- CASTELLINI, M. A., G. L. KOOYMAN & P. J. POGANIS (1992): Metabolic rates of freely diving Weddell seals: correlations with oxygen stores, swim velocity and dive duration. *J. exp. Biol.* 165, 181 - 194.
- CULIK, B. M., R. BANNASCH & R. P. WILSON (1994): External devices on penguins: how important is shape? *Mar. Biol.* 118, 353 - 357.
- CURREN K., N. BOSE & J. LIEN (1994): Swimming kinematics of a Harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) and an Atlantic white-side dolphin (*Lagenorhynchus acutus*). *Marine Mammal Science*, 10 (4), 485 - 492.
- FISH F. E. & C. A. HUI (1991): Dolphin swimming - a review. *Mamm. Rev.* 21, 181 - 195.
- GRAY, J. (1936): Studies in Animal Locomotion. VI The Propulsive power of the Dolphin. *J. exp. Biol.* 13, 192 - 199.
- HOERNER, S. F. (1965): *Fluid-Dynamic Drag*. 2nd edition. Bricktown, New Jersey: Hoerner, S. F.
- KENWARD, R. (1987): *Wildlife Radio Tagging*. London: Academic Press.
- KOOYMAN, G. L., Y. CHEREL, Y. LE MAHO, J. P. CROXALL, P. H. THORSON, V. RIDOUX & C. A. KOOYMAN, (1992a): Diving behavior and energetics during foraging cycles in King Penguins. *Ecol. Monogr.* 62, 143 - 163.
- KOOYMAN, G. L., P. J. POGANIS, M. A. CASTELLINI, E. P. POGANIS, K. V. POGANIS, P. H. THORSON, S. A. ECKERT & Y. LE MAHO (1992b): Heart rates and swim speeds of Emperor penguins diving under sea ice. *J. exp. Biol.* 165, 161 - 180.
- KRAMER, M. O. (1960): Boundary-layer stabilization by distributed damping. *Journal of the Society of Naval Engineers*, 74, 25 - 33.
- LEDER, A. & D. GEROPP (1988): Visualisierung von Gasströmungen mit der Rauchdraht-Technik. In *2D-Meßtechnik* (ed. K.-A. Bütetisch, P. Dick, & B. Ewald), pp. 67-78. Bonn: DGLR-Bericht 88-04.
- MARTIN, A. R. & T. G. SMITH (1992): Deep diving in wild, free-ranging beluga whales *Delphinapterus leucas*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49, 462 - 466.
- OBRECHT III, H. H., C. J. PENNYCUICK & M. R. FULLER (1988): Wind tunnel experiments to assess the effect of back-mounted radio transmitters on bird body drag. *J. exp. Biol.* 135, 265 - 273.
- READ A. J. & A. J. WESTGATE (1996): Habitat utilization of harbour porpoises in the Bay of Fundy as determined by satellite telemetry. Report of the Endangered Species Recovery Fund World Wildlife Canada.
- ROMANENKO, E. V. (1994): Hydrodynamik der Delphine. *Uspechi sovremennoj biologii*, 114 (3), 283 - 303 (in Russisch).
- ROMANENKO, E. V. (1995): Einschätzung des Schubes und des Widerstandsbeiwertes von Delphinen. *Uspechi sovremennoj biologii*, 115 (1), 50 - 57 (in Russisch).
- SCHLICHTING, H. (1982): *Grenzschicht-Theorie*. Karlsruhe: Verlag G. Braun.
- USKOVA, E. T., V. C. RAEVSKIJ, L. I. MOMOT & I. A. USKOV (1975): Vergleichende Untersuchung der hydrodynamischen Effektivität von Polyethylenoxidlösungen und Hautsekreten von Meerestieren. *Bionika 9, Naukova Dumka, Kiew*, 90 - 92 (in Russisch).
- WESTGATE A. J., A. J. READ. & P. BERGGREN (1994): Diving behaviour of harbour porpoises, *Phocoena phocoena*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52, 1064 - 1073.
- WILSON, R. P., W. S. GRANT & D. C. DUFFY (1986): Recording devices on free-ranging marine animals: does measurement affect performance? *Ecology* 67, 1091 - 1093.
- WILSON, R. P. & B. M. CULIK (1992): Packages on Penguins and device-induced Data. In *Wildlife Telemetry. Remote monitoring and tracking of animals* (ed. I. G. Priede & S. M. Swift), pp. 573 - 580. New York: Ellis Horwood.

Telemetrie bei Robben: Beispiele angewandter Forschung

E. H. Ries

Robben sind Meeressäuger, die zwar ähnlich wie Wale und Delfine als spezialisierte Taucher ihre Nahrung unter Wasser erbeuten, im Gegensatz zu diesen jedoch regelmäßig an Land kommen und dort auch ihre Jungen zur Welt bringen und aufziehen. Diese Lebensweise der Robben wird als semi-aquatisch bezeichnet.

Die verschiedenen Robbenarten haben die unterschiedlichsten Muster der Nutzung von Wasser und Land entwickelt, wobei der Landaufenthalt für einige Lebensäußerungen zwingend notwendig ist, für andere dagegen nur fakultativ. Bei der Geburt und während der Sägezeit ist der Aufenthalt außerhalb des Wassers für Robben unerlässlich. Fakultativ dagegen wird das Land zum Beispiel für Ruhephasen, soziale Interaktionen und zur Förderung des Haarwechsels durch Fellpflege genutzt. Seehunde im Wattenmeer kommen in den Sommermonaten zumeist täglich zu den trockenfallenden Sandbänken. Andere Arten wie zum Beispiel die See-Elefanten verbringen den Großteil des Jahres auf hoher See und kommen dann zu einem mehrere Wochen dauernden Landaufenthalt an die Küste. Einige Arten bilden an Land große Rudel, die mehrere Hundert Tiere umfassen können (KING, 1983).

Robben stehen als Top-Prädatoren an der Spitze der Nahrungskette und sind daher besonders anfällig gegenüber Störungen innerhalb der Nahrungskette (z. B. als Folge von Überfischung) und gegenüber Umweltverschmutzung. Außerdem werden Robben im allgemeinen sehr spät, d. h. frühestens mit etwa vier Jahren geschlechtsreif und gebären nur ein Junges pro Jahr. Sie gehören damit zu den sogenannten K-Strategen, die zwar wenige Nachkommen produzieren, aber viel Energie und Sorgfalt in deren Aufzucht investieren. Diese Strategie verringert zwangsläufig die Regenerationsfähigkeit von Populationen nach Bestandseinbrüchen.

Über Jahrhunderte hinweg wurden Robben intensiv bejagt. Die traditionelle Gewinnung von Fleisch, Tran und Fellen durch ursprüngliche Gesellschaften von Küstenbewohnern wurde zunehmend abgelöst durch Massenabschlachtungen zur Belieferung der Pelzindustrie und zur Eliminierung von vermeintlichen Fischereischädlingen. Für erlegte Robben wurden vielerorts sogar Abschußprämien bezahlt. Dies führte schließlich zu einer drastischen Reduzierung vieler Bestände (HARDER, 1995; REIJNDERS, 1992). Eine Reihe von Arten, wie zum Beispiel die Mittelmeer-Mönchsrobbe (*Monachus monachus*), die Nördlichen und Südlichen See-Elefanten (*Mirounga angustirostris* und *Mirounga leonina*) sowie die Pelzrobben, sind ernsthaft gefährdet oder vom Aussterben bedroht. Obwohl dem Tier- und Artenschutzgedanken mittlerweile zunehmend Bedeutung beigemessen wird, drohen den Robben in jüngster Zeit zusätzliche Gefahren durch die Zerstörung von Lebensräumen, Umweltverschmutzung und Störungen unterschiedlichster Art (REIJNDERS, 1988; REIJNDERS et al., 1990).

Der vorliegende Beitrag stellt beispielhaft drei aktuelle

Projekte aus dem Bereich der angewandten Forschung bei Robben vor. Dabei wird dargestellt, wie der Einsatz moderner Technologie in der Form von Radiotelemetrie Einblicke in Verhalten, Habitatnutzung und Populationsbiologie der Tiere ermöglicht. Neben Erkenntnissen für die Grundlagenforschung werden diese Informationen vor allem auch praxisorientiert für die Erarbeitung von Natur- und Artenschutzprogrammen genutzt.

Die Methode der Radiotelemetrie

Durch die Entwicklung der Radiotelemetrie ist es heute möglich, Daten über die Robben zu sammeln, die über die reine Beobachtung und Zählung der Tiere an Land hinausgehen. Das Prinzip der Telemetrie - wörtlich „Messen auf Abstand“ - basiert auf der Informationsübertragung zwischen einem Sende- und einem Empfangsgerät mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen. Dazu wird ein Tier mit einem Sender ausgerüstet, der in der Lage ist, über einen bestimmten Zeitraum Signale zu funken. Diese Radiosignale können dann mit der Empfangsapparatur direkt registriert und ausgewertet oder via Satellit an eine Bodenstation übermittelt werden.

In wildbiologischen Studien hat diese Technik mittlerweile vielfältige Anwendungen gefunden. Ihr großer Vorzug: Ohne Störung der Tiere können deren Aufenthaltsorte und Aktivitäten zu jeder beliebigen Tages- und Nachtzeit sowie in unzugänglichen Gebieten bzw. auf hoher See bestimmt werden.

Bei Meeressäugern ist die Anwendung von Telemetrie besonders kompliziert, da die Sender sehr widerstandsfähig gegenüber hohem Druck, Temperaturschwankungen und Salzwasser sein müssen. Auch gestaltet sich das Fangen und Markieren von Robben in freier Wildbahn wegen des Lebensraumes sowie der Körpergröße und Mobilität der Tiere oft schwieriger als bei manchen landlebenden Arten.

Am „Institute for Forestry and Nature Research“ auf Texel, Niederlande, arbeite ich in der Abteilung für Aquatische Ökologie in einer Arbeitsgruppe, deren Aufgabe die Konzeption und Durchführung von Forschungsprojekten an Meeressäugern ist. Als wichtige methodische Voraussetzung für derartige Projekte ist es unserer Arbeitsgruppe - in enger Zusammenarbeit mit der Elektronikabteilung - gelungen, die Technik der Radiotelemetrie für die Untersuchung von Robben weiterzuentwickeln und zu verfeinern. Dies umfaßt

- den Fang von Tieren im Freiland (z. B. auf Sandbänken, aber auch im freien Wasser),
- das „handling“ der Tiere, vor allem die schonende und sichere Ruhigstellung,
- eine zweckmäßige Methode der Besenderung,
- die Entwicklung und der Bau von für die jeweilige Fragestellung geeigneten Sende- und Empfangseinheiten bzw. einzelnen Elektronikteilen sowie
- eine geeignete Anwendung der Telemetrie und entsprechende Datenspeicherung.



Abb. 1: Wiederausgewilderte Mönchsrobbe mit Sender im „Marinen Nationalpark Nördliche Sporaden“.

Fallstudien

1. Pilotstudien an Mönchsrobben in Griechenland und Mauretanien

Ursprünglich besiedelten Mönchsrobben das gesamte Mittelmeer, das Schwarze Meer, die Nordwestküste Afrikas sowie den Atlantik um die Kanarischen Inseln und um Madeira. Heute gibt es insgesamt nur noch einige hundert Tiere, die sich auf wenige Stellen des ehemaligen Verbreitungsgebietes verteilen. Da Mönchsrobben die frei zugänglichen Strände des Mittelmeeres aufgrund der intensiven menschlichen Aktivitäten nicht mehr ungestört nutzen können, leben die Tiere in abgelegenen Gebieten und ziehen ihre Jungen dort nur im Schutz versteckter Höhlen auf. Solche potentiellen Habitate werden noch vereinzelt in griechischen Gewässern sowie entlang der Küste Westafrikas angetroffen. Deshalb konzentrieren sich Schutz- und Forschungsprogramme bevorzugt auf diese Gebiete (PANOU et al., 1993; REIJNDERS et al., 1988).

Als im Jahre 1987 zwei junge Mönchsrobben in Nordostgriechenland verwaist aufgefunden wurden, setzten die griechischen Behörden eine großangelegte

Abb. 2: Lebensraum von Mönchsrobben an der zerklüfteten Atlantikküste Mauretaniens.



Rettungsaktion in Gang (REIJNDERS et al., 1989). Die beiden Tiere wurden in die Niederlande ausgeflogen und in der Seehundaufzuchtstation Pieterburen versorgt. Nach einigen Monaten intensiver Pflege schienen sie kräftig genug, um wieder in ihren ursprünglichen Lebensraum in freier Wildbahn zurückgebracht zu werden (t' HART und VEDDER, 1990).

Die Idee der Wiederauswilderung warf jedoch eine Reihe von Fragen auf, und zwar einerseits in Bezug auf das weitere Schicksal der beiden Tiere und andererseits bezüglich des grundsätzlichen Nutzens derartiger Aktionen: Würden sich die beiden Jungrobben wieder eingewöhnen? Welche Überlebenschancen hätten handaufgezogene Tiere in freier Wildbahn? Könnte die Aufzucht von verwaisten Jungrobben in Stationen und die darauffolgende Wiederauswilderung ein wirksames Mittel zur Verstärkung lokaler Bestände sein?

Um diese Fragen beantworten zu können, wurde beschlossen, die beiden Tiere mit Sendern auszurüsten und sie telemetrisch zu überwachen. Im Frühjahr 1988 wurden die Jungrobben im Mönchsrobbenreservat „Mariner Nationalpark Nördliche Sporaden“ freigelassen (Abb. 1). Auf der Insel Alonissos wurde in Zusammenarbeit mit dem griechischen Umweltministerium, der Nationalparkbehörde und Kollegen der „Sea Mammal Research Unit“, Cambridge, eine Empfangsstation installiert. Zusätzlich wurden die beiden Robben von April bis Dezember 1988 von meiner Kollegin Ilona Traut (Universität Oldenburg) und mir mit mobilen Empfängern an Bord von Schiffen, Booten der Nationalparkbehörde und einem Flugzeug der Hafenzentrale geortet.

Das Projekt erbrachte sehr ermutigende Resultate. Während des überraschend langen Zeitraums von über acht Monaten konnten die Aufenthaltsorte der Tiere und ihre Aktivitätsmuster beinahe lückenlos dokumentiert werden. Im Verlauf dieser Zeit änderten die Tiere ihre Aktivitätsmuster erheblich: Kurz nach der Auswilderung waren sie hauptsächlich am Tag auf Nahrungssuche, was vermutlich auf eine entsprechende Gewöhnung durch den Aufenthalt in der Aufzuchtstation zurückzuführen ist, wo die Fütterungen tagsüber stattfanden. Im Laufe der Zeit konnten wir immer häufiger nächtliche Expeditionen registrieren, bis sich schließlich die Futtersuche ganz auf die Nacht konzentrierte. Auch eine Zunahme der Tauchfähigkeit wurde beobachtet. Es zeigte sich, daß diese beiden Mönchsrobben trotz des monatelangen Aufenthaltes in einer Station zurück in freier Wildbahn sehr anpassungsfähig waren und sich bald wieder in ihren natürlichen Lebensraum eingewöhnen konnten. Diese Pilotstudie macht deutlich, daß die Wiederauswilderung von handaufgezogenen Robben erfolgreich verlaufen kann und daß solch aufwendige Artenschutzaktionen in bestimmten Fällen zu rechtfertigen sind (REIJNDERS und RIES, 1989; REIJNDERS et al., 1996).

Die in Griechenland gesammelten Erfahrungen konnten später in einem Projekt in Mauretanien angewendet werden. An der zerklüfteten Küste der Halbinsel Cap Blanc wird zur Zeit von spanischen Biologen der Universitäten Las Palmas, Madrid und Barcelona eine Kolonie von mehreren Hundert Mönchsrobben untersucht (Abb. 2). Hier, in dieser ungewöhnlich großen



Abb. 3: Spanische Biologen führen, im Seil vor einer Höhlenöffnung hängend, Verhaltensbeobachtungen an der mehr als hundert Tiere zählenden Mönchsrobbenkolonie nördlich des Cap Blanc durch.

Kolonie, werden eingehende Verhaltensbeobachtungen und Populationsstudien durchgeführt (LOPEZ-JURADO et al., 1995). Zusätzlich sollen Habitatnutzung und Wanderbewegungen untersucht werden (Abb. 3).

In einer ersten Pilotstudie sollte ermittelt werden, ob der Einsatz von Telemetrie an Mönchsrobben in Mauretaniens überhaupt möglich ist, da die örtlichen Gegebenheiten extrem sind. Im Sommer 1995 wurde ich von der spanischen Arbeitsgruppe eingeladen, die Logistik und meine Erfahrungen bezüglich der Besenderung und Telemetrie von Robben in dieses Projekt einzubringen. Im Vorfeld hatte ich zusammen mit den Technikern unseres Instituts in den Niederlanden eine wüstentaugliche Telemetrieausrüstung konzipiert und zusammengebaut. Sie mußte salz-, sand- und hitzeresistent sein und wegen der fehlenden Infrastruktur in Mauretaniens den Strom aus Sonnenenergie beziehen. Vor Ort in Mauretaniens war dann die Entwicklung einer praktikablen Methode zur Besenderung der Tiere die nächste Herausforderung: Die Mönchsrobbenkolonie befindet sich an einer unzugänglichen, von der Düne des Atlantiks zerklüfteten Steilküste. Die Höhle, in der sich die Tiere aufhalten, ist nur durch Abseilen und dann schwimmend zu erreichen. Die größten Schwierigkeiten bestanden darin, a) Situationen abzupassen, in denen einzelne Robben sich von den anderen Tieren aus der Höhle entfernt hatten, b) dieser Tiere habhaft zu werden, c) den Fang unter den oben beschriebenen Umständen für die Tiere schonend zu gestalten, d) gleichzeitig die anderen Tiere in der Kolonie möglichst wenig zu stören und e) auch die Sicherheit der Mannschaft nicht aus den Augen zu verlieren.



Abb. 4: Eine Mönchsrobbe wird mit einem Netz aus dem Wasser gehoben.

An einer Stelle neben dem Höhleneingang, wo sich oft Jungtiere aufhielten, wurde ein Netz versenkt, das mit Gegengewichten in der Felswand befestigt war. Sobald eines der Tiere über dem Netz schwamm, wurde das Gegengewicht ausgelöst, wodurch das Netz mitsamt der Robbe aus dem Wasser schnellte (Abb. 4). Nach zwei Fehlversuchen konnten wir mit dieser Fangmethode binnen einer Woche insgesamt drei Jungtiere aus der Gruppe „herausfischen“ und mit Sendern ausrüsten (Abb. 5). Anschließend wurde die aus den Niederlanden mitgebrachte Empfangsstation installiert, und die Tiere wurden zusätzlich mit tragbaren Empfängern gepeilt (Abb. 6).

2. See-Elefanten auf Macquarie Island im Südpazifik

Südliche See-Elefanten, berühmt wegen ihrer extremen Tauchfähigkeit in Tiefen bis zu 1.000 m, verbringen den überwiegenden Teil des Jahres auf hoher See (HINDELL et al., 1991; SLIPP et al., 1994). Sie kommen nur zweimal im Jahr, nämlich zur Fortpflanzung und zum Haarwechsel, für einige Wochen an die Küsten von subpolaren Inseln (Abb. 7). Dort bilden sie während der Geburts- und Paarungszeit Harems, die zwischen 50 und 800 Tiere umfassen können. Jeweils ein großer Bulle verteidigt ein Territorium auf dem Strand und „erobert“ die aus dem offenen Meer ankommenden Weibchen (Abb. 8). Zunächst beginnt in der Kolonie die Geburt der Jungtiere, die dann etwa drei Wochen lang gesäugt werden (Abb. 9). Wie bei allen Robbenarten legen die Neugeborenen durch die extrem fettreiche Muttermilch binnen kurzer Zeit erhebliche Reserven an. Ausgehend von einem



Abb. 5 (o. l.): Eine Mönchsrobbe mit Sender kurz vor der Wiederfreilassung.

Abb. 6 (o. r.): Sendertier zurück im Meer.

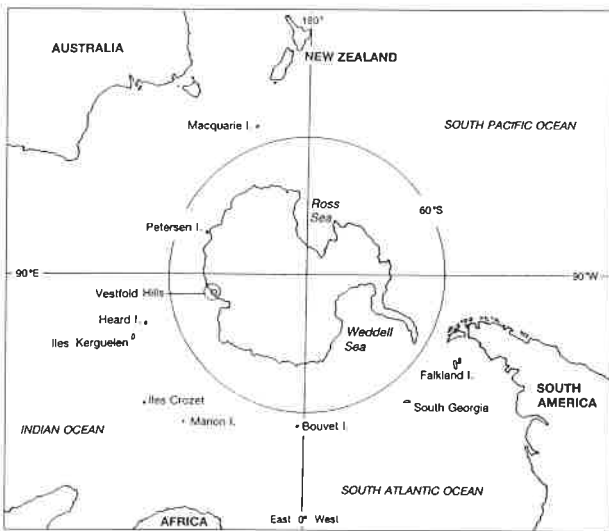


Abb. 7 (o.): Übersichtskarte über das Verbreitungsgebiet der Südlichen See-Elefanten (nach HINDELL und BURTON, 1987).

Abb. 8 (u. l.): Harem von See-Elefanten auf Macquarie I.. Im Hintergrund, aufgerichtet, ein dominanter Bulle.

Abb. 9 (u. r.): Jungtier neben seiner Mutter in der Harems-Gruppe.



Geburtsgewicht von rund 40 kg erreichen die jungen See-Elefanten bei der Entwöhnung nach nur drei Wochen Säugezeit durchschnittlich um die 150 kg (Abb. 10). Wenn sie ihre Geburtsinsel zum ersten Mal verlassen, müssen sie ohne Anleitung der Muttertiere selbst lernen, Beute zu fangen. Die zuvor angelegten Reserven sind wichtig, um diese schwierige Zeit überstehen zu können (ARNBOM et al., 1993).

Die „Australian Antarctic Division“ unterhält auf Macquarie Island eine Forschungsstation, die bereits mehrfach als Basis für Forschungsprojekte an dieser Tierart diente. Die Südlichen See-Elefanten sind wie viele polare Tierarten dem Menschen gegenüber nicht scheu: Ohne Probleme können sich die Forscher den Rudeln auf den Felsküsten nähern, z. B. um Tiere zu wiegen oder um Sender anzubringen.

Im Rahmen einer umfassenden Studie, an der Mitarbeiter der „Sea Mammal Research Unit Cambridge“, Großbritannien, und der „Australian Antarctic Division“, Tasmanien, beteiligt sind, untersucht Georg Engelhard, Doktorand an unserem Institut in den Niederlanden, seit September 1995 die Folgen von Störungen in unterschiedlichen See-Elefantenkolonien. Störungen werden in diesem speziellen Fall durch rivalisierende Bullen verursacht, die ihre Kämpfe häufig inmitten des Rudels austragen und dabei die Säugevorgänge erheblich stören können. Eine der Hypothesen lautet: In Harems mit vielen derartigen Störungen können die Jungtiere weniger Milch zu sich nehmen, müssen deshalb ihr erstes Jahr auf See mit geringeren Gewichtsreserven beginnen und haben somit eine geringere Überlebenschance als Jungtiere aus störungsarmen Harems.

Zu den Feldarbeiten zählen Verhaltensbeobachtungen, das regelmäßige Wiegen der Jungtiere während



Abb. 10: Saugendes Jungtier mit Milch an der Schnauze.

der Säugezeit sowie die Entnahme von Blutproben und das Anbringen von Sendern (Abb. 11). Von September 1995 bis Februar 1996 konnten insgesamt 40 Jungtiere nach Beendigung ihrer Säugezeit mit Satellitensendern ausgerüstet werden, die die genaue Position der Tiere im Meer und auch Daten über die Tauchprofile übertragen. In der ersten Feldsaison wurden die Tiere zunächst nach Körpergewicht ausgewählt, und zwar 20 besonders leichte und 20 besonders schwere Tiere, davon jeweils die Hälfte männlich bzw. weiblich. Abb. 12 zeigt Wanderrouten und Tauchaktivitäten von Sendertieren, wobei die Daten von Männchen rot und diejenigen von Weibchen gelb wiedergegeben sind. Zunächst sollte untersucht werden, ob das unterschiedliche Körpergewicht der Tiere das Tauchverhalten beeinflusst.

Bei Seehunden war der Einfluß von Störungen auf das Verhalten bereits 1994 in einer Pilotstudie im Wattenmeer untersucht worden (BRASSEUR und REIJNDERS, 1994). Dabei wurde deutlich, daß die Analyse ausschließlich der sichtbaren Reaktionen der Tiere nicht ausreichend ist, um die tatsächlichen Auswirkungen von Störungen auf die Population beurteilen zu können. Dafür ist es vielmehr notwendig, zusätzlich auch physiologische Parameter wie z. B. die Gewichtsentwicklung oder die Herzfrequenz zu erfassen. Darüber hinaus ist es von Bedeutung, Tiere vergleichend auch unter störungsfreien Bedingungen zu untersuchen, was dann als Referenz für störungsreichere Gebiete herangezogen werden kann.

3. Populationsbiologische Studie an Seehunden im Wattenmeer

Eine Virusepidemie, die 1988 in Europa unter Seehunden grassierte, hatte besonders im Wattenmeer verheerende Folgen. Innerhalb nur weniger Wochen starben etwa 6.000 Tiere. Schätzungen zufolge war mehr als die Hälfte der Population der Krankheit zum Opfer gefallen (DIETZ et al., 1989; REIJNDERS, 1989; HEIDEMANN und SCHWARZ, 1990).

Alarmiert durch das ungewöhnliche Ausmaß dieser Epidemie stimmten die Regierungen der Wattenmeer-Anrainerländer einer gemeinsamen, umfassenden Seehundstudie zu. Bereits 1989 begannen die Feldar-



Abb. 11: Forscher bei der Feldarbeit an See-Elefanten; Anbringung eines Senders und Erhebung von Meßdaten.

beiten an dem Projekt unter dem Titel „Joint Seal Study“, an dem Arbeitsgruppen aus Dänemark, Schleswig-Holstein, Niedersachsen und den Niederlanden beteiligt waren.

Ziel der Untersuchung

Ziel der Studie war es, die populationsökologischen Grundlagen für eine Neuformulierung des Managementplans zum Schutz und zur Erhaltung der Seehundpopulation im Wattenmeer zu erarbeiten. Dazu sollten die Bestandsentwicklung mit Hilfe von Flugzählungen erfaßt sowie Aktivitätsmuster, Habitatnutzung und Wanderverhalten der Seehunde im Wattenmeer anhand von sendermarkierten Tieren analysiert werden.

Fangmethode

Um den Einsatz von Telemetrie in der Seehundforschung zu ermöglichen, galt es, noch einige Schwierigkeiten wie den Fang der Tiere in freier Wildbahn zu überwinden. In enger Zusammenarbeit mit Kollegen und Mitarbeitern der niederländischen Naturschutzbehörde entwickelten wir zunächst eine für die Seehunde möglichst schonende Fangmethode: Im Untersuchungsgebiet wird eine günstig gelegene Sandbank (mit Steilufer auf einer Seite) ausgewählt, auf der sich eine ausreichende Anzahl von Tieren befindet. In einer „Überraschungsaktion“ fährt ein Schnellboot auf die Seehundgruppe zu und wirft ein großes Netz (100 m lang, 10 m hoch, Maschenweite 10 x 10 cm) in voller Fahrt halbkreisförmig im Wasser vor der Seehundbank aus. Die Fangmannschaft landet mit einem zweiten Boot seitlich an der Sandbank. Die Seehunde versuchen, ins Wasser zu entkommen, werden jedoch durch das Netz eingeschlossen (Abb. 13). Danach wird das Netz langsam ans Ufer gezogen und die gefangenen Tiere einzeln in eine spezielle, V-förmige Bank gelegt, wo sie mit Gurten fixiert werden. Anschließend wird der Sender mit einem Zweikomponentenkleber auf dem Fell angebracht, und zwar bei Jungtieren auf dem Rücken und bei größeren Tieren auf dem Kopf (Abb. 15). Während der Markierung werden die Seehunde nur etwa 20 Minuten lang festgehalten und unmittelbar danach wieder freigelassen (RIES, 1993). Mit dieser Methode wurden von 1990 bis 1994 an fünf unterschiedlichen Stellen im Nieder-

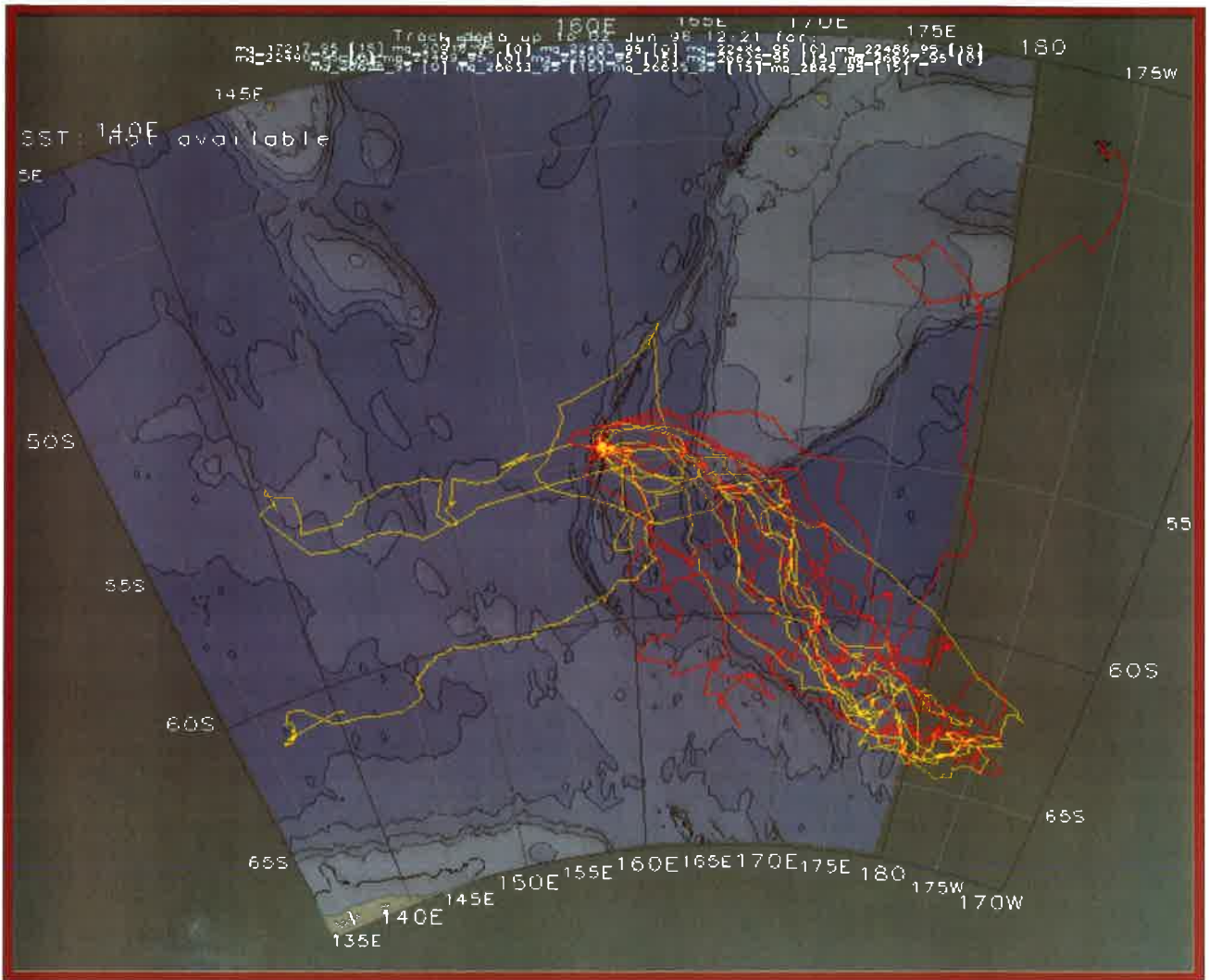


Abb. 12: Wanderrouten von männlichen (rot) und weiblichen (gelb) jungen See-Elefanten (graphische Darstellung nach Satellitdaten: B. McConnell).

Abb. 13 (l. u.): Seehunde im Wattenmeer werden mit einem langen Netz vor einem Liegeplatz eingeschlossen und an Land gezogen.

Abb. 14 (r. u.): Ein Seehund wird gefangen, um anschließend auf einer Spezialbank fixiert und besendert zu werden.



ländischen Wattenmeer insgesamt 65 Seehunde besendert.

Telemetrieausrüstung

Die für dieses Projekt von uns entwickelten Sender sind in Halbkugeln aus Kunstharz gegossen, haben einen Durchmesser von etwa sieben Zentimetern und wiegen rund 200 Gramm. Jeder Sender hat seine eigene Frequenz, so daß die Tiere individuell unterscheidbar sind. Über eine 40 cm lange, flexible Antenne werden pulsartige Signale ausgesendet, deren Muster vom Verhalten der Seehunde abhängt: Taucht



ein Tier und befindet sich der Sender samt der Antenne unter Wasser, wird der Sender durch einen Salzwassersensor abgeschaltet, um so die Batterien zu schonen. (Das Telemetriesystem muß bei diesen Tieren auf große Reichweite ausgelegt sein, und die entsprechende Art von Radiowellen wird unter Wasser nicht über größere Entfernungen übertragen). Beim Auftauchen schaltet sich der Sender wieder ein und gibt in Abständen von einer Sekunde Signale ab, die sich nach fünf Sekunden zu einem Intervall von 2,5 Sekunden verlängern. Befindet sich ein Seehund länger als zehn Minuten außerhalb des Wassers, verlangsamt sich die Pulsfrequenz weiter auf einen Abstand von acht Sekunden zwischen den einzelnen Signalen. Für die Datenerhebung wurden von uns drei automatische Empfangsanlagen gebaut und fünf tragbare Empfänger den speziellen Anforderungen angepaßt.

Das Peilen

Das Bestätigen der Anwesenheit der Sendertiere erfolgte kontinuierlich mit den automatischen Empfangsanlagen, die an geeigneten Stellen entlang der Küste installiert waren (Abb. 16). Die Empfangsanlagen waren so programmiert, daß nacheinander alle Frequenzen der Sender abgehört und die Daten abgespeichert wurden. Die Speicherkapazität der Anlagen betrug zehn Tage in Folge. Zur genauen Ortung und zur Suche aus dem Empfangsbereich verschwundener Tiere wurden tragbare Empfänger eingesetzt. Standardmäßig waren auch Empfänger an Bord der drei niederländischen Patrouillenschiffe der Naturschutzbehörde installiert, die regelmäßig bei den Feldarbeiten mitwirkten. Hielten sich besenderte Seehunde über längere Zeit außerhalb der Reichweite aller Empfänger auf, wurden sie großräumig vom Flugzeug aus gesucht (Abb. 17).

Besondere Schwierigkeiten beim Peilen von Seehunden ergeben sich einerseits durch das Medium Wasser (beim Schwimmen ragt oft nur der Kopf heraus; Wellen schirmen zusätzlich die Signale ab; Tauchgänge können bis zu 30 Minuten dauern) und andererseits dadurch, daß die Tiere weite Exkursionen und Wanderungen unternehmen können (NØRGAARD et al., 1992). Schwimmende Tiere sind zudem zwischen den Tauchgängen oft nur wenige Sekunden lang an der Wasseroberfläche.

Eine Peilung muß also binnen weniger Sekunden erfolgen. Die oben beschriebenen unterschiedlichen Pulsraten der Sender erleichtern das Peilen der Tiere, wenn sie abwechselnd schwimmen und tauchen. Ein weiterer Vorteil ist, daß ein auf der Sandbank ruhendes Tier als solches erkennbar ist und gleichzeitig „im Spartakt funkt“. Aus den Peildaten können vier unterschiedliche Aktivitäten der Sendertiere abgeleitet werden: Schwimmen, Tauchen, Dümpeln und Liegen auf Sandbänken oder Eisschollen.

Auswahl einiger vorläufiger Ergebnisse

Sandbanknutzung

Im Wattenmeer wird das Aktivitätsmuster der Seehunde durch den Rhythmus der Gezeiten diktiert. Hier können die Tiere nur die bei Niedrigwasser trockenfal-



Abb. 15: Seehund mit Sender auf dem Kopf bei der Freilassung.



Abb. 16: Automatische Empfangsstation im Leuchtturm der Insel Ameland.

Abb. 17: Cessna mit an beiden Flügelstützen montierten Richtantennen für flächendeckende Peilflüge.



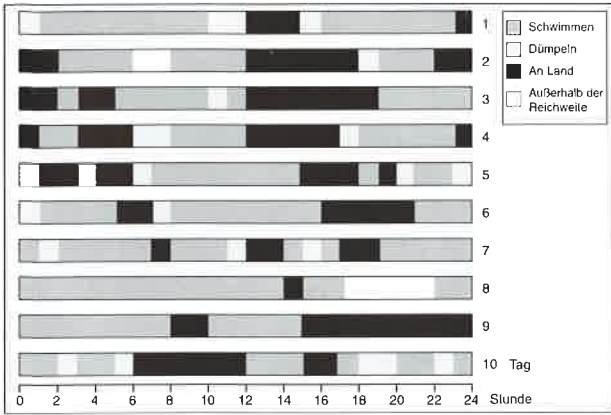
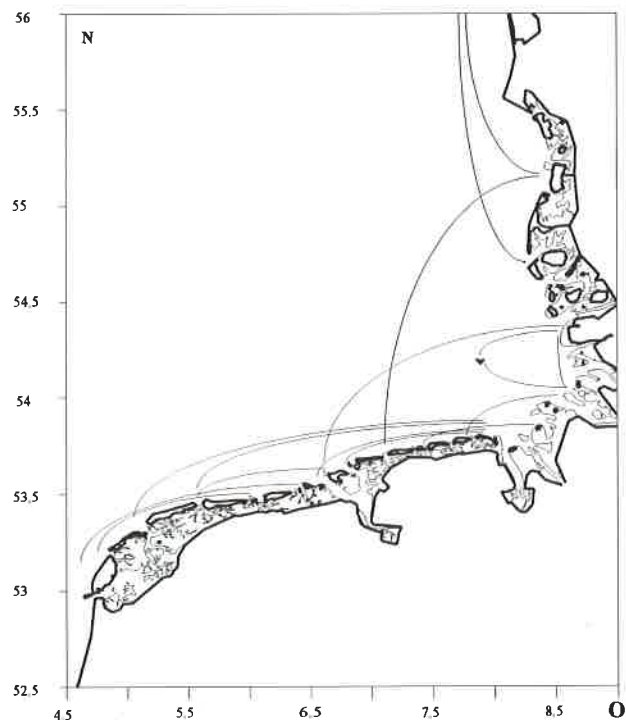


Abb. 18: Aktivitätsmuster eines Seehundes in den Gewässern um Texel über die Dauer von zehn Tagen im Mai 1992.

lenden Sandbänke nutzen, um an Land zu gehen. Eine erste grobe Auswertung der Telemetriedaten hat gezeigt, daß die Aktivitätsmuster der Seehunde individuell sehr unterschiedlich und darüber hinaus in Bezug auf Dauer und Häufigkeit der Sandbanknutzung jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen sind (Abb. 18). Am häufigsten finden sich die Tiere in den Sommermonaten, bei schönem Wetter während der frühen Nachmittagsstunden, auf den Sandbänken ein. Eine starke Bindung an bestimmte Sandbänke konnte, wenn überhaupt, nur während des Sommers festgestellt werden.

Genauere Daten zur Sandbanknutzung sind auch besonders für die Sommermonate essentiell, weil in dieser Zeit durch Zählflüge in allen Bereichen des Wat-

Abb. 19: Langstreckenwanderungen besonderer Seehunde im Wattenmeer.



tenmeeres Bestandserhebungen durchgeführt werden, wobei natürlich nur die Seehunde, die auf den Sandbänken sind, aus der Luft gesehen werden können. Der Anteil der Tiere, die sich zum Zeitpunkt der Befliegung nicht auf der Sandbank aufhalten, wird aus Telemetriedaten ermittelt und dient dazu, einen Korrekturfaktor für eine genauere Schätzung der tatsächlichen Populationsgröße zu erarbeiten. Außerdem können die Telemetriedaten dazu benutzt werden, besonders störanfällige Zeiträume und Lebensraumbereiche zu bestimmen.

Tauchverhalten

Bei 25 Tieren unterschiedlicher Körpergröße wurden die Tauchphasen näher analysiert. Im vergleichsweise flachen Wattenmeer lag die durchschnittliche Dauer von Tauchgängen zwischen 1,5 und vier Minuten. Größere Tiere hatten auch entsprechend längere Tauchzeiten. Bei einem ausgewachsenen männlichen Seehund wurde sogar ein Tauchgang von 31 Minuten registriert (RIES und TRAUT, 1993). Überraschend war, daß die Tiere auch nach sehr langen Tauchgängen nicht wesentlich länger als normalerweise an der Wasseroberfläche blieben.

Langstreckenwanderungen

Seehunde galten als besonders ortstreu. Für den Lebensraum Wattenmeer wurde angenommen, daß die meisten Tiere nur einige wenige Sandbänke nutzen, zu denen sie immer wieder zurückkehren (DRESCHER, 1972; WIPPER, 1978). In unserer Studie konnten wir jedoch eine ganze Reihe von besonderen Tieren an sehr weit voneinander entfernten Stellen orten - ein Hinweis auf die überraschend große Mobilität dieser Tiere. So wurde beispielsweise ein in Niedersachsen besonderer, etwa drei Jahre alter Seehund nach einmonatiger Abwesenheit bei einem Peilflug in der Nähe der niederländischen Insel Terschelling geortet. Nur zehn Tage später konnte meine Kollegin Ilona Traut das Tier wieder in ihrem Untersuchungsgebiet bei Wangerooge peilen, in einer Entfernung von 175 km Luftlinie von der vorherigen Ortung in den Niederlanden. In der schematischen Karte des Wattenmeeres sind in Abb. 19 beispielhaft einige Langstreckenwanderungen dargestellt. Die Linien verbinden die Punkte zwischen den Orten der Besenderung und der Rückbestätigung.

Fazit

Die Telemetrie ist ein ausgezeichnetes Mittel, um Informationen über Populationsparameter, Streifgebiete, Lebensraum, Wanderungen, Nahrungssuche, Ruhephasen, Tauchverhalten, Landnutzung und einiges mehr zu gewinnen. Mit der Telemetrie wird sowohl eine räumliche wie auch eine zeitliche Komponente der untersuchten Parameter erfaßt.

Die Daten finden konkrete Anwendung z. B. bei der Klärung folgender Fragen:

- Welche Mindestausdehnung müssen Schutzgebiete für Robben besitzen?
- Welche Küstenstreifen und Meeresflächen müssen sie beinhalten?

- Welche Bereiche sind als Kernzonen, Randzonen und Pufferzonen auszuweisen?
- Welche „hot spots“ (Nutzungsschwerpunkte bzw. Aktivitätszentren) wie z. B. bevorzugte Strände, Sandbänke, Uferhöhlen, Jagdgründe usw. müssen besonders berücksichtigt werden?
- Welche praktischen Konsequenzen ergeben sich aus den Informationen über die Nahrungssuche der Robben? Durch die Ortung von Sendertieren können z. B. bevorzugte, fischreiche Jagdgründe und damit auch die bejagten Fischschwärme samt ihrer Artensammensetzung identifiziert und ein möglicher Einfluß der Robben auf den Fischbesatz abgeschätzt werden. Dies liefert wiederum wertvolle Argumente für eine konstruktive Auseinandersetzung mit der Fischereiwirtschaft.
- Wo und in welcher Jahreszeit muß eine Kanalisierung der menschlichen Nutzungsaktivitäten (z. B. Tourismus, Fischerei, Schiffsverkehr) in besonders störanfälligen Bereichen erfolgen?
- Wo sind welche Maßnahmen zum Ausgleich von Lebensraumverlusten erfolgversprechend?

Literatur:

ARNBOM, T., M. A. FEDAK, I. L. BOYD und B. J. McCONNELL (1993): Variation in weaning mass of pups in relation to maternal mass, postweaning fast duration, and weaned pup behaviour in southern elephant seals (*Mirounga leonina*) at South Georgia. *Can. J. Zool.* 71: 1722-1781.

BRASSEUR, S. M. J. M. und P. J. H. REIJNDERS (1994): Invloed van diverse verstoringsbronnen op het gedrag en habitatgebruik van gewone zeehonden: consequenties voor de inrichting van het gebied. IBN-rapport 113, 62 Seiten.

DIETZ, R., M.-P. HEIDE-JØRGENSEN und T. HÄRKÖNEN (1989): Mass death of harbor seals (*Phoca vitulina*) in Europe. *Ambio*, 18: 258-264.

DRESCHER, H. R. (1983): Biologie, Ökologie und Schutz der Seehunde im schleswig-holsteinischen Wattenmeer. *Beitr. Wildbiol. Meldorf* 1: 73 Seiten.

HARDER, K. (1995): Die Entwicklung der Robbenbestände an der südlichen Ostseeküste - Versuch einer Rekonstruktion mit Hilfe der „Stralsunder Seehundakte“. *Meer und Museum*, 11: 21-30.

HEIDEMANN, G. und J. SCHWARZ (1990): Das Seehundsterben im schleswig-holsteinischen Wattenmeer 1988/89. In: Warnsignale aus der Nordsee, ed. J. L. Lozán, W. Lenz, E. Rachor, B. Watermann und H. v. Westernhagen. Berlin, Hamburg; Paul Parey Verlag.

HINDELL, M. A. und H. R. BURTON (1987): Past and present status of the southern elephant seal (*Mirounga leonina*) at Macquarie Island. *Zool.*, Lond. 213: 365-380.

HINDELL, M. A., D. J. SLIP und H. R. BURTON (1991): The diving behaviour of adult male and female southern elephant seals, *Mirounga leonina* (Pinipedia: Phocidae). *Aust. J. Zool.*, 39: 595-619.

LÓPEZ-JURADO, L. F., J. GONZÁLEZ BARBUZANO und S. HILDEBRANDT (1995): La Foca Monje y las Islas Canarias. ISIFER, Las Palmas, Gran Canaria.

KING, J. E. (1983): Seals of the world. British Museum of Natural History & Oxford University Press.

NØRGAARD, N., E. H. RIES, J. SCHWARZ und I. M. TRAUT (1992): Conservation and management plan for the harbour seal (*Phoca vitulina*) population in the Wadden Sea based on a joint telemetry study. In: *Wildlife Telemetry - remote sensing and tracking of animals*, ed. I. G. PRIDE und S. M. SWIFT, 687-692.

PANOUE, A., J. JACOBS und D. PANOS (1993): The endangered Mediterranean monk seal, *Monachus monachus*, in the Ionian sea, Greece. *Biological Conservation* 64: 129-140.

REIJNDERS, P. J. H. (1988): Environmental impact of PCB's in the marine environment. In: P. J. NEWMAN, und A. R. AGG (ed).

Environmental Protection of the North Sea. Heineman, Oxford, 85-98.

REIJNDERS, P. J. H. (1989): The recent virus outbreak among harbour seals in the Wadden Sea: Possible consequences for future population trends. *Wadden Sea News Letter*, 1: 10-12.

REIJNDERS, P. J. H. (1992): Retrospective population analyses and related future management perspectives for the harbour seal *Phoca vitulina* in the Wadden Sea. In: *Proceedings of the 7th International Wadden Sea Symposium*, Ameland, The Netherlands, 22-26 October 1990, N. Dankers, C. J. Smit und M. Schöll (Eds). *Neth. Inst. Sea. Res., Publ. Ser.*, 20:193-197.

REIJNDERS, P. J. H. und E. H. RIES (1989): Release and radiotracking of two rehabilitated monk seals in the marine park „Northern Sporades“, Greece. Report to the European Commission and International Fund for Animal Welfare. Research Institute for Nature Management, Texel (NL), 17 Seiten.

REIJNDERS, P. J. H., S. M. J. M. BRASSEUR und E. H. RIES (1996): The release of seals from captive breeding and rehabilitation programs: a useful conservation and management tool.? In: *Rescue, Rehabilitation and Release of Marine Mammals: An Analysis of Current Views and Practices*, *Proceedings of a Workshop held Dec. 3-5, 1991, Des Plaines, IL.*, D. J. AUBIN, J. R. GERACI, und V. J. Lounsbury (ed), NOAA Technical Memorandum, 71-83.

REIJNDERS, P. J. H., E. H. RIES und I. M. TRAUT (1990): Robbenbestände. In: Warnsignale aus der Nordsee, ed. J.L. Lozán, W. Lenz, E. Rachor, B. Watermann und H. v. Westernhagen. Berlin; Hamburg, Paul Parey Verlag.

REIJNDERS, P. J. H., M. N. de VISSCHER und E. H. RIES (1988): The Mediterranean monk seal. IUCN/UNEP, Gland Switzerland, 59 Seiten.

REIJNDERS, P. J. H., A. ECONOMOU, S. SPIROPOULU und R. BEUDELS (1986): Information and rescue system for the monk seals in the European Community: a pilot scheme for ist establishment in Greece. Report to the European Commission, Brussels. Research Institute for Nature Management, Texel (NL). 36 Seiten.

RIES, E. H. (1993): Monitoring the activity patterns of free-ranging harbor seals (*Phoca vitulina*) by means of VHF telemetry. *Wadden Sea News Letter*, 3: 11-14.

RIES, E. H. und I. M. TRAUT (1993): Diving patterns of harbour seals *Phoca vitulina*, in the shallow Wadden Sea assessed by VHF-telemetry. Abstracts of the 10th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Galveston, Texas, November 1993.

SLIP; D.J., M. A. HINDELL und H. R. BURTON (1994): Diving behavior of southern elephant seals from Mcquarie Island: an overview. In: B. J. Le Boeuf und R. M. Laws (ed). *Elephant seals: Population ecology, behavior, and physiology*.

t' HART, L. und E. J. VEDDER (1990): The rehabilitation of two newborn Mediterranean monk seals *Monachus monachus* in the Seal Rehabilitation and Research Centre (SRR) in Pieterburen, The Netherlands, SRR, January 1990. 17 Seiten.

WIPPER, E. (1974): Die ökologischen und pathologischen Probleme beim Seehund (*Phoca vitulina* Linné, 1758) an der niedersächsischen Nordseeküste. Diss. Universität München.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Aliki Panou und Ilona Traut für die langjährige, perfekte und außerordentlich freundschaftliche Zusammenarbeit in der Robbenforschung sowie Gundula Thor für das Einbringen ihres wildbiologischen und redaktionellen Know-how bei der Erstellung des vorliegenden Artikels.



„Gläserne“ Pinguine - Anwendung telemetrischer Methoden bei der Erforschung dieser Meeresvögel

D. Adelung

Zwar weiß wohl jeder, daß Pinguine Vögel sind, aber sie haben den eigentlichen Lebensraum der Vögel, die Luft, verlassen und sind Wassertiere geworden. So verbringen sie die meiste Zeit ihres Lebens im Wasser und einen großen Teil davon untergetaucht und nicht an der Oberfläche schwimmend. In Anpassung an diesen Lebensraum Meer sind sie eher mit Fischen oder Delphinen zu vergleichen. Dies äußert sich nicht nur in ihrer Körperform, sondern auch in zahlreichen anderen anatomischen und physiologischen Merkmalen und ihrem ganzen Verhalten.

An Land scheinen Pinguine tolpatschig und schwerfällig, ja fast hilflos zu sein, im Wasser ist es das genaue Gegenteil. Dort sind sie elegante, blitzschnelle Schwimmer, die für den Menschen mit dem Boot nur über kurze Strecken zu verfolgen sind. Sie sind dabei nicht nur schnelle Schwimmer, sondern auch sehr gute Taucher mit erstaunlichen Leistungen.

Während man die Tiere an Land, das sie nur zum Brüten, zur Aufzucht (Abb. 2 und 3) ihrer Jungen und später zur Mauser aufsuchen, recht gut beobachten kann, entziehen sie sich der Beobachtung durch den Menschen im Wasser völlig. Daher liegt es nahe, sich zu überlegen, wie man Informationen über ihre Aktivitäten in diesem Bereich erhalten kann. Nur wenn man alle Tätigkeiten, Aufenthalte und Lebensbedürf-

nisse dieser z. T. stark bedrohten Tiere kennt, kann man auch Konzepte entwickeln, sie zu schützen.

Von den 17 heute existierenden Pinguinarten, die alle auf der Südhalbkugel leben, ist die Mehrzahl bedroht. So gibt es von dem am weitesten nördlich verbreiteten Pinguin, dem Galapagospinguin (*Spheniscus mendiculus*), nur noch ca. 200 Exemplare, und auch von den neuseeländischen Gelbaugenpinguinen (*Megadyptes antipodes*) kann man nur noch einige Hundert zählen. Lediglich in der Antarktis gibt es noch große Vorkommen nicht bedrohter Arten, wie die z. T. riesigen Kolonien von Esels- (*Pygoscelis papua*), Zügel- (*Pygoscelis anartica*) und Adeliepinguinen (*Pygoscelis adeliae*) (Abb. 1) beweisen. Selbst der lange Zeit zahlreich vertretene Humboldtpinguin (*Spheniscus humboldti*) vor den Küsten Chiles und Perus hat in den letzten Jahrzehnten in seinem Bestand dramatisch abgenommen. Nicht zu Unrecht vermutet man einen Zusammenhang mit menschlichen Aktivitäten wie z. B. einer Überfischung dieser Meeresgebiete.

Um dies beweisen zu können, aber auch generell um alle ihre Lebensabläufe und Bedürfnisse besser zu verstehen, müssen wir auch ihr Leben im Meer genauer kennen. Das ist die Grundlage für alle Schutz-

maßnahmen. Auch wenn es gegen die Prinzipien des heutigen Datenschutzes geht, so ist der Wissenschaftler aus diesen Gründen sehr daran interessiert, den „gläsernen“ Pinguin zu schaffen, d. h. Tiere zu haben, von denen wir wirklich alles wissen.

Dies ist leider leichter gedacht als getan, wenn man Tiere nicht selbst verfolgen kann. Hier hilft nur die Methode der Fernerkundung oder Telemetrie. Diese wird in der terrestrischen Biologie schon seit längerer Zeit in vielfältiger Form erfolgreich angewendet, um die Wege von Wildtieren zu verfolgen. Dabei kommen dem Forscher die Fortschritte in der Elektronik und sogar in der Weltraumforschung sehr zu gute.

An Land bieten sich neben der direkten Methode mittels Fernglas insbesondere zwei Methoden an, und zwar die VHF- und die Satellitentelemetrie. In beiden Fällen wird an dem zu verfolgenden Tier, nachdem man es eingefangen hat, ein mehr oder weniger großer Sender befestigt. Wenn es sich um ein schnelles oder ein größeres Tier handelt, wie z. B. um einen Seelöwen, muß es zum Fang und der Gerätebefestigung mit einem Betäubungsgewehr oder Blasrohr betäubt werden. Dies geschieht nicht nur zum Schutz der Wissenschaftler, sondern auch, weil oftmals die Senderbefestigung mit Streß für das Tier verbunden ist, der vermieden werden sollte. Größeren Tieren wird der Sender üblicherweise mit einem Halsband umgelegt. Bei Vögeln wird das Gerät in das Gefieder geklebt.

Geeignete VHF-Sender sind heutzutage daumengroß und benötigen nur eine relativ geringe Batterieleistung. Letztere bestimmt sehr oft die Gerätegröße, ein sehr entscheidender Punkt, insbesondere wenn man an kleinere Tiere denkt. Jeder wird einsehen, daß ein hohes Gewicht das Verhalten stark beeinflusst, so daß man keine normalen Reaktionen des Tieres registrieren kann. Aber genau das ist das Ziel.

Bei der VHF-Telemetrie werden auf einer bestimmten Frequenz Radiowellen abgestrahlt, die man dann über eine Peilantenne mit einem Empfänger auffangen kann. Über die Stärke des Signals kann man dann die Richtung feststellen, aus der gesendet wird. Nimmt man zwei in einigem Abstand aufgestellte Peilantennen, dann läßt sich auch die Entfernung berechnen. Nachteilig bei dieser Art Radiotelemetrie ist die begrenzte Reichweite, denn alle Hindernisse schwächen die abgestrahlten Signale. Daher gilt, daß die Reichweite um so besser ist, je höher der Empfänger positioniert ist. Von J. Schwarz wurde diese Methode auch bei Seehunden angewendet, wobei mehrere Probleme auftraten: Zunächst einmal kann man keine Signale empfangen, wenn die Sendeantenne mit den Tieren untergetaucht ist, und zum anderen kann man auf dem Meer oder am Strand die Empfangsantenne nur sehr begrenzt hoch aufstellen. So ergeben sich vom Strand aus höchstens Reichweiten von 30 Kilometern. Nur von einem langsam und niedrig fliegenden Flugzeug aus kann man die Reichweite deutlich erhöhen. Doch dies ist sehr teuer und steht meistens nicht zur Verfügung. Ein weiterer Nachteil ist, daß die Signale leicht gestört werden können. Bei Seehunden wurden die Antennen am Kopf befestigt, so daß sie beim Schwimmen aus dem Wasser ragen. Doch

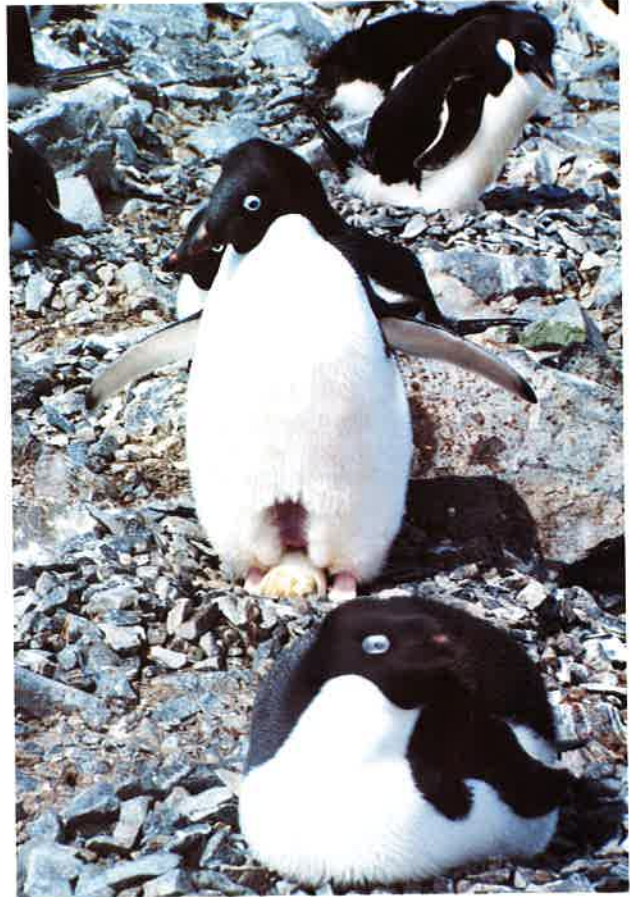


Abb. 1 (linke Seite): Adeli pingvine bilden Kolonien von vielen Tausenden Brutpaaren. Da geeignete, eisfreie Brutplätze rar sind, leben sie dicht gedrängt. Die Nachbarnester sind aber auf Schnabelhiebweite voneinander entfernt. Eifersüchtig wird das Nistmaterial, kleine Steinchen, bewacht.

Abb. 2 (oben): Adeli pingvin mit Ei. Meistens hat diese Art zwei Eier, die in die deutlich sichtbare Brutspalte eingebettet werden. Das Nest wird aus kleinen Steinen gebaut.

Abb. 3 (unten): Die Küken der Adeli pingvine wachsen, dank intensiver Fütterung durch die Eltern, schnell heran.



sobald höherer Seegang herrscht, verschwinden die Tiere leicht in den Wellentälern, so daß der Empfang unterbrochen ist. Hinzu kommt noch, daß der bei stärkerem Seegang herrschende Seaspray (Gischt) die Signalübertragung sehr stark behindert. Im marinen Bereich ist also die VHF-Telemetrie eine Schönwetterangelegenheit von begrenzter Reichweite. Nachteilig ist auch, daß sie in der Regel personalintensiv ist, weil die Empfangsantennen für eine lückenlose Aufzeichnung der Tierbewegungen immer besetzt sein müssen.

Gegenüber der begrenzten Empfangsweite der VHF-Telemetrie hat die Satellitentelemetrie den entscheidenden Vorteil, daß die Signale auch aus größerer Entfernung empfangen werden können. Dies ist bei Tieren mit einem größeren Aktionsradius sehr vorteilhaft. Für den Einsatz an Land sind solche Geräte sehr günstig, allerdings sind sie auch recht teuer, so daß man meist nur wenige Tiere auf einmal damit ausrüsten kann. In See ergeben sich aber dieselben Nachteile wie bei der VHF-Telemetrie, d. h. die Funksignale können nur empfangen werden, wenn die Tiere aufgetaucht sind und keine Gischt bei rauher See die Signale verschluckt. Nachteilig ist aber auch das größere Gewicht. Dies ergibt sich durch eine größere Batterie,



Abb. 4: Königspinguine brüten auf subantarktischen Inseln und müssen oft Tausende Kilometer zur Nahrungsbeschaffung für ihr einziges Küken zurücklegen.

da die Sendeleistung sehr viel höher als bei der VHF-Telemetrie sein muß. Ein weiterer Nachteil bei Meerestieren ergibt sich aus den technischen Gegebenheiten: Für wissenschaftliche Zwecke wird heute fast ausschließlich der ARGOS-Satellit benutzt. Bei uns kommt er auf seiner Umlaufbahn etwa sieben Mal pro Tag für kurze Zeit in empfangsbereite Position. Es ist daher wichtig, daß die Tiere genau zu diesem Zeitpunkt aufgetaucht sind. Dies ist oft nicht der Fall. Wenn man größere Wanderungen von Tieren im Meer erfassen will, reichen zur Positionsbestimmung eine oder wenige Übertragungen pro Tag völlig aus. Schwierigkeiten ergeben sich aber, wenn man mit Hilfe des am Tier befestigten Gerätes auch andere Informationen, wie z. B. über die Häufigkeit des Tauchens, die Tauchtiefe, Schwimmgeschwindigkeit oder Wassertemperatur, übermitteln will. Diese Daten können zwar an solchen Geräten, zumindest theoretisch,

zwischengespeichert werden, aber es ist höchstens bruchstückhaft möglich, eine entsprechende Datenfülle, wie sie sich aus einer kontinuierlichen Aufzeichnung ergibt, während der kurzen Überflugszeit des Satelliten zu senden.

Wie man sieht, ergeben sich zahlreiche Gründe, die es erforderlich machen, nach neuen Wegen der Fernerkundung zu suchen, wenn man möglichst viele Informationen von den Tieren in See und aus ihrer Umgebung erhalten will, ohne die Tiere dabei so zu belasten, daß sie ihr Verhalten ändern. Wir haben daher nach einem völlig anderen Weg gesucht, und unser Kollege Dr. Rory Wilson hat dabei hervorragende Pionierarbeit geleistet (WILSON et al., 1992). Der neue Weg bestand darin, daß man Geräte entwickelte, die die Aktivitäten der Tiere kontinuierlich registrieren und auf einen Speicherchip mit hoher Kapazität (jetzt 2 MB) aufzeichnen. Diese Geräte werden den Tieren nach ihrer Rückkehr abgenommen und die gespeicherten Daten über ein dafür entwickeltes Programm mit einem Computer ausgelesen und ausgewertet. Wenn alles funktioniert hat, erhält man auf dem Bildschirm sofort die Route, die der Pinguin geschwommen ist. Bei unserem am höchsten entwickelten Fahrtenschreiber erhalten wir sogar Auskunft darüber, wann der Pinguin getaucht ist und wie tief. Gleichzeitig erfahren wir, ob der Pinguin in der Tiefe noch etwas sehen konnte, weil parallel dazu die Helligkeit im Wasser durch einen Lichtsensor gemessen wurde. Ein Temperaturfühler an dem Gerät informiert gleichzeitig über die aktuelle Wassertemperatur. Dies klingt alles sehr einfach, aber in Wirklichkeit steckt sehr viel Entwicklungsarbeit dahinter, die in Kooperation mit der mittelständischen schleswig-holsteinischen Firma Driesen und Kern geleistet wurde. Letztlich wurde das Ganze auch nur durch die „Kooperationsbereitschaft“ der Pinguine möglich, denn diese kehren während der Brut- und Aufzuchtperiode stets wieder an ihr Nest zurück, wo man ihnen die Geräte abnehmen kann. Da die Pinguine im allgemeinen sehr nesttreu sind, kehren sie sogar nach einem Jahr wieder zu derselben Stelle zurück, wo sie im letzten Jahr ihr Nest angelegt hatten. Dies eröffnet die Möglichkeit, die Tiere selbst über Monate hinweg auszurüsten.

Im Laufe der Zeit wurden nach diesem Speicherprinzip von unserer Arbeitsgruppe drei verschiedene Gerätetypen entwickelt, die wohl weltweit führend sind. Sie erlauben es, sehr verschiedene Informationen über die Tiere einzuholen.

Das einfachste Gerät ist etwa 10 cm lang und jeweils 1,5 cm breit und hoch und wiegt ca. 25 g. Es besitzt einen Lichtsensor, mit dem kontinuierlich die Tageshelligkeit gemessen und auf einem Speicherchip in Echtzeit registriert wird. Es wird von uns als **Global Location Sensor** oder kurz **GLS-Gerät** bezeichnet. Aus diesen Daten kann man dann die Zeit des Sonnenauf- und untergangs sowie die Mittagszeit als Zeitpunkt größter Helligkeit bestimmen. Diese Daten sind für jeden Punkt auf der Erde verschieden, so daß man daraus bei bekanntem Ausgangspunkt die tägliche Position der Tiere auf 20 - 40 km genau bestimmen kann. Solche Positionsangaben sind wichtig,

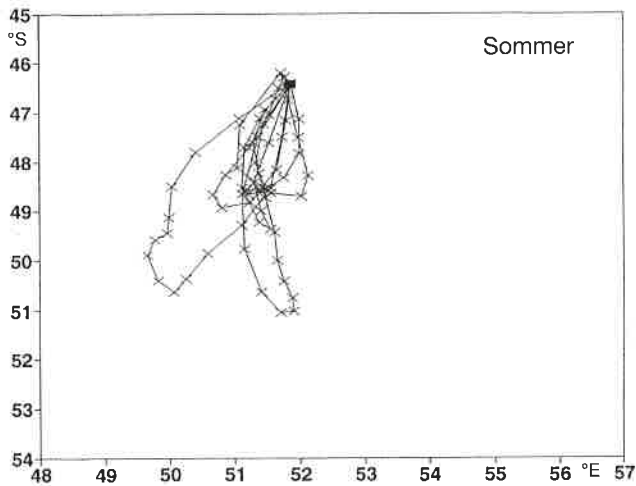


Abb. 5: Weg verschiedener Königspinguine auf der Nahrungssuche im Sommer. Das schwarze Rechteck markiert die Brutkolonie auf den Crozet-Inseln. Alle Tiere suchten in südlicher Richtung von der Kolonie, bis zu einer Entfernung von 370 km, ihr Futter (PÜTZ et al., in Druck).

wenn man die Tiere über längere Zeiträume verfolgen will, d. h. Wochen oder Monate. Diese Geräte sind wie die anderen auch hydrodynamisch geformt und werden den Tieren einfach mit wasserfestem Tesaband auf den Rücken geklebt, und zwar in der Mitte ziemlich nahe am Schwanz. Auf die Art der Befestigung und die Bedeutung der Geräteform soll später noch eingegangen werden.

Besonders lange, nämlich bis zu sechs Monaten, konnte unser Teamkollege Dr. K. Pütz solche Geräte an Königspinguine (*Aptenodytes patagonica*) einsetzen (PÜTZ et al., in Druck). So wurden von ihm gerade im September 1996 neun von ursprünglich 15 Geräten auf den Falkland-Inseln von Königspinguinen (Abb. 4) entfernt, die im März des gleichen Jahres befestigt wurden. Leider liegen noch keine Ergebnisse vor. Ergebnisse liegen aber vor von einem Einsatz auf den Crozet-Inseln, die mitten im Indischen Ozean liegen, sowie von den Kerguelen und von South Georgia im Atlantik. Dabei zeigte sich, daß die Königspinguine im Sommer ca. 300 km südlich von den Inseln ihre Futterplätze haben. Sie schwammen mit einer Geschwindigkeit von ca. 8 km/h dorthin, verweilten dort einige Tage und schwammen dann wieder schnell zurück, um im Mittel nach 5,7 Tagen im Jahr 1994 und 8,9 Tagen Abwesenheit im Jahr 1995 ihr Küken zu füttern (Abb. 5).

Aus hydrographischen Daten wissen wir, daß die Tiere jeweils zur Polarfront geschwommen sind. Die Polarfront stellt die Grenze des Südpolarmeeres zu den angrenzenden Ozeanen des Atlantik, Indik und Pazifik dar. Sie ist definiert als ein Gebiet, in dem in 200 m Wassertiefe noch 2 °C herrschen. Nach Norden zu steigt die Wassertemperatur sprunghaft an und erlaubt vielen Meeresbewohnern der Antarktis keine dauerhafte Existenz mehr. Die Polarfront stellt eine relativ scharfe Grenze dar, die sich aber im Jahreszyklus und im Laufe der Jahre etwas verschieben kann. Da die Polarfront auch Grenze für Myctiphiden, sardinenähnliche antarktische Fische, ist, die neben

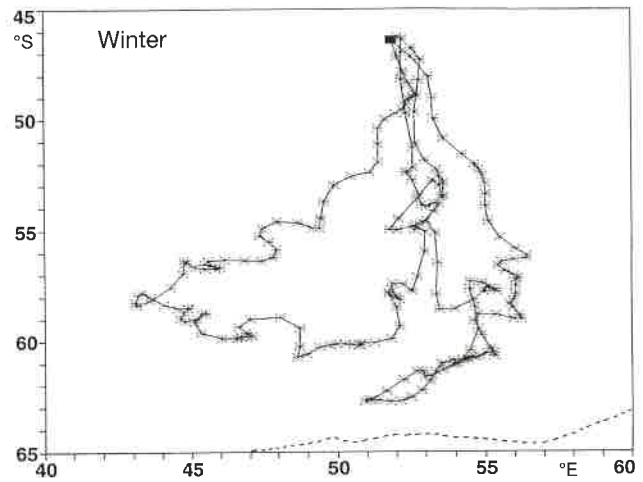


Abb. 6: Weg von drei Königspinguinen auf Nahrungssuche im Winter. Um Nahrung zu finden, müssen sie sich bis zu 1.800 km von den Crozet-Inseln entfernen und bis zur Nähe der Packeisgrenze (gestrichelte Linie) schwimmen (PÜTZ et al., in Druck).

Tintenfischen zu der Hauptnahrung der Königspinguine gehören, erklärt sich die Schwimmrichtung der Pinguine im Sommer sehr gut dadurch, daß sie zur Polarfront schwimmen, um Myctophiden zu fangen. Daß die Pinguine im Sommer 1995 etwas weiter schwimmen mußten, als im Sommer 1994, und dafür im Mittel auch längere Zeit benötigten, resultiert daraus, daß die Polarfront sich in diesem Jahr nicht so weit nach Norden ausgedehnt hatte.

Im Winter ergibt sich ein ganz anderes Bild. Hier werden die inzwischen schon herangewachsenen Küken, die fast über 13 Monate aufgezogen werden, nur in großen Zeitabständen von zwei Monaten und mehr gefüttert. Dies bedingt natürlich ein langsames Wachstum als bei häufigerer Fütterung, so wie es beispielsweise bei den allerdings wesentlich kleineren Adelpinguinen der Fall ist. Deren Küken sind bereits fünf bis sieben Wochen nach dem Schlüpfen aus dem Ei flügge. Die Königspinguineltern benötigen allerdings die lange Zeit, um im Winter weit entfernt Nahrung zu suchen. Sie finden sie in der Nähe der Packeisgrenze unterhalb des 60. Breitengrades in einer Entfernung von 1.600 bis 1.800 km von ihrer Kolonie. Hierfür benötigen sie zwischen 53 und 59 Tagen (Abb. 6). Da sie im Zielgebiet auch noch umherschwimmen, ergibt sich einschließlich des Rückweges eine Gesamtschwimmstrecke von über 5.000 km. Diese wird zumindest während der An- und Abreise mit Spitzengeschwindigkeiten von bis zu 14 km/h absolviert. Außerdem zeigte es sich, daß die Reisegeschwindigkeit in der Nacht immer etwas höher lag als am Tage. Möglicherweise tauchen die Tiere am Tage nebenbei auch nach Beute, was natürlich aufhält. Bereits vorher hatten französische Kollegen ähnliche Versuche angestellt, aber dazu schwere und nicht nach hydrodynamischen Gesichtspunkten geformte Satellitensender verwendet. Zwar ergab sich von der Reiseroute her ein ähnliches Bild, aber die Tiere brauchten wesentlich länger für ihre Reise und brachten zudem weniger Beute mit nach Hause. Ganz

offensichtlich waren die Tiere durch das angebrachte Gerät behindert. Unsere Tiere benötigten dagegen genauso wenig Zeit und waren genauso erfolgreich wie ihre Lebensgefährten, die kein GLS-Gerät trugen.

Aus den bisherigen Ergebnissen resultieren einige wichtige Fragen, die entsprechend auch für andere Pinguine gelten. So möchten wir natürlich wissen, wo, wann und wieviel Beute sie aufnehmen. Weiter muß man sich fragen, wie schaffen es die Elterntiere, ihre Beute im Magen über so lange Zeit zu ihrem Küken nach Hause zurückzutransportieren, ohne sie zu verdauen?

Zur Beantwortung der ersten Fragen hat wiederum R. P. Wilson eine wichtige und scheinbar einfache Erfindung getätigt. Es wurde ein Schlucklogger entwickelt. Dieser besteht aus einer etwa zehn Zentimeter langen Titanröhre mit einem Durchmesser von etwa zwei Zentimetern. In der Röhre befindet sich ein Speicherchip, der im 10-Sekundentakt die Temperatur der Röhrenwandung über einen empfindlichen Temperatursensor mißt und speichert. Diese Röhre muß von den Pinguinen verschluckt werden, wobei etwas nachzuhelfen ist. Dann bleibt das Gerät im Magen liegen, ohne das Tier weiter zu stören. Es mißt die Temperatur im Magen, und wenn der Magen leer ist, sogar die Körpertemperatur. Wenn nun der Pinguin seine Nahrung aufnimmt, bei Adelle-, Zügel- oder Eselspinguinen ist es ausschließlich oder vorzugsweise Krill, bei den Königspinguinen Fisch oder Tintenfisch und bei den meisten anderen Pinguinarten ebenfalls bevorzugt Fisch, so hat diese Nahrung beim Verschlucken die Temperatur des Wassers. Das bedeutet in der Antarktis etwa zwei Grad. Wenn nun die Pinguine ihre kalte Beute in den Magen bekommen, kühlt dieser sofort ab, und zwar um so mehr, je mehr gefressen wurde. Anschließend erwärmt sich der Magen samt Inhalt durch die Körpertemperatur wieder bis auf das Ausgangsniveau. Aus dem Abkühlungsereignis kann man den genauen Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme erkennen, und aus dem Integral über die Erwärmungsphase läßt sich die aufgenommene Nahrungsmenge genau bestimmen. Ist das Tier mit einem GLS-Gerät oder einem Fahrtenschreiber ausgerüstet gewesen, der nachfolgend beschrieben wird, dann läßt sich das Freißereignis nicht nur zeitlich, sondern auch räumlich lokalisieren.

Wie konnte man nun aber den Trick der Pinguine herausfinden, ihre Nahrung unverdaut zu ihren Küken zurückzubringen? Hierbei hat die Weiterentwicklung des Schluckloggers geholfen, die Herr Diplombiologe G. Peters von unserer Arbeitsgruppe vorgenommen hat. So hat er neben dem Temperatursensor einen Sensor entwickelt, der kontinuierlich den pH-Wert im Magen mißt, und einen weiteren, der die Bewegungen des Speisebreis durch die Magenmuskulatur erfaßt. Auf diese Weise ließ sich zunächst bei Magellanpinguinen (*Spheniscus magellanicus*) und dann bei Adelle- und Zügelpinguinen zeigen, daß die Tiere offenbar in der Lage sind, willkürlich die Temperatur und den pH-Wert im Magen abzusenken und außerdem die Magenbewegungen einzuschränken. Dadurch wird einmal erreicht, daß die Verdauungsenzyme nicht mehr im für sie optimalen Temperatur- und insbeson-

dere pH-Bereich arbeiten und zum anderen durch die Verminderung der Magenbewegungen die Verdauungssäfte sich kaum noch mit der Nahrung mischen können. Dies alles führt dazu, daß praktisch keine Aufbereitung der Nahrung mehr stattfindet, und erklärt, warum Pinguine ihre Nahrung über Tage oder Wochen unverdaut zu ihren Küken transportiert bekommen.

Weiterhin eignen sich die mit einem Temperatursensor versehenen Schlucklogger auch sehr gut dazu, zu erkennen, ob Pinguine unter Streß stehen. Sehr viele Tiere, die den Menschen fürchten und durch seinen Anblick unter Streß geraten, laufen einfach weg oder zeigen durch Minenspiel und Verhalten, daß sie unter Streß stehen. Nicht so Pinguine, wenn sie brüten. Sie fliehen erst im letzten Moment vor der Berührung, sind aber schon lange vorher gestreßt, ohne daß man ihnen dies ansieht.



Abb. 7: Adellepinguin mit angeklebtem Fahrtenschreiber. Das Gerät dient zur Registrierung der Schwimmaktivitäten und wird ihm nach Rückkehr zum Nest, ohne dem Vogel zu schaden, wieder abgenommen. Durch seine hydrodynamische Form behindert es den Pinguin offensichtlich nicht.

Frau J. Regel konnte nun zeigen, daß die Körpertemperatur der Pinguine sich um mindestens 1,5 °C erhöht, wenn diese Vögel durch den Menschen, aber auch durch natürliche, sie aufregende Ereignisse gestört werden. Diese Temperaturerhöhung hält mindestens über 30 Minuten an. So kann man auch nachträglich sehr gut erkennen, ob ein Pinguin gestört wurde. Nimmt man das Tier gleichzeitig durch eine automatische Videokamera auf, so kann man die Störungen sehr gut auch den äußeren Ereignissen zuordnen. So konnten wir erkennen, daß sich Pinguine in der freien Wildbahn viel mehr aufregen, wenn sie einen Menschen schon aus der Entfernung sehen, als man dies nach ihrem scheinbar ruhigen Äußeren vermuten könnte. Dies sollte man im Antarktistourismus berücksichtigen, wenn Pinguinkolonien besichtigt werden.

Das bisher von der Arbeitsgruppe in Zusammenarbeit mit der Fa. Driesen und Kern am weitesten entwickelte Telemetriegerät ist ein sogenannter Fahrtenschreiber, der in seiner letzten Version über eine Speicherkapazität von zwei MB verfügt und damit sehr viele Einzeldaten speichern kann. Er besitzt einen Kompaß, mit dem die jeweilige Schwimmrichtung registriert wird, einen Staudruckmesser (Prandtl-Rohr) zur Erfassung der Schwimmgeschwindigkeit, einen Drucksensor zur Tiefenmessung, einen Temperatursensor zur Messung der Wassertemperatur und einen Lichtmesser zur Bestimmung der Helligkeit in der Umgebung. Dieses Gerät ist natürlich größer und schwerer als das GLS-Gerät. So wiegt es etwa 80 g. Dennoch stört es die Tiere im Wasser nur so geringfügig, daß kaum ein Unterschied zu nicht ausgerüsteten Tieren feststellbar ist, und zwar aus folgenden zwei Gründen:

Erstens erfährt das Gerät im Wasser einen Auftrieb, so daß nur ein Teil des Gewichts zum Tragen kommt. Zum anderen sind auch diese Geräte durch die Zusammenarbeit mit Herrn Dr. R. Bannasch von der Technischen Universität Berlin so günstig geformt, daß sie dem hydrodynamisch in vielen Jahrtausenden optimal gestalteten Pinguinkörper in idealer Weise angepaßt sind. Dabei mußte natürlich auch die beste Stelle zur Befestigung herausgefunden werden. Wie man auf der Abbildung 7 sieht, paßt sich der Fahrtenschreiber dem Tierkörper sehr gut an.

Was leistet nun aber der Fahrtenschreiber? Zunächst zeichnet er die Schwimmgeschwindigkeit und über den Kompaß die Richtung auf. Durch die sogenannte Koppelnavigation kann man mit geeigneter Software aus den Daten den Schwimmkurs in der Zeiteinheit genau berechnen. Durch den Drucksensor wird die jeweilige Schwimmtiefe aufgezeichnet, so daß man ersehen kann, wo und wann der Pinguin auf seinem Weg getaucht ist. Es läßt sich sogar daraus das genaue Tauchprofil ablesen (Abb. 8). Taucht ein Pinguin steil nach unten und gleich wieder nach oben, so handelt es sich in der Regel nur um ein Suchtauchen. Bleibt der Pinguin aber eine Weile in einer bestimmten Tiefe, so daß sich ein U-förmiges Tauchprofil ergibt, so kann man davon ausgehen, daß er dort Nahrung aufgenommen hat, im Fall von Adelie-, Zügel- (Abb. 9) und Eselspinguinen z. B. Krill. Diese Annahme ließ sich dadurch bestätigen, daß die Tiere gleichzeitig mit den Fahrtenschreibern auch eine Magentemperatursonde erhielten, die dann das Freßereignis genau belegte. Insbesondere wenn die Küken schon etwas herangewachsen sind, ist ihr Nahrungsbedarf riesig. So erwartet ein Adeliepinguinküken, daß sich mit

Abb. 8: Der Fahrtenschreiber zeichnet nicht nur den Schwimmkurs (a), sondern auch die Geschwindigkeit (b) und die Tauchereignisse (Pfeile) eines Zügelpinguins auf. Jedesmal, wenn er taucht, fällt die Schwimmgeschwindigkeit ab. Aus dem Verlauf des Tauchprofils (c) läßt sich erkennen, ob der Pinguin nur nach Nahrung gesucht oder ob er auch welche gefunden hat. Ist der Pinguin auch mit einem Schlucklogger ausgerüstet, kann man durch kontinuierliche Messungen der Magentemperatur (d) gleichzeitig erkennen, wann (Pfeile) und wie viel kalte Nahrung (Krill) aufgenommen wurde (verändert n. WILSON et al., 1992).

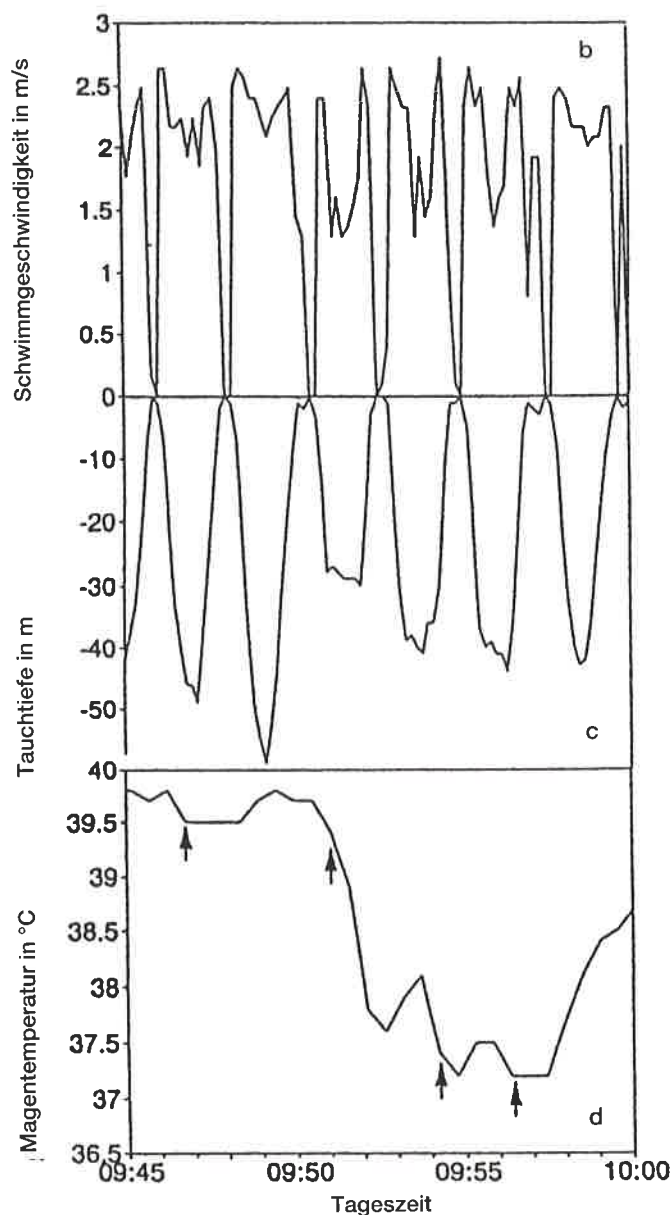
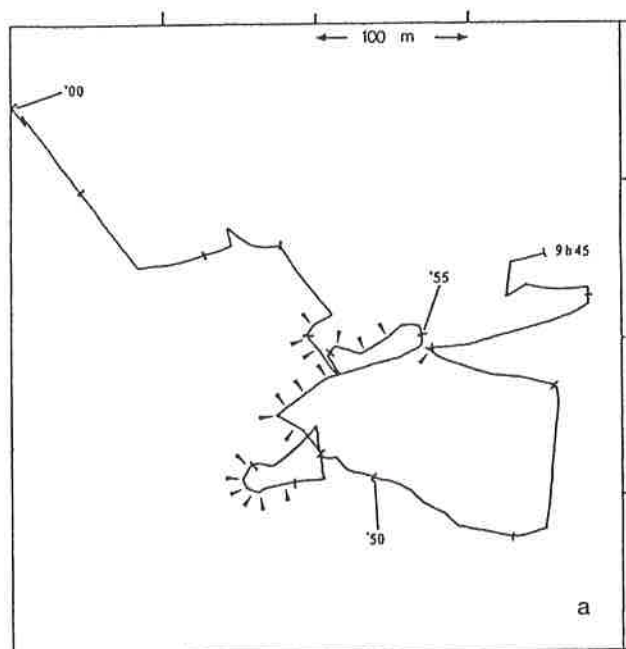




Abb. 9: Zügelpinguine sind eng mit Adelle- und Eselspinguinen verwandt. Sie brüten häufig im gleichen Areal, aber stets in getrennten Gruppen.

anderen Küken in sogenannten Kindergärten (Abb. 10) zusammengefunden hat, da sie nicht mehr der Wärme und der Bewachung durch ihre Eltern bedürfen, von diesen täglich etwa 1 kg Krill. So werden in Kolonien von 100.000 Tieren schon allein für die Küken riesige Mengen an Krill benötigt, die täglich aus dem Meer gefischt werden müssen. Hinzu kommt noch der Eigenbedarf der Eltern.

Abb. 10: Adellepinguinküken brauchen bereits nach drei bis vier Wochen nicht mehr ständig von ihren Eltern gewärmt und geschützt werden. Sie bilden „Kindergärten“, die zunächst noch von einigen Altvögeln bewacht werden.



Dadurch, daß der Fahrtenschreiber auch mit einem Temperatur- und Helligkeitssensor ausgerüstet war, ließen sich gleichzeitig die Wassertemperatur und die Helligkeit im Wasser erfassen. Auf diese Weise ließ sich nachweisen, daß die antarktischen Pinguine ihre Beute nur dann bekommen, wenn sie etwas sehen, d. h. sie müssen sie sehen können. Für die Königspinguine war dies lange umstritten, und man nahm an, daß sie bevorzugt nachts jagen. Dies ist aber nicht der Fall, sondern verhält sich wie beschrieben.

Offensichtlich tauchen sie auch nur so tief, wie die Helligkeit ausreicht, um Beute zu erkennen, obwohl sie beachtliche Tauchleistungen vollbringen können. So ergaben unsere Untersuchungen für die kleinen, nur etwa vier bis fünf Kilogramm schweren und knapp 60 cm großen Adellepinguine eine maximale Tauchtiefe von 240 m. Normalerweise tauchen sie aber nur um die 100 m tief, weil sie dort bevorzugt den Krill finden. Königspinguine tauchen sogar bis in 420 m Tiefe, wie PÜTZ (in Druck) nachweisen konnte.

Ein nicht unwichtiger Nebeneffekt dieser Untersuchungen, der auch für physikalische Ozeanographen von Interesse sein kann, ist darin zu sehen, daß die Pinguine uns über die Messung der Wassertemperatur und der Wasserhelligkeit eine gute Beschreibung des Wasserkörpers geben, in dem sie operieren, und dies sogar dreidimensional. Wenn es gelingt, zukünftig auch einen passenden Sensor für die Salinität zu entwickeln, können die Pinguine auch gleichzeitig den Salzgehalt messen, so daß sie statt eines teureren Forschungsschiffes sehr preiswert einen Beitrag zur ozeanographischen Forschung liefern würden.

Experimentelle Untersuchungen im Schwimmkanal durch Dr. B. Culik konnten Aufschlüsse über den Energieverbrauch von Pinguinen beim Schwimmen und Tauchen liefern. Da es sich hier nicht um telemetrische Messungen handelt, sondern solche im Feldlabor, soll hier nicht näher darauf eingegangen werden. Diese Untersuchungen liefern aber wichtige ergänzende Daten. Daraus ließ sich z. B. berechnen, daß ein Adellepinguin beim Schwimmen zum Futterplatz etwa zehn Gramm Krill pro Kilometer braucht. Dies ist sozusagen sein Treibstoff. Alle Daten zusammengekommen vermitteln uns nun schon ein sehr klares Bild von den Aktivitäten und Lebensbedürfnissen einiger Pinguinarten, so daß der Weg zum völlig „gläsernen“ Pinguin nicht mehr weit ist. Noch nicht so genau bekannt ist das Verhalten der antarktischen Arten im Winter. Unsere Geräte sind aber jetzt soweit entwickelt, daß wir auch hier auf telemetrischem Wege tätig werden können. Außerdem sollen dann unsere Erfahrungen mit diesen Geräten, die bereits bei Kormoranen und Albatrossen gewonnen wurden, zukünftig auch bei Robben und Kleinwalen sowie anderen Meeresvögeln angewendet werden.

Literatur:

PÜTZ, K., Y. ROPER-COUDERT, J.-B. CHARRASIN, R. P. WILSON und Y. Le MAHO (in Druck): Foraging areas of breeding King Penguins (*Aptenodytes patagonicus*) in the southern Indian Ocean.

WILSON, R. P., B. M. CULIK, R. BANNASCH und H. H. DRIESEN (1992): Monitoring penguins at sea using data loggers. *Biotelemetry* XII, 31. 8. - 5. 9.; Arcona / Italien.

Meeresschildkröten im Mittelmeer

Bisherige Erkenntnisse über Vorkommen, Bestandsentwicklung, Verhalten, schädigende Umwelteinflüsse sowie Maßnahmen zur Erforschung und zum Schutz der Bestände

A. Redlich

Jedermann kennt die Berichte über Meeresschildkröten aus tropischen Regionen. Daß diese eindrucksvollen Reptilien auch im Mittelmeer vorkommen, ist jedoch weit weniger bekannt. Dabei wird ihre Existenz schon um 470 v. Chr. durch Abbildungen auf griechischen Geldmünzen dokumentiert (OBST, 1986), und bereits 1833 beschreiben BIBRON und BORY DE SAINT VINCENT nistende Seeschildkröten auf dem Peloponnes.

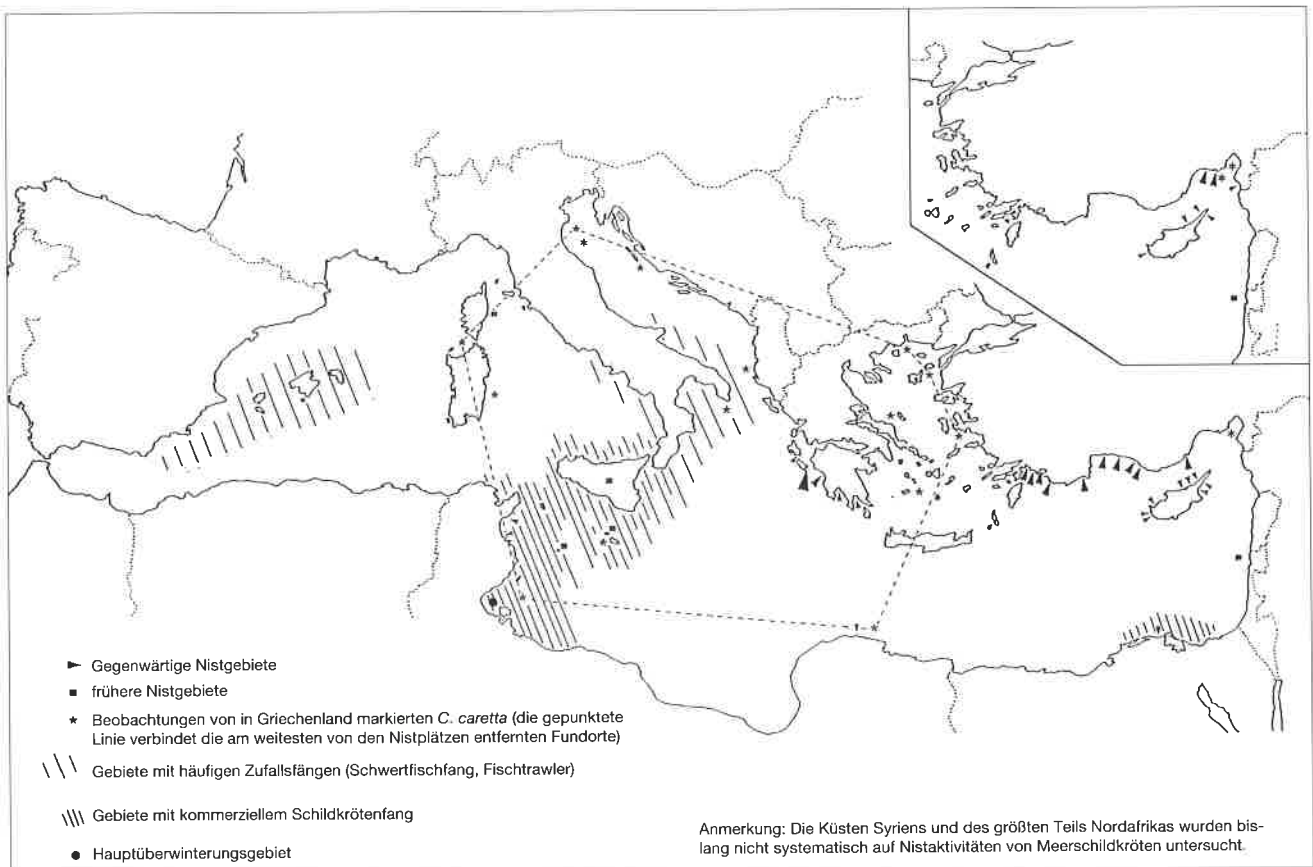
Vorkommen und Bestandsentwicklung

Drei Arten von Meeresschildkröten kommen regelmäßig im Mittelmeerraum vor: Die am weitesten verbreitete Unechte Karettschildkröte (*Caretta caretta* L.), die Suppenschildkröte (*Chelonia mydas* L.) und die Lederschildkröte (*Dermochelis coriacea* L.) (UNEP, 1989a; GROOMBRIDGE, 1990). *C. caretta* und *C. mydas* pflanzen sich an den mediterranen Küsten fort (SELLA, 1982; DELAGUERRE, 1987; GRAMETZ, 1988). Im Gegensatz hierzu ist die Lederschildkröte ein Irrgast aus tropischen Gebieten, der gelegentlich und nur in geringer Anzahl auftritt (UNEP, 1989a). Ihre pelagische Lebensweise führt dazu, daß sie häufig mit den Meeresströmungen in weit entfernte Regionen verdriftet wird, einmal sogar bis in die Gewässer vor Stralsund.

Die größte Meeresschildkrötenpopulation in Europa bildet die Unechte Karettschildkröte. Sie ist ein Kosmopolit und als einzige Art weltweit auch in temperierten Zonen heimisch. GROOMBRIDGE (1990) gibt als vorsichtige Schätzung eine Zahl von etwa 2.000 jährlich im Mittelmeerraum nistenden Muttertieren an. Der Autor nennt diesen Wert unter dem ausdrücklichen Vorbehalt, daß die Zahlen lediglich auf den unvollständigen Daten der bekannten Brutgebiete basieren. Da die geschlechtsreifen weiblichen Tiere nur alle zwei bis drei Jahre bei der Eiablage beobachtet werden, nach einer Nistsaison also für ein bis zwei Jahre geschlechtlich inaktiv bleiben, ergibt sich hieraus für das Mittelmeergebiet eine Gesamtzahl von mindestens 4.000 bis 6.000 ausgewachsenen weiblichen Schildkröten.

Aus der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts liegen Berichte vor, die auf eine Verteilung der Brutstrände von *C. caretta* im gesamten Mittelmeerraum schließen lassen. Seit einigen Jahrzehnten findet jedoch ein merklicher Rückgang der Bestände statt, und auch die Zahl der Brutgebiete ist deutlich rückläufig. Die

Abb. 1: Meeresschildkröten im Mittelmeer. Nistgebiete, Wanderungen, Fang und Überwinterung (nach GROOMBRIDGE, 1990).



letzten Brutstrände im zentralen Mittelmeerraum werden auf der Insel Lampedusa beschrieben, ansonsten sind die Nistaktivitäten im westlichen und mittleren Mittelmeer erloschen (DI PALMA, 1978; GROOMBRIDGE, 1990; ARGANO und BALDARI, 1983; BRUNO, 1986; GRAMENTZ, 1986). Die folgende tabellarische Übersicht gibt diese Entwicklung wieder:

Tab. 1: Brutaktivität von *C. caretta* im Mittelmeerraum. Übersicht über die Entwicklung in den einzelnen Mittelmeerländern (nach REDLICH, 1995):

	vor 1980	nach 1980
Balearen	nein	nein
Provence	keine Angaben	nein
Korsika	ja (bis 1940)	nein
Italien	ja (bis 1969)	nein
Sizilien	ja (bis 1978)	nein
Sardinien	ja	nein
Malta	ja (1915)	nein
Lampedusa	ja	ja („gering“)
Türkei	keine Angaben	ja
Zypern	keine Angaben	ja
Israel (Süd)	ja	nein
Israel (Nord)	ja (1950)	ja („gering“)
Ägypten	ja	ja
Libyen		ja
Tunesien	ja	ja
Algerien	ja	ja

Die größte Bedeutung haben heute die Niststrände an den griechischen und türkischen Küsten. Auf der ionischen Insel Zakynthos, dem wichtigsten mediterranen Brutgebiet, nisten jährlich etwa 300 - 700 Schildkröten (SUTHERLAND, 1984; COUNCIL OF EUROPE, 1988; UNEP, 1989a). In der Türkei sind zehn Strände bekannt, an denen pro Jahr jeweils etwa 100 Tiere ihre Eier ablegen (BARAN, 1990). Auch diese Bestände sind bedroht.

Die Kenntnisse über die Lebensweise der Meeresschildkröten konzentrieren sich auf die Periode der Eiablage, die im Mittelmeerraum Anfang Juni beginnt und bis Ende August dauert. Während dieses Zeitraumes suchen geschlechtsreife weibliche Schildkröten die Brutstrände auf und legen durchschnittlich zwei- bis dreimal im Abstand von zwei Wochen im Mittel jeweils 120 gut tischtennisballgroße Eier in den erwärmten Sand. Die Eiablage findet nachts statt und läuft nach folgendem stereotypen Schema ab: In der sensiblen Anfangsphase des Nistvorganges nähert sich das Weibchen dem Ufer, kriecht den Strandwall hinauf und sucht in einem Bereich kurz oberhalb der Hochwasserlinie nach einem Nistplatz. Hat sie eine geeignete Stelle gefunden, schaufelt sie mit allen vier Flossen den lockeren Oberflächensand zur Seite und gräbt so eine Mulde, in der fast ihr ganzer Körper Platz findet. In den festen, feuchten Sand am Boden dieser sog. Körpermulde gräbt sie mit den Hinterflossen eine flaschenförmige, etwa 50 cm tiefe Nisthöhle, in die sie ihre weichschaligen Eier ablegt. Ebenfalls mit den Hinterflossen verschließt sie die Eikammer



Abb. 2: *Caretta caretta* bei der Eiablage. Dieses 75 kg schwere Tier weist knapp 90 cm Rückenpanzerlänge auf.



Abb. 3: Kriechspur und getarntes Gelege der Unechten Karettschildkröte.

Abb. 4: Schlupf der Jungtiere. Vor dem Marsch Richtung Meer orientiert sich diese Gruppe junger Schildkröten über der Nisthöhle. Das Tier unterhalb der Bildmitte hat den Sand noch nicht vollständig verlassen.



und wirft dann mit kräftigen Bewegungen der Vorderflossen große Mengen lockeren Oberflächensand über ihre Niststelle. Langsam vorwärtskriechend füllt sie so die Körpermulde und tarnt das Gelege. Der gesamte Vorgang dauert ein bis zwei Stunden.

In Abhängigkeit von der Bruttemperatur schlüpfen die jungen Schildkröten nach einer Brutdauer von knapp zwei Monaten. Überstehen sie die zahlreichen Gefahren, die auf sie lauern, erreichen sie nach 12 - 15 Jahren die Geschlechtsreife (DODD, 1988).

Meeresschildkröten besitzen keine Geschlechtschromosomen; ihr Geschlecht wird, wie bei anderen Reptilien, durch die Gelegetemperatur bestimmt. Oberhalb von 30 °C entwickeln sich weibliche, unterhalb von 29 °C männliche Tiere (YNTEMA und MROSOWSY, 1980). Bemerkenswert im Hinblick auf die Brutbedingungen ist die Konstanz der Bruttemperatur. Trotz diurnaler Schwankungen von 45 °C an der Sandoberfläche bleiben die Werte in Gelegetiefe nahezu unverändert. Innerhalb von 24 Stunden variiert die Temperatur hier lediglich um 0,7 bis maximal 1,8 °C (REDLICH, 1993).

Die subadulten und ausgewachsenen Schildkröten sind nicht das ganze Jahr über ortsständig. Außerhalb der Fortpflanzungsperiode legen sie bei ihren Wanderungen große Entfernungen zurück. Als Extrembeispiel gilt ein 1982 in Texas markiertes einjähriges Tier, das 1986 vor der Küste Süditaliens gefangen wurde (GROOMBRIDGE, 1990). Auch im Mittelmeerraum wurden adulte Schildkröten mehrfach bis zu 1000 km von ihren Nistplätzen entfernt beobachtet. Der Aufenthalt dieser Tiere besonders im Golf von Gabes und vor der ägyptischen Küste zeigt, daß es im südlichen Mittelmeer Überwinterungsgebiete gibt, in die sich die Schildkröten während der kühleren Jahreszeit zurückziehen (siehe Abb. 1).

Bei der Eiablage zeigt *C. caretta* weltweit eine ausgeprägte Nistplatztreue; über 90 % der weiblichen Schildkröten suchen immer wieder dieselben Nistgebiete auf. In diesem Zusammenhang ist die Beobachtung einer am Südpeloponnes nistenden Schildkröte interessant, die an der rechten Vorderflosse eine Kunststoffmarke mit der Aufschrift „Cyprus“ trug (REDLICH, 1993). Eine Nummerierung fehlte. Obwohl Zeit und Ort der Markierung wegen der schadhafte Marke nicht eindeutig festgestellt werden konnten, erscheint es sehr wahrscheinlich, daß das Tier vor seiner Eiablage am Südpeloponnes auch auf Zypern genistet hat. Die zwischen beiden Brutgebieten liegende Entfernung von etwa 1.000 km Luftlinie übertrifft deutlich die größten bislang in der Literatur beschriebenen Distanzen zwischen zwei Nistplätzen einer Unechten Karettschildkröte (725 km (STONEBURNER und EHRHART, 1981) bzw. 550 km (BJORN DAL et al., 1983)). Handelt es sich bei dieser Beobachtung um keinen Einzelfall, so dürften sich die mediterranen Schildkrötenpopulationen in stärkerem Maße vermischen als bislang angenommen. Dies wäre von wesentlicher Bedeutung für die Planung zukünftiger Schutzmaßnahmen.

Zur Erweiterung der Kenntnisse über Wanderverhalten, Lebensweise und Entwicklung von Meeresschildkröten werden bislang vorrangig Markierungsprogramme mit herkömmlichen Kunststoff- oder Metallmarken durchgeführt. Die Kennzeichnungsmarken

werden vorzugsweise wenig distal des Karpalgelenkes am Hinterrand der Vorderflosse und an der Hinterflosse befestigt. Ihr häufiger Verlust stellt aber auch bei den höchstqualitativen Anfertigungen - hier wird eine Verlustrate von 50 % geschätzt - ein großes Problem dar (MROSOVSKY, 1983). Bereits in den späten 60er Jahren wurde daher darüber nachgedacht, ob nicht mit Hilfe telemetrischer Untersuchungen via Satellit detailliertere Informationen über Verhalten und Wanderungen von Meeresschildkröten zu gewinnen seien. Erste Untersuchungen dieser Art führte STONEBURNER (1982) in den Jahren 1979 und 1980 an der nordamerikanischen Atlantikküste durch. Damals wurden die Sender in 70 cm lange Kunststoffbojen eingeschäumt und mit Hilfe eines Nylonhalters und eines 30 m langen Seiles an nistenden Tieren befestigt. Nachteilig erwies sich die Auffälligkeit der Bojen und die geringe Akzeptanz der Methodik bei projekt-fremden Beobachtern. Obwohl die nominelle Betriebsdauer der Sender 50 Tage betrug, wurden sämtliche Geräte zwischen ein und 19 Tagen nach der Befestigung zerstört, um die vermeintlich gequälten Tiere zu befreien. Die Schildkröten selbst zeigten keine wesentliche Beeinträchtigung. Trotz der kurzen Beobachtungsphase lieferten bereits diese Untersuchungen interessante Ergebnisse über Wanderverhalten und Futteraufnahme der weiblichen Schildkröten zwischen den Eiablagen.

Mit der technologischen Entwicklung haben sich seither auch die Möglichkeiten der Telemetrie verändert. Moderne Sender sind wesentlich kleiner, verfügen über effizientere Batteriesysteme und energiesparende Sensoren, die die Geräte beim Abtauchen der Schildkröten ausschalten. Sie erreichen eine wesentlich längere Betriebsdauer und werden nach Befestigung auf dem Rückenpanzer problemlos toleriert. Interessante Informationen verspricht die Telemetrie im Hinblick auf die Wanderungen zwischen Brutstränden und Futter- bzw. Überwinterungsgebieten sowie scheinbar ungezielte Bewegungen einzelner Tiere. Jüngste Untersuchungen an der nordamerikanischen Küste und im Pazifik (vergl. BALAZS et al., 1994; PAPI et al., 1995; PAPI und LUSCHI, 1996) beweisen, daß Meeresschildkröten über ein Navigationssystem verfügen, das sie in die Lage versetzt, kleine isolierte Ziele über große Entfernungen direkt anzusteuern. Dabei können sie Wind- und Meeresströmungen ausgleichen und sind bei Nacht unabhängig von der Sichtbarkeit des Mondes. Nach Transport in Gebiete, die weit von ihren natürlichen Lebensräumen entfernt sind, vermögen sie direkt in ihre Habitate zurückzukehren. Im Mittelmeerraum untersuchten HAYS et al. (1991) das Wanderverhalten einer adulten *C. caretta*. Die Beobachtungen während der Nistsaison 1990 bestätigten, daß weibliche Tiere zwischen mehreren Eiablagen in der Nähe der Brutstrände bleiben. Weiterhin erlauben sie Rückschlüsse auf das Tauchverhalten der Schildkröten.

Obwohl mit Hilfe der Telemetrie gerade diejenigen Abschnitte im Leben der Meeresschildkröten beleuchtet werden können, die sich ansonsten der Beobachtung durch den Menschen entziehen, gab es im Mittelmeerraum bislang keine weitere Anwendung dieser Technik.

Schadfaktoren

Der größte Teil der Brut von Meeresschildkröten fällt seit jeher zahlreichen Freßfeinden zum Opfer oder kommt aufgrund von Niederschlägen oder Überspülung der Brutstrände gar nicht erst zum Schlupf. Diese Verluste wurden bislang durch die Produktion einer hohen Zahl von Nachkommen kompensiert. Mit zunehmendem Tourismus an den Stränden, Intensivierung der Fischereiwirtschaft und Verschmutzung der Meere führen aber neue Belastungsfaktoren weltweit zu einem deutlichen Rückgang der Bestände.

Im Mittelmeerraum sind in erster Linie der Tourismus und die fortschreitende Entwicklung der Küstenregionen zu nennen (DEMETROPOULOS und HADJICHRISTOPHOROU, 1982; MARGARITOULIS, 1990; PETERS und VERHOEVEN, 1994). Touristische Aktivitäten können zur Beeinträchtigung von Eiablage, Brut und Schlupf der jungen Schildkröten, aber auch zur Schädigung der ausgewachsenen Tiere führen: Die Adulten, die sich während der Paarungs- und Eiablagephase vor den Brutstränden aufhalten, werden durch die immer zahlreicheren schnellen Sportboote gefährdet (VENISELOS, 1993). Auf den griechischen Inseln Zakynthos und Kefalonia beobachtete SUTHERLAND (1984) bei etwa 10 % der nistenden Muttertiere Wunden und Narben, die durch Antriebschrauben von Bootsmotoren verursacht wurden. Am Südpeloponnes wiesen 1/4 der beobachteten Schildkröten derartige Verletzungen auf (REDLICH, 1995). An den Brutstränden werden die nistbereiten Muttertiere durch nächtliche Spaziergänger, exzessive Beleuchtung von Bars, Fahrzeuge am Strand etc. von der Eiablage abgehalten. Bei Untersuchungen in Südgriechenland fanden wir nach mehreren erfolglosen Nistversuchen (Abb. 5) zahlreiche frischgelegte Eier im Spülsaum des betreffenden Strandabschnittes. Es ist bekannt, daß die Tiere ihre Eier im Wasser ausstoßen, wenn sie wiederholt von der Eiablage abgehalten werden. Fahrzeuge am Strand, Reiter, Erdbebewegungen und Spaziergänger bedrohen die Gelege. Abgesehen von der unmittelbaren Zerstörung kann bereits die Verfestigung des Sandes den Schlupferfolg entscheidend beeinträchtigen. Sonnenschirme, Treiboote und die Strandbepflanzung bergen weitere Gefahren. Die Bewässerung des Strandes und der benachbarten Bereiche verändert die ökologischen Gegebenheiten und fördert das Pflanzenwachstum. Humusbildung und dichter Bewuchs verschlechtern die Eignung als Nistplatz und bergen die Gefahr, daß Pflanzenwurzeln in die Gelege von Meeresschildkröten eindringen und diese zerstören (Abb. 6).

Beim Schlupf der Jungtiere kann die Beleuchtung des Strandes zum Verlust ganzer Gelege führen. Aufgrund positiver Phototaxis lassen sich die jungen Schildkröten bei ihrer Suche nach dem Meer von künstlicher Beleuchtung in die Irre führen, werden von streunenden Hunden und Füchsen gefressen oder verdursten am nächsten Morgen in der Sonne. Spurrillen von Geländewagen stellen für die streichholzschachtelgroßen Schlüpflinge ein nur sehr schwer zu überwindendes Hindernis dar. Fallen sie bei dem Versuch, dieses Hindernis zu überklettern, auf den Rücken, sind sie häufig aus eigener Kraft nicht mehr in der Lage, ihren Weg zum Meer fortzusetzen.



Abb. 5: Erfolgreicher Nistversuch. Derartige Spuren entstehen, wenn die Schildkröten bereits an der Wasserlinie bei ihrem Nistversuch gestört werden und sofort wieder ins Meer zurückkehren.

Nach Untersuchungen des „UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM“ (UNEP, 1989a) kommt es im Mittelmeer jährlich zu ca. 50.000 Zufallsfängen von Meeresschildkröten. Es wird vermutet, daß etwa ein Fünftel der betroffenen Tiere nicht überlebt. Dabei ist unklar, in welchem Maße es sich bei den betroffenen Tieren um Schildkröten aus dem Mittelmeer oder um Zuwanderer aus dem Atlantik handelt. Die größte Gefahr für die fleischfressende *C. caretta* geht vom Schwertfischfang mit köderbestückten Angeln aus, wie er besonders um die Balearen und Süditalien intensiv betrieben wird (DE METRIO et al, 1983; PANOU, 1989; GROOMBRIDGE, 1990). Erst in zweiter Linie werden Trawler und Stellnetze genannt. Die kräftigen Tiere richten Schäden an den Netzen der

Abb. 6: Gelegezerstörung durch eindringende Pflanzenwurzeln. An einem humusreichen Strandabschnitt haben Wurzeltriebe die Eischalen eines fast schlupffreien Geleges beschädigt. Dies führte zur Infektion der Eihäute und zum Absterben der Jungtiere. Bei dem linken Ei sind neben intakten Bezirken nekrotische, nicht mehr durchblutete Anteile der Eihäute zu erkennen. In dem rechten Ei befindet sich ein mumifiziertes Jungtier.





Abb. 7: Die linke Hinterflosse dieser bereits stark verwesten, geschlechtsreifen weiblichen *C. caretta* war in Resten eines Stellnetzes verfangen. Am Rücken wies das Tier zwei strichförmige, vernarbende Wunden auf. Bei der Sektion zeigten sich tiefgehende, in Heilung befindliche Verletzungen des Karapaxskelettes, die mit großer Wahrscheinlichkeit von einem Schiffspropeller herrühren.

Fischer an und rufen daher verständlicherweise keine freundschaftlichen Gefühle hervor. Abbildung 8 zeigt eine ca. 150 kg schwere Lederschildkröte, deren Schädel durch einen kräftigen Schlag zertrümmert wurde.

In Tunesien, Ägypten und Marokko sowie auf Sizilien und Sardinien werden Meeresschildkröten regelmäßig für den Verzehr gefangen. In Tunesien - hier ist Schildkrötenfleisch billiger als Fisch und dient der ärmeren Bevölkerung als Eiweißquelle - wurden bis 1989 jährlich schätzungsweise 5.000 Tiere auf den Fischmärkten angeboten (UNEP, 1989a).

Ein weiterer Faktor, dessen Auswirkung auf die Tiere sich schwer einschätzen läßt, ist die Belastung des Meerwassers mit einer Vielzahl von Schadstoffen. Wie in Tabelle 2 wiedergegeben, gelangen große Mengen der verschiedensten Umweltgifte in das Mittelmeer.

Da das Mittelmeer verhältnismäßig flach ist und der Wasseraustausch über die Straße von Gibraltar nur in

Abb. 8: *Dermochelis coriacea*. Ein etwa 150 kg schweres weibliches Tier mit zertrümmertem Schädel und deutlichen Verwesungszeichen.



sehr geringem Umfang stattfindet - das Wasser des Mittelmeeres erneuert sich etwa alle 80 Jahre - konzentrieren sich Umwelttoxine hier in höherem Maße als anderswo. Es ist daher nicht verwunderlich, daß beispielsweise die Quecksilberkonzentration bei Thunfischen (*Thynnus thynnus*) aus dem Mittelmeer mit 0,3 mg/kg Frischgewicht etwa sechsmal höher liegt als im Atlantik (UNEP, 1989b). Wenig bekannt ist über die Akkumulation dieser Substanzen im Gewebe von Meeresschildkröten, die ja als Fleischfresser, ebenso wie Thunfische, am Ende der Nahrungskette stehen. Die Tatsache, daß bestimmte Muschelarten, die einen Hauptnahrungsbestandteil der Unechten Karettschildkröte darstellen, mit bis zu 3,2 mg disperstierten Kohlenwasserstoffen pro Gramm Trockenge-

Tab. 2: Schadstoffeinleitung in das Mittelmeer (nach UNEP, 1989b):

Quecksilber	50 - 200 t / a
Pestizide	570 t / a
Blei	4.800 t / a
Petrolöle	300.000 - 500.000 t / a ¹

¹ Die 500.000 - 1.000.000 t Petrolöl, die bis 1979 jährlich legal ins Mittelmeer eingeleitet wurden, entsprechen etwa 20 % der weltweiten Ölverschmutzung der Meere, incl. sämtlicher Tankerunfälle (UNEP, 1989b).

wicht geradezu astronomische Schadstoffkonzentrationen aufweisen, stimmt allerdings sehr nachdenklich. Führt man sich vor Augen, daß gerade im Hauptüberwinterungsgebiet der mediterranen Meeresschildkröten, dem Golf von Gabes vor der Küste Tunesiens, intensivste Erdölförderung betrieben wird und daß im zentralen und östlichen Mittelmeer nach wie vor große Mengen von Erdöl legal abgelassen werden dürfen, so ist hier in nächster Zukunft auch keine Besserung zu erwarten.

Über die Auswirkung einer derartigen Schadstoffdauerbelastung mit Niedrigdosen besteht auf medizinischer Seite nach wie vor Unklarheit. Es stellt sich die Frage, inwieweit die toxischen Substanzen die Widerstandskraft der Tiere mindern und so Auswirkungen anderer Noxen, wie z. B. Parasitenbefall, verstärken. Die Immunsuppression durch Umwelttoxine wird als eine der möglichen Ursachen für fibroepitheliale Tumore diskutiert, die bei Meeresschildkröten in den letzten Jahren vermehrt auftreten (BALAZS und POOLEY, 1991).

Eine erhöhte Teratogenese (Anzahl Mißbildungen) konnte bei Untersuchungen in Südgriechenland jedoch nicht festgestellt werden (REDLICH, 1993).

Zu den „natürlichen Schadfaktoren“, die seit jeher zu großen Verlusten bei Gelegen und Nachzuchten von Meeresschildkröten führen, zählen ungünstige Umwelteinflüsse und eine Vielzahl von Freßfeinden.

Starke Regenfälle können eine dramatische Absenkung der Bruttemperatur bewirken und beeinträchtigen die Sauerstoffperfusion in die Brutkammer. Die Überflutung mit Seewasser bei starker Brandung oder Sturmflut kann darüber hinaus zu Auflagerung, Abtragung und/oder deutlicher Verfestigung des Sandes

über den Gelegen führen und den Schlupf der Jungtiere unmöglich machen.

Etwa 50 % bis maximal 70 % (DEMETROPOULOS und HADJICHRISTOPHOROU, 1982) der Gelege an den Brutstränden des Mittelmeeres fallen verschiedenen Nesträubern zum Opfer (REDLICH, 1995). Nach Auskunft der örtlichen Bevölkerung ist auch hier ein Zusammenhang mit dem Tourismus zu sehen. Wachsende Müllkippen ziehen besonders Füchse, Schakale und streunende Hunde in die Küstenregionen. Die folgende Tabelle 3 gibt Tierarten wieder, die weltweit bei der Plünderung von Meeresschildkrötengelegen beobachtet wurden.

Tab. 3: Nesträuber an den Gelegen von *C. caretta* (nach REDLICH, 1995):

Ameisen	(<i>Dorylus</i> sp.) Südafrika, Florida
Krabben	(<i>Ocypode albicans</i>) S. Carolina (<i>Ocypode quadrata</i>) S. Carolina, Florida
Warane	(<i>Varanus e. albigularis</i>) Südafrika (<i>Varanus varius</i>) Australien
Krähen*	(<i>Corvus ossifragus</i>) Florida
Schakale	(<i>Canis aureus</i>) Libyen, Griechenland, Türkei
Hunde	(<i>Canis familiaris</i>) Südafrika, Griechenland
Waschbären	(<i>Procyon lotor</i>) Florida, Georgia, Mexiko, S. Carolina
Ratten	(<i>Rattus rattus</i>) Australien
Schweine	(<i>Sus scrofa</i>) Australien, Georgia
Bären	(<i>Ursus americanus</i>) Florida
Füchse	(<i>Vulpes vulpes</i>) Australien
Steinmarder	(<i>Martes foina</i>) Griechenland
Gürteltiere	(<i>Dasypus novemcinctus</i>) Florida

* = nur bei geöffneten Nestern

Eine Vielzahl von Parasiten, vornehmlich Helminthen, stellen einen weiteren Belastungsfaktor dar. Bei *C. caretta* finden sich überwiegend Trematoden (Saugwürmer), von denen einige Arten erhebliche Schäden hervorrufen können (REDLICH, 1993). Besonders zu erwähnen sind die zur Familie der Spirorchiiden zählenden sog. „Blood flukes“, die im Blutgefäßsystem ihrer Wirtstiere leben. Diese Trematoden schwächen ihre Wirte ganz erheblich und rufen durch ihre zahlreichen Eier multiple Entzündungen in den Kapillargebieten sämtlicher Organe hervor.

Schutz und Forschung

Als Reaktion auf die Bedrohung der mediterranen Meeresschildkrötenpopulationen wurden die Tiere im Rahmen folgender internationaler Konventionen unter Schutz gestellt:

- African Convention on the Conservation of Nature and Natural Resources, 1968;
- Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES), 1973;
- Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats (Berner Konvention), 1979;
- Convention on the Conservation of Migratory Spe-

cies of Wild Animals (Bonner Konvention), 1979;

- Protocoll concerning Specially Protected Areas of the Mediterranean, 1982.

Die wirksame Umsetzung dieser Entschliefungen in eine nationale Gesetzgebung gestaltet sich jedoch äußerst problematisch (UNEP, 1989a; ALEGRA und ASIMAKOPOULOS, 1990; GROOMBRIDGE, 1990). Bislang haben lediglich Zypern, Griechenland, Israel, Italien, Spanien und die Türkei die Schutzbestimmungen in den unterzeichneten Konventionen auch auf nationaler Ebene in Form von Gesetzen und Dekreten umgesetzt. Mit Ausnahme eines vorbildlichen Projektes in Zypern erscheinen aber auch in diesen Ländern die Maßnahmen zur Durchsetzung der gesetzlichen Schutzbestimmungen nicht befriedigend.

Mit den Meeresschildkröten des Mittelmeeres befassten sich darüber hinaus eine Reihe von nationalen und internationalen, öffentlichen und privaten Organisationen. Ein Schwerpunkt der Arbeit dieser Organisationen ist die Zusammenfassung der bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse, das Aufzeigen der erforderlichen Maßnahmen sowie die Förderung und Durchführung von Einzelprojekten zur Erforschung und zum Schutz der Tiere. Hier sind zu nennen:

- United Nations Environmental Program (UNEP) mit Sitz in Athen,
- Mediterranean Action Plan / Regional Activity Centre for Specially Protected Areas (MAP / RAC SPA)
- Europäischer Rat,
- World Wide Fund for Nature (WWF), (ehem. World Wildlife Fund),
- Aktionsgemeinschaft Artenschutz (AGA),
- Mediterranean Association to Save the Sea Turtles (MEDASSET),
- Society for the Protection of Wildlife (DHKD)
- Sea Turtle Protection Society (STPS).

Dank der Erfahrung aus den Forschungs- und Schutzprojekten vor Ort haben sich bestimmte Erfordernisse herauskristallisiert, die für die Minimierung der Verluste an den Brutstränden notwendig sind.

Für den langfristigen Fortbestand der Arten in der Region müssen in erster Linie der Strandtourismus und die entsprechenden Einrichtungen an die Anforderungen für eine erfolgreiche Nachzucht angepaßt werden. Dringend zu empfehlen ist die Beschränkung des Kraftfahrzeugverkehrs an den Stränden, die Abschirmung der Beleuchtung von Bars und Hotels in Richtung Meer und die Errichtung von Schutzzonen mit beschränktem Zugang.

Um der drohenden Ausrottung zu begegnen, lassen sich die Bestandszahlen zusätzlich durch mittelfristige Reduzierung natürlicher Belastungsfaktoren erhöhen. Stehen finanzielle Mittel in ausreichendem Maße zur Verfügung, kann der Bruterfolg durch Sicherung der Gelege verbessert werden. Bei starker Bedrohung durch Freßfeinde ist die Errichtung von Schutzkäfigen über den Nestern sinnvoll. Besonders gefährdete Gelege lassen sich in bewachte Areale verpflanzen und dort geschützt erbrüten. Ohne allzu großen personellen und finanziellen Aufwand ist es darüber hinaus möglich, Jungschildkröten in herkömmlichen Anlagen der Fischzucht bis zu einem Alter heranzuziehen, in dem sie aufgrund ihrer Körpergröße vor den Nachstellungen ihrer Feinde geschützt sind.

Durch Brutbewachung und Betreuung einer Aufzuchtstation seit den späten 70er Jahren kann beispielsweise der Bestand der auf Zypern nistenden *Chelonia mydas* mit großer Wahrscheinlichkeit als gesichert gelten. Wie DEMETROPOULOS (pers. Mitt., 1990) berichtete, gelang es ihm und seinen Mitarbeitern bei transplantierten und bewachten Gelegen mittlere Schlupfquoten von 70 - 80 % zu erreichen. Bei insgesamt nur etwa 50 Gelegen an den Südstränden der Insel konnten so statt 1.500 - 2.000 jährlich 3.500 bis 5.000 Jungtiere erbrütet werden. Da zusätzlich ein Teil der frischgeschlüpften Tiere bis zu einem Alter von acht Jahren in Fischzuchtnetzen gehalten wird, ist es nicht verwunderlich, daß sich die Populationen hier stabilisieren und die örtlichen Fischer vermehrt von Fängen subadulter und adulter Tiere berichten. Von entscheidender Bedeutung für die Durchsetzung von Schutzmaßnahmen erwies sich, der einheimischen Bevölkerung zu vermitteln, daß eine intakte Natur die Attraktivität einer Urlaubsregion erhöht und so die Einkünfte aus dem Tourismus langfristig sichert. Hier gilt es, die Unterstützung örtlicher Landeigner und Touristikunternehmer zu gewinnen. Nur wenn dies gelingt, sind Schutzbemühungen auf Dauer sinnvoll.

Literatur:

ALEGRA, F., B. ASIMAKOPOULOS (1990): On the legal status concerning the protection of amphibians and reptiles in Greece. *Herpetol. Rev.*, 21 (2): 30 - 32

ARGANO, R., F. BALDARI (1983): Status of western mediterranean sea turtles. *Rapp. Comm. int. Mer. Méd.*, 28 (5): 233-235

BALAZS, G. H., P. CRAIG, B. R. WINTON, R. K. MIYA (1994): Sattelite telemetry of green turtles, nesting at French Frigate Shoals, Hawaii and Rose Atoll, American Samoa. In Proc. 14th Ann. Symp. Sea Turtle Biol. Conserv. (ed. K. A. Bjorndal, A. B. Bolten, D. A. Johnson, P. J. Eliazar): 184-187. U.S. Dept. Commerce, NOAA (Nat. Oceanic Atmos. Adm.) Tech. Mem. NMFS (Nat. Mar. Fish. Serv.) -SEFSC-351

BALAZS, G. H., G. S. POOLEY (1991): Research plan for marine turtle fibropapilloma. Results of a december 1990 workshop. NOAA Tech. Mem. NMFS, Honolulu, Hawaii, 113 p.

BARAN, I. (1990): Sea turtles in Turkey. *Mar. Turtle Newsl.*, 48: 21-22

BIBRON, G., J. B. BORY DE SAINT VINCENT (1833): Expedition Scientifique en Moree Tome III, 1ere partie, 1ere section Reptiles et Poissons. F. Levrault, Paris et Straßbourg, : 57-80

BJORNDAL, K. A., A. B. MEYLAN, B. J. TURNER (1983): Sea turtles nesting at Melbourne Beach, Florida, I. Size, growth and reproductive biology. *Biol. Conserv.*, 26: 65-77

BRUNO, S. (1986): Guida a Tartarughe e Sauri d'Italia. Giunti Martello, Firenze, 225 p.

COUNCIL OF EUROPE (1988): Laganas Bay, Zakynthos Greece. Convention on the conservation of european wildlife and natural habitats, 7th meeting Strasbourg, 6-9 December 1988, T-PVS (88) 43 (30.11.88)

DE METRIO, G., G. PETROSINO, A. MATARRESE, A. TURSI, C. MONTANARO (1983): Importance of the fishery activities with drift lines on the populations of *Caretta caretta* (L.) and *Dermochelys coriacea* (L.) (Reptilia, Testudines), in the Gulf of Taranto. *Oebalia*, n. s., 9: 43-53

DELAUGERRE, M. (1987): Statut des tortues marines de la Corse (et de la Mediterranee). *Vie Milieu*, 37(3/4): 243-264

DEMETROPOULOS, A., M. HADJICHRISTOPHOROU (1982): Turtle conservation in Cyprus. *Biol. Soc. Cyprus Bull.*, 2: 23-26

DI PALMA, M. G. (1978): Notizie sulle tartarughe marine in Sicilia (Reptilia, Testudine). *Nat. Sicil.*, Ser. IV, 2 (1-2): 1-6

DODD, C. K. Jr. (1988): Synopsis of biological data of the loggerhead sea turtle, *Caretta caretta* (Linnaeus 1758). U. S. Fish-Wildl. Serv. Biol. Rep., 88 (14): 1-110

GRAMENTZ, D. (1986): Loggerhead turtles at Lampedusa, Italy. *Mar. Turtle Newsl.*, 36: 3

GRAMENTZ, D. (1988): Involvement of loggerhead turtle with the plastic, metal and hydrocarbon pollution in the central Mediterranean. *Mar. Pollut. Bull.*, 19 (1): 11-13

GROOMBRIDGE, B. (1990): Marine turtles in the Mediterranean: Distribution, population, status, conservation. A report to the Council of Europe, Environment, Conservation and Management Division. Council of Europe, Strasbourg, Nature and Environment Series, 48, 98 p.

HAYS, G. C., P. I. WEBB, J. P. HAYES, I. G. PRIEDE, J. FRENCH (1991): Satellite tracking of a loggerhead turtle (*Caretta caretta*) in the Mediterranean. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, 71: 743-746

MARGARITOU, D. (1990): Successes and failures: Conservation and tourism on the nesting beaches of Laganas Bay, Zakynthos, Greece. *Mar. Turtle Newsl.*, 49: 13-14

MROSOVSKY, N. (1983): Conserving Sea Turtles. The British Herpetological Society, London, 166 pp.

OBST, F. J. (1986): Turtles, tortoises and terrapins. Ed. Leipzig, Fortsch. Erfurt, 231 p.

PANOU, A. (1989): Interim report on the project Interactions between loggerhead turtles *Caretta caretta* and swordfishes 1989 in Kefalonia isl. Ionian Sea, Greece", 3 p., unveröffentlicht

PAPI, F., H. C. LIEW, P. LUSCHI, E. H. CHAN (1995): Long range migratory travel of a green turtle tracked by satellite: Evidence for navigation ability in the open sea. *Mar. Biol.*, 122: 171-175

PAPI, F., P. LUSCHI (1996): Pinpointing „Isla Meta“: The case of Sea Turtles and Albatrosses. *J. Exp. Biol.*, 199 (1): 65-71

PETERS, A., K. J. F. VERHOEVEN (1994): Impact of artificial lighting on the seaward orientation of hatchling loggerhead turtles. *J. Herpetol.*, 28: 112-114

REDLICH, A. (1993): Untersuchungen zum Vorkommen und zur Biologie der Unechten Karettschildkröte (*Caretta caretta*) in Südgriechenland (Peloponnes) unter besonderer Berücksichtigung endoparasitärer Helminthen. *Vet. Med. Dissertation*, München

REDLICH, A. (1995): Untersuchungen zur Ökologie der Fortpflanzung und zur Morphologie der Unechten Karettschildkröte (*Caretta caretta*, Linné, 1758, Testudines, Cheloniidae) in Südgriechenland (Peloponnes). *Diplomarbeit Fak. Biol., Ludwig-Maximilians-Universität, München*, unveröffentlicht

SELLA, I. (1982): Sea turtles in the eastern Mediterranean and northern Red Sea. In: Bjorndal, K.A. (ed.), *Biology and conservation of sea turtles*, Smithsonian Inst. Press, Washington, DC, 417-424

STONEBURNER, D. L. (1982): Satellite telemetry of Loggerhead Sea Turtle movement in the Georgia Bight. *Copeia*, 1982: 400-408

STONEBURNER, D. L., L. M. EHRHART (1981): Observation on *Caretta c. caretta*: a record interesting migration in the Atlantic. *Herpetol. Rev.*, 12: 66

SUTHERLAND, J. M. (1984): The biology and conservation of the loggerhead turtle, *Caretta caretta*, on the greek island of Zakynthos. *Unveröffentl. Bericht an WWF, U.-K.*, 44 p.

UNEP (1989a): Report on the status of mediterranean marine turtles. RAC / SPA-UNEP MEDU W.G. (1/3) (30.04.89)

UNEP (1989b): State of the mediterranean marine environment. MAP Technical Report Series 28 (Athen)

VENISELOS, L. E. (1993): Speed boats kill turtles in Laganas Bay, Zakynthos. *Mar. Turtle Newsl.*, 63:15

YNTEMA, C. I., N. MROSOVSKY (1980): Sexual differentiation in hatchling loggerheads (*Caretta caretta*) incubated at different controlled temperatures. *Herpetologica*, 36 (1): 33-36

Wanderwege von Fischen, insbesondere von Aalen und Lachsen, im Meer

F.- W. Tesch

Fast alle Fische wandern, um z. B. von ihren Laich- zu den Weideplätzen zu gelangen. Einige wandern dabei sehr weit, was teilweise seit Jahrhunderten aus den Fängen der Fischerei bekannt ist. Der Hering (*Clupea harengus*), eine unserer ältesten Nahrungsquellen aus dem Meer, wurde zu gewissen Zeiten in bestimmten Gebieten gefangen und verschwand dann aus den Netzfängen solcher Gebiete. Lachse und Meerforellen fing man jahreszeitlich eng begrenzt bei ihrer Einwanderung in die Flüsse und beim Laichen im Oberlauf dieser Flüsse. Allein bei der Wanderung im Süßwasser können sie, z. B. in Elbe und Rhein, Hunderte von Kilometern zurückgelegt haben, zusätzlich zu den vielleicht Tausenden im Meer. Die Einzelheiten dieser Wanderungen lassen sich natürlich nur mit moderner Technik untersuchen. Besonders über die Meeresherkunft der zugewanderten Lachse wußte man bis dahin wenig.

Auch über den Aal (*Anguilla* sp.), dessen Wanderung flußabwärts zum Meer man längst kannte, waren hinsichtlich seines Laichgebietes allenfalls legendenartige Geschichten bekannt. Noch in den siebziger Jahren habe ich bei einem Fischer die Meinung angetroffen, der Aal laiche in den Flußmündungen. Ein Bauch voller Eier war ihm dafür Beweis genug, auch wenn die Eier sich im Magen befunden hatten, wo sie durch Verzehr von Fischlaich hineingeraten waren. Auch der Name einer ganz anderen Fischart, der der Aalmutter (*Zoarces viviparus*), weist darauf hin, daß man ihr die Erzeugung des Aalnachwuchses zugedacht hatte, da sie ja lebendige, nach Aalen aussehende Junge zur Welt bringt.

Larvenidentifizierung und der Weg zum Laichplatz

Bei vielen Fischarten im Meer erkannte man ihre Herkunft erst, nachdem man ihre im Planktonnetz im Meer gefangenen Eier oder Fischlarven im Aquarium erbrütet, aufgezogen und identifiziert hatte. Damit war ihr Wanderweg vom Laich- oder Jungfischgebiet bis zur Fangstelle der Elterntiere abgesteckt. Bei Plattfischen wie Schollen (*Pleuronectes platessa*) und Flundern (*Platichthys flesus*) entdeckte man dadurch eine recht frühzeitige Wanderung zur Küste, wo man die Jungfische in Strandnähe beobachten kann. Allmähliche Wanderung seewärts führt dann doch dazu, daß die fangreifen Exemplare wieder weiter seewärts in größeren Tiefen gefangen werden oder, wie bei der Flunder, sogar flußaufwärts im Brack- und Süßwasser. Erst die Laichreife führt sie dann wieder weit nach See hinaus.

Ein klassisches Beispiel, wie der bis dahin gänzlich unbekannt Laichplatz des Aales und die entsprechend sehr große Wanderung dorthin gefunden werden konnten, liefert der Fang und die Identifizierung der Aallarven im Nordatlantik durch den Dänen Johannes Schmidt. Er fing zu Anfang unseres Jahrhunderts nach Westen hin immer kleinere Larven und

fand schließlich mit den kleinsten Larven den Laichplatz zwischen Bermuda und den Antillen, 4.000 bis über 6.000 km von seinen kontinentalen Weideplätzen entfernt.

Markierungen, Wanderungen und Wiederfänge von Fischen im Meer

Solches Erkennen des Laichplatzes und die Kenntnis des Fang- und Weideplatzes offenbart natürlich nur in ganz großen Zügen die Wanderwege. Einzelheiten werden durch den Fang ausreichend großer Fische, deren Markierung und den späteren Wiederfang erkundet. Eine Methode allerdings, die bei der Meerwanderung des Aales und anderer Weitwanderer im Meer angewandt werden könnte, ist dies im allgemeinen nicht, da eine Fischerei im Tiefseebereich der Ozeane nur in wenigen Fällen stattfindet. Der Laichplatz des europäischen Meeraales (*Conger conger*) wird z. B. wegen der zum Mittelmeer kleiner werdenden Larven (STREHLOW, 1992) in dieser Region nur sehr ungewiß vermutet, da man bisher keine laichwandernden Meeraale fangen konnte.

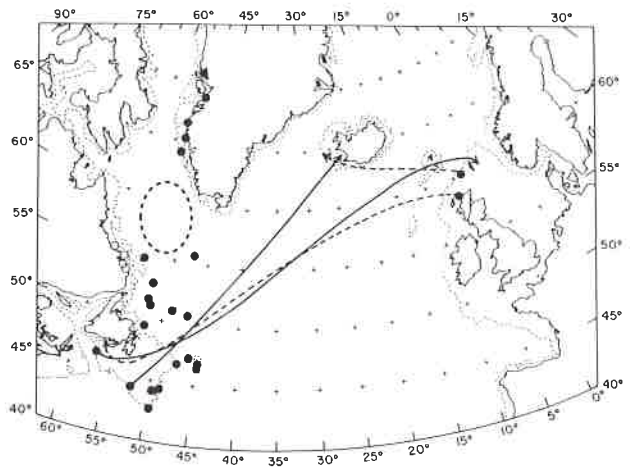


Abb. 1: Markierungen und Wanderungen von Dornhaien (*Squalus acanthias*) im Nordatlantik (nach TEMPELMANN, 1976) sowie das Fanggebiet aus Nordamerika und Europa stammender Atlantischer Lachse (*Salmo salar*) südwestlich Grönland (gestrichelt umrandet).

Obgleich, abgesehen von den Binnengewässern, die meisten konventionellen Markierungsergebnisse von Schelfmeeren vorliegen, sind auch ozeanweite Wanderungen von Fischen durch Markierungen gefunden worden. Hierunter sind Dornhai (Abb. 1) und Blauhai (*Squalus acanthias* bzw. *Prionace glauca*) (STEVENS, 1976) zu nennen. Selbst den normalerweise nicht so weit wandernden Dorschen sind durch Markierungen vereinzelt Wanderungen zwischen Europa und Amerika nachgewiesen worden (GULLAND & WILLIAMSON, 1962). Bekannt geworden



sind so auch die Wanderungen der Lachse von den Fanggründen im Nordpazifik nicht weit von Japan und im Beringmeer bis zu den Flüssen im nordwestlichen Nordamerika. Zu nennen sind auch die Wanderungen der atlantischen Lachse von Grönland bis in die europäischen Flüsse (REDDIN, 1988). Die Entdeckung solcher ozeanweiten Wanderungen ist im allgemeinen nur möglich mit relativ großen, gut sichtbaren Marken, wie sie in Abb. 2 a von einem Aal abgebildet ist, damit sie beim Wiederfang durch einen Fischer nicht übersehen werden. Bevorzugt werden solche Marken verwendet, um Größe und Verbreitung eines Fischbestandes und die Intensität der Fischerei zu untersuchen. Dies erfordert, daß möglichst alle wiedergefangenen Fische gemeldet werden, was durch die gute Sichtbarkeit der Marke und eine Prämie für den Fischer gewährleistet werden soll. „Ausreißer“, wie die oben erwähnte atlantikweite Wanderung eines Dorsch (Gadus morrhua), werden dadurch auch erfaßt. Mit gut sichtbaren Marken (Abb. 2a) wurde auch untersucht, wie standorttreu der Aal auf dem Kontinent nach und vor seinen Wanderungen über den Atlantik ist. In nordamerikanischen Fließgewässern wurde herausgefunden, daß Aale (*Anguilla rostrata*) ihren Wohnbereich von 60 m in einem Bach nicht überschritten, in einem anderen Bach 90 bis 100 m (GUNNING & SHOOP, 1962; GUNNING, 1963). Die Standorttreue der Aale ist so groß, daß sie zurückkehrten, wenn man sie verpflanzte. Diese Eigenschaft ist selbst in der Nordsee so ausgeprägt, daß sie z. B., von Helgoland nach Cuxhaven oder von Helgoland zur Insel Föhr verpflanzte, an ihren alten Wohnort zurückkehrten (Abb. 3). Auch Verpflanzungen in umgekehrter Richtung hatten erfolgreiches Heimkehren zur Folge. Rückwanderungen fanden gleichfalls noch vereinzelt über 120 km statt. Bei 200 km suchten sie einen anderen, näher gelegenen Wohnbereich auf (DEELDER & TESCH, 1970). Die Aale nehmen also erhebliche Wanderungen auf sich, um in vertraute Bereiche mit vermutlich ausreichender Nahrung, nicht zu großer Konkurrenz und genügend Verstecken vor Feinden zurückzugelangen. Mit diesen Untersuchungen wurde auch die große Orientierungsfähigkeit des Aales nachgewiesen.

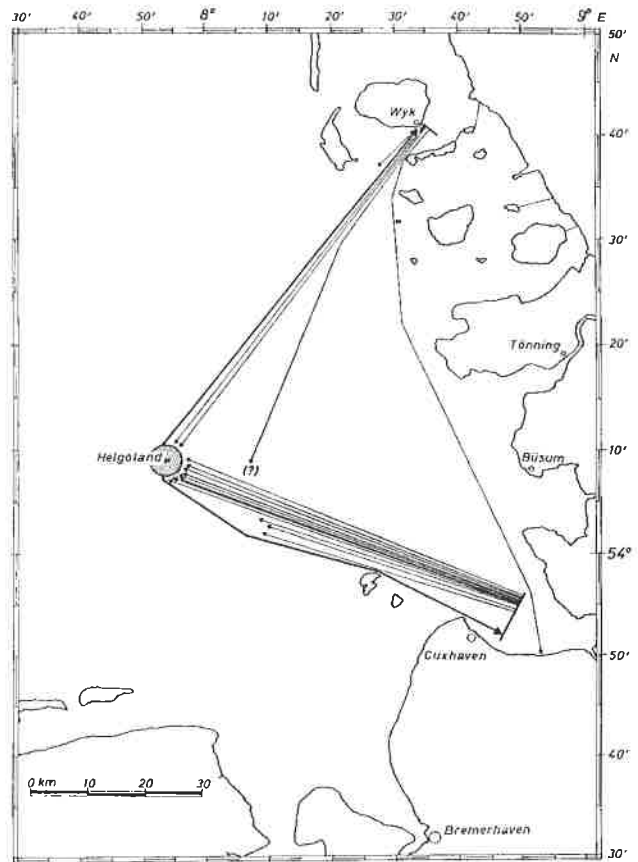
Wanderungstendenzen der Fische lassen sich mit den konventionellen, relativ großen Marken (Abb. 2a) gut untersuchen. Bei Jugendstadien und geringwüchsigen Fischen sind solche Markierungsuntersuchungen natürlich schwer durchführbar. Man hat daher bei kleineren Individuen mit Tätowierungen, Farbmarkierungen und Flossenbeschneidungen gearbeitet. Hiermit lassen sich allerdings nur schwer individuelle, jedoch leicht Gruppenmarkierungen durchführen. Um



Abb. 2 a (l. o.): Aal mit konventioneller Marke.

Abb. 2 b (r. o.): Aal mit Ultraschallsender mit Drucksensor.

Abb. 3: Nachweis des Heimfindervermögens von Aalen durch Markierung, Verpflanzung (fette Linien) und Wiederfang von Gelbaalen aus dem Gebiet von Helgoland nach Cuxhaven und zur Insel Föhr (dünne Linien verbinden Aussetzungs- mit Wiederfangort) (nach TESCH, 1967).



diese Methode für individuelle Markierungen nutzbar zu machen, wurden kombiniert damit Mikrodrahtmarken eingesetzt, die mit einem Magnetkode versehen wurden.

Natürliche Markierungen und Herkunft der Lachse

In neuerer Zeit werden natürliche Kennzeichen zur Erkennung der Herkunft immer häufiger angewendet. Hierzu gehörten bis dahin Parasiten und die mikroskopische Analyse von Schuppen und Gehörsteinen. Nordatlantische Lachse besiedeln, wie oben angedeutet, ein Meeresgebiet südlich Grönland (Abb. 1)

und rekrutieren sich dabei nicht nur aus den nahe gelegenen amerikanischen Flüssen, sondern auch aus europäischen Binnengewässern. Dies macht für die Europa-Lachse eine Hin- und Rückwanderung über mindestens je 2.000 km notwendig. Befischt wird dieser gemischte Bestand bei Grönland von Nordamerikanern und Europäern, insbesondere Dänen. Da heute der Fang überall durch Quoten für die verschiedenen Länder reguliert werden muß, gab es hinsichtlich der Lachsfangmenge südlich Grönland Unstimmigkeiten zwischen Europäern und Nordamerikanern: Welchen Anteil haben die aus Europa herangewanderten Lachse?

Das Problem ist jetzt auf doppelte Weise gelöst. Es muß vorausgeschickt werden, daß konventionelle große Marken bei der Kennzeichnung der Lachse auch eine Rolle gespielt haben. Für die kleinen 12 bis 25 cm langen Silberjunglachse (Smolts), die aus den europäischen Flüssen heraus ihr fernes Ziel jenseits des Atlantik ansteuern müssen, sind für eine solche Markierung nur die größeren Exemplare geeignet. Man hat daher die erwähnten Mikrodrahtmarken verwendet, die z. B. in der Kopfgegend mit Hilfe eines besonderen Gerätes eingepflanzt wurden. Den Junglachsen wurde, damit beim Wiederfang auf diese nicht sichtbare Markierung aufmerksam gemacht wird, die Fettflosse abgeschnitten. Das Stück Gewebe, das die Mikromarke enthielt, mußte nach dem Wiederfang herausgetrennt und zur Dekodierung eingeschickt werden. Mit Hilfe solcher Markierungen hat man herausgefunden, daß von 67 bei Grönland gefangenen Lachsen 19 aus Europa stammten (BERMINGHAM et al., 1991). Gleichzeitig hatte man mit der Identifizierung einer natürlichen Markierung gearbeitet, der Restriktions-Mitochondrien-DNA-Analyse (Fingerprintmethode). Auch hiermit wurde die Herkunft bis auf ein Exemplar genau bestimmt. Weitere Markierungen mit Mikromarken sowie genetische Analysen haben bestätigt, daß man bei Grönland mit etwa einem Drittel von den Britischen Inseln zugewanderten Lachsen rechnen kann.

Die Frage der Lachswanderungen zwischen Brut und Weidegebieten spielt auch für Deutschland eine Rolle. Man ist sich gegenwärtig nicht einig, welcher atlantischen Herkunft die in Rhein und Elbe wieder einzu-bürgernden Lachse sein müßten. Schließlich ist nicht nur die Herkunft aus den Brutgebieten des Süßwassers, sondern sind auch das Weidegebiet im Meer und die Orientierung dorthin von wesentlicher Bedeutung für den Erfolg des Besatzes mit Lachsen. Wir wissen z. B. von dem Mißerfolg der Einführung nordpazifischer Lachse in Flüsse von Australien, Neuseeland, der Westküste von Südamerika und von Norwegen. Angeborene Kompaßrichtungsorientierung oder gar Navigation und Anpassung an die ozeanischen Strömungen müssen in der fremden Umgebung des Aussetzungsgebietes zu Fehlorientierungen führen.

Da diese Gesichtspunkte in der Vergangenheit zu wenig berücksichtigt wurden, sind sicherlich auch Schäden für die natürlichen Lachsbestände durch die Verwendung des Lachses in der intensiven Aquakultur zu erwarten. Bei Erzeugung von jährlich 100.000 t Lachs und mehr in den norwegischen Fjorden bleibt es nicht aus, daß dieser und jener Lachs aus den Aufzuchtanlagen entweicht. Dies wäre kein Problem,

wenn er nicht anderer genetischer Herkunft wäre als die natürlichen Lachse der norwegischen Küste. Er stammt vornehmlich aus der Ostsee, wo dem Lachs nur „kleinräumige“ Wanderungen angeboren sind. Schließlich wird er zahlenmäßig in den natürlichen Fließgewässern Norwegens bald eine nicht unwesentliche Rolle bei der Fortpflanzung des natürlichen Bestandes spielen. Fehlorientierungen im Meer und Bestandsminderungen werden die Folge sein.

Die weiten Wanderungen zwischen Aufwuchs- (Weide-) Gebiet und Laichgebiet werfen verschiedene Fragen über das Wie und Warum auf. Das Laichgebiet kann gewissermaßen als Herkunfts- oder Heimatgebiet betrachtet werden. Für den Aal ist dies das Sargassomeer südlich Bermuda. Er verläßt dieses Gebiet schon als Larve. Der Hauptgrund mag hierfür in der Nahrungsarmut des Sargassomeeres liegen.

Schelfmeere und Binnengewässer Europas und Nordamerikas bieten dem heranwachsenden Aal mehr als

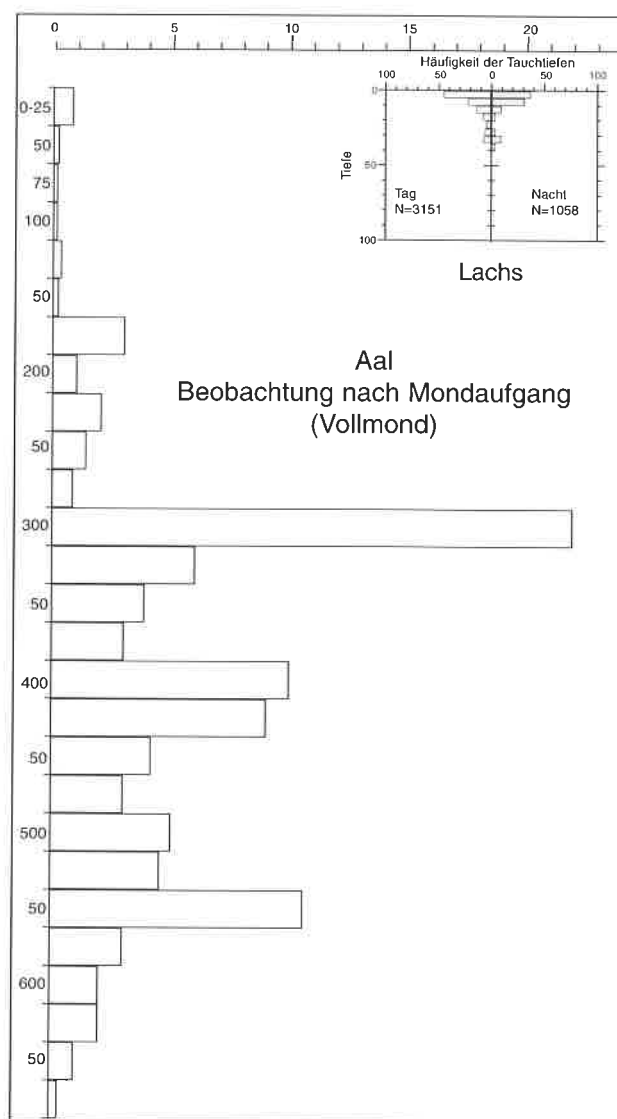


Abb. 4: Prozentuale Häufigkeit der Tiefen, die ein Aal im fortgeschrittenen Reifezustand beim Verfolgen am Rande des Aallaichgebietes im Sargassomeer bevorzugte (nach TESCH et al., 1979). Im Vergleich dazu die bevorzugten Tiefen eines Ketalachses (chum) während der Nahrungswanderung in der Beringsee (OGURA & ISHIDA, 1995).

das Sargassomeer, die „Wüste“ des Atlantik. Schließlich war die Wanderung zum Kontinent ursprünglich, also vor dem Auseinanderdriften der Kontinente, nicht so weit. Der Lachs wandert in umgekehrter Richtung aus seiner Heimat, den kleinen Bächen der Kontinente, in die Weidegebiete im Meer, wo der heranwachsende Lachs als Raubfisch ernährungsmäßig bessere Chancen hat als in seinen Heimatbächen.

Telemetrie bei der Wanderung zwischen Kontinent und Ozean

Laich- und Weidegebiet des atlantischen Aales und der verschiedenen Lachsarten sind bekannt. So gut wie gar nichts jedoch wußte man darüber, wie und auf welchem Wege die häufig mehrere 1.000 km lange Wanderstrecke bewältigt wird. Konventionelle Markierungen mit gut sichtbaren Marken kommen für die Untersuchung des Wanderweges der adulten Aale nicht in Frage. Es gibt für ihn so gut wie gar keine Fänge kommerzieller und wissenschaftlicher Art in seinem atlantischen Laich- und Wandergebiet (POST & TESCH, 1982). Auch für die Lachse mit ihren riesigen Weide- und Wandergebieten bringen Wiederfänge konventionell markierter Fische nur spärlich neue Erkenntnisse.

Sehr hilfreich ist aber die Telemetrie mit Ultraschallsendern (Abb. 2b) während der Verfolgung mit dem Schiff. Radiotelemetrie kommt (mit Einschränkung; siehe letzter Absatz) im Meer nicht in Frage, weil die Radiowellen aus dem Meerwasser nicht herauskommen. Ultraschallsender werden zur Tierverfolgung im Wasser mit einer Frequenz von 30 bis 150 kHz ausgerüstet und reichen bei genügender Stärke, ruhiger Wasseroberfläche und nicht zu starker Temperatur- und Salzgehaltsschichtung bis zu 2 km, im ungünstigen Falle nur etwa 100 m. Der Empfang geschieht mittels eines Hydrophons, das ins Wasser gehalten wird, besser aber fest am oder unterm Schiffsboden installiert ist. Der Ultraschall wird in hörbaren Schall oder in anderer Weise elektronisch umgewandelt. Mit dem oder den Hydrophonen kann die Richtung des stärksten Schalles durch verschiedene Methoden, also z. B. mit dem Kopfhörer oder auf dem Bildschirm, erfaßt und eventuell sogar die Entfernung bestimmt werden. Die vom Sender zu emittierenden Signale können z. B. mittels Impulshäufigkeit kodiert und Wassertemperatur, Tiefe, Herzfrequenz und andere Werte telemetrisch übertragen werden.

Telemetrisch erfaßt wurde während der Richtungsverfolgung hauptsächlich die Tiefe. Abb. 4 zeigt die prozentuale Häufigkeit der Tiefen eines wandernden laichreif werdenden Aales in der Nähe des Laichgebietes im Sargassomeer über 6.000 m Tiefe und im Vergleich dazu einen Ketalachs (*Oncorhynchus keta*) in seinem Weidegebiet, dem nordpazifischen Beringmeer. Ihre Tiefenpräferenz zeigt zwei völlig verschiedene Verhaltensweisen. Während sich der Ketalachs, wie übrigens auch andere untersuchte Lachsarten, Tag und Nacht fast nur in Oberflächennähe aufhielt, bevorzugte der Aal Tiefen bis zu 700 m. Die Lachse befanden sich bei der Nahrungssuche und hielten sich in der Hauptvorkommenstiefe ihrer Nahrungsorganismen auf. Der Aal dagegen frißt während der

Laichwanderung gar nicht und ist bestrebt, möglichst schnell sein Laichgebiet zu erreichen. Damit er dabei nicht Beute von Räufern wird, zieht er sich in die Tiefe zurück, wo ihm weniger Gefahr droht. Diese Gefahr ist natürlich bei Tage am größten und insbesondere in dem sehr klaren Wasser und bei der sehr großen Sichtweite im Laichgebiet. Bei einer Aalverfolgung in dem auch sehr klaren Mittelmeer näherte sich in den Abendstunden ein Delphinschwarm, der durch die Ultraschallgeräusche der Tiere leicht zu erkennen ist. In diesem Moment setzten die Sendegeräusche aus; vermutlich hatte sich ein Delphin für Sender und Aal interessiert.

So tauchen also die wandernden Aale bei Tagesanbruch in größere Tiefen, also praktisch in die Dunkelheit hinab; dagegen kehren sie in den Abendstunden in geringere Tiefen zurück, was Abb. 5 für zwei Aale im Mittelmeer zeigt. Bei diesen vertikalen Wanderungen über hunderte von Metern sind unterschiedliche

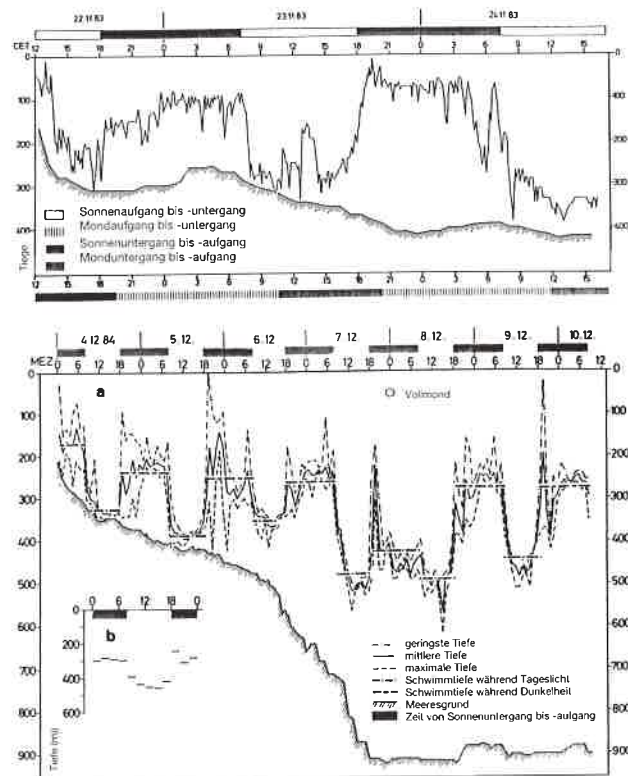


Abb. 5: Schwimmtiefe von Blankaalen die (oben) am 22. November 1983 und (unten) am 4. Dezember 1984 vor der marokkanischen Küste des westlichen Mittelmeeres ausgesetzt und verfolgt wurden. Während die obere Darstellung alle registrierten Tiefenänderungen wiedergibt, zeigt das untere Bild (a) Durchschnittstiefen pro Stunde und jeweils die Minimal- und Maximaltiefen (gestrichelt) und die mittleren Tiefen pro Tag und pro Nacht sowie (b) mittlere zweistündige Tiefen im Durchschnitt der gesamten sechstägigen Verfolgung (nach TESCH, 1989).

Temperaturen von oben 18 °C und unten 12 °C für den Aal anscheinend ohne wesentliche Bedeutung. Bei Beginn seiner Wanderung in nördlicheren Breiten und bei einem wesentlich geringeren Temperaturniveau sind jedoch gewisse Mindesttemperaturen notwendig, da sonst seine Aktivität leidet; in der Ostsee

beträgt diese etwa 8 °C (TESCH et al., 1991) und die optimale Temperatur 13 °C (TESCH, 1983). Er wandert deshalb dort im Herbst immer oberhalb der Temperatursprungschicht (Abb. 6) und in Tiefen von 10 bis 30 m. Aber auch dort unterscheidet er sich von den Lachsen in der Beringsee (Abb. 7), die zwar da auch nicht die Temperatursprungschicht von 7 °C unterschreiten, sich aber überwiegend unmittelbar unter der Oberfläche aufhalten.

Die wandernden Aale in der Ostsee zeigen auch innerhalb ihres dort eng begrenzten Temperaturbereiches eine vertikale Tag/Nacht-Wanderung, die im Mittel aller dort verfolgten Aale allerdings nur 3 bis 4 m beträgt (TESCH et al., 1991: Tab. 3) und keinerlei Beziehung zu den dort vorkommenden Nahrungsorganismen hat.

Übrigens wurden so starke tägliche Vertikalwanderungen wie die der Aale ganz ähnlich auch bei einem Schwertfisch (*Xiphias gladius*) beobachtet (maximal 610 m), der an der nordamerikanischen Ostküste 260 km seewärts den Golfstrom querte. Bei diesem 70 kg schweren Fisch bedeuteten die ebenfalls von der Lichtstärke bestimmten Vertikalwanderungen sicherlich keine Meidung von Räubern, sondern eher eine Anpassung an die Lichtpräferenzen, die auch von seinen Beutetieren bevorzugt werden, also z. B. auch die der Aale.

Während man bei den Aalen in Ostsee, Mittelmeer und Atlantik weiß, daß sie zielgerichtet zum Sargassomeer wandern und keine Nahrung aufnehmen, ist man über die Art der Wanderung der Lachse weniger informiert. Vermutlich kommen sie während ihrer Nah-

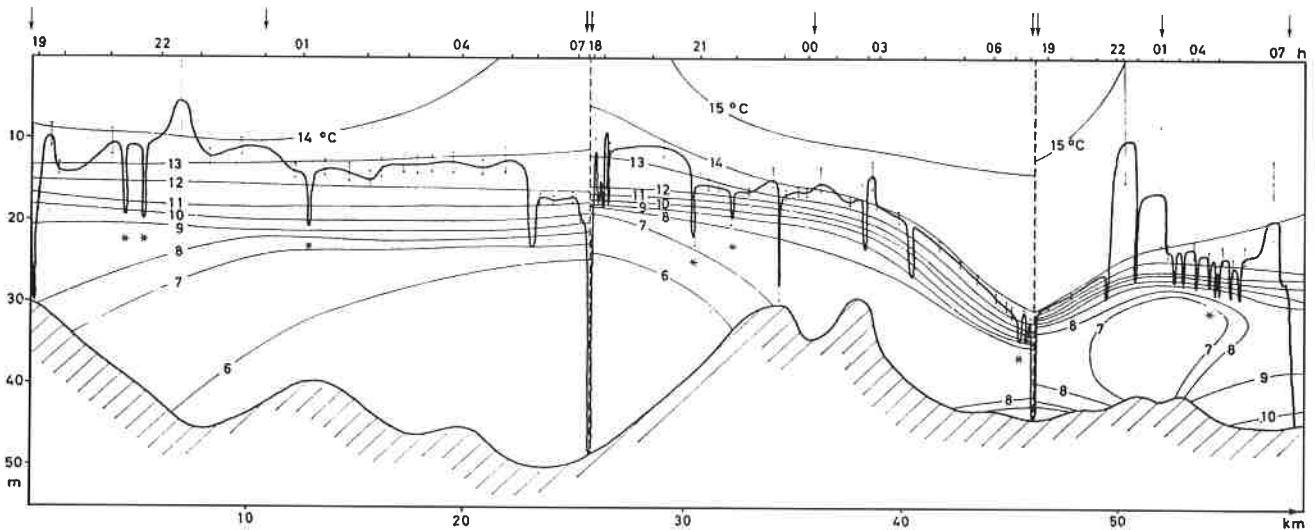
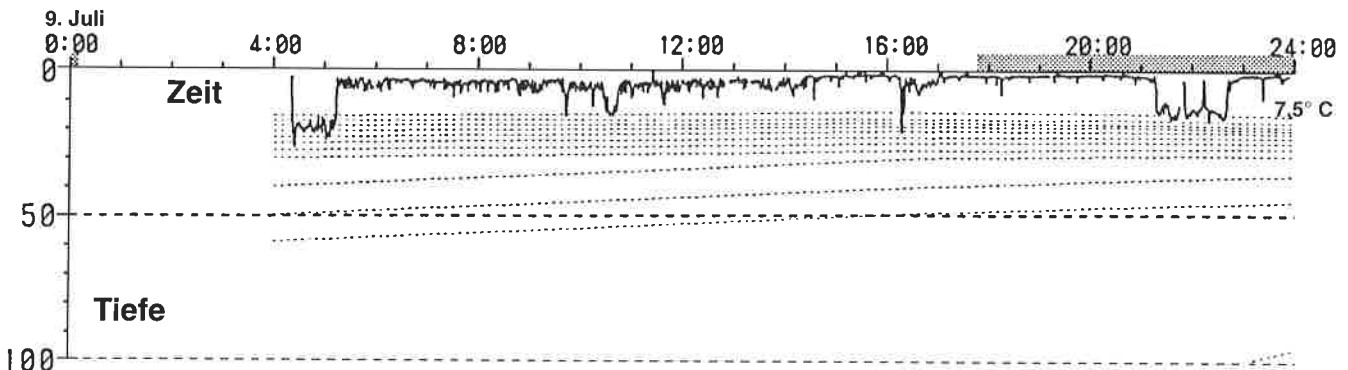


Abb. 6: Schwimmtiefe (dicke Linie) eines Blankkaales, der ab 16. September 1974 70 Stunden vor der schwedischen Südküste verfolgt wurde (2 Tage bei Helligkeit keine Bewegung: gestrichelte senkrechte Linien). Die Linien gleicher Temperatur (°C) wurden durch Messungen an den Stellen der nach unten zeigenden Pfeile ermittelt. Sterne zeigen Stellen, an denen das Schiff sich über dem Aal befand (nach WESTERBERG, 1979).

Abb. 7: Schwimmtiefe eines in der Beringsee verfolgten Ketalachs. Die gestrichelten Linien zeigen Linien gleicher Temperatur und lassen erkennen, daß die Temperatursprungschicht in etwa 20 m Tiefe lag (OGURA & ISHIDA, 1995).

rungsaufnahme ihrem Ziel vornehmlich durch Strömungstransport näher. Dennoch kommt anscheinend auch eine aktive Komponente hinzu; bei den Verfolgungen in der Beringsee wurden gewisse Kompaßrichtungen bevorzugt (OGURA & ISHIDA, 1995). Ob diese heimwärts gerichtet waren oder nicht, konnte man bei den im Meer gefangenen Fischen natürlich nicht sagen, da man ihr Heimatgewässer nicht kannte. Vielleicht kann bei zukünftigen Untersuchungen die oben erwähnte Fingerprintmethode (BERMINGHAM et al., 1991) weiterhelfen. Daß Lachse sich richtungsmäßig orientieren können, haben Laboruntersuchungen gezeigt; sie werden in ihrer Richtungswahl durch den Erdmagnetismus beeinflusst (QUINN et al., 1981). Da sie sich aber fast ständig unter der Oberfläche aufhalten (Abb.7), kommt auch eine Orientie-



nung nach der Sonne oder anderen astronomischen Richtungsmerkmalen in Frage.

Für den adulten Aal ist die Frage, wie er zu den Laichplätzen im Sargassomeer gelangen könnte, nicht ganz so schwer zu klären. Markierungen von Aalen im Wanderstadium (Blankaale) mit Ultraschallsendern haben hierzu einiges beigetragen. In der Nordsee wurden Aale verfolgt und zur Berechnung der Schwimmrichtung durch das Wasser Strömungen gemessen oder diese den publizierten mittleren Werten des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (früherer DHI) entnommen. Abb. 8 zeigt die Verfolgungstrecke eines über 27 Stunden Anfang November 1988 verfolgten 90 cm langen Blankaales. Über Grund (geographisch) hatte er sich in 358°, also fast nach Norden bewegt. Wichtig für die Beurteilung seiner Orientierung ist aber seine eigene Schwimmbewegung. Sie war nach 348°, also etwas weiter nach Westen, gerichtet. Die Eigengeschwindigkeit betrug 1,5 km pro Stunde. In Abb. 8 ist die Geschwindigkeit über Grund, also das tatsächliche Vorwärtskommen, abgebildet. Sie betrug während der zweiten Ebbitide 3,2 km pro Stunde, also fast das Doppelte der Eigenbewegung. Während der dritten Flut kam der Aal durch die gegen ihn gerichtete Strömung über Grund praktisch zum Stillstand. Er schwamm ungeachtet der Gezeiten fast immer in mittleren Tiefen von 4 bis 14 m und nur für kurze Augenblicke zum Grund oder zur Oberfläche. Weder Tag noch Nacht beeinflussten seine Tiefenwahl. Zwei vor und nach diesem Aal verfolgte weitere Aale, die hinsichtlich ihrer Verfolgungszeit bzw. ihrer Schwimmaktivität weniger aufschlußreich waren, zeigten aber die gleichen Tendenzen; sie schwammen nordwestlich.

Ein ähnliches Verhalten wurde bei sechs weiteren Aalen etwa 15 Jahre vorher beobachtet, die aber nur je einen halben Tag und ohne Tiefentelemetrie verfolgt wurden. Vergleichsweise wurden im Sommer Gelbaale ähnlicher Größe vom Limfjord, der Elbmündung oder der Ostseeküste verfolgt, also standort-treue Aale, von denen, wie oben beschrieben, Heimkehrtendenz zu erwarten war, wenn ihr Heimatstandort nicht zu weit entfernt war (Limfjord, Ostsee). Die mittlere für alle zwei Stunden errechnete Schwimmrichtung aller dieser Aale wurde in ein Richtungsdiagramm eingetragen und in Abb. 9 wiedergegeben. Die sechs Blankaale schwammen, ähnlich wie die 1988 verfolgten drei Blankaale, in nordwestlicher Richtung. Die Gelbaale schlugen die entgegengesetzte Richtung ein, gleichgültig, ob sie aus der südöstlich gelegenen Elbe oder dem nördlich gelegenen Limfjord oder der Ostsee stammten. Diese Ergebnisse wurden so gedeutet, daß die Gelbaale, ähnlich wie die Blankaale, nicht suchend umherschwimmen, sondern sofort einen Kompaßkurs einschlagen; der leitet die Blankaale nach Nordwesten hinaus aus der Nordsee und die Gelbaale in entgegengesetzter Richtung an die Küste, ohne daß sie ihren Heimatstandort direkt ansteuern. Vermutlich schwimmen die Gelbaale dann an der Küste entlang, wie man aus Untersuchungen von DEELDER & TESCH (1970) schließen kann. Daß die Blankaale die Nordsee nicht etwa durch den Englischen Kanal verlassen, sondern im Norden, ist erklärlich. Diese südwestliche Verbindung in den Atlantik ist

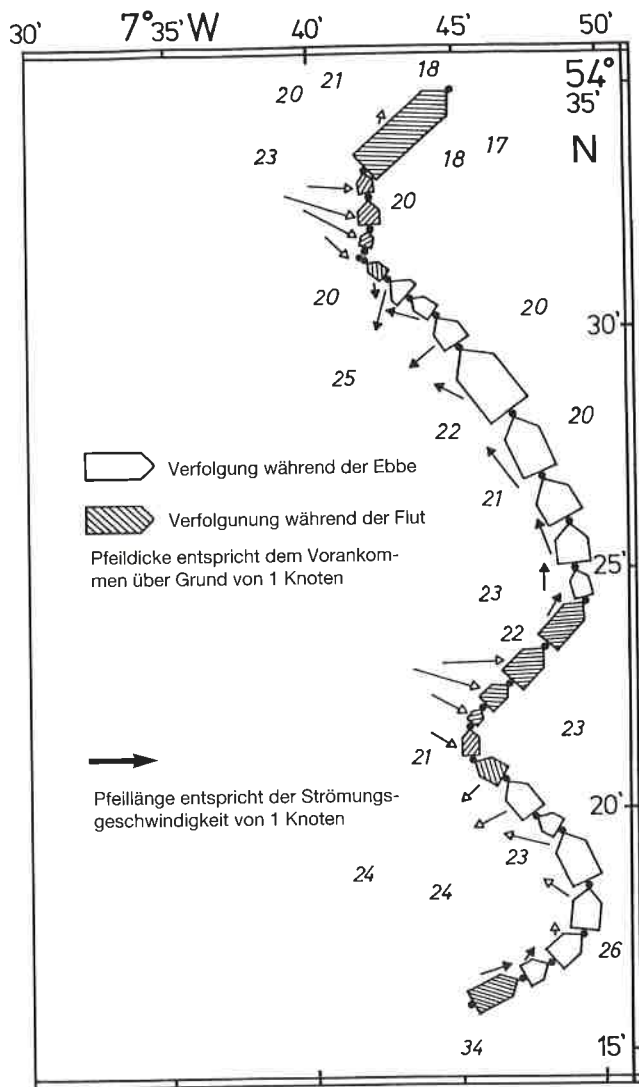
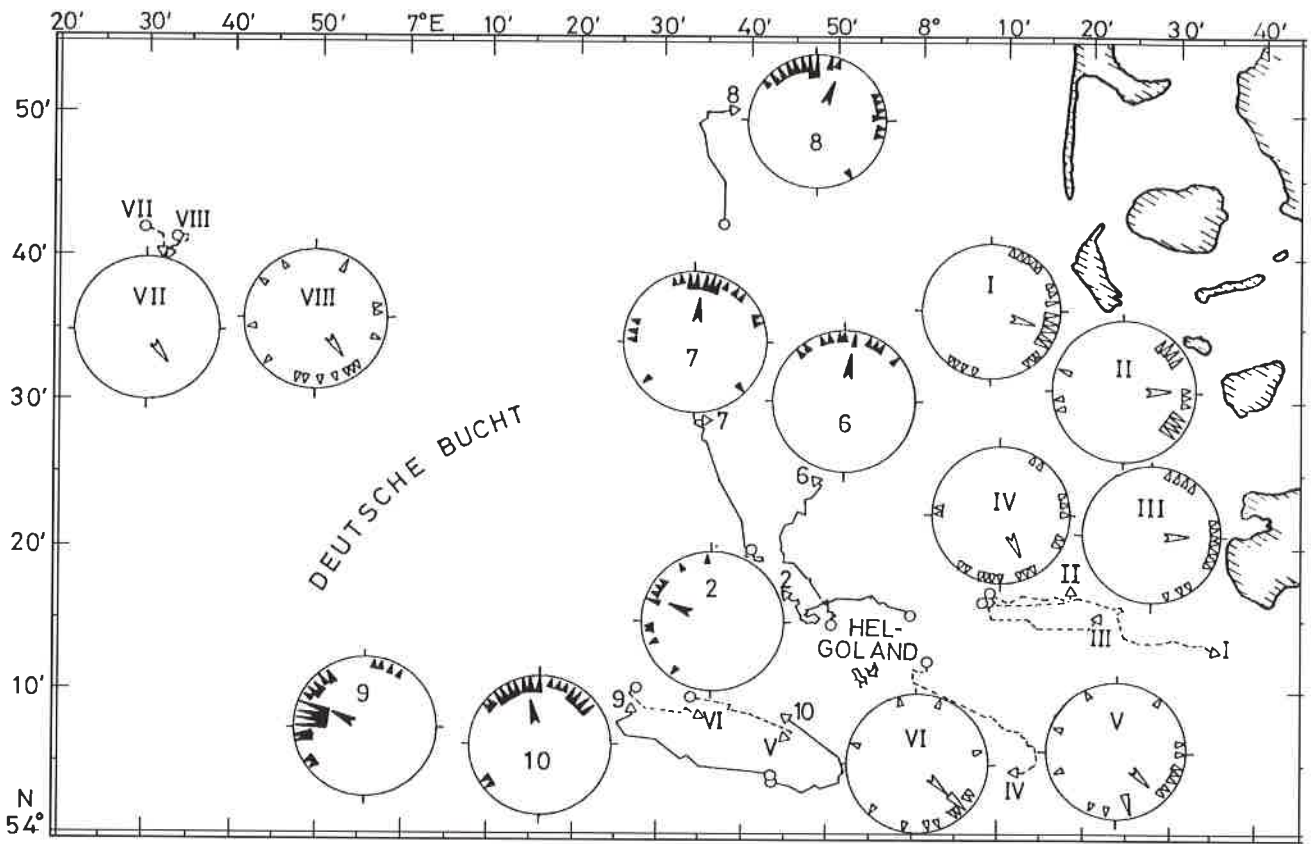


Abb. 8: Verfolgungskurs eines Blankaales ab 3. November 1988 nördlich Helgoland (nach TESCH, 1992). Geschlossene Pfeile neben dem Kurs geben in der Schwimmtiefe des Aales gemessene Strömungsrichtungen und durch ihre Länge die Strömungsgeschwindigkeit wieder, offene Pfeile die entsprechenden Daten anhand der Literatur.

nicht mehr als 10.000 Jahre alt, während es Aale in Europa schon seit Millionen von Jahren gibt. Auch auf dem ostatlantischen Schelf vor Irland, Frankreich und Spanien wurden Aale verfolgt, desgleichen westlich davon über der Tiefsee, worüber oben (Abb. 4 - 6) hinsichtlich ihrer Tiefenpräferenzen berichtet wurde. Das Gesamtergebnis aller Verfolgungen auf und außerhalb der Schelfmeere zeigen die mittleren Richtungen der verschiedenen Aale in den Kreisdiagrammen der Abb. 10. Auf dem Schelf wird, wie vorher beschrieben (Abb. 8 u. 9), W bis NNO bevorzugt, im Atlantik eine mittlere WSW-Richtung (256°). Dieser Kurs würde die Aale bei einem Start in der Biskaya ins Zentrum des Laichgebietes in der Sargassosee südlich Bermuda (SCHOTH & TESCH, 1982) leiten. Dieser Kompaßkurs könnte ihnen durch ihren Magnetsinn (TESCH, 1974b; TESCH et al., 1992; SOZUA et al., 1988) ermöglicht werden, was natürlich genauso für Nordsee- und ostatlantische Schelfkurse zutrifft. Nun gibt es hierzu Vorbehalte,



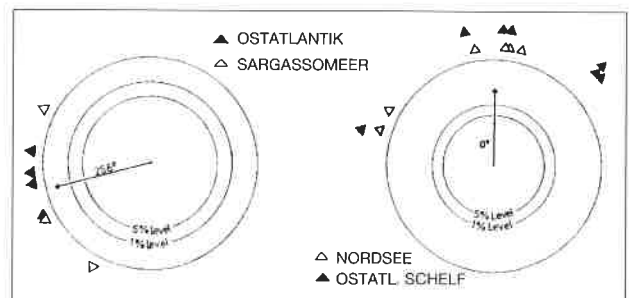
sAbb. 9: Zusammenfassung der vom Verfasser in der Nordsee gewonnenen horizontalen Schwimmrichtungen von Blank- (geschlossene Pfeile + arabische Ziffer + ausgezogene Schwimmkurse) und Gelbaalen (offene Pfeile + römische Ziffer + gestrichelte Schwimmkurse). Kleine Pfeile zeigen in die stündlich errechnete Durchschnittsschwimmrichtung, große Pfeile die mittlere Gesamttrichtung des betreffenden Aales (nach Daten von TESCH, 1974a, 1975).

weil die atlantischen Strömungen die Ankunftsstelle im Laichgebiet nach Südost verschieben könnten (FRICKE & KÄSE, 1995). Es wird deshalb von den Autoren vermutet, daß von diesem Ort aus dann die Eier und Larven in das sogenannte zentrale Laichgebiet verdriftet werden würden, in dem alleine bisher die kleinsten Larven nachgewiesen werden konnten (z. B. SCHOTH & TESCH, 1982). Dieser Vermutung soll nicht durch weitere Spekulationen entgegengetreten werden, sondern darauf hingewiesen werden, daß der Aal neben seinem ausgeprägten Magnetsinn über einen äußerst feinen Geruchssinn verfügt, der von anderen Wasserorganismen wohl kaum übertroffen wird und dem des Hundes nicht nachsteht. Ihn könnte er nutzen, um sich gegenseitig auch über etwas größere Entfernungen in der Nähe des Laichgebietes zu finden.

Abb. 10: Zusammenfassung der mittleren Schwimmrichtungen aller in der Nordsee und auf dem ostatlantischen Schelf zwischen Irland und Portugal sowie über der Tiefsee (einschließlich Sargassomeer) verfolgten Blankaaale (im Sargassomeer hormonbehandelt und im fortgeschrittenen Reifezustand der Gonaden) (nach Daten von TESCH, 1974, 1975, 1979, 1989).

Die Aallarvenwanderung

Man ist sich heute schon ziemlich sicher, daß die jungen Larven, die auf den Laichplätzen gefunden wurden, genetisch dem Europäischen Aal zuzuordnen sind (COMPARINI & SCHOTH, 1982). Wir können annehmen, daß die Aale auf den Laichplätzen in größeren Gruppen zusammentreffen; die fleckenweisen, jeweils flächenmäßig großen Larvenkonzentrationen im Sargassomeer legen dieses nahe (TESCH & WEGNER, 1990). Schwieriger ist die Frage der dann folgenden Wanderung der Larven über den Atlantik zu beantworten; gegenwärtig ist man noch nicht über das Stadium von Spekulationen hinaus. Schon die Frage der Rückwanderung der laichreif werdenden Lachse von ihren Weidegründen im nördlichen Pazifik und bei Grönland ist schwer zu lösen, obgleich erste Schritte dazu getan wurden (OGURA & ISHIDA, 1995). Bei den Aal- und anderen Fischarven ist der Wanderweg nur indirekt zu ermitteln. Frühere Spekulationen, daß der Golfstrom oder die Westwinddrift nahe an der Oberfläche die Larven herübertransportieren könnten (HARDEN JONES, 1968) haben sich aus mehreren



Gründen als nicht tragbar erwiesen (TESCH, 1983). Andere Strömungen kommen dagegen für einen Teiltransport in Frage.

1. Im Golfstrom westlich des Aallaichgebietes wurden weit überwiegend nur Larven des Amerikanischen und nur wenige des Europäischen Aales gefangen (KLECKNER & McCLEAVE, 1982), während größere Europäische Aallarven im übrigen Nordatlantik fast überall nördlich von 35°N angetroffen wurden (BOTLUS & HARDING, 1985; KRACHT, 1982).

2. Die Westwinddrift, die maximal für die oberen 25 m in Frage kommt, kann sie nicht transportieren, da die größeren Larven besonders im Sommer überwiegend tiefer anzutreffen sind (SCHOTH & TESCH, 1984; TESCH, 1980).

3. Die in der Metamorphose vor dem europäischen Kontinentalschelf befindlichen Larven müßten im Norden kleiner sein als im Süden; es ist aber umgekehrt (KRACHT, 1982; TESCH & NIERMANN, 1992).

4. Die größte Konzentration und die größten Fänge an Glasaalen liegen an der Küste der Biskaya in Frankreich. Dorthin gibt es aber keinen Wassermassentransport aus Richtung des Laichgebietes zwischen den Großen Antillen und Bermuda; das Gebiet zwischen Irland und der nordspanischen Küste ist gewissermaßen ein „Stillwasserbereich“ (KRAUSS, 1986; SY, 1986), in dem die Aallarven sich schon selber bewegen müssen, um in ihr Hauptverbreitungsgebiet in Europa zu gelangen.

5. Eigene Beobachtungen des Verfassers an Bord des Forschungsschiffes, auf dem Aallarven lebend transportiert wurden, zeigten, daß die etwa 7 cm langen Larven recht mobil sind und in der Lage sein könnten, größere Strecken zum Kontinent zu schwimmen. Ohne eine solche Aktivität kommen auch die amerikanischen Aallarven nicht aus, um dem Golf- und dem Nordatlantikstrom westwärts in Richtung Kontinent zu entweichen (Abb. 11).

Für die europäischen Aallarven gibt es vermutlich eine andere Möglichkeit, um einen gewissen Teil des Weges nach Europa transportiert zu werden. Dies ist der erst in neuerer Zeit bekannt gewordene Azorenstrom (KÄSE & SIEDLER, 1982; KÄSE et al., 1986; Käse, persönl. Mitt.). Aber auch dieser Strom macht ein nordnordöstliches Schwimmen der Larven notwendig, um in die Biskaya zu gelangen. Sonst erreicht der von dem Strom erfaßte Teil nur Nordafrika, das Mittelmeer und die Südküste der Iberischen Halbinsel. So wandern nicht nur adulte Fische, sondern auch Fischlarven, um in ihr Bestimmungsgebiet zu gelangen. Allerdings nehmen hiermit die Larven der Aalartigen (Leptocephaluslarven) eine Sonderstellung ein; sie entwickeln sich über längere Zeiträume und werden viel größer als andere Fischlarven. Zwar werden die Larven des Europäischen Aales nur etwa 7 cm lang. Es gibt aber Larven von aalartigen Fischen, die eine Länge von bis zu 180 cm (*Leptocephalus giganteus*) erreichen (BERTIN, 1954). Auch andere Arten sind bekannt, die ziemlich groß werden und Längen zwischen 40 und 70 cm erreichen (STREHLOW, 1992). Ihre Wanderungen durch Markierungen zu erfassen, ist fast unmöglich. Es ist aber anzunehmen, daß die Larven der Aalartigen weiter wandern können als andere Fischlarven.

Möglichkeiten zukünftiger ozeanweiter Wanderweguntersuchungen

Für die adulten Europäischen Aale und ihren Weg ins Sargassomeer sieht die endgültige Bestätigung der Frage ihres Wanderweges nicht ganz so aussichtslos aus. Ähnlich ist es mit anderen weitwandernden Arten, wie z. B. atlantischen und pazifischen Lachsen, verschiedenen Haiarten (Abb. 1; PELCZARSKI, 1984) und Thun- und Schwertfischen. Eine Markierung mit Radiosendern kann zu keinem direkten Satellitenempfang führen, weil die elektromagnetischen Wellen durch das Salzwasser nicht zum Satelliten gelangen können, wie dies bei Landtieren und Vögeln sowie den häufig auftauchenden Walen und Schildkröten praktiziert wurde (z. B. TANAKA, 1987; TIMKO &

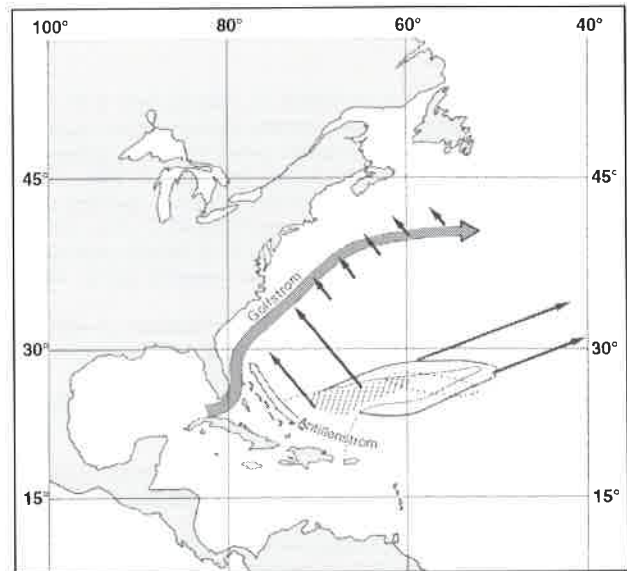


Abb. 11: Aallarvenwanderungen im Nordatlantik (nach TESCH, 1983). Die Pfeile zeigen die vermutlich überwiegend aktive Wanderung aus dem Laichgebiet heraus. Dabei wird der Amerikanische Aal teilweise durch Strömungen, wie dem Antillenstrom, unterstützt, die ihn dem Golfstrom näherbringen. Dieser transportiert sie nördlich. Sie müssen aber den Golfstrom durch eigene gerichtete Bewegungen nach Nordwest wieder verlassen, um zum Kontinent zu gelangen. Die nach Nordost gerichteten Pfeile deuten an, daß der Europäische Aal sich nordöstlich bewegt, wobei er in der Ostkomponente wahrscheinlich durch den Azorenstrom (KÄSE et al., 1982; Käse, persönl. Mitt.) unterstützt wird.

KOLZ, 1982). Jedoch gibt es eine bereits in der Erprobung befindliche Methode, dennoch über Satelliten an die Tendenzen der Wege weitwandernder Fische heranzukommen. Es werden mehrere Fische gleicher Art und gleichen Entwicklungszustandes mit Radiosendern markiert und gemeinsam ausgesetzt. Diese Sender lösen sich von den verschiedenen Versuchstieren zu unterschiedlichen Zeitpunkten ihres gemeinsamen Wanderweges und steigen zur Oberfläche auf. Dort strecken die Sender eine Antenne aus und senden Signale, die ein empfangsbereiter Satellit empfangen kann. Für den Aal könnten dann, je nach dem Zeitpunkt des Ablöses der verschiedenen Sender,

Positionen des Wanderweges nach z. B. zwei, drei, vier und fünf Monaten seiner vermutlich fünfmonatigen Wanderung gewonnen werden. Es kommt bei dieser Methode nur darauf an, genügend ausreichend große Aale zur Verfügung zu haben. An genügend großen Lachsen, die auf dem Wege von Grönland nach Europa sind oder von nördlichen pazifischen Gebieten nach Nordamerika, Japan oder Rußland, würde es sicher nicht fehlen. Allerdings wäre bei den Lachsen zusätzlich eine genetische Identifizierung mit der oben erwähnten DNA-Fingerprintmethode wichtig, die die Herkunft des im Ozean gefangenen Fisches ergeben müßte. Auch die Wanderwege von Thunfischen, die sich z. B. von Norwegen bis in das Mittelmeer erstrecken, ließen sich mit der angedeuteten Satellitenmethode näher erkunden.

Literatur:

BERMINGHAM, E., S. H. FORBES, K. FRIEDLAND & C. PLA (1991): Discrimination between Atlantic salmon (*Salmo salar*) of North American and European origin using restriction analysis of mitochondrial DNA. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, 884 - 893.

BERTIN, L. (1954): Les larves leptocephaliennes géantes et le problème du „serpent de mer“. *Nature (Paris)* 3232, 312 - 313.

BOETIUS, J. & E. F. HARDING (1985): List of Atlantic and Mediterranean *Anguilla leptocephali*: Danish material up to 1966. *Dana* 4, 163 - 249.

COMPARINI, A. & M. SCHOTH (1982): Comparison of electrophoretic and meristic characters of 0-group eel larvae from the Sargasso Sea. *Helgoländer Meeresunters.* 35, 289 - 299.

DEELDER, C. L. & F.-W. TESCH. (1970): Heimfindevermögen von Aalen (*Anguilla anguilla*), die über große Entfernungen verpflanzt worden waren. *Marine Biol.* 6, 81 - 92.

FRICKE, H. & R. KAESE (1995): Tracking of artificially matured eels (*Anguilla anguilla*) in the Sargasso Sea and the problem of the eels spawning site. *Naturwissensch.* 82, 32 - 36.

GULLAND, J. A. & G. R. WILLIAMSON (1962): Transatlantic journey of a tagged cod. *Nature* 195 (4844), 921.

GUNNING, G. E. (1963): The concepts of home range and homing in stream fishes with a discussion of sensory implications. *Ergebn. Biol.* 26, 202 - 218.

GUNNING, G. E. & C. R. SHOOP (1962): Restricted movements of the American eel, *Anguilla rostrata* (Le Sueure), in the freshwater streams with comments on growth rate. *Tulane Stud. Zool.* 9, 265 - 272.

HARDEN JONES, F. R. (1968): *Fish migration*. Verl. E. Arnold Ltd., London, 308 pp.

KÄSE, R. H. & G. SIEDLER (1982): Meandering of the subtropical front south-east of the Azores. *Nature* 300 (5889), 245 - 246.

KÄSE, R. H., J. F. PRICE, P. L. RICHARDSON & W. ZENK (1986): A quasi-synoptic survey of the thermocline circulation and water mass distribution within the Canary Basin. *J. Geophysical Res.* 91, 9739 - 9748.

KLECKNER, R. C. & J. D. McCLEAVE (1982): Entry of migrating American eel leptocephali into the Gulf Stream system. *Helgoländer Meeresunters.* 35, 329 - 339.

KRACHT, R. (1982): On the geographic distribution and migration of I- and II-group eel larvae as studied during the 1979 Sargasso Sea Expedition. *Helgoländer Meeresunters.* 35, 321-327.

KRAUS, W. (1986): The North Atlantic current. *J. Geophysical Res.* 91, 5061 - 5074.

OGURA, M. & Y. ISHIDA (1995): Homing behavior and vertical movements of four species of Pacific salmon (*Oncorhynchus spp.*) in the Central Bering Sea. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55, 532 - 540.

PELCZARSKI, W. (1984): The results of the cooperative shark tagging programme in 1982 (pol., engl. Zus.) *Bull. Sea Fish. Inst.* 15, 34 - 38.

POST, A. & F.-W. TESCH (1982): Midwater trawl catches of adolescent and adult anguilliform fishes during the Sargasso Sea eel expedition 1979. *Helgol. Meeresunters.* 35, 341 - 356.

GINN, T. P., R. T. MERRILL & E. L. BRANNON (1981): Magnetic field detection in Sockeye Salmon. *J. Exper. Biol.* 217, 137 - 142.

REDDIN, D. G. (1988): Ocean life of Atlantic salmon in the north-west Atlantic. *Atlantic Salmon: Planning for the future* (ed. by D. Mills and D. Piggins). Croom Helm, London, 483 - 511.

SCHOTH, M. & F.-W. TESCH (1982): Spatial distribution of 0-Group eel larvae (*Anguilla spec.*) in the Sargasso Sea. *Helgoländer Meeresunters.* 35, 309 - 320.

SCHOTH, M. & F.-W. TESCH (1984): The vertical distribution of small 0-group *Anguilla* larvae in the Sargasso Sea with reference to other anguilliform leptocephali. *Meeresforsch.* 30, 188 - 195.

SOZUA, J. J., J. J. POLUHOWICH & R. J. GUERRA (1988): Orientation responses of American eel, *Anguilla rostrata*, to varying magnetic fields. *Comp. Biochem. Physiol.* 90A, 57 - 61.

STEVENS, J. D. (1976): First results of shark tagging in the north-east Atlantic, 1972 - 1975. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 56, 929 - 937.

STREHLOW, B. (1992): Untersuchungen an Leptocephali und adulten Exemplaren der Ordnung Anguilliformes aus dem Iberischen Becken und dem Seegebiet vor Nordwestafrika. *Diss. Math.-Nat. Fakultät Univ. Rostock*, 210 pp.

SY, A. (1986): Geostrophic transport across the Mid-Atlantic ridge between 24° N and 52° N. *ICES C. M.* 1986/C:20, 1 - 16.

TANAKA, S. (1987): Satellite radio tracking of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 53(8), 1327 - 1338.

TEMPELMANN, W. (1976): Transatlantic migration of spiny dogfish (*Squalus acanthias*). *J. Fish. Res. Board Canada* 33, 2605 - 2609.

TESCH, F.-W. (1967): Homing of eels (*Anguilla anguilla*) in the southern North Sea. *Marine Biol., Berlin* 1, 1 - 9.

TESCH, F.-W. (1974a): Speed and direction of silver and yellow eels, *Anguilla anguilla*, released and tracked in the open North Sea. *Ber. dt. wiss. Kommn. Meeresforsch.* 23, 181 - 197.

TESCH, F.-W. (1974b): Influence of geomagnetism and salinity on the directional choice of eels. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* 26, 181 - 197.

TESCH, F.-W. (1975): Migratory behaviour of displaced homing yellow eels. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* 27, 190 - 198.

TESCH, F.-W. (1979): Tracking of silver eels (*Anguilla anguilla* L.) in different shelf areas of the Northeast Atlantic. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer* 174, 104 - 114.

TESCH, F.-W. (1980): Occurrence of eel *Anguilla anguilla* larvae west of the European continental shelf, 1971-1977. *Env. Biol. Fish.* 5, 185 - 190.

TESCH, F.-W. (1983): *Der Aal, Biologie und Fischerei*. Verl. Paul Parey, Hamburg und Berlin, 340 pp.

TESCH, F.-W. (1989): Changes in swimming depth and direction of silver eels (*Anguilla anguilla*) from continental shelf to deep sea. *Aquat. Living Resourc.* 2, 9 - 22.

TESCH, F.-W. (1992): Insignificance of tidal currents for the silver eel migration as studied by eel trackings and current measurements. *Irish Fisheries Invest. Series A No.* 36, 105 - 108.

TESCH, F.-W., R. KRACHT, M. SCHOTH, D. G. SMITH & G. WEGNER (1979): Report on the eel expedition of FRV „Anton Dohrn“ and R.K. „Friedrich Heincke“ to the Sargasso Sea 1979. *ICES C.M.* 1979 M:6, 1 - 29.

TESCH, F.-W. & U. NIERMANN (1992): Stock density of eel larvae *Anguilla anguilla* (L.) on the European continental slope, based on collections made between 1985 and 1989. *Irish Fish Invest. Ser. A. No.* 36, 110 - 113.

TESCH, F.-W., T. WENDT & L. KARLSSON (1992): Influence of geomagnetism on the activity and orientation of the eel, *Anguilla anguilla* (L.), as evident from laboratory experiments. *Ecology of Freshwater Fish.* 1, 52 - 60.

TESCH, F.-W. & G. WEGNER (1982): The distribution of small larvae of *Anguilla* sp. related to hydrographic conditions 1981 between Bermuda and Puerto Rico. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 75, 845 - 858.

TESCH, F.-W., H. WESTERBERG & L. KARLSSON (1991): Tracking studies on migrating silver eels in the Central Baltic. *Meeresforsch.* 33, 183 - 196.

TIMKO, R. E. & A. L. KOLZ (1982): Satellite sea turtle tracking. *Marine Fish. Review* 44 (4), 19 - 23.

WESTERBERG, H. (1979): Counter-current orientation in the migration of the European eel. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer* 174, 134 - 143.

Geheimnisse der Tiefsee - geologische und biologische Tiefseeforschung

Unter diesem Thema fand am 23. Mai 1996 die 2. wissenschaftliche Podiumsdiskussion „Neues aus dem Meer“ im Deutschen Museum für Meereskunde und Fischerei (DMMF) in Stralsund statt. Aus diesem Anlaß wurde auch der neue Ausstellungsbereich „Geowissenschaftliche Meeresforschung“ vorgestellt.

Der Tiefseeboden bedeckt eine Fläche von rund 318 Millionen Quadratkilometern - das heißt rund 80 Prozent des Meeresbodens bzw. 62 Prozent der gesamten Erdoberfläche. Davon nehmen allein die Tiefsee-Ebenen fast 200 Millionen Quadratkilometer oder 55 Prozent des Meeresbodens ein. Sie sind damit die weitaus größte morphologische Einheit auf der gesamten Erdoberfläche. Hinzu kommen die aus der Tiefsee aufragenden mittelozeanischen Rücken mit einer Fläche von etwa 53 Millionen Quadratkilometern - das gewaltigste Gebirgssystem unseres Planeten.

Die Tiefsee und der Tiefseeboden sind die am schwersten zugänglichen Naturräume der Erde. Noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts galten sie als geheimnisumwittert, ja sogar lebensfeindlich. Tatsächlich standen der geologischen wie der biologischen Erforschung der Tiefsee gleichermaßen viele Hindernisse entgegen. Der gewaltige Wasserdruck und die totale Finsternis stellten die Forschung vor zahlreiche technische Probleme, vergleichbar nur mit denen der Raumfahrt. Erst die rasante Entwicklung von Technik und Elektronik der vergangenen vier Jahrzehnte ermöglichte eine unvergleichlich intensivere und effektivere Tiefseeforschung. Deren Ergebnisse erschienen und erscheinen noch immer vielfach sensationell. So vermittelten die ersten Reliefkarten der Tiefsee ein völlig neues Bild unserer Erde.

In dieser Zeit sorgten auch andere Aufsehen erregende Ergebnisse für eine Revolutionierung ganzer Wissenschaftszweige. Durch den Einsatz des Tiefsee-

bohrschiffes „Glomar Challenger“ klärte man beispielsweise Genese und Alter des Tiefseebodens sowie der ozeanischen Kruste. Darin lag der Schlüssel für die Erkenntnis der generellen Bewegungsmechanismen der Erdkruste. So erhielten die Geowissenschaftler durch Tiefseeforschungen auch die Grundlagen für ein neues Modell der Globaltektonik. Von Meeresbiologen wurde im Wasser und am Boden der Tiefsee eine bis dahin dort kaum vorstellbare Artenvielfalt gefunden. Man erkannte auch, daß gerade das Wasser der Tiefsee viel stärker als vermutet in globale Kreisläufe eingebunden ist. Mit der Entdeckung umfangreicher mineralischer Rohstoffvorkommen am Grunde der Tiefsee erhielt die geowissenschaftliche Meeresforschung Anfang der sechziger Jahre zusätzliche Schubkraft.

Heute ist die Fülle der Forschungsergebnisse aus der Tiefsee kaum noch überschaubar. Deshalb wählte man gerade dieses Thema für die 2. wissenschaftliche Podiumsdiskussion im Deutschen Museum für Meereskunde und Fischerei. Auf diesem Gebiet engagierte Wissenschaftler aus Forschung und Lehre wurden um entsprechende Beiträge gebeten. Nicht nur den Mitarbeitern des Museums, sondern u. a. auch Interessenten aus Universitäten und staatlichen Ämtern im Stralsunder Umfeld diente diese Veranstaltung als wertvolle Weiterbildung. Gedankt sei an dieser Stelle allen Referenten für ihre dazu erarbeiteten Beiträge, die im Folgenden - teilweise in etwas gekürzter Form - wiedergegeben sind.

Geowissenschaftliche Meeresforschung - ein neuer Ausstellungsbereich im DMMF

R. Reinicke

Anknüpfend an den Ausstellungsbereich „Meereskunde“ im Erdgeschoß der Ausstellungshalle widmet sich der neue, erst teilweise fertiggestellte Abschnitt in der Ausstellung „Mensch und Meer“ des Obergeschosses speziell der geowissenschaftlichen Meeresforschung nach 1960 und ihren Ergebnissen.

Mit der Position „**Ein Schiff revolutionierte die Meereskunde**“ wird speziell die Erforschung des Meeresbodens durch den Einsatz des Bohrschiffes „Glomar Challenger“ dargestellt. Die damit erzielten umwälzenden Forschungsergebnisse werden im folgenden kurzen Haupttext zusammengefaßt:

„Niemand wußte es vorher: Der Schlüssel zum Geheimnis vom Werden und Vergehen von Meeren liegt im Boden der Ozeane.

Erst die wissenschaftlichen Ergebnisse, die mit dem Einsatz des Bohrschiffes GLOMAR CHALLENGER nach 1968 erzielt wurden, führten zu völlig neuen Erkenntnissen.

Durch Bohrungen im Meeresboden der Tiefsee erhielt

man Gesteinsproben. Aus ihnen konnte die Entstehungsgeschichte der Weltmeere rekonstruiert werden. Dadurch stellten die Geologen fest, daß die Ozeane viel jünger sind, als man bisher annahm.“

Das im Maßstab 1: 100 von Manfred Zinnecker aus Holzweißig im Auftrag des Museums gefertigte Modell des 134 Meter langen und 36 Meter breiten Bohrschiffes dominiert in der Vitrine. Der vom Museum fachlich begleitete Bau des Modelles 1986 - 88 gestaltete sich komplizierter als gedacht: Es fehlten Unterlagen, die für den Bau eines detailgetreuen Modells unumgänglich waren. Ein Brief an Scripps Institution of Oceanographie in La Jolla / Californien um entsprechende Hilfe hatte Erfolg: Mit Brief von Dr. M. N. A. Peterson, dem damaligen Direktor des DSDP (Deep Sea Drilling Project), kamen die entsprechenden Pläne - allerdings sehr stark generalisierte. Viele der am Modell dargestellten Details konnten von Fotos übernommen werden, die uns freundlicherweise Dr. D. Lange aus Rostock zur Verfügung stellte,



Abb. 1: Modell des Bohrschiffes „Glomar Challenger“ in der neuen Vitrine zum Thema „Ein Schiff revolutionierte die Meereskunde“.

Abb. 2: Multiparametersonde und verschiedene Erzproben vom Meeresboden. Diese Vitrine verdeutlicht die Bedeutung der mineralischen Rohstoffvorkommen am Boden der Ozeane.



der das Schiff bei einem Arbeitsaufenthalt in La Jolla fotografierte.

In eine den Meeresspiegel darstellende Kunststoffplatte eingearbeitet, wird nun das Modell des weltberühmten Schiffes beim Bohrvorgang gezeigt - mit einer stark vereinfachten Unterwasserausrüstung und einem angeschnittenen Bohrloch im modellierten Meeresboden. Als Originale dazu sind eine Diamant-Bohrkrone und ein Basalt-Bohrkern an der Rückwand montiert.

Die zweite Vitrine dieses Ausstellungsbereiches behandelt das breitgefächerte Thema „**Bodenschätze vom Meeresgrund**“ und versucht mit einem möglichst knappen Text, dessen überragende Bedeutung zu beschreiben:

„Die intensive Erkundung von mineralischen Rohstoffen am Meeresboden begann erst um 1960. Seither wurden umfangreiche Erzvorkommen, besonders von Mangan, Kupfer und Zink, entdeckt. Sie sind eine wichtige Rohstoffreserve für das neue Jahrtausend. Ihr Abbau kann aber durch freigesetzte Schwebstoffmassen zur Trübung und damit zur Gefährdung der Lebewesen großer Meeresteile führen.

An der Erforschung der Lagerstätten am Grunde der Weltmeere haben deutsche Wissenschaftler und Techniker einen wesentlichen Anteil. Sie führten zahlreiche Forschungsfahrten durch (z. B. mit den Forschungsschiffen „Valdivia“ und „Sonne“) und entwickelten neuartige Forschungs- und Probeentnahmegeräte.“

Für diese Vitrine konnten besonders interessante Exponate erworben werden: eine Multiparameter-Sonde zur Messung von Druck, Temperatur und Salzgehalt, die in den siebziger Jahren auf dem Forschungsschiff „Sonne“ bei der Erkundung von Erzschlamm im Roten Meer zum Einsatz kam; ein Original-Stechrohrkern mit Erzschlamm aus dem Roten Meer; ein Zinkbarren, hergestellt aus einem Erzkonzentrat, das 1979 bei der ersten Testförderung von Erzschlamm im Roten Meer durch das Forschungsschiff „Sedco 445“ gewonnen wurde; Manganknollen aus dem Nordost-Pazifik sowie Massiv-Sulfiderz vom Galapagos-Rift aus dem Ost-Pazifik. Grafiken auf der Einstellfläche verdeutlichen die Funktionsweise der wichtigsten Probenahmemethoden und -geräte: Dredge, Kolbenlot und Backengreifer. Außerhalb der Vitrine ist das Original eines Freifallbodengreifers aufgehängt, der in den sechziger und siebziger Jahren zum Einsatz kam.

Für die Bereitstellung der Exponate und die solide Fachberatung sei an dieser Stelle besonders Herrn Dr. Harald Bäcker und Herrn Dr. Gunnar Tietze von der GEOMAR Technologie GmbH Kiel gedankt.

Die Tiefsee und ihre Einbindung in ein globales System

H. Thiel *

Tiefseeforschung ist auch heute noch so spannend wie im vergangenen Jahrhundert.

Damals wurde gefragt: Wie tief sind die Ozeane? Wie verlaufen die Strömungen und mit welcher Stärke? Gibt es Lebewesen auch in den größten Tiefen?

Heute lautet die Frage: Welche Funktionen haben die unendlich weit ausgedehnten Regionen der Tiefsee im globalen Kontext, auch im Zusammenhang mit dem Klima und dem Leben auf der Erde?

Die Beobachtungen saisonal gesteuerter Sedimentationsprozesse in zentralozeanischen Tiefseebereichen, die Bestätigung der von Alfred Wegener vor 80 Jahren vertretenen Hypothese der Kontinentaldrift, die Entdeckungen intensiver Austauschprozesse zwischen Erdkruste und Sedimenten durch ausströmendes heißes Wasser oder langsam aussickerndes kaltes Wasser - alles faszinierende Forschungsergebnisse der letzten 20 Jahre - geben Anlaß zu Spekulationen über noch Unentdecktes in den großen Tiefen und Weiten der Ozeane. Trotz der aufregenden Neuigkeiten diskutieren die Forscher immer noch über

die obere Grenze der Tiefsee.

Als Beginn der Tiefseeforschung wird meist die Expedition des britischen Forschungsschiffes „Challenger“ genannt, das vor 120 Jahren nach vierjähriger Weltumsegelung und Forschungsarbeiten auf allen Meeren nach Edinburgh zurückkehrte.

Zweifellos war das die erste große Forschungsreise, aber zu deren Vorbereitung hatten vorher schon kurze Fahrten in den Nordostatlantik stattgefunden. Bis heute ist die Tiefsee sporadisch immer wieder untersucht worden, und die Bundesrepublik Deutschland hat kürzlich durch das Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) einen Schwerpunkt „Tiefseeforschung“ geschaffen, in dem mehrere spezielle Vorhaben 1996 begonnen haben und 1997 beginnen werden.

Trotz der über einhundertjährigen Erforschung der Tiefsee können sich die Wissenschaftler nicht einigen, in welcher Wassertiefe dieser Raum beginnen soll. Für eine Grenzziehung gibt es auch nur wenige Argumente. Unter physikalischen und chemischen Gesichtspunkten läßt sich keine einheitliche Zone von Veränderungen bei Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoff oder Nährstoffen finden. Die Veränderungen mit zunehmender Wassertiefe sind regional verschieden, und prinzipiell ändert sich nichts am System. Die Sedimente werden zwar nach ihrer Herkunft vom Land oder aus der Wassersäule, dem Pelagial, in terrestrische, hemi(halb)pelagiale und pelagiale Ablagerungen eingeteilt, aber die Übergänge sind sukzessive und erlauben keine Grenzdefinition.

Auch in der Biologie sind sukzessive Veränderungen in den Bestandsdichten und den Umsatzprozessen

vorhanden. Die Primärproduktion organischen Materials durch das Phytoplankton ist auf die oberen 100 bis 150 m der Wassersäule beschränkt. Von diesem Material - über die Nahrungsketten - ernähren sich auch die Tiere, die in tieferen Schichten leben. Aber nur ein geringer Anteil der Nahrungsenergie erreicht diese Zonen, und die pelagischen Tiere weisen sich schon in 300 m Tiefe durch deutliche morphologische und physiologische Merkmale aus. Sie charakterisieren dadurch den Lebensraum Tiefsee. Zusammenfassend lassen sich diese Anpassungen unter dem gemeinsamen Aspekt des Energiehaushaltes dieses Systems und der einzelnen Arten erklären. Insbesondere bei Fischen und Tintenfischen sind Gewichtsreduktionen und Auftriebsmechanismen entwickelt, durch die Bewegungsenergie eingespart wird. Fische zeigen Anpassungen zur Beutesicherung und Energiespeicherung. Ebenso kann die Entwicklung von Leuchtorganen unter diesem Gesichtspunkt gedeutet werden. Sie dienen der Erkennung der Partner, der Feinde und der Beute. Die geringen Populationsdichten haben auch zu Anpassungen geführt, die die geschlechtliche Fortpflanzung sichern. Diese besonderen Merkmale der Tiere haben den Begriff „Tiefseebiologie“ entstehen lassen, während in den anderen ozeanographischen Disziplinen solche, die Tiefsee hervorhebenden Begriffsbildungen, nicht bekannt sind. Die Biologie der im Pelagial lebenden Organismen gestattet es daher, die Tiefsee bei etwa 300 m Wassertiefe beginnen zu lassen (Abb. 1 und 2).

Abb. 1: Kopf des Fangzahnfisches (*Anoplogaster cornuta*), Fang in 900 m Tiefe westlich von Gibraltar.



* AWI-Veröffentlichungs-Nr. 1157

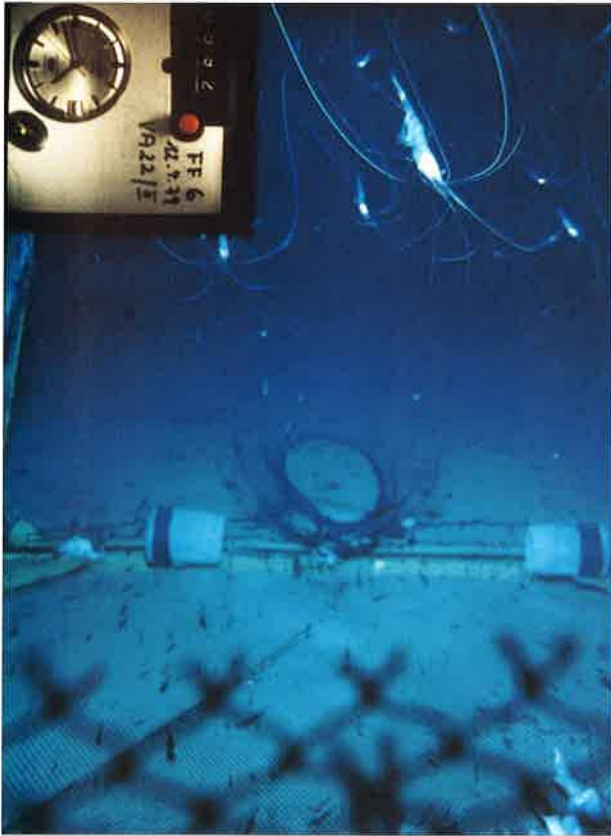


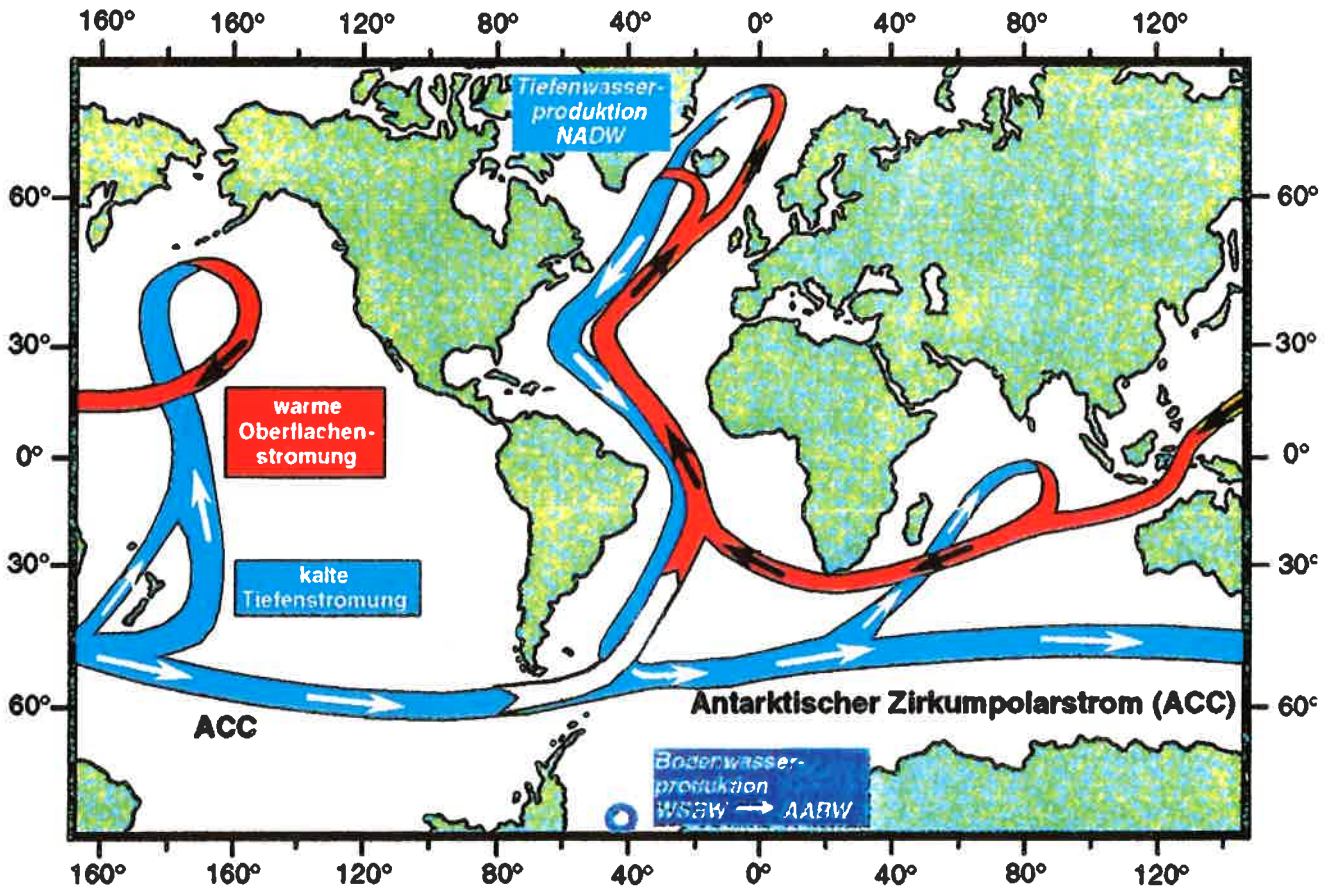
Abb. 2: Einige Garnelen der Tiefsee sind mit sehr langen Antennen ausgestattet, um den dunklen Lebensraum gut erfassen zu können.

Die Erkundung der Wassermassen und der Wassertransporte

waren stets das Ziel physikalisch-ozeanographischer Messungen, aber diese blieben Einzelwerte, auf langen Schnitten angeordnet, bis das Forschungsschiff „Meteor“ 1925-1927 auf der „Deutschen Atlantischen Expedition“ erstmals die Verhältnisse eines großen Ozeanbereichs, des Südatlantiks, aufgenommen hatte. Die Grundstrukturen der Wasserzirkulation im Atlantik konnten dadurch beschrieben werden, und es wurde deutlich, daß die Wassermassen der Tiefsee in den ozeanischen Kreislauf mit eingeschlossen sind. Es sollte aber noch mehr als 50 Jahre dauern, bis die Wassermassen des Weltozeans als ein zusammenhängendes Austauschsystem erkannt wurden.

Die Quellregionen für das Tiefenwasser liegen im Europäischen Nordmeer (Grönlandsee), in der Labradorsee zwischen Grönland und Kanada sowie im Bereich des Antarktischen Kontinents, insbesondere im Weddellmeer. Das spezifisch schwere, salzreiche und kalte Wasser dieser Regionen sinkt ab und bildet

Abb. 3 (unten): Der globale Transport, der das kalte Tiefenwasser und das warme Oberflächenwasser einschließt. Alle lokalen Transporte sind fortgelassen. Der Nordatlantikstrom führt warme Wassermassen von der nordamerikanischen zur norwegischen Küste. (NADW: Nordatlantisches Tiefenwasser, WSBW: Weddell Sea Bottom Water, AABW: Antarctic Bottom Water) (Aus R. GERSONDE et al., 1996, Geowissenschaften 14 (9), 365 - 369).



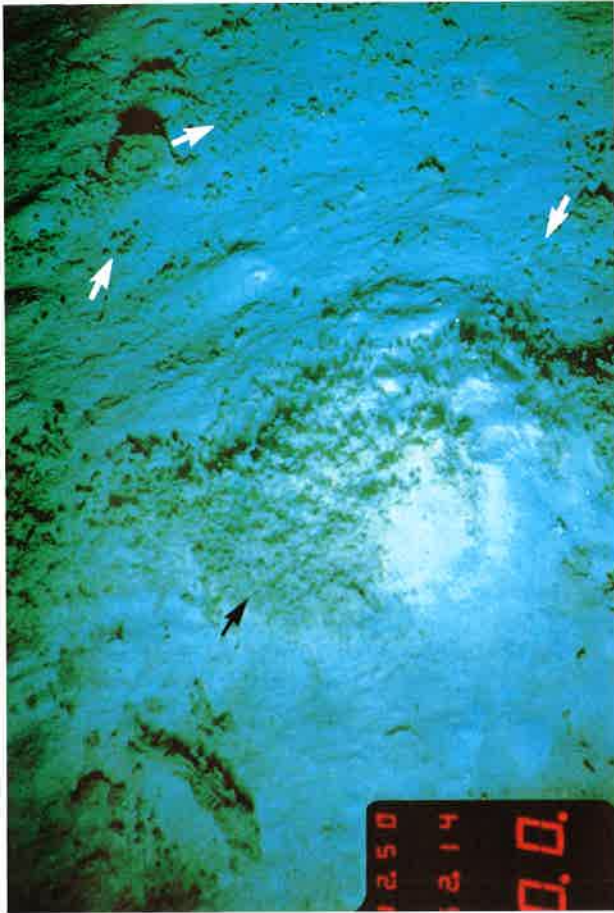


Abb. 4: Phytodetritus am Tiefseeboden des NE-Atlantik in 4.550 m Tiefe. Etwa sechs Wochen nach dem Maximum der Primärproduktion ist das Material aus Pflanzen- und Tierresten am Boden in kleinen und großen Aggregaten zu finden. (Aus H. THIEL et al., 1988/89, Biol. Oceanography 6, 203 - 239).

das Tiefenwasser, das aus dem Atlantik über den Indik bis in den Pazifik vordringt (Abb. 3). Durch Veränderungen der Dichte bei Vermischungsvorgängen steigt Wasser in die Oberschichten der Ozeane auf und wird zu den Ausgangsorten zurück transportiert. Dieses ist ein fortwährender Prozeß, der allerdings in der Größenordnung von 1.000 Jahren liegen dürfte, wenn man ein einzelnes Partikel auf dem genannten Wege verfolgen würde. In dieses globale System sind



jedoch zahlreiche zurückführende Wassertransporte als kurzgeschlossene mit kürzeren Zeitabläufen und von lokalen Auswirkungen eingeschlossen. Von eminenter Bedeutung ist, daß durch diese Prozesse die Wassermassen der Tiefsee in das weltweite Austauschsystem eingebunden sind und nicht etwa isolierte Tiefwasserkörper der einzelnen Ozeane nebeneinander existieren. Diese Zusammenbindung der Ozeane läßt gleichzeitig

die klimatische Einbindung der Tiefsee

in das globale System erkennen. Wechselwirkungen zwischen Ozean und Klima sind allgemein bekannt. Der Transport relativ warmen Wassers quer über den Nordatlantik als Nordatlantikstrom (fälschlicher Weise häufig als Golfstrom bezeichnet) und als Norwegengstrom vor der norwegischen Küste, beschert den nördlichen Westeuropäern das ozeanische warm-feuchte Klima (Abb. 3).

Veränderungen des Klimas, heute allenthalben in Diskussion, werden sich auch global auf die Tiefsee auswirken. Wird in den Quellgebieten des Tiefseewassers die niedrige Temperatur nicht mehr erreicht, nimmt auch dessen Dichte nicht mehr so stark zu, und die Absinkprozesse werden verringert. Weniger Wasser gelangt in große Tiefen, und das die Ozeane übergreifende Transportband verliert an Schubkraft. Welche Auswirkungen das auf die Tiefsee haben wird und welche Rückwirkungen auf das Klima zu erwarten sind, läßt sich kaum vorhersagen. Zwischen den Ozeanen und zwischen den Regionen werden die Klimaaänderungen unterschiedlich sein. Da das Tiefenwasser den für die Atmung erforderlichen Sauerstoff mitführt, könnte das Leben in der Tiefsee durch die Verminderung der Transportraten behindert oder gar verhindert werden. Als anthropogen beeinflusste Komponente ist

das Kohlendioxid (CO₂) im atmosphärisch-ozeanischen System

von Bedeutung. Aber viele Fragen sind noch offen. Wir wissen, daß durch die Verbrennung fossiler Rohstoffe der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre zugenommen hat und daß dieses Treibhausgas zumindest regionale Erwärmungen bewirken kann. Den globalen CO₂-Kreislauf haben wir jedoch noch nicht verstanden. Wir können die Produktion dieses Atmungs- und Verbrennungsproduktes abschätzen: wir nehmen an, daß je ein Drittel der jährlich produzierten Menge im terrestrischen und im ozeanischen System in den Kreislauf wieder einbezogen wird, aber für den Verbleib des letzten Drittels fehlen uns entsprechende Nachweise. Eine Hypothese besagt, das CO₂ würde durch physikalische und biologische Prozesse in den Oberflächenschichten der Ozeane gebunden, durch

Abb. 5 (links): Phytodetritus von derselben Lokation auf dem Sediment in einem Rohr (6 cm Ø) des Multicorers. (s. Abb. 3)

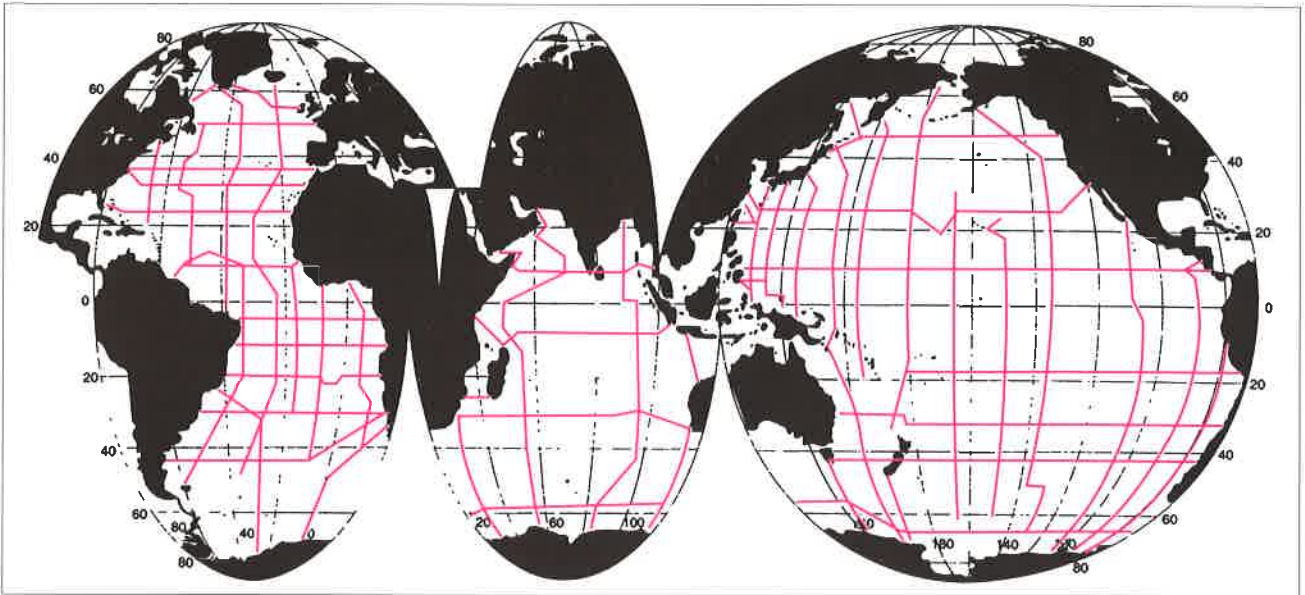


Abb. 6: Die ozeanographischen Schnitte (rot), auf denen im World Ocean Circulation Experiment (WOCE) während der Jahre 1990 - 1997 mehrfach physikalische und chemische Messungen vorgenommen wurden. Die Methoden und die Meßhäufigkeiten sind international abgestimmt. (Aus C. P. SUMMERHAYES & S. A. THORPE, 1996, *Oceanography, an illustrated guide*. Manson Publishing Ltd., London (ISDN 1-874545-38-3 oder 1-8745 45-37-5).

Absinkprozesse partikulären Materials (abgestorbene Pflanzen und Tiere, Kotballen, Kalkschalen und -skelette) in die Tiefsee transportiert und dort langfristig in den Sedimenten gespeichert. Während in früheren Jahren dieser Transport als ein gleichmäßiger, feiner „Regen“ aus einzelnen Partikeln angenommen wurde, wissen wir heute, daß sich das detritische Material nach starken Planktonentwicklungen zu schnell sinkenden Aggregaten, dem sogenannten „Phytodetritus“ verbinden kann (Abb. 4 und 5). Dadurch wird in saisonalem Rhythmus CO_2 , gebunden in der organischen Substanz, in die Tiefsee eingebracht. Dieser Raum, der mehr als 90 % des ozeanischen Wasservolumens umfaßt und mehr als 50 % der Erdoberfläche bedeckt, ist also ein integraler Bestandteil des Erdsystems.

Um dieses verstehen und Veränderungen, beispielsweise durch Temperaturerhöhungen oder Transportminderungen, vorhersagen zu können, ist

globale Meeresforschung

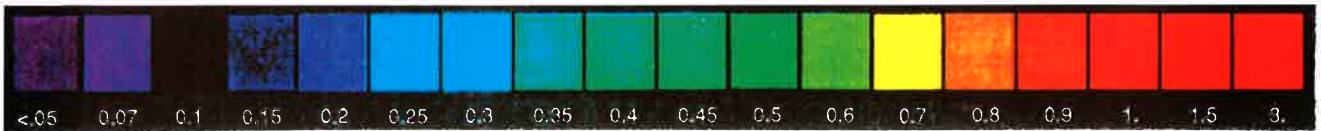
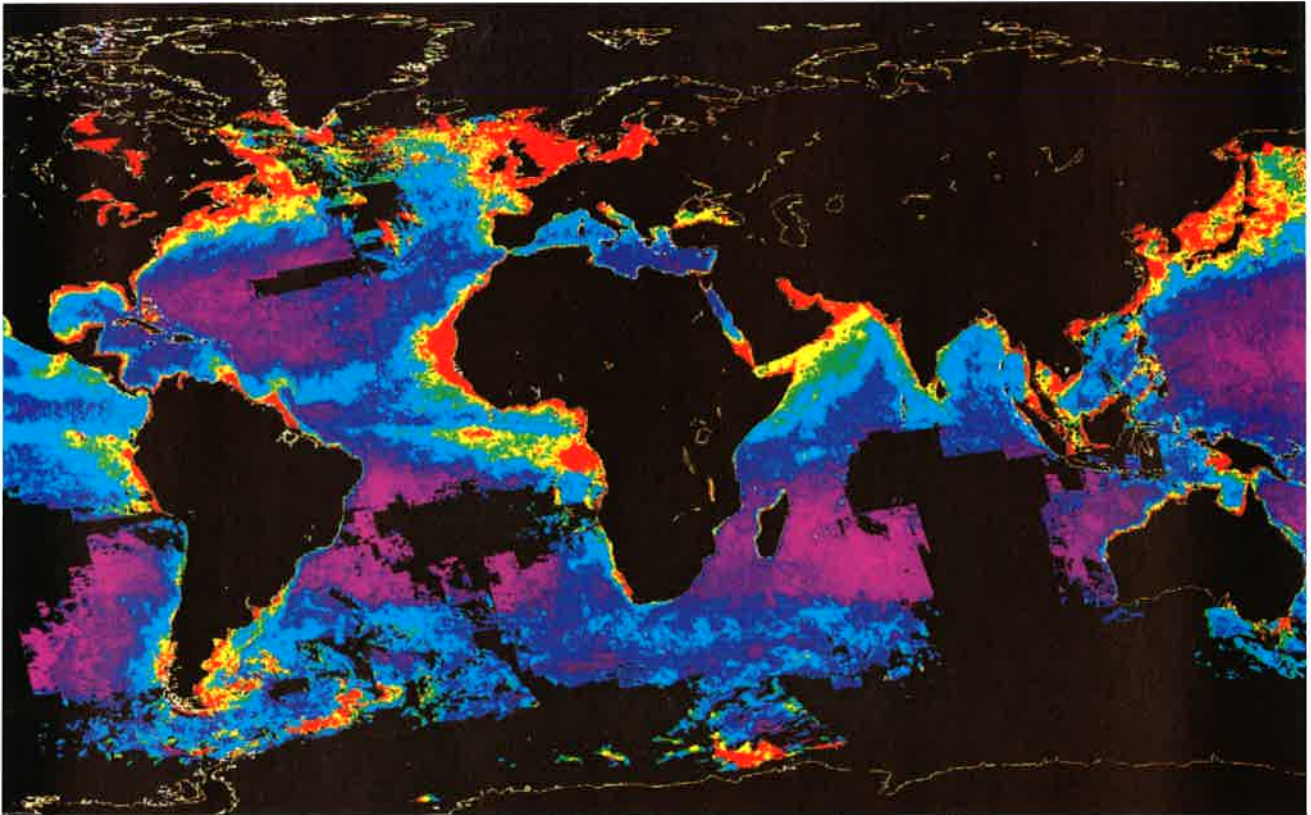
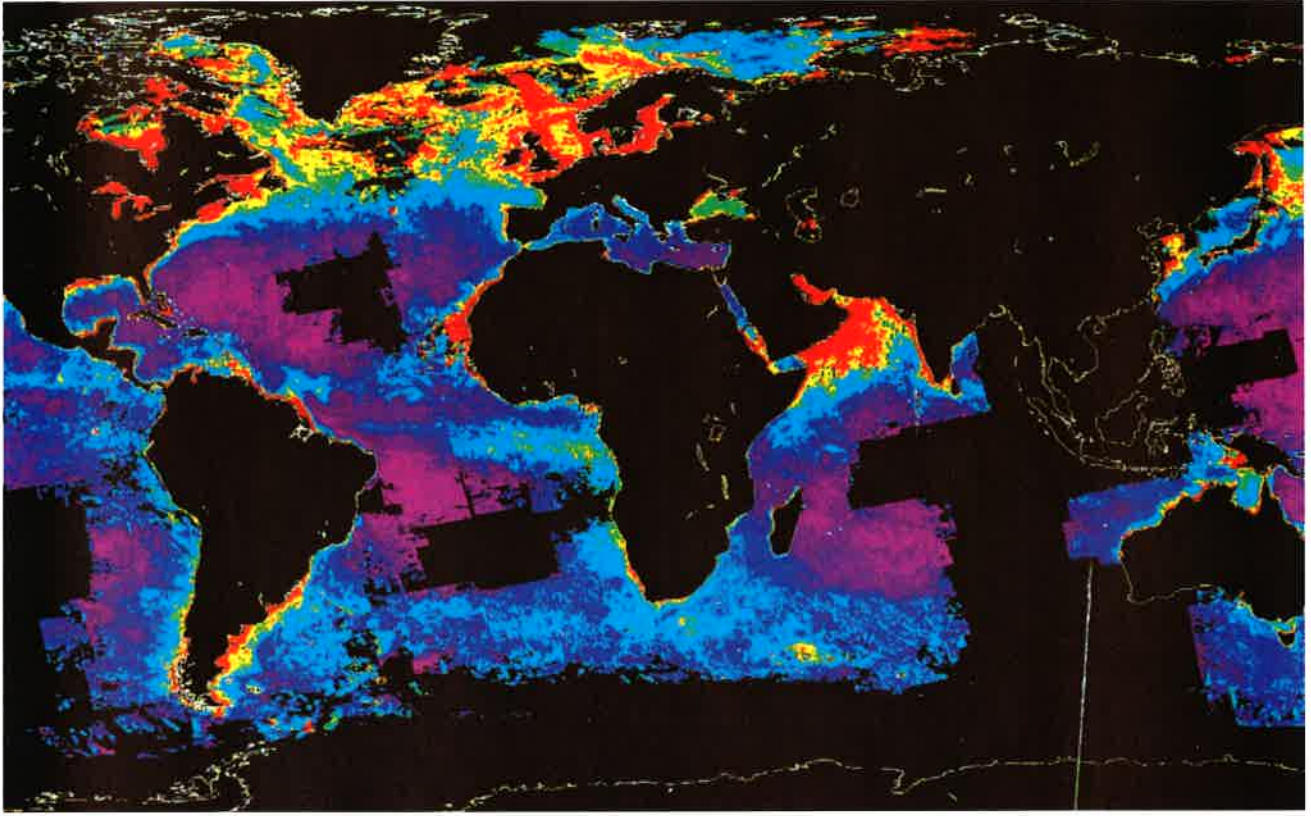
erforderlich. Diese kann nur durch internationale Kooperation erreicht werden, wie sie im World Ocean Circulation Experiment (WOCE) verwirklicht ist. Über alle ozeanischen Regionen ist ein Meßnetz ausgebreitet, in dem von 1990 - 1997 auf festgelegten Schnitten zu verschiedenen Jahreszeiten physikalische Daten über alle Tiefen mit abgestimmten Methoden aufgenommen werden (Abb. 6). Solch umfangreicher Datensatz kann nur mit erheblichem Personalaufwand

gewonnen werden und mit großen Computerkapazitäten zu globalen Strömungs- und Transportmodellen führen. Satellitenaufnahmen der Meeresoberfläche geben Auskunft über Oberflächenstrukturen und Produktionsintensitäten der obersten Wasserschicht (Abb. 7). Während solche Erfassungen globale Informationen von der Wasseroberfläche vermitteln, ist es für die Chemische und Biologische Ozeanographie außerordentlich schwierig, in globalem Maßstab zu Aussagen für alle Wassertiefen zu gelangen, wie es in der Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) versucht wird. Die lokale Variabilität biologischer und abhängig davon chemischer Prozesse erfordert Einzelmessungen in großer Zahl auf unterschiedlichen Raum- und Zeitskalen. Die Übertragungen auf globale Maßstäbe bleiben jedoch auch weiterhin problematisch. Diese Erkenntnisse über die Schwierigkeiten, das während der vergangenen zwei Dekaden erarbeitete Wissen über die enge Einbindung der Tiefsee in das ozeanisch-atmosphärische System der Erde in globalen Zusammenhängen zu deuten, hat das BMBF dazu veranlaßt, in seinem Schwerpunktprogramm Tiefseeforschung als Beitrag zu den internationalen Forschungsaktivitäten die Themenkomplexe

- Zirkulation im tiefen Ozean,
- Kohlenstoffkreislauf (und anderer klimarelevanter Gase),
- Tiefsee als Ökosystem und Tiefsee-Umweltschutz,
- paläozeanographische und hydrothermale Prozesse und
- Forschungstechnik für Arbeiten in der Tiefsee

besonders herauszustellen. Diese Forschungsarbeiten über die Tiefsee dienen auch der Vorsorge für die Erhaltung der oder für die Anpassung an die sich ändernden Umweltbedingungen.

Abb. 7 (rechts): Konzentrationen von Phytoplankton (mg/m^3) im Oberflächenwasser des Weltmeeres. Mittelwerte für Juli - Sept. (oben), für Oktober - Dezember (unten) (From US JGOFS, Woods Hole).



Cold Vents - die kalten Quellen der Tiefseeegräben

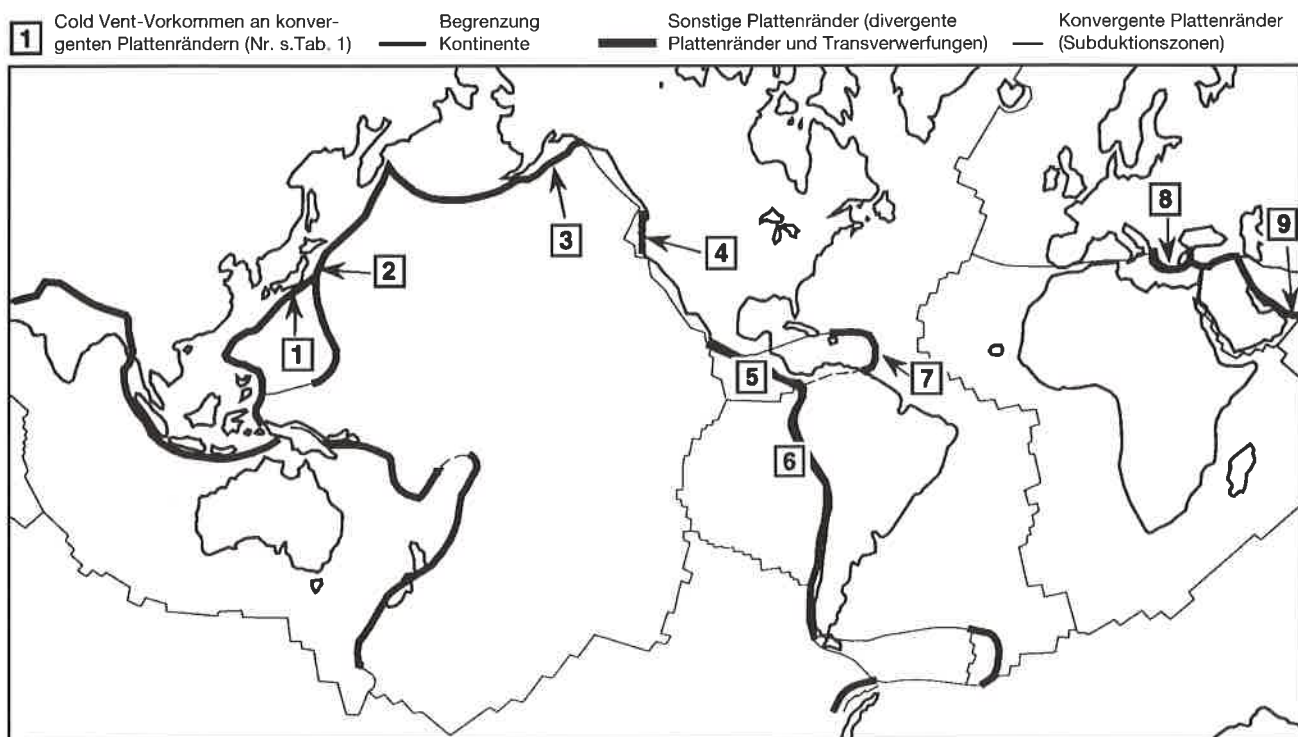
G. Bohrmann und E. Suess

Im Zuge der Klimadiskussionen ist der Ozean mit seinen Stoffumsätzen in den letzten beiden Jahrzehnten ins Zentrum der Betrachtung unserer globalen Ökosysteme gerückt. Dabei ist das Verständnis der Kreislaufprozesse innerhalb des Ozeans sowie der Austauschprozesse mit seiner Umgebung von großem Interesse. Ein intensiver **Stoffaustausch** des Ozeans findet in seinen Randbereichen mit dem Land, der Atmosphäre und seinem Boden statt.

Am Meeresboden haben besonders die Ränder der **Lithosphärenplatten** einen intensiven Stoffaustausch mit dem Meerwasser. Die Grenzen der Platten, sowohl ihre Entstehungs- als auch ihre Verschluckungszonen, sind vorwiegend in den Ozeanen zu finden (Abb. 1). Die Plattentektonik zerlegt die Erdoberfläche in sieben große und eine Vielzahl von kleineren Platten. Unabhängig von ihrer Größe und ihrem Aufbau ist allen Platten gemeinsam, daß sie sehr mobile und dynamisch aktive Ränder besitzen, deren Stoffaustauschprozesse von globalem Ausmaß sind. Drei Typen von Plattenrändern werden unterschieden: **Divergente Plattengrenzen** sind die Mittellinien der ozeanischen Rücken, an denen durch ozeanische Spreizung (Sea-Floor Spreading) neue ozeanische Kruste entsteht. **Konvergente Plattenränder** sind durch das Abtauchen einer Lithosphärenplatte unter eine andere gekennzeichnet und werden als Subduktionszonen bezeichnet. Bewegen sich zwei Platten durch Horizontalbewegung aneinander vorbei, spricht man von **Transform-Verwerfungen**, an denen Erdkruste weder gebildet noch verschluckt wird.

Die Relativbewegungen der Platten finden in der Größenordnung von weniger als 1 cm bis ca. 10 cm pro Jahr statt, wobei es vor allem an den divergenten und konvergenten Plattengrenzen zu einer Vielzahl von geologisch bedeutenden Prozessen, wie Erdbebenaktivität, Magmenbildung und anderen großskaligen Stoffumsätzen kommt. So findet an den mittelozeanischen Rücken (oder Riftzonen) durch die Wärmeentwicklung des Sea-Floor Spreading angetrieben ein Stofftransport in die Wassersäule statt, deren Ausdruck in einer Vielzahl von Erscheinungen wiederzufinden ist, die unter dem Begriff der heißen Quellen (**Hot Vents**) zusammengefaßt werden. Hot Vents wurden mit dem amerikanischen Tiefseetauchboot „Alvin“ 1977 erstmals entdeckt (CORLISS et al., 1979). Hot Vent-Gebiete zeichnen sich durch eine dichte Besiedlung mit speziell angepaßten Benthosvergesellschaftungen, einer chemoautotrophen Lebensweise von vorwiegend Mollusken und Würmern mit Bakterien, inmitten des sonst wenig besiedelten Tiefseebodens (JUNIPER & SIBUET, 1987) aus. Weitere Manifestationen der hydrothermalen Zirkulation sind die aus Sulfiden, Baryt, Anhydrit usw. bestehenden anorganischen Präzipitate der Hot Vents. Die Bedeutung für den ozeanischen Stoffhaushalt ist

Abb. 1: Schematische Darstellung der Plattengrenzen der Erde. Konvergente Plattengrenzen sind mit dicker Linie eingezeichnet. Die nummerierten Lokalitäten markieren die bisher beschriebenen Cold Vent-Funde in Subduktionszonen (siehe auch Tab. 1).



Untersuchungsgebiet	Nummer (in Abb. 1)	Manifestation der Cold Vents	Literatur
Nankai-/Japan- und Kurilen-Subduktionszone (südöstlich Japan)	1 und 2	Vent-Organismen Authigene Karbonate	SIBUET et al. (1988) SAKAI et al. (1992) LE PICHON et al. (1992)
Aleuten-Graben (Alaska)	3	Vent-Organismen Karbonat- und Baryt-Präzipitate	SUESS (1994) SUESS & BOHRMANN (in Druck)
Cascadia-Subduktionszone (Kontinentalrand vor Oregon, USA)	4	Vent-Organismen Authigene Karbonate	SUESS et al. (1985) KULM et al. (1986) KULM & SUESS (1990)
Costa Rica-Rinne	5	Muddiapire	McADOO et al. (1996)
Peru-Subduktionszone (unterer Kontinentalhang vor Peru)	6	Vent-Organismen Baryt-Präzipitate	BOURGOIS et al. (1993) TORRES et al. (in Druck)
Barbados-Akkretionskeil (zentraler Atlantik/Karibik)	7	Muddiapire Vent-Organismen Karbonate-Präzipitate	BROWN & WESTBROOK (1988) LE PICHON et al. (1990) HENRY et al., (1996)
Mittelmeer-Akkretionskomplex (südlich. Griechenland)	8	Muddiapire	CAMERLENGHI et al. (1992) CITA et al. (1995)
Makran-Akkretionskeil (Arabisches Meer/südlich. Pakistan)	9	Authigene Karbonate Pockmark-Strukturen	VON RAD et al. (in Druck)

enorm, wenn man sich vor Augen führt, daß ca. alle sechs Millionen Jahre der gesamte Wasservorrat des Ozeans einmal durch die Hot Vents der ozeanischen Spreizungszonen gepumpt wird.

Im Jahre 1984 wurden ebenfalls mit Tauchbooten aktive Fluidaustrittsstellen am Meeresboden im Bereich der Subduktionszonen beobachtet. Die erste Entdeckung gelang mit dem Tauchboot „Alvin“ entlang der Cascadia-Subduktionszone, die ebenfalls durch dicht besiedelte Organismen mit chemosynthetischer Ernährungsweise gekennzeichnet war (SUESS et al., 1985; KULM et al., 1986). Die zweite Entdeckung erfolgte ein Jahr später mit dem französischen Tauchboot „Nautile“ in den Tiefseeergräben vor Japan. Diese Fluidaustritte sind im Gegensatz zu den Hot Vents an einen konvergenten Plattenrand gebunden, und da die austretenden Wässer keine erhöhten Temperaturen zeigen, werden sie als **Cold Vents** bezeichnet. Während die Hot Vents der Mittelozeanischen Spreizungszonen vielfach beachtet werden, ist die Kenntnis über die Cold Vents ungleich weniger detailliert und verbreitet. Obwohl die Erforschung solcher Phänomene in der Tiefsee technisch aufgrund der Verfügbarkeit von Tiefseetauchbooten und Robotersystemen (sogenannten ROVs = Remotely Operated Vehicles) nur wenigen Wissenschaftlergruppen möglich ist, wurden bis heute in vielen Subduktionszonen Cold Vent-Phänomene gefunden. Es kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, daß alle konvergenten Ränder im globalen Plattengefüge Cold Vents aufweisen. Die Weltkarte in Abb. 1 zeigt die bis heute beschriebenen Vorkommen (Tab. 1).

Tabelle 1: Bisher bekannte Cold Vent-Vorkommen in Subduktionszonen.

Die Erscheinungen der Cold Vents sind mit Fluidaustrittsstellen an passiven Kontinentalrändern wie z.B. im Golf von Mexiko (ROBERTS & AHARON, 1994) und mit **Cold Seeps** aus dem Flachwasser zu vergleichen. Auch dort treten Fluide, meist kanalisiert, an tektonischen Schwächezonen auf und werden in der Regel von Kohlenwasserstofflagerstätten oder auch Grundwasserleitern aus dem Untergrund gespeist. Das Vorkommen, die Dynamik und die Stofftransporte der Cold Vents an den Subduktionszonen wird allerdings letztendlich durch den tektonischen Prozeß der Subduktion gesteuert. Im Falle einer Ozean/Kontinent-Kollision kommt es meist zu einem Aufbau eines **Akkretionskeiles**. Dabei werden die Sedimente in Falten gelegt, gestapelt und an die Oberplatte angeschweißt, die von der Unterplatte herantransportiert und an der Stoßkante des Konvergenzbereiches abgeschert werden. Durch den tektonischen Druck der konvergierenden Platten wird der mit Gasen und Fluiden gefüllte Porenraum der Sedimente zusammengedrückt und der Inhalt ausgequetscht. Dies findet meist als kanalisierter Transport von Fluiden statt und ist überwiegend an die tektonischen Entwässerungsbahnen im Akkretionskeil gebunden (MOORE & VRO-LIJK, 1992). Die Reliefbildung des Akkretionskeils am Meeresboden durch tektonische Stapelung führt zu einer erheblichen Sedimentumverteilung durch gravitativen Hangabtransport, wodurch ein Großteil der



Abb. 2: Authigene Karbonate bedecken den Meeresboden am nördlichen Rücken des zweiten Akkretionskeils in der Cascadia-Subduktionszone. Aufnahme des Fotoschlittens „Explos“ bei der Expedition 110 mit FS „Sonne“, 1996.

nicht subduzierten Sedimente recycled wird. Wichtiger für den Chemismus des Ozeans ist der Austritt von Fluiden und Gasen an den Cold Vents. Obwohl einzelne Messungen von Ausstromraten bereits vorliegen, sind quantitative Hochrechnungen auf den Gesamtozean bisher noch schwierig (LINKE et al., 1995) und beruhen auf geophysikalischen Methoden, die eine Abnahme des Porenraums zu Hilfe nehmen.

Die Fluidzirkulation der **Cascadia-Subduktionszone** (Nummer 4 in Abb. 1) ist, wie die meisten bisher untersuchten Akkretionsrücken, durch eine weit verbreitete und intensive Karbonatzementation der terrigenen Sedimente gekennzeichnet, wobei Isotopenmessungen belegen, daß der Kohlenstoff der Karbonate hauptsächlich aus einer Methanquelle stammt. Neueste Untersuchungen vor Oregon belegen auch den Einfluß von Methanclathraten bei der Bildung der authigenen Karbonate (SUESS & BOHRMANN, in Druck). Der kontinuierliche Vorgang der Hebung der

Abb. 3: Die im Meeresmuseum Stralsund ausgestellte Kolonie von *Lamellibrachia barhami* kurz nach ihrer Bergung mit dem amerikanischen Tiefseetauchboot „Alvin“ im August 1984 mit authigenem Karbonatgestein aus dem Bereich der Cold Vents vor Oregon.



Abb. 4: Meeresboden mit Baryt zementiert und mit randlich vorkommenden Ventorganismen in 3.400 m Wassertiefe am Kontinentalrand vor Peru.

Akkretionsrücken während der Subduktion führt oft dazu, daß es am Kamm der Rücken zu einer Erosion kommt. Hierbei wird unverfestigtes Sediment wegtransportiert, so daß die durch den Vorgang des Venting gebildeten Karbonate als resistente Gesteine zurückbleiben. So ist vor allem die nördliche kuppelartige Kammregion des zweiten Akkretionsrückens vor Oregon mit an der Oberfläche anstehenden Karbonaten bedeckt (Abb. 2). Fluidaustritte sind dort durch chemoautotrophe Lebensgemeinschaften gekennzeichnet, von denen die Muscheln, *Calyptogena* sp. und *Solemya* sp., sowie die Röhrenbüschel der Bartwürmer von *Lamellibrachia barhami* (Abb. 3) die auffälligsten sind (SUESS et al., 1985).

Der aktive **Kontinentalrand vor Peru** (Nummer 6 in Abb. 1) stellt eine besondere Variante der konvergenten Plattengrenzen und ihrer Stofftransportvorgänge dar. Hier stehen tektonische Erosion anstatt Akkretion und Stapelung im Vordergrund (BOURGOIS et al.,

Abb. 5: Barytkruste mit Serpelnröhren aus einem Cold Vent-Gebiet vor Peru.

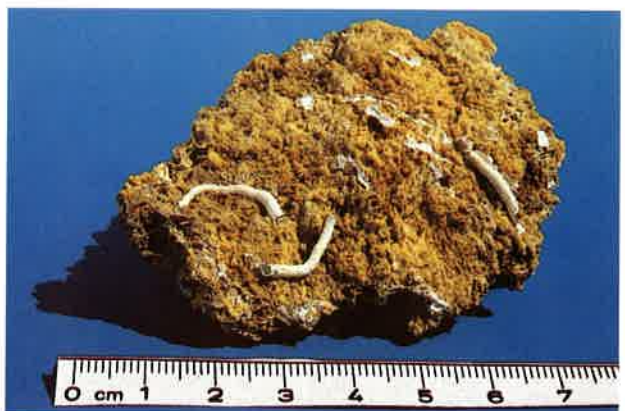




Abb. 6: Aktive Fluidaustrittsstelle des ersten Akkretionsrückens im Aleutengraben südwestlich der Insel Kodiak mit dichter Besiedlung von Ventmuscheln (*Calymene phaseoliformis*).

1993). Die Stoßkante der kontinentalen Oberplatte reicht weit in den Kontinentalrand und den angrenzenden Tiefseeegraben hinaus und wird an ihrer unteren Fläche erodiert. Die herangeführte ozeanische Nazca-Platte trägt eine relativ dünne Sedimentbedeckung; auch ist die Sedimentzufuhr aus den angrenzenden Anden eher unbedeutend. Beide Faktoren tragen dazu bei, daß die Bildung von Akkretionskeilen eine untergeordnete Rolle spielt. Demgegenüber stehen großskalige Rutschungen und Absenkungen im Vordergrund. Diese legen Entwässerungssysteme frei, die vielfach ihren Ursprung in der kontinentalen Platte haben bzw. an Diskordanzen zwischen der kontinentalen Platte und dem daraufliegenden Sedimentpaket auftreten. Hierdurch entstehen ebenfalls Cold Vents, wie entlang der übrigen konvergenter Ränder. Speziell vor Peru wurden auch Serpuliden als Bestandteil der chemosynthetischen Vergesellschaftungen beschrieben (OLU et al., 1996) wie auch calymogene Muscheln, die an Austritten flüssiger Kohlenwasserstoffe in mehr als 3.500 m Wassertiefe leben (SUESS, 1992). Eine weitere Besonderheit der Cold Vents vor Peru sind die hohen Anteile von Barium in den austretenden Ventwässern. Barium wird in dem hochproduktiven Meeresgebiet vor Peru in Form von biogenen Barytpartikeln eingetragen und im Sediment unter den Bedingungen intensiver Sulfatreduktion wieder gelöst. Das gelöste Barium wird mit den aufsteigenden und am Meeresboden austretenden Ventwässern transportiert, und in Reaktion mit dem hohen Sulfatgehalt des Meerwassers kommt es am Meeresboden zu einer großflächigen Barytzementation der Ventgebiete (TORRES et al., in Druck; Abb. 4 und 5).

Ein anderes Endglied der konvergenter Plattenränder mit bedeutenden Cold Vents ist der **Aleuten-Graben** (Nummer 3 in Abb. 1) mit seinem angrenzenden Kontinentalrand zwischen Alaska und dem Aleuten-Inselbogen. Hier dominiert der Sedimenteintrag, besonders im östlichen Teil, und damit die Akkretion und Stapelung von Sedimentpaketen. Geophysikalisch konnten bis zu sechs Generationen von Akkretions-



Abb. 7: Nahaufnahme des Tiefseeroboters „Ropos“ während der „Sonne“-110-Expedition; sie zeigt die mit Anemonen besiedelten Ventmuscheln der Abb. 6 in 4.950 m Wassertiefe.

rücken unterschieden werden. Ausgedehnte Beobachtungen am Meeresboden von Bord des Forschungsschiffes „Sonne“, (Expeditionen SO97, 1994 und SO110, 1996) mit dem Fotoschlitten „Explos“ und dem kanadischen Roboter „Ropos“ zeigten, daß Cold Vents nur an den seewärtigen Flanken der ersten akkretionären Falten- bzw. Überschiebungsstrukturen auftreten (SUESS, 1994; SUESS & BOHRMANN, in Druck). Die aktiven Fluidaustrittsstellen werden im wesentlichen durch dichte Ansammlungen von *Calymene phaseoliformis* (Abb. 6) gekennzeichnet, die endosymbiotische Bakterien in ihren Kiemen beherbergen. Sie sind etwa zur Hälfte im Sediment eingegraben und an ihrem ins Bodenwasser ragenden Ende mit aufsitzenden Anthozoen besiedelt (Abb. 7). Neben häufig anzutreffenden Bartwürmern ist im Aleutengraben auch die Ventmuschel *Solemya* sp. vertreten. Aufgrund der großen Wassertiefe zwischen 4.500 und 5.300 m deutlich unterhalb der Calcitkompensationstiefe werden die karbonatischen Muschelschalen der Cold Vents im Aleutengraben sehr schnell nach dem Absterben der Muscheln aufgelöst. Diese Karbonatlösung ist auch der Grund dafür, daß die authigenen Karbonate, welche durch Venting im Sediment gebildet werden, an der Meeresoberfläche nicht überlieferbar sind, wie etwa vor Oregon, wo die mit Karbonat bedeckten Sedimentoberflächen häufig auch fossiles Venting belegen.

Dank

Wir danken allen Mitarbeitern der Abteilung Marine Umweltgeologie des GEOMAR Forschungszentrums, ohne deren engagierte Mitarbeit die Untersuchungen an den Cold Vents nicht möglich sind. Weiterhin danken wir der Reedereigemeinschaft Forschungsschiffahrt GmbH und ihren Mitarbeitern.

Das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) fördert im Rahmen mehrerer Projekte unsere Untersuchungen in Subduktionszonen.

Literatur:

- BOURGOIS, J., Y. LAGABRIELLE, P. DE WEVER, E. SUESS and NAUTIPERC Team (1993): Tectonic history of a non-accreting active margin during the past 400 ka. *Geology*, 21: 531 - 534.
- BROWN, K. & G. K. WESTBROOK, (1988): Mud diapirism and subcretion in the Barbados Ridge Accretionary Complex. *Tectonics*, 7: 613 - 640.
- CAMERLENGHI, A., M. B. CITA, W. HIEKE and T. RICCHIUTO (1992): Geological evidence for mud diapirism on the Mediterranean Ridge accretionary complex. *Earth and Planetary Science Letters*, 109: 493 - 504.
- CITA, M. B., J. M. WOODSIDE, M. K. IVANOV, R. B. KIDD, A. F. LIMONOV et al. (1995): Fluid venting from a mud volcano in the Mediterranean Ridge diapiric belt. *Terra Nova*, 7: 453 - 458.
- CORLISS, J. B., J. DYMOND, L. I. GORDON et al. (1979): Submarine thermal springs of the Galapagos Rift. *Science*, 203: 1073 - 1083.
- HENRY, P., X. LE PICHON, S. LALLEMANT et al. (1996): Fluid flow in and around a mud volcano field seaward of the Barbados accretionary wedge: Results from Manon Cruise. *Journal of Geophysical Research*, 101 (B9): 20.297 - 20.323.
- JUNIPER, S.K. & M. SIBUET (1987): Cold seep benthic communities in Japan subduction zones: spatial organization, trophic strategies and evidence for temporal evolution. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 40: 115 - 126.
- KULM, L. D., E. SUESS, J. C. MOORE et al. (1986): Oregon subduction zone: venting, fauna, and carbonates. *Science*, 231: 561 - 566.
- KULM, L. D. & E. SUESS (1990). Relationship between carbonate deposits and fluid vent: Oregon accretionary prism. *Journal of Geophysical Research*, 95: 889 - 8915.
- LE PICHON, X., J. P. FOUCHER, J. BOULEGUE et al. (1990): Mud volcano field seaward of the Barbados accretionary complex: A submersible survey. *Journal of Geophysical Research*, 95: 8931 - 8943.
- LE PICHON, X., K. KOBAYASHI et al. (1992): Fluid venting activity within the eastern Nankai Trough accretionary wedge: A summary of the 1989 Kaiko-Nankai results. 109: 303 - 318.
- LINKE, P., E. SUESS, M. TORRES et al. (1994): In situ measurement of fluid flow from cold seeps at active continental margins. *Deep-Sea Res.*, 41(4): 721 - 739.
- McADOO, B. G., D. L. ORANGE, E. A. SILVER et al. (1996): Seafloor structural observations, Costa Rica accretionary prism. *Geophysical Research Letters*, 23(8): 883 - 886.
- MOORE, J. C. & P. VROLIJK (1992): Fluids in accretionary prisms. *Reviews of Geophysics*, 30: 113 - 135.
- ROBERTS, H. H. & P. AHARON (1994): Hydrocarbon-derived carbonate buildups of the northern Gulf of Mexico. *Geo-Marine Letters*, 14: 135 - 148.
- OLU, K., A. DUPRRET, M. SIBUET, J.-P. FOUCHER and A. FIALA-MEDIONI (1996): Structure and distribution of cold seep communities along the Peruvian active margin: relationship to geological and fluid patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 132: 109 - 125.
- SAKAI, H., T. GAMO, Y. OGAWA and J. BOULEGUE (1992): Stable isotopic ratios and origin of the carbonates associated with cold seepage at the eastern Nankai Trough. *Earth and Planetary Science Letters*, 109: 391 - 4404.
- SIBUET, M., S. K. JUNIPER and G. PAUTOT (1988): Cold-seep benthic communities in the Japan subduction zones: Geological control of community development. *J. Mar. Res.*, 46: 333 - 348.
- SUESS, E., B. CARSON, S. D. RITGER et al. (1985): Biological communities at vent sites along the subduction zone of Oregon. *Biol. Soc. Wash. Bull.*, 6: 475 - 484.
- SUESS, E. (1992): FS Sonne. *Fahrtbericht SO 78 Peruvant. Balboa, Panama - Balboa, Panama 28.2.1992-16.4.1992*. GEOMAR Report, 14: 120.
- SUESS, E. (1994): FS Sonne, *Fahrtbericht SO-97 KODIAK-VENT*. GEOMAR Report, 29: 220.
- SUESS, E. & G. BOHRMANN (in Druck): FS Sonne, cruise report SO 110 (SO-RO). GEOMAR Report.
- TORRES, M., G. BOHRMANN, E. SUESS and J. BOURGOIS (in Druck): Authigenic barites and fluxes of barium associated with fluid seeps in the Peru subduction zone. *Earth and Planetary Science Letters*.
- von RAD, U., H. RÖSCH, U. BERNER, M. GEYH, V. MARCHIG and H. SCHULZ (in Druck): Authigenic carbonates derived from oxidized methane vented from the Makran accretionary prism off Pakistan. *Marine Geology*.

Die mittelozeanischen Rücken - das größte Vulkansystem der Erde

R. Rihm

Einleitung

Mittelozeanische Rücken (MOR) stellen das zentrale, erdumspannende Nahtsystem zwischen den Lithosphärenplatten dar. Hier findet die primäre Differentiation der Erdkruste vom Mantel statt. Sie sind in der Bathymetrie der Weltmeere als lineare Erhebungen mit Wassertiefen von 1,5 bis 3 km Tiefe erkennbar (Abb. 1). Die an den MOR erfolgende Massen- und Energiezufuhr modifiziert wesentlich Chemismus und Zirkulation der Ozeane und steuert fundamentale biologische Prozesse. Die MOR bilden die Grundlage für einzigartige Lebensformen und werden - nach der Entdeckung der tiefen, heißen Biosphäre im Erdinneren - als eine mögliche und sehr wahrscheinliche Lokation für die Entstehung des Lebens auf der Erde diskutiert.

Die geodynamischen Prozesse, die an den ozeanischen Rücken ablaufen, sind erst im Ansatz geklärt. Erst in den 80er Jahren wurden Anzeichen dafür gefunden, daß die Segmentierung der ozeanischen Rücken kein überwiegend geometrischer Effekt ist (d. h. Bewegung in erster Näherung zweidimensionaler Kontinentalplatten auf der dreidimensionalen Erde), sondern daß Veränderungen entlang der Achse genauso wichtig sind wie die großräumigen Veränderungen quer zur Achse - z. B. die Alterung und thermische Kontraktion der Lithosphäre (PARSONS und SCLATER, 1977) - und signifikante Variationen der chemischen und physikalischen Parameter in der Asthenosphäre widerspiegeln (FRANCHETEAU und BALLARD, 1983; MACDONALD et al., 1984; WHITEHEAD et al., 1984; LANGMUIR et al., 1986).

Die RIDGE-Programme

Nach der Entdeckung der „Black Smokers“ 1979 durch Tauchfahrten (ALVIN, CYANA) am East Pacific Rise (EPR) (FRANCHETEAU et al., 1979; RISE TEAM, 1980), wurde Mitte der 80er Jahre die Notwendigkeit einer grundlegenden, systematischen und globalen Erforschung der MOR als vorrangige internationale Aufgabe erkannt. Dies führte zur Entwicklung nationaler Forschungsprogramme in den USA (Ridge Interdisciplinary Global Experiments: RIDGE), Großbritannien (BRIDGE), Frankreich, Japan und anderen Ländern und 1992 zur Gründung der internationalen InterRidge Forschungsinitiative. Deutschland trat 1994 dem InterRidge Programm als assoziiertes Mitglied bei und ist seit 1996 Vollmitglied, wobei der jährliche Mitgliedsbeitrag von 20.000 US \$ nicht aus nationalen Mitteln, sondern vom Land Schleswig-Holstein aufgebracht wird.

Das Hauptziel von InterRidge liegt in der Schaffung und Weiterentwicklung wissenschaftlicher, technischer und logistischer Kooperation zwischen den in der MOR-Forschung aktiven Nationen und Institutionen. Dieses Ziel wird durch eine Reihe von Maßnahmen verfolgt, u. a.:

- Förderung des Austauschs von Ideen, Planungen und aktuellen Forschungsaktivitäten;
- Schaffung von Informationsdatenbanken und Unterstützung bei Management, Austausch, Synthese und Sicherung von Datensätzen;
- Unterstützung bei der Koordination multinationaler und interdisziplinärer Forschungsvorhaben.

Die drei Hauptthemen von InterRidge sind: 1. die Erfassung der globalen Systematik der MOR, 2. Untersuchungen an MOR in der Größenordnung der Rückensegmentation (einige 10 bis einige 100 km) und 3. Beobachtung und Quantifizierung aktiver Rückenprozesse. Die Forschungsinitiative wurde zunächst in drei thematische Arbeitsgruppen gegliedert, die dieser Einteilung entsprachen. Als Informationszentrale wurde ein InterRidge-Büro eingerichtet, das in ca. dreijährigem Turnus in den Mitgliedsländern rotiert und seit 1. 1. 1997 in Paris, Frankreich, angesiedelt ist.

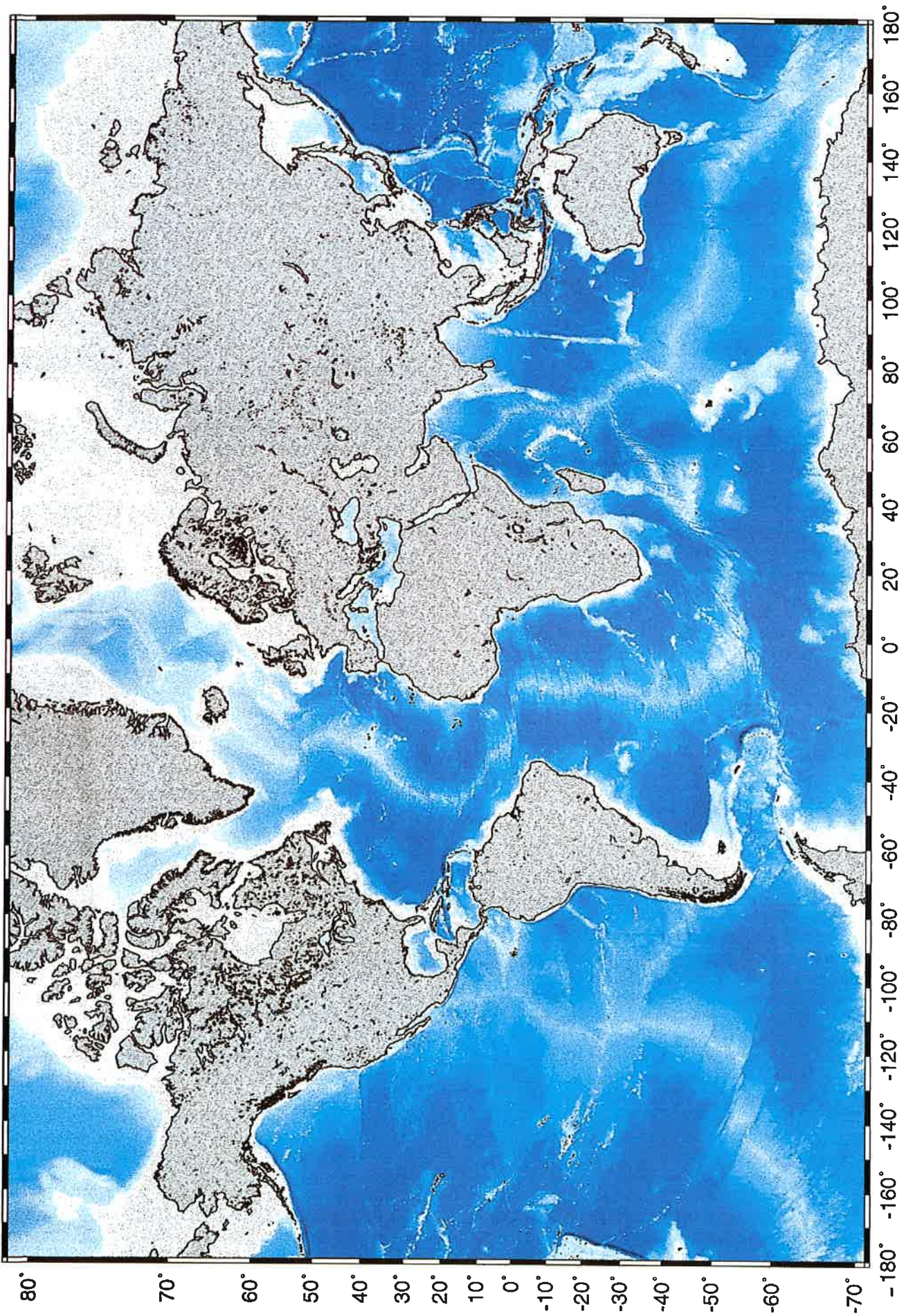
Das InterRidge Programm wurde für einen 12-jährigen Zeitraum konzipiert, in dem zunächst das Programm etabliert wurde (Phase I, 1992-1994). Mittlerweile werden verstärkt konkrete Projekte initiiert (Phase II, 1995-1997), die in der letzten Phase (Phase III, 1998-2003) abgeschlossen werden sollen. Im Zuge der Umstrukturierung von Phase I zu Phase II wurden die drei thematischen Arbeitsgruppen aufgelöst und mehrere projektbezogene Arbeitsgruppen, u. a. für biologische Studien, für Kartierungen der MOR-Segmente in hohen Breiten und die Erstellung verschiedener Datenbanken gebildet.

Systematik mittelozeanischer Rücken

Nachdem am Ostpazifischen Rücken (EPR) die ersten aufsehenerregenden Merkmale der MOR entdeckt worden waren, wurde dieser Teil des globalen Rückensystems besonders intensiv untersucht (MACDONALD et al., 1980; FRANCHETEAU und BALLARD, 1983; SEARLE, 1984; DETRICK et al., 1987) und zu einem Hauptziel des DSDP/ODP Bohrprogramms. Mit fortschreitender Entwicklung der Untersuchungsmethoden und -instrumente und der zunehmenden Zahl und Qualität der Bohrungen wurden genauere Aussagen über komplexe Zusammenhänge möglich.

Als wichtigste charakteristische Merkmale des EPR können nach dem derzeitigen Erkenntnisstand zusammengefaßt werden:

- Der EPR stellt ein System langgestreckter Vulkandrücken dar, dessen einzelne Vulkane/Rückensegmente 1 bis 2 km breit und bis zu 100 km lang sind.
- Eine axiale Magmenkammer, innerhalb der Rückensegmente zeitlich und räumlich weitgehend kontinuierlich verlaufend, liegt etwa 5 km unter dem EPR. Sie ist seismisch nachweisbar als Zone erniedrigter Schallwellengeschwindigkeiten, die sich bis 10 km zu beiden Seiten erstreckt und über der innerhalb von 250 m die v_p -Geschwindigkeit von 6,3 auf 3,0 und die v_s -Geschwindigkeit von 3,0 auf 0 km/s zurückgeht.



- Die Grenze zwischen Erdkruste und -mantel (Moho) erscheint unter dem EPR als ca. 1 km mächtige Übergangszone und nicht wie üblicherweise als scharfe Schichtgrenze (Diskontinuität 1. Ordnung).
- Die Seafloor Spreadingrate am EPR ist mit jährlich 10 bis 20 cm die höchste aller mittelozeanischen Rücken.
- Die sich vom EPR zu beiden Seiten entfernenden Platten weisen ein asymmetrisches Abkühlungs- und Absinkverhalten auf.
- Black Smokers wurden an vielen Stellen entdeckt; hydrothermale Zirkulation wurde als fundamentaler Prozeß der Wechselwirkung zwischen Meerwasser und Magma erkannt, der zur Bildung massiver Sulfid-Lagerstätten führen kann.
- Im Umfeld der Hydrothermalfelder wurden neuartige, auf der Grundlage von Chemosynthese lebende Organismen gefunden.

Untersuchungen an Rücken mittlerer Spreadingrate wie dem Juan de Fuca Rücken (JFR) zeigen einige Übereinstimmungen mit den Merkmalen des EPR, jedoch auch spezifische Unterschiede, z. B. eine etwas tiefere Lage der Magmenkammer (2,3 bis 2,5 km; MORTON et al., 1987) und speziell im Fall des JFR eine weitgehende Sedimentbedeckung außerhalb des unmittelbaren Achsenbereiches.

Im September 1993 ereignete sich am CoAxial Segment des JFR eine Eruption, bei der ein Lavastrom von 2 - 4 km Länge, 200 m Breite und einer Mächtigkeit von etwa 30 m entstand, der in der Folge lokalisiert und intensiv untersucht wurde (DELANEY et al., 1993; EMBLEY et al., 1993; FOX et al., 1993). Es wurden extensive Akkumulationen von Bakterien in Form von dichten, mehrere Zentimeter dicken Matten vorgefunden, die offenbar mit diffusen hydrothermalen Austritten an Rissen zwischen pillow Laven „herausgeblasen“ wurden. Anaerobische, hyperthermophile heterotrophe Bakterien (d. h. Bakterien aus sauerstoffarmer Umgebung, die am besten bei Temperaturen über 90 °C gedeihen und organischen Kohlenstoff verbrauchen), Eisen reduzierende Bakterien und Methan produzierende Bakterien wurden aus Proben isoliert und kultiviert.

Weitere Lokationen, an denen beobachtet wurde, daß rezente Eruptionen am Meeresboden schnelles Wachstum oder den Austritt von Bakterienmatten zu bewirken scheinen, waren bereits am Cleft Segment des JFR (BAKER et al., 1987), am Ostpazifischen Rücken (EPR) bei 9°N (LILLEY et al., 1991, 1992; VON DAMM et al., 1991, 1992) und bei 17°S (AUZENDE et al., 1994) und am MacDonald Seamount (HUBER et al., 1990) beobachtet worden.

Die genannten Beobachtungen legen nahe, daß ein enger Zusammenhang zwischen dem massiven Austritt von Bakterien und/oder bakteriellen Produkten und intrusiver/eruptiver Aktivität an den mittelozeanischen Rücken (MOR) besteht. Dieses Wechselspiel

zwischen Prozessen der Krustenentstehung und biologischer Aktivität unterhalb des Meeresbodens liefert konkrete Informationen für die These, daß submarine Hydrothermalsysteme eine mögliche Lokation für den Ursprung des Lebens darstellen (CORLISS et al., 1981; BAROSS und HOFFMANN, 1985; MILLER und BADA, 1988; SHOCK, 1990; HENNET et al., 1992) und speziell für die Annahme, daß im Erdinneren eine tiefe, heiße Biosphäre existiert, die in besonders engem Zusammenhang mit dem Vulkanismus unterhalb des Meeresbodens steht (GOLD, 1992; DEMING und BAROSS, 1993). Weitere Untersuchungen der beschriebenen Ereignisse sowie Studien, die evtl. *in situ* an aktiven Ozeanrücken in Verbindung mit ODP Bohrungen durchgeführt werden können, lassen für die nächsten Jahre noch aufregende Erkenntnisse beim Nachweis oder der Widerlegung der o. g. Hypothese erwarten.

Mittelozeanische Rücken mit langsamer Spreadingrate, wie z. B. der Mittelatlantische Rücken (MAR), unterscheiden sich in wesentlichen Merkmalen von EPR und JFR: Magmenkammern wurden unter dem MAR bislang seismisch nicht nachgewiesen (WHITMARSH, 1975; FOWLER und KEEN, 1979; DETRICK et al., 1990), vermutlich da ihre Größe unterhalb der seismischen „Nachweisgrenze“ liegt, d. h. kleiner als 2 km im Durchmesser ist (SMITH und CANN, 1992). Magmenreservoirs müssen unter dem MAR zumindest sporadisch vorhanden sein, da Niederdrucksignaturen im Magma nachweisbar sind (SCHMINCKE, 1976; FLOWER et al., 1978). Derzeitige Modellvorstellungen gehen von zeitlich und räumlich begrenzten Magmenkammern aus (SMITH und CANN, 1992). Danach besteht der Mittelatlantische Rücken - zumindest über weite Strecken (z. B. 24° bis 30° N) - aus dicht an dicht und z. T. aufeinander stehenden Seamounts. Nach partiellem Aufschmelzen steigt Magma wegen seiner im Vergleich zu dem umgebenden Gestein geringeren Dichte durch die duktile Unterkruste auf und sammelt sich unter der spröden Oberkruste in zeitlich begrenzten kleinräumigen Magmenkammern, von wo ein Teil eruptiert, während der größere Teil auskristallisiert und die Unterkruste aufbaut. Demnach müßte sie aus einer Vielzahl ineinander geschachtelter einzelner Plutone bestehen.

Auch am MAR wurden Hydrothermalfelder (SCOTT et al., 1974; RONA et al., 1976; RONA, 1980) und in der Folge Black Smokers, massive Sulfidvererzungen und entsprechende typische Lebensformen entdeckt (RONA et al., 1986). Hydrothermale Zirkulation reicht am MAR bis unter die Moho (BONATTI und HAMLIN, 1981; DETRICK et al., 1990; SMITH und CANN, 1992).

Abbildung 2 illustriert schematisch die grundlegenden Unterschiede zwischen mittelozeanischen Rücken mit hoher (z. B. EPR) und geringer (z. B. MAR) Spreadingrate.

Einige weitere Merkmale der MOR haben sich im Zusammenhang mit speziellen plattentektonischen Gegebenheiten entwickelt, wie z. B.:

- Verzweigungen von Ozeanrücken (Triple Junctions) wie die Rodriguez Triple Junction (RTJ) im Indischen Ozean. Da hier ein „langsamer“ Rücken (Southwest Indian Ridge (SWIR), 7 - 8 mm/a) auf zwei Rücken mit

Abb. (I.) 1: Bathymetrische Weltkarte, auf der Basis des ETOP-05-Datensatzes (National Geographic Data Center, Boulder, Colorado) mittels GMT Software (WESSEL und SMITH, 1991) erstellt. Die Folie zeigt im selben Maßstab die Lage der mittelozeanischen Rücken (MOR) und der großen vulkanischen Basaltprovinzen (LIPS).

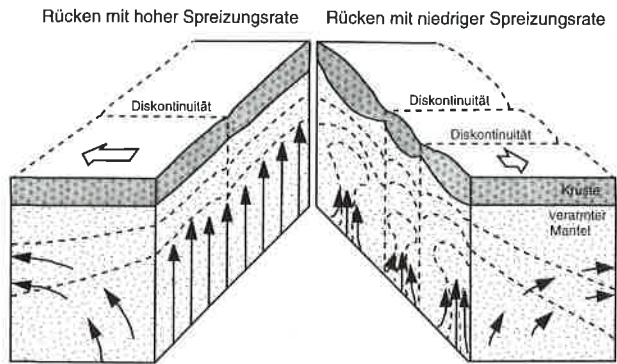


Abb. 2: Schematische Gegenüberstellung zweier MOR mit langsamer und schneller Spreadingrate (nach LIN und PHIPPS MORGAN, 1992). Bei schneller Spreadingrate (Spreadingrate) kann die Magmenaufstiegszone als näherungsweise linear entlang der Rückenachse angesehen werden, bei langsamer Spreadingrate sind dagegen einzelne Manteldiapire unterhalb einzelner Segmente des Rückens zentriert.

mittlerer Spreadingrate (Southeast Indian Ridge (SEIR) und Central Indian Ridge (CIR), beide 25 - 30 mm/a) trifft (TAPSCOTT et al., 1980; PATRIAT und COURTILLOT, 1984), verschiebt sich die RTJ langsam westwärts (ca. 0,14 mm/a). Die zusätzliche Dehnung am langsameren Rücken verteilt sich dabei über eine ca. 10 km breite Zone, in der keine Anzeichen für direkte Entstehung ozeanischer Kruste zu finden sind (MUNSCHY und SCHLICH, 1989; PATRIAT und PARSON, 1989; MITCHELL, 1991). Auch an der RTJ wurden hydrothermale Aktivitäten nachgewiesen und Vererzungen gefunden (HERZIG und PLÜGER, 1988; PLÜGER et al., 1990; HALBACH et al., 1996).

- Mikroplatten, die an großräumigen Versätzen voll ausgebildeter Spreading-Zentren mit hoher Spreadingrate entstehen, z. B. Easter Microplate, Galapagos Microplate (ANDERSON-FONTANA et al., 1986; FRANCHETEAU et al., 1987; ENGELN et al., 1988) entwickeln sich aus einem System überlappender „propagating rifts“, die sich bilden, wenn differentielle Plattenbewegungen bei Spreadingraten von über 14,5 cm/a an Rückenversätzen nicht mehr von Transformstörungen ausgeglichen werden können (NAAR und HEY, 1991).

- Bildung von Ozeanrücken als sekundärer Prozeß entweder aufgrund von Blattverschiebung an konservativen Plattengrenzen, die zur Bildung von Pull Apart Becken wie dem Cayman Trough führt (MANN et al., 1983) oder als Folge von Subduktion im Back Arc Becken, z. B. dem Lau Becken (SCHOLL und VALLIER, 1985; v. RAD et al., 1990; PARSON et al., 1992).

- Entstehung von Ozeanrücken in jungen Ozeanbecken, wie z. B. Golf von Kalifornien oder Rotes Meer. Im Roten Meer waren erstmals erzbildende hydrothermale Prozesse gefunden worden (MILLER et al., 1966; DEGENS und ROSS, 1969; BÄCKER und SCHOELL, 1972). Viele Modelle über die initialen Stadien von Ozeanisierung wurden am Beispiel des Roten Meeres entwickelt (McKENZIE et al., 1970; GIRDLER und STYLES, 1974; COCHRAN, 1983; BONATTI, 1985; WERNICKE, 1985; COCHRAN und

MARTINEZ, 1988; LEPICHON und GAULIER, 1988; WHITE und McKENZIE, 1989; MAKRIS und RIHM, 1991). Dabei werden zwei Randbedingungen als entscheidend für die Initialisierung des Seafloor Spreading und die Geometrie sowie den Aufbau der sich neu bildenden Kontinentalränder angesehen: 1) die Entfernung zu einem Bereich erhöhter Temperatur im Erdmantel (Hot Spot), der im Gegensatz zu den driftenden Kontinentalplatten als ortsfest angesehen wird und 2) bereits vor der Trennung der Kontinente bestehende Bruch- und Störungssysteme, z. B. alte, bei der Anlagerung von Terranes oder Inselbogenfragmenten entstandene Suturezonen.

Segmentation

Die Achsen mittelozeanischer Rücken (MOR) sind an Transformstörungen gegeneinander versetzt, die Diskontinuitäten 1. Ordnung darstellen. Der zwischen zwei Transformstörungen gelegene Teil eines MOR wird als ein Segment bezeichnet. Das gesamte globale System der mittelozeanischen Rücken wird in hunderte von Segmenten unterteilt, deren Länge von < 20 km bis > 600 km reicht. Die einzelnen Rückensegmente sind durch Versätze unterschiedlicher Größenordnung (mehrere 10 bis ca. 500 km) voneinander getrennt. In der Regel werden, z. B. im Zentral- und Südatlantik, Richtungsänderungen der Plattengrenze hauptsächlich über eine Zunahme der Versatzbeträge an Transformstörungen bei gleichzeitiger weitgehender Konstanz der Streichrichtung des MAR umgesetzt. Es sind jedoch, wie im Nordatlantik und der Norwegisch-Grönländischen See, auch kontinuierliche Änderungen der Rückenorientierung anzutreffen. Die Segmentation der MOR ist hierarchisch aufgebaut und wird in mehrere Klassen unterteilt: Neben den Transformstörungen lassen sich innerhalb eines Segments weitere Versätze der Rückenachse feststellen, die als Diskontinuitäten 2. - 4. Ordnung definiert werden (z. B. MACDONALD et al., 1993; SEMPERE et al., 1993) (Abb. 3). Während Transformstörungen im Prinzip an allen MOR auftreten, variieren Diskontinuitäten höherer Ordnung mit den verschiedenen Parametern des Seafloor Spreading, wie z. B. Spreadingrate und Magmenzufuhr.

Segmentation tritt in unterschiedlich großen Abständen an allen MOR unabhängig von der Spreadingrate auf. Einige Transformstörungen, besonders im Bereich großräumiger Richtungsänderungen der Küstenlinien (z. B. zentraler MAR), zeigen eine stärkere Beziehung zur regionalen Geometrie der Kontinentalränder als zur Spreadingrate. Der Mittelatlantische Rücken wird in seinem Zentralbereich (0° 54' N bis 1° 04' S) von 6 Transformstörungen mit bis zu 950 km langen Versätzen (Romanche Bruchzone) in bis zu 10 km kurze, aktive Rückensegmente unterteilt. Insgesamt stehen in diesem Abschnitt des MAR 480 km aktiver Rückenlänge 1.835 km an Transformversätzen gegenüber. In den Bereichen näherungsweise geradliniger Kontinentalränder dagegen sind die Versätze an Transformstörungen weniger weit. Zwischen 40° N und 20° N beträgt der maximale Transformversatz ca. 100 km (Kane Bruchzone). Am Reykjanes Rücken treten zwischen der Charlie Gibbs Bruchzone und Island

über 600 km überhaupt keine Transformstörungen auf (SEARLE et al., 1994). Welcher Einfluß dabei der ursprünglichen Geometrie der Riftzone und welcher dem Island Hot Spot zuzuschreiben ist, ist nicht geklärt. Die Transformstörungen behalten i. a. ihre Streichrichtung bei, und die durch sie verursachten Bruchzonen in der ozeanischen Kruste außerhalb der Rückenversätze, die fracture zones (FZ), geben als „flow lines“ die Richtung der Plattenbewegung wieder.

Die Entstehung der Segmentation der MOR wird auf ein Wechselspiel tektonischer und magmatischer Einflüsse zurückgeführt. Nach dem Konzept der Plattentektonik kann die Bewegung der Kontinentalplatten in erster Näherung als Bewegung fester Platten auf einer Kugel beschrieben werden (McKENZIE and PARKER, 1967; MORGAN, 1968; LEPICHON, 1968). Diese Bewegung entspricht einer Rotation der Platten relativ zueinander um einen Rotationspol. Die Erscheinungsform der Plattengrenzen hängt von ihrer Orientierung relativ zur Richtung der Plattenbewegung ab (Abb. 4): sie sind entweder divergent (MOR), konvergent (Kollisions- oder Subduktionszonen) oder konservativ (Blattverschiebungszonen oder Transformstörungen). Die Natur der Transformstörungen, die zuerst von WILSON (1965) beschrieben wurde, wurde von SYKES (1967) anhand seismologischer Analysen im Zentralbereich des Atlantiks (15° N - 5° S) verifiziert. Großräumige Richtungsänderungen der Plattengrenze müssen somit nicht zu Richtungsänderungen des aktiven MOR führen, sondern können durch größere Versätze des MOR an den Transformstörungen kompensiert werden.

Geophysikalische und geologische Daten aus einem Ozeanbecken in seiner frühen Entwicklungsphase, dem Roten Meer, zeigen ein komplexes Muster kontinentaler und unterschiedlicher ozeanischer Krustendomänen (MAKRIS und RIHM, 1991; RIHM und HENKE, 1996; Abb. 5). Petrologische und geochemische Analysen lassen darauf schließen, daß die ozeanische Kruste aus zahlreichen regionalen Bereichen besteht, die unabhängig voneinander während einzelner Schmelzereignisse aus unterschiedlichen Mantelreservoirs entstanden sind (COLEMAN, 1993).

Dieses komplexe Verteilungsmuster verschiedener Krustentypen wurde auf das die Geometrie des entstehenden Rifts bestimmende Wechselspiel alter kontinentaler Lineamente mit dem plattendynamischen Spannungsfeld zurückgeführt (z. B. RIHM, 1989; SHIMRON, 1990; MAKRIS and RIHM, 1991; BOSWORTH, 1992). Daraus wurde abgeleitet, daß auch die Entwicklung der Segmentgrenzen des im weiteren Verlauf der Öffnung entstehenden MOR entscheidend von der Konfiguration präexistierender Bruchzonen abhängt (RIHM, 1995).

Die Analyse passiver Kontinentalränder, von denen Informationen über die Krustenmächtigkeit vorliegen, deutet darauf hin, daß der Einfluß alter kontinentaler Lineamente auch die Geometrie der Riftzone, die Größenordnung der Dehnung kontinentaler Kruste und die Steilheit des Kontinent-Ozean-Übergangs erklären kann (RIHM und HENKE, 1996). Ein Beispiel dafür stellt das nordwärts propagierende System der MOR in der Norwegisch-Grönländischen-See dar, wo der Richtungswechsel vom Mohns-Rücken zum Kni-

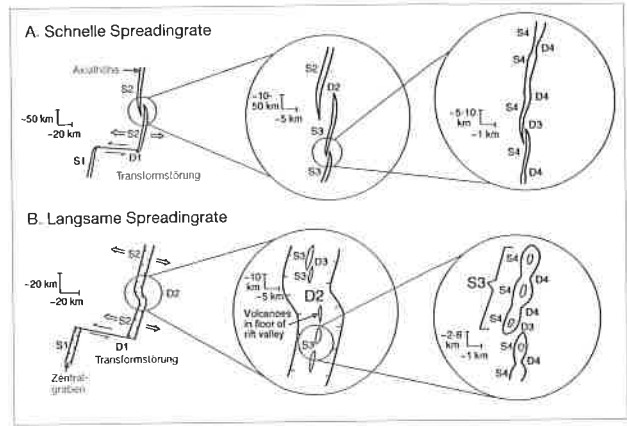


Abb. 3: Hierarchischer Aufbau der Segmentierung der MOR mit Transformstörungen und kleinräumigeren Versätzen der Rückenachse, die als Diskontinuitäten 2. - 4. Ordnung definiert wurden (MACDONALD et al., 1993).

Während die Diskontinuitäten 1. Ordnung (Transformstörungen) in beiden Fällen eine ähnliche Erscheinungsform haben, unterscheiden sich die Diskontinuitäten höherer Ordnung: bei schneller Spreadingrate entstehen eher überlappende Strukturen, bei langsamer Rate Verschwendungen und Unterbrechungen der Vulkankomplexe.

povich Rücken mit der Reaktivierung alter Bruchzonen erklärt wird (CRANE und SOLHEIM, 1995). Magmatische Prozesse beeinflussen entscheidend das Auseinanderbrechen der Kontinente. Der Aufstieg (partiell) aufgeschmolzenen Gesteins aus dem Erdmantel aufgrund von Mantelplumes und/oder -konvektion ist vermutlich die treibende Kraft für die Bewegung der Kontinentalplatten (McKENZIE und PARKER, 1967; LEPICHON, 1968; MORGAN, 1971, 1972; WILSON, 1973; FORSYTH und UYEDA, 1975). Am MAR gibt es Anzeichen dafür, daß Segmente des MOR, die durch zwei Transformstörungen begrenzt sind, durch Diskontinuitäten 2. Ordnung in ca. 30 bis 80 km lange Abschnitte unterteilt werden, die jeweils

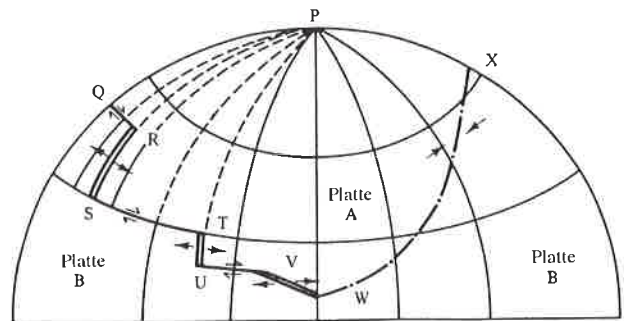


Abb. 4: Kategorien von Plattengrenzen bei Bewegung fester Platten auf einer Kugel (nach SMITH, 1992). P ist der Euler'sche Pol der relativen Bewegung der Platten A und B. R - S und T - U stellen aktive Rückensegmente dar, die senkrecht zur Plattenbewegung orientiert sind, S - T und U - V sind in Bewegungsrichtung der Platten orientierte Transformstörungen, V - W ist ein schräg zur Plattenbewegung verlaufendes Rückensegment und W - X ist eine (schräg) konvergente Plattengrenze.

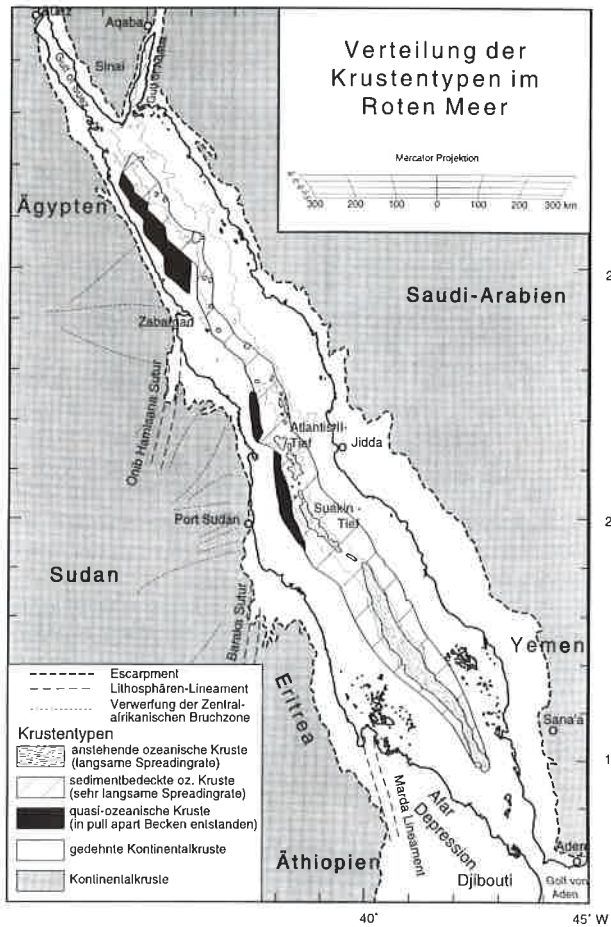


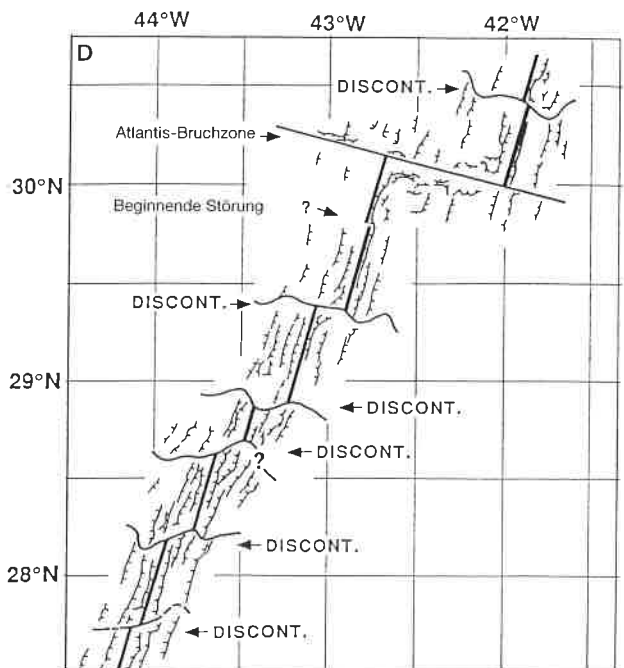
Abb. 5: Verteilung von Krustendomänen im Roten Meer (RIHM, 1996). Eine Reihe langgestreckter Bereiche ozeanischer Kruste, die mit einem bis mehreren Kilometer Sediment bedeckt sind, erstreckt sich entlang der westlichen Flanke des nördlichen und zentralen Roten Meeres (MAKRIS und RIHM, 1991). Junge ozeanische Kruste erstreckt sich deutlich weiter zu beiden Seiten der Achse des zentralen und südlichen Roten Meeres, als aus der Bathymetrie und der Magnetik zu erkennen ist (IZZELDIN, 1982; 1987; MAKRIS und RIHM, 1991). Gedehnte kontinentale Kruste bildet den Rest des zwischen den begrenzenden Escarpments gelegenen Roten-Meer-Beckens, d. h. die gesamte Ostflanke, das südliche Rote Meer (außer Zentralbereich) und (kleine) Bereiche der Westflanke des nördlichen und zentralen Roten Meeres.

mit dem Aufschmelzbereich eines Manteldiapirs korrelieren (u. a. SCHOUTEN et al., 1985). Damit läßt sich die große Variabilität zahlreicher Parameter wie z. B. Krustenmächtigkeit und Mantel Bouguer Anomalie entlang der Achse des MAR erklären (LIN et al., 1990; DETRICK et al., 1994). Die Grenzen dieser Untersegmente weisen im Gegensatz zu den FZ veränderliche Richtungen auf, die insbesondere im Schwerfeld deutliche Spuren in der sich von der Rückenachse entfernenden ozeanischen Kruste hinterlassen, anhand derer die Veränderlichkeit der Untersegmentgrenzen innerhalb eines Gesamtsegmentes rekonstruiert werden kann (Abb. 6) (TUCHOLKE und LIN, 1994). Diese Änderungen der Untersegmentlängen, die bis zum Verschwinden einzelner Untersegmente führen können, werden als Ausdruck unterschiedlicher Magmenzufuhr aus diskreten Manteldiapiren interpretiert.

Hot Spots und LIPS (large igneous provinces)

Neben dem erdumspannenden System der mittelozeanischen Rücken sind in der Bathymetrie der Weltmeere noch andere auffällige Abweichungen von der durchschnittlichen Meeresbodentiefe festzustellen (s. Abbildung 1). Insbesondere zwei Erscheinungsformen kommen vor: 1) lineare Strukturen, entweder als kontinuierliche, größtenteils submarine Rücken (z. B. Island Faeroe Rücken, Ninetyeast Ridge) oder aus einzelnen vulkanischen Inseln und Seamounts bestehende Ketten (z. B. Emperor - Hawaii Kette) oder 2) flächenhafte Erhebungen (z. B. Kerguelen Plateau oder Ontong Java Plateau). Diese großen vulkanischen Strukturen sind vermutlich durch den Aufstieg von Schmelzen aus dem unteren Erdmantel, sog. mantle plumes (MORGAN, 1971) entstanden. Die linearen Vulkanketten und -rücken werden auf die langandauernde (mehrere 10 Ma) Einwirkung eines (ortsfesten) Hot Spots auf die sich darüber hinweg bewegende Lithosphäre zurückgeführt (MORGAN, 1972; WILSON, 1973). Die flächenhaften submarinen Plateaus wurden hingegen vermutlich ebenso wie die großen Flutbasalt-Provinzen an Land (z. B. Deccan Traps, Indien; Flutbasalte in Äthiopien und Yemen) während des initialen Durchbruchs eines mantle plumes an die Oberfläche innerhalb weniger Ma („plume head“) gebildet (COFFIN und ELDHOLM, 1992). Beide Strukturen wären demnach die zeitlich aufeinanderfolgenden Produkte eines einzigen mantle plumes mit

Abb. 6: Veränderlichkeit der Untersegmentlängen mittelozeanischer Rücken (TUCHOLKE und LIN, 1994). Im Gegensatz zu den weitgehend geradlinig verlaufenden Transformstörungen und ihren off-axis Verlängerungen, den Fracture Zones, zeigen die Diskontinuitäten zweiter Ordnung deutliche Richtungsänderungen. Das bedeutet, daß sich die Längen der Untersegmente in der Vergangenheit verändert haben und wird mit Schwankungen in der Magmenproduktionsrate der einzelnen Manteldiapire erklärt.



der Entstehung einer LIP durch den plume head und eine mit der LIP verbundene Hot Spot Spur, die eine durch die plattentektonischen Bewegungen definierte Vulkankette erzeugt („plume tail“).

Können angesichts der gewaltigen Volumina der LIPS und der bis in die Gegenwart anhaltenden Aktivität der Hot Spots die mittelozeanischen Rücken zu Recht als das größte Vulkansystem der Erde bezeichnet werden? Betrachtet man die rezente globale Vulkantätigkeit, sind sicherlich die MOR, an denen über 90 % aller Eruptionen stattfinden, das mit Abstand aktivste Vulkansystem der Erde. Dies muß jedoch nicht für alle Zeiten gelten: Datierungen von Gesteinsproben von mehreren der größten LIPS (Ontong Java Plateau: ca. 120 Ma und ca. 90 Ma; Kerguelen Plateau: ca. 115 Ma und ca. 85 Ma; Karibische Basaltprovinz: ca. 88 Ma) deuten darauf hin, daß in der Kreidezeit zwischen 120 und 85 Ma ein Schub in ihrer Entstehung und Entwicklung erfolgte. In dieser Zeit ist möglicherweise an den LIPS erheblich mehr Mantelmaterial zu Kruste differenziert worden, als an den MOR. Die Erforschung der LIPS, die für die Entstehung der Ozeane und der Kontinente von fundamentaler Bedeutung sind, steht erst am Anfang. Nur die Einbeziehung aller wesentlichen geodynamischen Komponenten unseres Planeten, wie MOR, LIPS, Hot Spots, Subduktionszonen, große Bruchzonen und Störungssysteme etc. in ein integriertes Forschungskonzept kann zu einem umfassenden Verständnis darüber führen, wie die Erde im geologischen Sinne funktioniert.

Literatur:

ANDERSON-FONTANA, R. N., D. W. FORSYTH, J. F. ENGELN, P. LUNDGREN, R. L. LARSON and S. STEIN (1986): Tectonics and Evolution of the Juan Fernandez Microplate at the Pacific-Nazca-Antarctic Triple Junction. *J. Geophys. Res.*, 91, 2005 - 2018.

AUZENDE, J.-M. et al. (1994): Submersible observations at superfast spreading: NAUDUR program, East Pacific Rise, 17 - 19 degrees south. *EOS, Trans. Amer. Geophys. Union*, 75, 329.

BÄCKER, H. and M. SCHOELL (1972): New Deep-sea Brines and Metalliferous Sediments in the Red Sea. *Nature Phys. Sci.*, 30, 153 - 158.

BAKER, E. T., G. J. MASSOTH and R. A. FEELY (1987): Cataclysmic hydrothermal venting on the Juan de Fuca Ridge. *Nature*, 329, 149-151.

BAROSS, J. A. and S. E. HOFFMANN (1985): Submarine hydrothermal vents and associated gradient environments as sites for the origin and evolution of life. *Origins of Life*, 15, 327 - 345.

BONATTI, E. (1985): Punctiform Initiation of Seafloor Spreading in the Red Sea. *Nature*, 316, 33 - 37.

BONATTI, E. and P. R. HAMLIN (1981), in: C. EMILIANI (ed): *The Sea, ideas and observations on progress in the study of the seas*, 7, The oceanic lithosphere, New York, Wiley Interscience Publishers.

BOSWORTH, W. (1992): Mesozoic and early Tertiary rift tectonics in East Africa. *Tectonophysics*, 209, 115 - 137.

COCHRAN, J. R. (1983): A Model for the Development of the Red Sea. *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.*, 67, 41 - 69.

COCHRAN, J. R. and F. MARTINEZ (1988): Evidence from the Northern Red Sea on the Transition from Continental to Oceanic Rifting. *Tectonophysics*, 153, 25 - 54.

COFFIN, M. F. and O. ELDHOLM (1992): Volcanism and continental break-up: A global compilation of large igneous provinces. In: *Magmatism and the causes of continental break-up*, eds. B. C. Storey, T. Alabaster and R. J. Pankhurst, *Geol. Soc. Spec. Pub.*, 68, 17 - 30.

COLEMAN, R. G. (1993): *Geologic evolution of the Red Sea*. Oxford Univ press, New York, 186 pp.

CORLISS, J. B., J. A. BAROSS and S. E. HOFFMANN (1981): An hypothesis concerning the relationship between submarine hot springs and the origin of life on earth. *Oceanologica Acta*, 9, 59 - 69.

CRANE, K. and A. SOLHEIM (eds) (1995): *Seafloor Atlas of the Northern Norwegian - Greenland Sea*. Meddelelser 131, Norw. Polar Inst., Oslo.

DEGENS, E. T. and D. A. ROSS (eds.) (1969): *Hot Brines and Recent Heavy Metal Deposits in the Red Sea*. Springer, New York.

DELANEY, J. R., R. W. EMBLEY et al. (1993): An October response cruise to the June-July intrusive/eruptive events at the CoAxial segment of the Juan de Fuca Ridge. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, 74, 620.

DEMING, J. W. and J. A. BAROSS (1993): Deep-Sea smokers: window to a subsurface biosphere?. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57, 3219 - 3230.

DETRICK, R. S., P. BUHL, E. VERA, J. C. MUTTER, J. A. ORCUTT, J. MADSEN, T. BROCHER (1987): Multichannel Seismic Imaging of a Crustal Magma Chamber along the East Pacific Rise. *Nature*, 326, 35 - 41.

DETRICK, R. S., J. C. MUTTER, P. BUHL and I. I. KIM (1990): No evidence from multichannel reflection data for a crustal magma chamber in the MARK area on the Mid-Atlantic Ridge. *Nature*, 347, 61 - 63.

DETRICK, R. S., A. J. HARDING, G. M. KENT, J. A. ORCUTT, J. C. MUTTER and P. BUHL (1993): Seismic Structure of the East Pacific Rise. *Science* 259, 499 - 503.

DETRICK, R. S., H. D. NEEDHAM and V. RENARD (1995): Gravity anomalies and crustal thickness variations along the Mid-Atlantic Ridge between 33° N and 40° N. *J. Geophys. Res.*, in press.

EDWARDS, M. H., D. J. FORNARI, A. MALIVerno and W. B. F. RYAN (1991): The Regional Tectonic Fabric of the East Pacific Rise from 12° 50'N to 15° 10'N. *J. Geophys. Res.*, 96, B 5, 7995 - 8017.

EMBLEY, R. W., W. W. CHADWICK, I. R. JONASSON, S. PETERSON, D. BUTTERFIELD, V. TUNNICLIFF and K. JUNIPER (1993): Geologic inferences from a response to the first remotely detected eruption on the Mid-Ocean Ridge: CoAxial segment, Juan de Fuca Ridge. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, 74, 619.

ENGELN, J. F., S. STEIN, J. WERNER and R. G. GORDON (1988): Microplate and Shear Zone Models for Oceanic Spreading Center Reorganisations. *J. Geophys. Res.*, 93, 2839 - 2856.

FLOWER, M. J. F., P. T. ROBINSON, H.-U. SCHMINCKE and W. OHNMACHT (1978): Magma fractionation systems beneath the Mid-Atlantic Ridge at 36 - 37° N. *Contrib. Miner. Petrol.*, 64, 167 - 196.

FORSYTH, D. and S. UYEDA (1975): On the relative importance of the driving forces of plate motions. *Geophys. J. Astron. Soc.*, 43, 163 - 200.

FOX, C.G. (1993): Real-time detection of a volcanic eruption on the Juan de Fuca Ridge using the U.S. Navy Sound Surveillance System. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, 74, 619.

FRANCHETEAU, J. and R. D. BALLARD (1983): The East Pacific Rise near 21° N, 13° N and 20° S: Inferences for Along Strike Variability of Axial Process of the Mid-Ocean Ridge. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 64, 93 - 116.

FRANCHETEAU, J., H. D. NEEDHAM, P. CHOUKROUNE, T. JUTEAU, M. SEGURET, R. D. BALLARD, P. J. FOX, W. NORMARK, A. CARRANZA, D. CORDOBA, J. GUERRERO, C. RANGIN, P. BOUGAULT, P. CAMBON. and R. HEKINIAN (1979): Massive Deep-Sea Ore Deposits Discovered on the East Pacific Rise. *Nature*, 277, 523 - 528.

FRANCHETEAU, J., A. YELLES-CHAOUCHE and H. CRAIG (1987): The Juan Fernandez Microplate North of the Pacific-Nazca-Antarctic Plate Junction at 35° S. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 86, 253 - 268.

GIRDLER, R. W. and P. STYLES (1974): Two-Stage Red Sea Floor Spreading. *Nature*, 247, 3435, 7 - 11.

HALBACH, P., N. BLUM, U. MÜNCH, W. PLÜGER and T. KUHN (1996): The Sonne Sulphide Field is not alone in the Indian Ocean. *BRIDGE Newsletter*, 10, 51 - 57.

HENNET, J. C., N. G. HOLM and M. H. ENGEL (1992): Submarine hydrothermal systems and the origin of life: A perpetual phenomenon? *Naturwissenschaften*, 79, 361 - 365.

HERZIG, P. M. and W. L. PLÜGER (1988): Exploration for Hydrothermal Mineralization near the Rodriguez Triple Junction, Indian Ocean. *Canadian Mineralogist*, 26, 721 - 736.

HUBER, R.; P. STOFFERS, J. L. CHEMINEE, H. H. RICHNOW, K. O. STETTER (1990): Hyperthermophilic archaeobacteria within the crater and open-sea plume of erupting Macdonald Seamount. *Nature*, 345, 179 - 182.

IZZELDIN, YA (1982): On the structure and evolution of the Red Sea. PhD thesis, Univ Louis Pasteur, Strasbourg, 163 pp.

IZZELDIN, YA (1987): Seismic, gravity and magnetic surveys in the central part of the Red Sea; their interpretation and implications for the structure and evolution of the Red Sea. *Tectonophysics*, 143, 263 - 306.

LANGMUIR, C.H., J. F. BENDER and R. BATIZA (1986): Petrological and tectonic segmentation of the East Pacific Rise, 5° 30' - 14° 30' N. *Nature*, 322, 422 - 429.

LEPICHON, X. (1968): Sea - floor spreading and continental drift. *J. Geophys. Res.* 73, 3661 - 3697.

- LEPICHON, X. and J. M. GAULIER (1988): The rotation of Arabia and the Levant fault system. In: *The Gulf of Suez and Red Sea Rifting*, eds. X. LePichon and J. R. Cochran, *Tectonophysics*, 153, 271 - 294.
- LILLEY, M. D., E. J. OLSON, E. McLAUGHLIN and K. L. VON DAMM (1991): Methane, hydrogen and carbon dioxide in vent fluids from 9° N hydrothermal system. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, 72, 481.
- LILLEY, M. D., E. J. OLSON, J. E. LUPTON, and K. L. VON DAMM (1992): Volatiles in the 9° N hydrothermal system: a comparison of 1991 and 1992 data. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, 73, 524.
- LIN, J., G. M. PURDY, H. SCHOUTEN, J. C. SEMPERE and C. ZERVAS (1990): Evidence from gravity data for focused magmatic accretion along the Mid-Atlantic Ridge. *Nature*, 344, 6267, 627 - 633.
- MACDONALD, K. C., K. BECKER, F. N. SPIESS and R. D. BALLARD (1980): Hydrothermal Heat Flux of the Black Smoker-Vents on the East Pacific Rise. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 48, 1 - 7.
- MACDONALD, K. C., J. C. SEMPERE and P. J. FOX (1984): East Pacific Rise from Siqueiros to Orozco fracture zones: Along-strike continuity of axial neovolcanic zone and structure and evolution of overlapping spreading centers. *J. Geophys. Res.*, 89, 6049 - 6069.
- MACDONALD, K. C., D. S. SCHEIRER, S. CARBOTTE and P. J. FOX (1993): It's only Topography: Part 1 and Part 2, *GSA Today*, 3, No 1, 1 - 2, 23 - 26, 30 - 36.
- MAKRIS, J. and R. RIHM (1991): Shear Controlled Evolution of the Red Sea - Pull Apart Model. In: *Red Sea: Birth and Early History of a New Oceanic Basin*, eds. J. Makris, P. Mohr and R. Rihm, *Tectonophysics*, 198, 441 - 466.
- MANN, P., M. R. HAMPTON, D. C. BRADLEY and K. BURKE (1983): Development of Pull Apart Basins. *J. Geol.*, 91, 529 - 554.
- McKENZIE, D. P. and R. L. PARKER (1967): The north Pacific: An example of tectonics on a sphere. *Nature*, 216, 1276 - 1280.
- McKENZIE, D. P., D. DAVIES and P. MOLNAR (1970): Plate Tectonics of the Red Sea. *Nature*, 226, 243 - 249.
- MILLER, A. R., C. D. DENSMORE, E. T. DEGENS, J. C. HATHAWAY, F. T. MANHEIM, P. F. McFARLIN, R. POCKLINGTON and A. JOKE-LA (1966): Hot Brines and Recent Iron Deposits in Deepes of the Red Sea. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 30, 341 - 359.
- MILLER, S. L. and J. L. BADA (1988): Submarine hot springs and the origin of life. *Nature*, 334, 609 - 611.
- MITCHELL, N. C. (1991): Distributed Extension at the Indian Ocean Triple Junction. *J. Geophys. Res.*, 96, B 5, 8019 - 8043.
- MORGAN, W. J. (1968): Rises, trenches, great faults and crustal blocks. *J. Geophys. Res.* 73, 1959 - 1982.
- MORGAN, W. J. (1971): Convection plumes in the lower mantle. *Nature* 230,42 - 43.
- MORGAN, W. J. (1972): Convection plumes and plate motions. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 56, 203 - 213
- MORTON, J. L., N. H. SLEEP, W. R. NORMARK and D. H. TOMPKINS (1987): Structure of the Southern Juan de Fuca Ridge from Seismic Reflection Records. *J. Geophys. Res.*, 92, B 11, 11315 - 11326.
- MUNSCHY, M. and R. SCHLICH (1989): The Rodriguez Triple Junction (Indian Ocean): Structure and Evolution for the Past one Million Years. *Mar. Geophys. Res.*, 11, 1 - 14.
- NAAR, D. F. and R. N. HEY (1991): Tectonic Evolution of Easter Microplate. *J. Geophys. Res.*, 96, B 5, 7961 - 7993.
- PARSON, L. M., J. W. HAWKINS Jr., J. ALLAN et al. (1992): Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports, 135, College Station, Texas.
- PARSONS B. J. G. SCLATER (1977): An analysis of the variation of ocean floor bathymetry and heat flow with age. *J. Geophys. Res.*, 82, 803 - 827.
- PATRIAT, P. and P. COURTILLOT (1984): On the Stability of Triple Junctions and its Relation to Episodicity in Spreading. *Tectonics*, 3, 317 - 332.
- PATRIAT, P. and L. M. PARSON (1989): A Survey of the Indian Ocean Triple Junction Trace within the Antarctic Plate. Implications for the Junction Evolution since 15 Ma. *Mar. Geophys. Res.*, 11, 89 - 100.
- PLÜGER, W. L., P. M. HERZIG, K. P. BECKER, G. DEISSMANN, D. SCHÖPS, J. LANGE, A. JENISCH, S. LADAGE, H. H. RICHNOW, T. SCHULZE and W. MICHAELIS (1990): Discovery of Hydrothermal Fields at the Central Indian Ridge. *Mar. Mining*, 9, 73 - 86.
- RAD v., U., G. FRENZEL and MÜHE, R. (1990): Origin and Alteration of Submarine Volcaniclastic Rocks from the Lau and North Fidji Basins (SW Pacific, SO-35 Cruise). *Geol. Jb.*, D 92, 341 - 393.
- RIHM, R. (1989): Die Entwicklung des Roten Meeres abgeleitet aus geophysikalischen Messungen. *Hamburger Geophysikalische Einzelschriften*, Reihe A, 94, 175 S.
- RIHM, R. (1995): Segmentation in the Red Sea. In: *Rift sedimentation and tectonics in the Red Sea - Gulf of Aden region*, University of Sana'a, abstr vol: 53.
- RIHM, R. and C. H. HENKE (1996): Geophysical studies on early tectonic controls on Red Sea rifting, opening and segmentation. In: *Rift sedimentation and tectonics in the Red Sea - Gulf of Aden Region*, eds. D. Bosence and B. Purser, Chapman and Hall, London, in press.
- RISE PROJECT GROUP: SPIESS, F. N., K. C. MACDONALD, T. ATWATER, R. BALLARD, A. CARRANZA, D. CORDOBA, C. COX, V. M. DIAZ GARCIA, J. FRANCHETEAU, J. GUERRERO, J. HAWKINS, R. HAYMON, R. HESSLER, T. JUTEAU, M. KASTNER, R. LARSON, B. LLUYENDYK, J. D. MACDOUGALL, S. MILLER, W. NORMARK, J. ORCUTT and C. RANGIN (1980): East Pacific Rise: Hot Springs and Geophysical Experiments. *Science*, 207, 1421 - 1433.
- RONA, P. A., R. N. HARRISON, B. G. BASSINGER, R. B. SCOTT and A. J. NALWALK (1976): Tectonic Fabric and Hydrothermal Activity of Mid-Atlantic Ridge Crest (lat 26° N). *Geol. Soc. Am. Bull.* 87, 661 - 674.
- RONA, P. A. (1980): TAG Hydrothermal Field: Mid-Atlantic Ridge Crest at Latitude 26° N. *J. Geol. Soc. London*, 137, 385 - 402.
- RONA, P. A., G. KLINKHAMMER, T. A. NELSON, J. H. TREFRY and H. ELDERFIELD (1986): Black Smokers, Massive Sulfides and Vent Biota at the Mid-Atlantic Ridge. *Nature*, 321, 33 - 37.
- SCHMINCKE, H.-U. (1976): Magmakammern unter den mittelozeanischen Rücken. *Naturwiss.*, 63, 382.
- SCHOLL, D. W. and T. L. VALLIER (eds.) (1985): *Geology and Offshore Resources of Pacific Island Arcs - Tonga Region*. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Houston, Texas.
- SCHOUTEN, H., K. D. KLITGORD and J. A. WHITEHEAD (1985): Segmentation of mid - ocean ridges. *Nature*, 317, 225 - 229.
- SCOTT, S. D., P. A. RONA, B. A. MCGREGOR and M. R. SCOTT (1974): The TAG Hydrothermal Field. *Nature*, 251, 301 - 302.
- SEARLE, R. (1984): GLORIA Survey of the East Pacific Rise near 3° 5' S: Tectonic and Volcanic Characteristics of a Fast Spreading Mid-Ocean Ridge. *Tectonophysics*, 101, 319 - 344.
- SEARLE, R., J. KEETON, B. PARSONS, R. OWENS, R. MECKLENBURGH, R. S. WHITE, C. HEPBURN and C. ROBINSON (1994): RRS Charles Darwin Cruise CD 87: Multibeam bathymetric, gravity and magnetic investigations of the Reykjanes Ridge. *BRIDGE Newsletter*, 7, 15 - 19.
- SEMPERE, J. C., J. LIN, H. BROWN, H. SCHOUTEN and G. M. PURDY (1993): Segmentation and morphotectonics variations along a slow - spreading center: The Mid - Atlantic Ridge (24° N - 30° 40' N). *Mar. Geophys. Res.* 15: 153 - 200.
- SHIMRON, A. E (1990): The Red Sea line - a late Proterozoic transcurrent fault. *J. Afr. Earth. Sci.* 11, 95.
- SHOCK, E. L. (1990): Geochemical constraints on the origin of organic compounds in hydrothermal systems. *Origins of Life*, 20, 331 - 367.
- SMITH, A. G. (1992): Plate tectonics and continental drift. In: *Understanding the Earth - a new synthesis*, eds. G. C. BROWN, C. J. HAWKESWORTH and R. C. L. WILSON, Cambridge Univ. Press: 187 - 203.
- SMITH, D. K. and J. R. CANN (1992): The Role of Seamount Volcanism in Crustal Construction at the Mid-Atlantic Ridge (24° - 30° N). *J. Geophys. Res.*, 97, B 2, 1645 - 1658.
- SYKES, L. R. (1967): Mechanism of earthquake and nature of faulting on mid - oceanic ridges. *J. Geophys. Res.* 72, 2131 - 2153.
- TUCHOLKE, B. E and J. LIN (1994): A geological model for the structure of ridge segments in slow spreading ocean crust. *J. Geophys. Res.* 99, B 6, 937 - 958.
- VON DAMM, K. L., J. M. GREBMEIER and J. M. EDMOND (1991): Preliminary chemistry of hydrothermal vent fluids from 9 - 10° N East Pacific Rise. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, 72, 480.
- VON DAMM, K. L., D. C. COLODNER and H. N. EDMONDS (1992): Hydrothermal fluid chemistry at 9 - 10° N EPR'92: big changes and still changing. *EOS, Trans. Am. Geophys. Union*, 73, 524.
- WERNICKE, B. (1985): Uniform Normal Simple Shear of the Continental Lithosphere. *Can. J. Sci.*, 22, 108 - 125.
- WESSEL, P. and W. H. F. SMITH (1991) Free software helps map and display data. *EOS*, 72, (441), 445 - 446.
- WHITE, R. and D. McKENZIE (1989): Magmatism at Rift Zones: the Generation of Volcanic Continental Margins and Flood Basalts. *J. Geophys. Res.*, 94, B 6, 7685 - 7729.
- WHITEHEAD, J. A., H. J. B. DICK and H. SCHOUTEN (1984): A mechanism for magmatic accretion under spreading centers. *Nature*, 312, 146 - 148.
- WHITMARSH, R. B. (1975): Axial Intrusion Zone beneath the Median Valley of the Mid-Atlantic Ridge at 37° N Detected by Explosion Seismology. *Geophys J. R. Astron. Soc.*, 42: 184 - 215.
- WILSON, J. T. (1965): Submarine fracture zones, aseismic ridges and the International Council of Scientific Unions Line: proposed western margin of the East Pacific Ridge. *Nature*, 207, 907 - 911.
- WILSON, J. T. (1973): Mantle plumes and plate motions. *Tectonophysics* 19, 149 - 164.

Was kann man von Krebsen über die Tiefsee lernen ?

A. Brandt

In den letzten Jahrzehnten ist Tiefseeforschung infolge verbesserter technologischer Möglichkeiten auch in der Bundesrepublik Deutschland verstärkt gefördert worden. In der Biologie stellt sich dabei die Frage nach der Zusammensetzung der Fauna und danach, welchen Organismen möglicherweise in der Tiefsee (z. B. aufgrund von häufigem und diversem Vorkom-

men) eine besondere Bedeutung zukommt. In den vergangenen Jahren sind unter anderem vom Sonderforschungsbereich 313 („Veränderungen der Umwelt, der nördliche Nordatlantik“) der Universität Kiel Expeditionen mit den Forschungsschiffen „Polarstern“ (Abb. 1) und „Meteor“ in den Nordatlantik durchgeführt worden (Abb. 2): Zum Kolbeinsey-



Abb. 1: Forschungsschiff „Polarstern“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Die Logistik dieses Schiffes wird vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven betrieben.

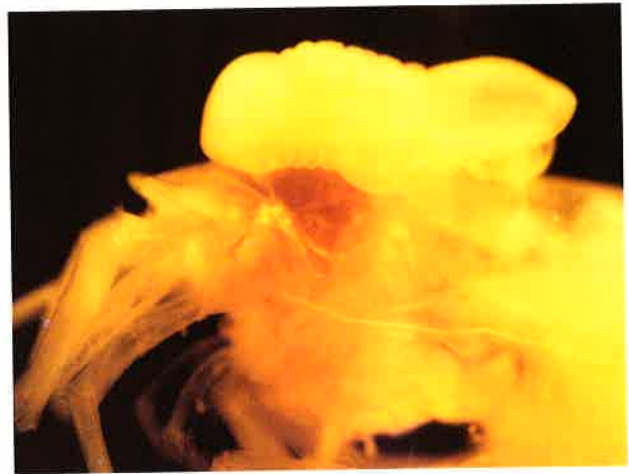
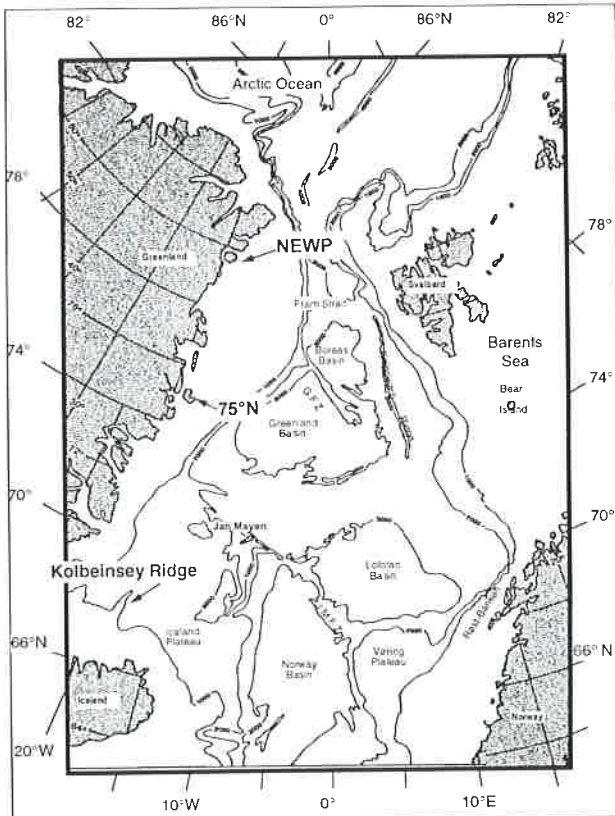


Abb. 3: Die Assel *Notophryxus clypeatus* saugt das Blut (Hämolymphe) der Mysidacee *Ambylops abbreviata*.



Rücken, nördlich von Island, wo Proben zwischen 800 bis 1.100 m genommen wurden, in die Nordostwasser-Polynia (45 - 517 m) und nach Nordost-Grönland bei 75°N (200 - 2.800 m).

Aufgrund ihrer besonderen Häufigkeit wurden unter anderem die Krebse, speziell die Peracarida (Ranzenkrebse), untersucht. Zu den Peracarida gehören die Amphipoda (Flohkrebse), Cumacea (Schlickkrebse), Tanaidacea (Scherenasseln), die Isopoda (Asseln), z. B. *Notophryxus clypeatus* (Abb. 3), die auf einer Mysidacee (Schwebgarnele, ebenfalls ein peracarider Krebs) parasitiert und ihr Blut (Hämolymphe) aufsaugt.

Warum sind Ranzenkrebse (Peracariden) interessant? Sie haben jeden Lebensraum erobert und kommen von der Tiefsee bis in Wüsten, z. B. in der Sahara, vor. Aus diesen extremen Lebensweisen resultiert u. a., daß sich im Laufe der Evolution sehr viele unterschiedliche Lebensformtypen und Nahrungsspezialisten entwickelt haben, so gibt es Detritus-, Aas- oder Fleischfresser, aber auch Parasiten (GRUNER et al.,

Abb. 2: Geographische Karte des Nordatlantiks (schematisch) mit Untersuchungsgebieten des Sonderforschungsbereiches 313 der Universität Kiel.

1993). Einer der Hauptgründe, warum diese Krebse so gut an „extreme“ Biotope, wie z. B. Wüsten, die Polarregionen oder die Tiefsee, angepaßt sind, liegt in ihrem gemeinsamen Merkmal, dem Marsupium oder Brutbeutel, den alle oben genannten Taxa ausgebildet haben und der ihnen auch den deutschen Namen Ranzenkrebse eingebracht hat. In diesem Brutbeutel tragen sie ihre Jungen noch eine Weile herum. Die meisten Peracariden sind typische K-Strategen (Erläuterung s. Beitrag von E. H. RIES in diesem Band, 3. Absatz). Aufgrund der starken Saisonalität in der Nahrungsversorgung (vgl. BAUERFEIND et al., 1995; GRAF, 1989) in den polaren Regionen und in der Tiefsee sind sie durch ihre guten chemischen Sinnesorgane auf den Antennen, die Aesthetasken, in der Lage, Nahrungsquellen schnell zu lokalisieren und auch schnell zu erreichen, wenn sie über gutes Schwimmvermögen verfügen. Einige polare und Tiefseearten neigen zu Riesenwuchs, so kommen in der Tiefsee z. B. Riesenasseln wie *Bathynomus giganteus* (Abb. 4; ca. 24 cm) vor, meist aber nur winzig kleine Arten, wie z. B. *Munna acanthifera*.

Um viele Peracarida zu erbeuten, hat sich ein Epi-

Abb. 4: Die Tiefseeassel *Bathynomus giganteus* kann über 30 cm Länge erreichen.



benthoschlitten (Abb. 5) bewährt. Er wurde bereits in einfacherer Form im Nordatlantik eingesetzt und erst kürzlich noch mit einem weiteren Supranetz ausgestattet (BRANDT und BARTHEL, 1995). Dieses Gerät erlaubt durch einen Schließmechanismus nur die Fauna direkt am Meeresboden und in der bodennahen Wasserschicht zu beproben (vgl. BRATTEGARD und FOSSÅ, 1991; ROTHLISHBERG und PEARCY, 1977).

Beim Kolbeinsey-Rücken fanden wir an den beiden Rückenflanken völlig andere Verhältnisse vor. So war an der Westflanke in 800 m Tiefe der Anteil der großen, megabenthischen Organismen viel höher als auf der Ostseite, und auch das Sediment war wesentlich gröber (mit großen Lebensspuren) als auf der Ostseite in 800 m Tiefe, wo das Sediment sehr fein war (viele kleine Lebensspuren wiesen aber auch auf ein reiches Leben hin) und auch Peracarida wesentlich häufiger anzutreffen waren. Neben der Tatsache, daß die Abundanzen der Peracarida auf der Ostseite des Hanges um mehr als 50 % höher lagen als auf der Westseite, spielte offenbar die Tatsache eine Rolle, daß Amphipoda (Flohkrebse), die lateral abgeflacht sind und schützende, die Beine überdeckende Coxalplatten besitzen, sich auf der Westseite leichter in das grobe Sediment eingraben können, dort, wo auch der Anteil von Schwammnadelfilz besonders groß war, als die dorso-ventral abgeflachten Isopoda (Asseln), die von den Schwammspiculae regelrecht „erdolcht“ werden. Auf der Oberfläche der Kastengreifer war bereits deutlich zu sehen, daß auf der Ostseite der Boden und die bodennahe Wasserschicht von einem hohen Anteil an organischem Material (Chlorophylläquivalenten) bedeckt waren, denn die ganze Oberfläche war grün, was zu einer deutlichen Erhöhung der Cumacea (Schlickkrebse) und besonders der Isopoda führte. Es war am Kolbeinsey-Rücken festzuhalten, daß die Amphipoda stärker durch Sedimenteigenschaften in ihrer Präsenz beeinflußt wurden, die Isopoda und Cumacea hingegen eher durch das Nahrungsangebot und feineres Substrat (BRANDT, 1993; BRANDT und PIEPENBURG, 1994).

Ähnliche Verhältnisse fanden wir in der Nordostwasser-Polynja (vgl. Abb. 2) vor, dort waren die Amphipoda wesentlich häufiger auf den flachen Bankstationen, wie der Ob-Bank, in 45 - 50 m Tiefe anzutreffen, in den tieferen Trögen (200 - 400 m) hingegen dominierten deutlich die Isopoda und Cumacea (vgl. BRANDT, 1995; BRANDT et al. 1996; vgl. auch DAHL et al., 1976; DAUVIN et al., 1995). Außerdem zeigte sich bei der Probennahme während der Expedition sehr schnell, daß die Abundanzen der Peracarida auf den südlichen Stationen (ca. 79° N) sehr niedrig lagen, im Norden, im Westwindtrog (ca. 80° N), jedoch besonders hoch waren. Die frühe Vermutung der Nährstoffarmut im Süden und der Akkumulation von Nahrung im Norden bestätigte sich durch die Ergebnisse von Kollegen aus anderen Disziplinen (vgl. PIEPENBURG et al., im Druck). Man kann die räumlichen und zeitlichen Unterschiede im Norden und Süden der Polynja folgendermaßen erklären: Im bodennahen Bereich herrscht eine antizyklonale Strömung vom südlichen Trog über den Norske Trog in den Westwindtrog. Im

Süden lassen sich, auch aufgrund der späten Öffnung der Polynja und des chlorophyllarmen Wassers aus der Arktis, nur niedrige Abundanzen im Benthos nachweisen. Nördlich der südlichen Eisnase gelangen nun Nährstoffe an die Oberfläche, wodurch dort, im offenen Wasser des nördlichen Troges, bereits Primärproduktion stattfinden kann. Die sedimentierenden Partikel werden von hier lateral leicht nach Norden transportiert, wo durch die zusätzliche Eisalgenblüte eine stärkere Anreicherung organischen Materials stattfindet, im östlichen Bereich des Westwindtroges stärker als im westlichen, wodurch sich auch die Erhöhung der Anzahl der Isopoda und der Cumacea in dieser Region erklärt.

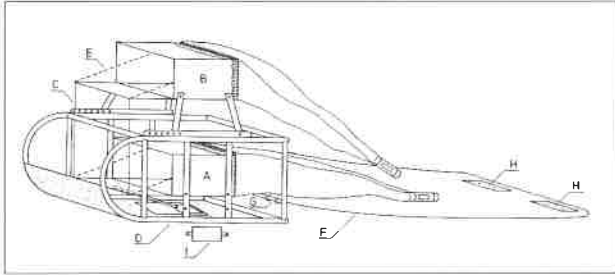


Abb. 5: Epibenthosschlitten zum Fang peracarider Krebse. (A) und (B) bezeichnen die Öffnungen des Epi- und Suprabenthossammelgerätes, ihre Frontklappen sind durch ein Stahlseil miteinander verbunden (C) und werden durch einen Schuh, der am unteren Epibenthossammelgefäß befestigt ist (D), geöffnet. Nach dem Verlassen des Bodens schließen sich die Klappen durch elastische Spiralen (E). Eine Förderbandmatte unter den Netzen (F) schützt die Netze am Boden vor dem Zerreißen; sie ist an einem Stahlrahmen (G) mit Schäkeln befestigt und besitzt am Hinterende Gewichte (H), welche die Matte am Boden halten. Gewichte (I), an der Seite des Epibenthosschlittens angebracht, sorgen für eine stabile Lage am Meeresboden.

Während der letzten Expedition am nordostgrönländischen Kontinentalhang bei 75° N waren die Isopoden das häufigste Taxon. Außerdem wurde der wesentlich höhere Anteil an Organismen im Epinetz gefangen, was zum Ausdruck bringt, daß sich die Organismen direkt im untersten Bereich der bodennahen Trübezone ernähren, auch die suprabenthisch lebenden Mysidaceen. Außerdem lagen die Abundanzen dieser Taxa bei der tiefsten Station in fast 2.800 m immer noch mit am höchsten (BRANDT, im Druck).

Die Tatsache, daß die Isopoda und Cumacea insgesamt deutlich häufiger waren, läßt nun vermuten, daß bei den meisten Stationen das Sediment relativ fein ist, was man ja auch bei Tiefseestationen erwarten würde. Unterwasseraufnahmen (durchgeführt von Frau M. Mayer, Institut für Polarökologie, Kiel) in ca. 400 m Tiefe zeigen, daß das Sediment relativ grob ist, es sind viele Steine eingelagert, megabenthische Organismen, wie große Crinoiden (Haarsterne) der Gattung *Heliometra*, sind relativ häufig. Außerdem sind Polychaetengehäuse (Polychaeten sind vielborstige Meereswürmer) der Gattung *Onuphis* sehr häufig. In ca. 800 m Tiefe sieht das Bild ganz anders aus:

Hier ist der Anteil großer, filtrierender, megabenthischer Organismen, z. B. von Glasschwämmen und Octokorallen, sehr hoch. In 2.800 m Tiefe waren Foraminiferen (*Pyrgo*) sehr häufig, aber auch kleine Holothurien (*Elpidia glacialis*) sowie gestielte Crinoiden (*Bathycrinus*) (vgl. MAYER und PIEPENBURG, im Druck). Auch sonst herrschte in dieser Tiefe ein reiches Leben. Neben inbenthisch lebenden und sich ernährenden Polychaeten waren Ranzenkrebse hier sehr häufig.

Betrachtet man die Häufigkeiten aller Peracaridentaxa über den Hang verteilt, so stellen die Isopoda das häufigste Taxon dar. Die meisten Peracariden sind bei ca. 1.500 m Tiefe aufzufinden, und die Abundanzen sind bei ca. 2.800 m Tiefe immer noch sehr hoch, auf jeden Fall höher als am flacheren Hang. Dies läßt nun aufgrund der bereits gemachten Erfahrungen mit dem Vorkommen der Peracarida und ihrer Abhängigkeit von biotischen und abiotischen Faktoren bereits darauf schließen, daß die Nahrungsversorgung durch Chlorophylläquivalente in 2.800 m Tiefe zumindest für die Cumacea und Isopoda sehr günstig sein muß, auf jeden Fall bedeutet die große Häufigkeit der Peracarida in 2.800 m Tiefe, daß über das Jahresmittel dort genug Nahrung zur Verfügung steht, da die Peracarida in der Tiefsee über einen längeren Zeitraum integrieren und Fettreserven anlegen müssen. Nach Aussagen von Herrn Prof. Graf (GEOMAR, Kiel) ist auch die Verteilung von Chlorophylläquivalenten über den Hang relativ homogen, in 2.800 m Tiefe also ungefähr so hoch wie in 200 m Tiefe. Aufgrund dieser Tatsache würde man auch in 200 m Tiefe höhere Peracariden-Abundanzen erwarten. Es kann mehrere Gründe für diese Häufigkeitsverteilungen geben: Zum einen ist der Anteil der räuberischen Polychaeten und auch von Polychaeten, die sich von organischem Material ernähren, das direkt auf der Meeresbodenoberfläche liegt, am höchsten von 200 - ca. 400 m. Das Bild ändert sich in ca. 1.500 m Tiefe, wo sich fast ausschließlich inbenthisch lebende und sich ernährnde Arten befinden (K. SCHNACK, Sonderforschungsbereich 313, Kiel). Dieses räuberische Verhalten der Polychaeten, wie auch die Konkurrenz um die Nahrungsressourcen, könnten bewirken, daß die Peracarida in den flacheren Regionen bei 75° N nicht so erfolgreich sind wie in der Tiefsee. Zum anderen ist die große Megafauna bei den 800 m-Stationen so dominant, daß die filtrierenden Organismen dort möglicherweise schon zu viele organische Partikel aus der Wassersäule abfangen und den Peracariden nicht mehr genug Nahrung zur Verfügung bleibt.

Wahrscheinlich erfolgte die Probennahme kurz nach einem Sedimentationsereignis von Phytoplankton, welches durch vertikale Strömungen sehr schnell auch in die Tiefsee eingebracht worden ist. Laut Aussagen von Herrn Dr. Ramseier (Microwave Group, Ottawa) ist die Region bei 75° N als eine Region extrem hoher Eisdynamik zu betrachten, in der in günstigen Jahren auch Tiefenwasserproduktion stattfinden kann. Dies könnte 1994 der Fall gewesen sein, was den schnellen vertikalen Nahrungseintrag bis in 2.800 m Tiefe erklären würde. Inzwischen liegen auch publizierte Erkenntnisse von Geophysikern zu diesen Prozessen vor (z. B. VISBECK et al., 1995).

Die Frage „Was kann man von Krebsen über die Tiefsee lernen?“ impliziert, daß diese Organismen einen gewissen Modellcharakter für die Tiefsee haben müssen. Zunächst einmal kann man feststellen, daß historische (biotische und abiotische) und physikalische Faktoren in der Tiefsee über lange Zeiträume hinweg die Evolution dieser Organismen stark beeinflußt haben (lange Isolation von Schelfmeeren, lange Stabilität, niedrige Temperatur, hoher Druck, Lichtmangel). Daraus haben sich artspezifische Adaptationen entwickelt, die zu starken Spezialisierungen der Arten im Hinblick auf ihre Umwelt geführt haben (Stenökologie = ganz spezielle Anpassungen an besondere Lebensräume, wie Langsamkeit von Embryogenese, Wachstum, Vermehrung und Ausbreitung) oder zu Organismen, die hohe Toleranzen aufweisen und praktisch überall vorkommen können (Euryökologie = physikalische Präadaptationen an Druck, Temperatur, Nahrungsversorgung; Erschließen verschiedener Nahrungsquellen, Eurybathie). Die sich aus diesen Adaptationen ergebenden Effekte können auf der einen Seite durch genetische Isolation neue Arten hervorbringen oder sie können (was bei Tiefseeorganismen häufig der Fall ist) zu kosmopolitischer (sehr weiter) Verbreitung neigen, teilweise sogar andere Taxa verdrängen, die

nicht so gute Anpassungen (Präadaptationen) an die sich wandelnden Umweltbedingungen aufweisen. Viele der in der Tiefsee siedelnden Peracaridentaxa fressen - wenigstens teilweise - Detritus, organisches Material, welches den Meeresboden erreicht. Daher kann folgendes Postulat aufgestellt werden: Wenn hohe Abundanzen (Häufigkeiten) von Ranzenkrebsen in der Tiefsee gefunden werden, dann muß dort über das Jahresmittel gesehen die Nahrungsversorgung ausreichend sein, denn die Peracarida sind zwar z. T. in der Lage gut zu schwimmen, jedoch sind sie meist mehr oder weniger ortsgelassen. Wie diese günstigste Nahrungsversorgung bewirkt wird (lateral oder schneller vertikaler Eintrag durch Tiefenwasserproduktion), bleibt zu prüfen. Außerdem wurde festgestellt, daß die Amphipoda sich eher in gröberen Sedimenten wohlfühlen als die Isopoda oder Cumacea, insofern könnte man zumindest aufgrund der Häufigkeit der Peracarida in der Tiefsee und ihrer Verteilung auf die einzelnen Taxa Prognosen darüber abgeben, wie die Lebensbedingungen in der Tiefsee (an den Stationen, an denen geforscht wird) aussehen. Auf jeden Fall kann man auch von den Ranzenkrebsen lernen, daß die Tiefsee nicht so unwirtlich ist, wie früher manchmal angenommen wurde.

Literatur:

- BAUERFEIND, E., K. von BRÖCKEL, G. DONNER, O. HAUPT, S. WÄCHTER und T. WIEDEMANN (1995): Pelagische Prozesse und vertikaler Partikelfluß im Europäischen Nordmeer. Ber. Polarforsch., 181: 50 - 56.
- BRANDT, A. (1993): Composition, abundance, and diversity of peracarid crustaceans on a transect of the Kolbeinsey Ridge, north of Iceland. Polar Biol., 13: 565 - 576.
- BRANDT, A. (1995): The peracarid fauna (Crustacea, Malacostraca) of the Northeast Water Polynya, off Greenland, documenting close benthic-pelagic coupling. Mar. Ecol. Prog. Ser., 121: 39 - 51.
- BRANDT, A. (im Druck): Abundance, diversity and community patterns of epibenthic- and benthic-boundary layer Crustacea Peracarida at 75° N off East Greenland. Polar Biology.
- BRANDT, A. und D. PIEPENBURG (1994): Peracarid crustacean assemblages of the Kolbeinsey Ridge, north of Island. Polar Biol., 14: 97 - 105.
- BRANDT, A. und D. BARTHEL (1995): An improved supra- and epibenthic sledge for catching Peracarida (Crustacea, Malacostraca). Ophelia, 43 (1): 15 - 23.
- BRANDT, A., S. VASSILENKO, D. PIEPENBURG und M. THURSTON (1996): The species composition of the peracarid fauna (Crustacea, Malacostraca) of the Northeast Water Polynya (Greenland). Meddellelser om Grønland, Bioscience, 44: 1 - 30.
- BRATTEGARD, T. und J. H. FOSSÅ (1991): Replicability of an epibenthic sampler. J. mar. biol. Ass. U. K., 71: 153 - 166.
- DAHL, E., L. LAUBIER, M. SIBUET und J.-O. STRØMBERG (1976): Some quantitative results on benthic communities of the deep Norwegian Sea. Astarte, 5: 61 - 79.
- DAUVIN, J.-C., J. C. SORBE und J.-C. LORGERE (1995): Benthic boundary layer macrofauna from the upper continental slope and the Cap Ferret canyon (Bay of Biscay).
- GRAF, G. (1989): Benthic-pelagic coupling in a deep-sea benthic community. Nature (London), 341: 437 - 439.
- GRUNER, H.-E., M. MORITZ und W. DUNGER (1993): Wirbellose Tiere 4. Teil: Arthropoda (ohne Insecta). In: GRUNER, H.-E. (Hrg.): Lehrbuch der Speziellen Zoologie, Band I, Gustav Fischer Verlag Jena, 1 - 1.279.
- HEBBELN, D. und G. WEFER (1991): Effects of ice coverage and ice-rafted material on sedimentation in the Fram Strait. Nature, 350 (6.317): 409 - 411.
- MAYER, M. und D. PIEPENBURG (im Druck): Epibenthic community patterns on the continental slope off East Greenland at 75° N. Marine Ecology Progress Series.
- PIEPENBURG, D., W. AMBROSE, A. BRANDT, P. REINAUD, M. AHRENS und P. JENSEN (im Druck): Benthic community patterns reflect water column processes in the Northeast Water Polynya (Greenland). J. Mar. Systems.
- ROTHLISHBERG, P. C. und W. G. PEARCY (1977): An epibenthic sampler to study the ontogeny of vertical migration of *Pandalus jordani* (Decapoda caridea). Fish. Bull., 74: 994 - 997.
- VISBECK, M., J. FISCHER und F. SCHOTT (1995): Preconditioning the Greenland Sea for deep convection: ice formation and ice drift. J. Geophys. Res., 100: 18.489 - 18.502.

Kopffüßer der Tiefsee - Einblicke in die Welt der bathypelagischen Cephalopoden

V. Chr. Miske

Einführung

Die wirbellosen Tiere des Meeres haben in Gestalt der Kopffüßer oder Cephalopoden einen Entwicklungsstand in Bezug auf physische Leistungsfähigkeit und Intelligenz erreicht, wie wir ihn sonst nur noch bei Wirbeltieren antreffen. Kopffüßer gehören zusammen mit Schnecken, Muscheln und weiteren, kleineren Klassen zum Stamm der Weichtiere (Mollusca). Während der über 550 Millionen Jahre dauernden Evolution der Kopffüßer gestalteten diese Kalmare, Sepien und Kraken den ursprünglich einfachen Molluskenbauplan tiefgreifend um.

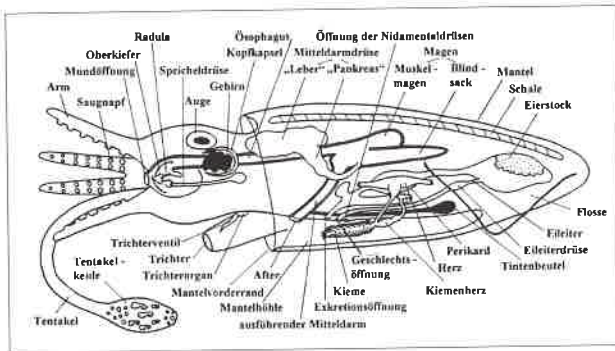


Abb. 1: Schematische Darstellung eines modernen Kopffüßers (Weibchen). Verändert n. STACHOWITSCH, 1992.

Aus dem Fuß entstanden die meist saugnapftragenden Kopfarme und Teile des sogenannten Trichters. Durch diese röhrenartige Bildung kann das Atemwasser zur Fortbewegung nach dem Rückstoßprinzip ausgepreßt werden, nachdem es durch einen bauchseits liegenden Spalt in die Mantelhöhle gesogen wurde. Mantel und Eingeweidesack begrenzen diesen ein bis zwei Paar Kiemen enthaltenden Hohlraum. Der Mantel bildet bei altertümlichen Kopffüßern (z. B. den Nautiloidea) die äußere Schale, welche grob gekammert und mit einem veränderbaren Anteil an Gas gefüllt ist. Durch diesen hydrostatischen Apparat ist das Tier in der Lage, seinen Auftrieb zu regulieren. Mit dem Übergang zur aktiv schwimmenden Lebensweise reduzierten die modernen Kopffüßer (die Coleoidea) ihre Schale und verlagerten sie ins Innere des zunehmend mit stärkerer Muskulatur ausgestatteten Mantels. Zu kraftvollen Kontraktionen fähig, wurde dieser zusammen mit dem Trichter zum wichtigsten Organ der Fortbewegung. Ein Paar am Mantel ansitzende Flossen dient häufig zur langsamen Fortbewegung. Gleichzeitig entwickelten sich äußerst leistungsfähige Sinnesorgane. Auch die reizverarbeitenden Strukturen erreichten mit der Entstehung eines echten Gehirns eine Organisationshöhe, die sehr komplexe Verhaltensmuster ermöglicht. Blitzschnelle Farbwechsel und Änderungen in der Körperhaltung beispielsweise werden zur optischen Kommunikation

zwischen Individuen einer Cephalopodenart genutzt. Alle heute lebenden Cephalopoden mit Ausnahme von *Nautilus* (Schiffsboot, Familie Nautilidae) zählen zu den Coleoidea, den „Innenschalern“. Kopffüßer sind getrenntgeschlechtlich. Die Männchen bilden sehr häufig einen Kopfarm zu einem speziellen Begattungsarm (Hektokotylus) um, mit dem die Spermienpakete (Spermatophoren) zum Weibchen übertragen werden. Cephalopoden erreichen ein Alter von höchstens drei bis fünf Jahren. Sie bewohnen nahezu alle Lebensräume des Meeres, solange der Salzgehalt nicht dauerhaft etwa 35 ‰ unterschreitet.

Die überwiegend grundbewohnenden Kraken, achtarmige moderne Kopffüßer mit einem Paar Kiemen (Octopoda), finden wir vom Gezeitentümpel bis zur Tiefsee. Nur wenige Arten der Oktopoden besiedeln das freie Wasser.

Tiefseevampire (Vampyromorpha), moderne Kopffüßer mit einem Kiemenpaar, acht Kopfarmen und einem weiteren, zu langen, fadenförmigen Organen umgebildeten Armpaar, leben im Freiwasser größerer Tiefen.

Zu den Decabrachia, den ein Paar zum Beutefang verlängerte Kopfarme (Tentakel) besitzenden, zehnarmligen modernen Kopffüßern mit einem Kiemenpaar, gehören Sepien und Kalmare. Sepien, die Tintenfische im engeren Sinne, leben fast ausschließlich grundnah im Küstenbereich (neritisch). Ihre fein gekammerte, innere Schale wirkt wie bei *Nautilus* als regelbarer Auftriebskörper. Die Kalmare reduzierten im Verlaufe ihrer Entwicklung ihre innere Schale bis auf einen dünnen, Gladius genannten Rest, welcher nur noch Stützfunktion besitzt. Ausgestattet mit einer kräftigen Mantelmuskulatur eroberten sie meist als Dauerschwimmer den Lebensraum des freien Ozeans, das Pelagial.

Das Pelagial

Gewöhnlich unterteilen wir das Pelagial in vier übereinander liegende „Stockwerke“:

- Das **Epipelagial** reicht von der Oberfläche bis in ca. 200 Meter Wassertiefe. Es ist durch Lichteinfall, Temperaturschwankungen und Wasserbewegungen geprägt. Die hier lebenden, zur Photosynthese befähigten Organismen bilden den Anfang des Nahrungsnetzes, an das auch die Lebewesen der darunter in ewiger Dunkelheit liegenden Etagen angeknüpft sind.
- Das **Mesopelagial** erstreckt sich von 200 m bis in ca. 1.000 m Tiefe. Neuere Untersuchungen zeigen, daß in die obersten Bereiche dieser Schicht noch Restlicht eindringen kann. Mit zunehmender Wassertiefe nähert sich die Temperatur in diesem Stockwerk Werten um unter + 4 ° C.
- Im bei 1.000 m Wassertiefe beginnenden **Bathypelagial** sind praktisch keine jahreszeitlich bedingten

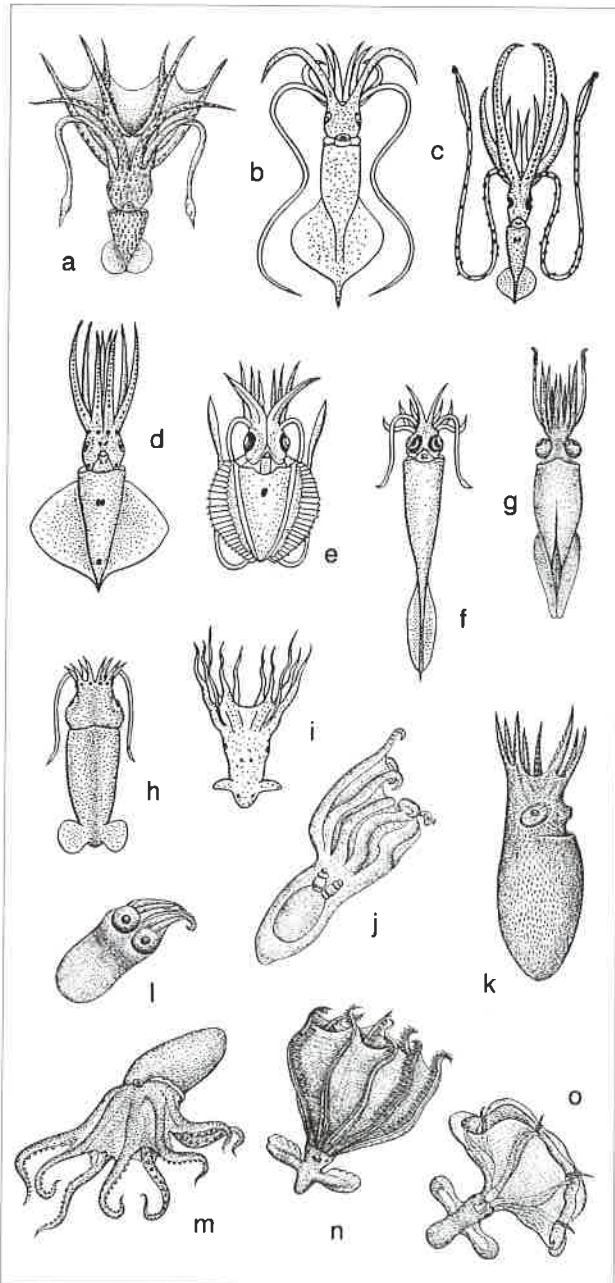


Abb. 2: Bathypelagische Cephalopoden:
 a *Histioteuthis bonnellii* (Fam. Histioteuthidae),
 b *Mastigoteuthis pyrodes* (Fam. Mastigoteuthidae),
 c *Chiroteuthis calyx* (Fam. Chiroteuthidae),
 d *Octopoteuthis deletron* (Fam. Octopoteuthidae),
 e *Ctenopteryx sicula* (Fam. Ctenopterygidae, Weibchen),
 f *Galiteuthis phyllura* (Fam. Cranchiidae),
 g *Teuthowenia megalops* (Fam. Cranchiidae),
 h *Bathyteuthis abyssicola* (Fam. Bathyteuthidae),
 i *Vampyroteuthis infernalis* (Vampyromorpha),
 j *Amphitretus pelagicus pelagicus* (Incirrata, Fam. Amphitretidae, Männchen),
 k *Japetella diaphana heathi* (Incirrata, Fam. Bolitaenidae),
 l *Dorsopsis taningi* (Incirrata, Fam. Bolitaenidae),
 m *Vitreledonella richardi* (Incirrata, Fam. Vitreledonellidae),
 n *Cirrothauma murrayi* (Cirrata, Fam. Cirroteuthidae, Jungtier),
 o *Cirroteuthis muelleri* (Cirrata, Fam. Cirroteuthidae).
 Leuchtorgane sind bei b - f, h und i schwarz hervorgehoben (Verändert nach NESIS, 1987).

Temperaturschwankungen mehr nachweisbar. Damit gibt es von diesem Tiefenbereich an keine periodischen Veränderungen von Umweltparametern mehr, welche die hier lebenden Tiere als Taktgeber für ihre Biorhythmen nutzen könnten.

• Unterhalb 5.000 m schließt sich das **Abysso-pelagial** an, das in bodennahen Wasserschichten endet.

Tiefenströmungen aus polaren Gebieten transportieren im Rahmen der globalen Konvektion Sauerstoff bis in die untersten Etagen. Der Sauerstoffgehalt dort ist jedoch wesentlich geringer als in Oberflächennähe. Die Physiologie der in den Tiefen des Pelagials lebenden Organismen wird zudem vom herrschenden hydrostatischen Druck beeinflusst. Er erhöht sich pro 10 m Tiefenzunahme um 1 bar, d. h. in 5.000 m Tiefe sind die Lebewesen, bedingt durch die auf ihnen lastende Wassersäule, einem Druck von 500 bar ausgesetzt. Je tiefer das Stockwerk liegt, um so geringer wird auch das Nahrungsangebot.

Die Cephalopoden des Pelagials

Das Epipelagial bewohnen Kalmare, die sehr muskulöse Mäntel, kräftige Trichter und wohlentwickelte Flossen besitzen. Die variable Färbung dieser torpedoförmigen, schnellschwimmenden Hochseejäger wird durch dehnbare Pigmentzellen in der Haut (Chromatophoren) hervorgerufen. Leuchtorgane treten häufig auf, sind jedoch weniger differenziert als die mesopelagischer Familien. Stellvertretend sei die Familie der Ommastrephidae genannt. Auch aktiv schwimmende, sich von Plankton ernährnde Oktopoden (z. B. *Argonauta*, Papierboot; Fam. Argonautidae) sind hier zu finden. Kennzeichnend für die Decabrachia des Mesopelagials sind ihre im Vergleich zu Vertretern anderer Tiefenzonen durchschnittlich geringere Größe und der Besitz von oft zahlreichen, komplizierten Leuchtorganen. Wie die epipelagischen Arten als aktive Beutegreifer lebend, weichen auch ihre Körpergestalt und Färbung nur wenig von diesen ab. Gemeinsam mit anderen kleinen Organismen unternehmen sie als Mitglieder der sogenannten Echostreuschicht ausgedehnte Vertikalwanderungen, um sich nachts vom Plankton des darüberliegenden „Stockwerks“ zu ernähren. Die Familie der Enoptoteuthidae gilt als typisch für diesen Bereich. Die nachstehend eingehender betrachteten bathypelagischen Cephalopoden hingegen weisen eine Reihe von Spezialanpassungen auf, welche sie deutlich von jenen des Epi- und Mesopelagials unterscheiden.

Die Cephalopoden des Bathypelagials

Während einer Forschungsreise des FFS „Walther Herwig“ zum nördlichen Mittelatlantischen Rücken im Jahre 1982 konnten durch erstmaligen sehr tiefgehenden Einsatz großer, üblicherweise zum kommerziellen Fang verwendeter Netze in diesem Gebiet Bereiche von bis zu 3.200 m Wassertiefe befischt werden. Die dabei gefangenen Kopffüßer gehören zum größten Teil der phantastisch anmutenden bathypelagischen Fauna (Abb. 2) an.

Der Körperbau der Decabrachia erfährt bei den bathy-

pelagischen Arten seine größte Abwandlung, da diese in Anpassung an ihren Lebensraum im Vergleich zu ihren epi- und mesopelagischen Verwandten zu einer passiveren Lebensweise übergegangen sind. Sie stellen in Bezug auf optische Wahrnehmung, Beutefang und Auftriebskontrolle stark modifizierte Tiefseebewohner dar. Im Allgemeinen sind diese Tiere keine starken Schwimmer. Darauf weisen die oft schwach entwickelten Flossen, der kleine Trichter und die nur wenig ausgeprägte Mantelmuskulatur hin. Der Mantel selbst weist wie fast das ganze Tier häufig eine gallertartige Konsistenz auf, da in sein Gewebe gallertiges, offensichtlich nicht lebendes Material eingewandert ist. Eine Ausnahme bildet die Familie der Cranchiidae (s. u.). Der gesamte Körper der Cephalopoden des Bathypelagials kann infolge des Fehlens von Wasserbewegungen und Hindernissen sehr filigran gebaut sein.

In der Färbung der Kopffüßer dieses Tiefenbereichs überwiegen Abstufungen von Rot zwischen Orange und Purpurrot. Einige Gruppen sind durch starke Reduktion der Chromatophorenzahl fast völlig farblos geworden. Die meisten Arten verfügen über sehr komplexe Leuchtorgane (Photophoren). „Vielleicht nirgends in der Natur sind Photophoren höher entwickelt und komplizierter gebaut als bei mesopelagischen und bathypelagischen Kalmaren“ (VOSS, 1967). Solche Photophoren bestehen häufig neben den eigentlichen, auf chemischem Wege ein blaugrünes Licht erzeugenden Leuchtzellen aus Sammellinsen, hohlspiegelartigen Reflektoren und Pigmentabschirmungen. Mit Hilfe von Blenden kann das Licht willkürlich an- und aus„geschaltet“, durch vorgeschaltete Farbfilter die Farbe des ausgestrahlten Lichtes verändert werden. Die Anordnung der Leuchtorgane auf dem Körper ist für jede Art charakteristisch. Bis auf die Segelkalmare (s. u.) sind diese jedoch bei bathypelagischen Formen nicht sehr zahlreich. Photophoren können der Art- und Geschlechtererkennung, dem Gruppenzusammenhalt, der Beuteanlockung, der Freßfeindabwehr und der Tarnung dienen.

Der deutsche Name der Familie der Segelkalmare (*Histioteuthidae*; Abb. 2 a, 3 und 4) bezieht sich auf ein oft wohlentwickeltes „Segel“, eine dünne, membranartige Velarhaut, welche die Arme des Kalmars miteinander verbindet. Fast der ganze Körper der insgesamt rötlich gefärbten Segelkalmare besteht aus gallertigem Gewebe. Ihr Mantel ist relativ klein. Der große Kopf trägt i. R. sehr unterschiedlich große Augen. Die physiologische Körperunterseite (Ventralseite) dieser Kalmare ist mit Photophoren weitaus dichter besetzt als die Ober- (Dorsal-) seite. Die blaugrün leuchtenden, zusammengesetzten Photophoren der Ventralseite strahlen ihr Licht bei natürlicher, d. h. schräger Körperhaltung mit abwärts gerichtetem Kopf nach unten ab. Ein sich von oben oder von der Seite her nähernder, auf Sicht jagender Freßfeind kann den Segelkalmar gegen den ebenfalls dunklen Hintergrund nicht ausmachen. Bei einem Angriff von unten her jedoch würde sich das Tier gegen das in geringeren Tiefen von oben einfallende Restlicht als dunkle Silhouette abheben. Also erzeugt *Histioteuthis* mit den ventralen Leuchtorganen einen „Gegenschatten“ in genau der Intensität, die dem durchdringenden Oberflächenrestlicht entspricht und wird somit fak-

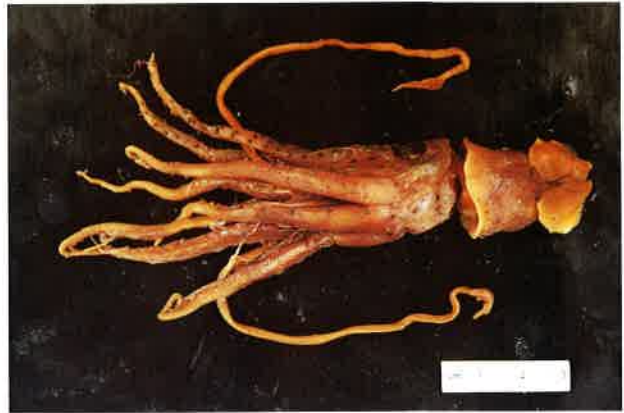


Abb. 3: *Histioteuthis bonnellii* (Férussac, 1835) (Fam. Histioteuthidae, Segelkalmare). Dorsalansicht. Nordostatlantik, WH 392 / 82. Hol aus 1.000 m Tiefe, 4.200 m Wassertiefe.

tisch unsichtbar. Der Durchmesser des linken Auges beträgt häufig das Anderthalb- bis Zweifache des rechten. Die Linse des auch in Bezug auf Lichtempfindlichkeit und Sehschärfe das kleine Auge übertreffenden großen Auges ist gelblich gefärbt. Das dafür verantwortliche Pigment absorbiert das blaue Ende des Spektrums des von anderen Tieren ausgesandten Biolumineszenzlichtes sowie das bläuliche Oberflächenrestlicht. Es wird vermutet, daß der Kopffüßer dadurch in der Lage ist, seine Beute, mesopelagische Tiere mit ventraler Gegenschattenerzeugung, zu enttarnen.

Die Mitglieder der Familie der *Mastigoteuthidae* (Abb. 2 b und 5) besitzen als typische Tiefseebewohner ebenfalls einen knorpelig-gallertigen Körper. Wie bei den Segelkalmaren befinden sich im Körpergewebe der *Mastigoteuthidae* meist viele Hohlräume, die eine Ammoniumchloridlösung enthalten. Diese hat ein geringeres spezifisches Gewicht als das umgebende Meerwasser und bewirkt somit einen neutralen Auftrieb des ganzen Tiers. *Mastigoteuthis* kann dadurch kopfunter in schräger Körperhaltung, die Arme aufrecht haltend, in der Wassersäule schweben. Die Muskulatur der stark mit Hohlräumen durchsetzten Arme ist reduziert. Im Gegensatz dazu sind die sehr langen, peitschenartigen Tentakel mit kompakter Muskulatur ausgestattet. Ihre Keulen sind mit sehr kleinen Saugnäpfen in vielen Reihen dicht besetzt. Beuteorganismen, z. B. kleine Krebstiere, können an diesen leimrutenähnlichen Tentakeln haften. *Mastigoteuthis* wirft bei Gefahr (z. B. wenn der Kalmar gefangen wird) seine Tentakel ab. Sie brechen an einer „Sollbruchstelle“ nahe ihrer Basis ab und können nicht wieder regeneriert werden. Das ventrale Armpaar ist i. R. beträchtlich länger als die anderen ausgebildet. Viele Arten verfügen über Photophoren, welche meist über die Ventralseite des Mantels, des Kopfes und der Ventralarme verstreut sind.

Octopoteuthis (Fam. *Octopoteuthidae*, Achtarmkalmare; Abb. 2 d, 6 und 7) „schaltet“ die Photophoren aus, wenn sich das Tier in völliger Dunkelheit befindet. Der gallertige Körper besitzt kurze, dicke Arme und sehr große Flossen. Wie schon der Familienname andeutet, tragen diese eigentlich ebenfalls zehnmarmigen Kopffüßer nur noch acht Arme. Sie verlieren die



Abb. 4: *Histoteuthis bonnellii* (Férussac, 1835) (Fam. Histoteuthidae, Segelkalmare). Ventralansicht desselben Tiers. Auffallend ist die im Vergleich zur Dorsalseite weitaus größere Anzahl der Leuchtorgane (siehe Text).

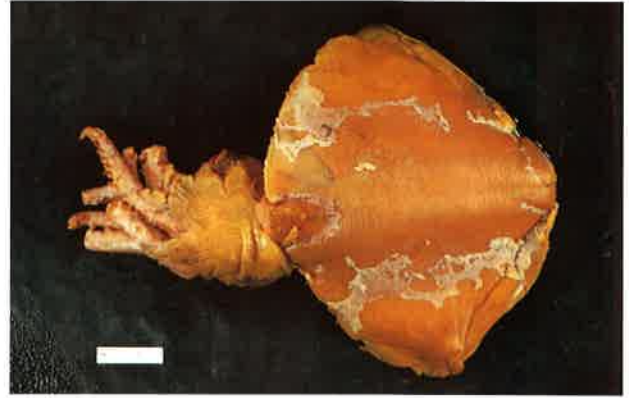


Abb. 6: *Octopoteuthis* sp. (Fam. Octopoteuthidae, Achtarmkalmare). Weibchen, Dorsalansicht. Nordostatlantik, WH 391 / 82. Hol aus 3.200 m Tiefe, 4.200 m Wassertiefe.

beiden Tentakel während ihres Heranwachsens. Des öfteren sind auch die Spitzen der verbleibenden Arme abgebrochen. Männliche Achtarmkalmare besitzen keinen Begattungsarm; die Spermatophoren werden mit Hilfe eines Penis übertragen. Die Gewebe des dicken Mantels, der Arme und des Kopfes verfügen wiederum über Ammoniumchloridlösung enthaltende Hohlräume, die dem Tier zu einem neutralen Auftrieb verhelfen. In der Pottwalnahrung stellen die Achtarmkalmare zusammen mit den Segelkalmaren in vielen Gebieten des Weltozeans zahlenmäßig die bedeutendsten Familien dar.

Die eingangs erwähnte Familie der **Cranchiidae** (Abb. 2 f, g, 8 und 9) gehört wohl mit zu den eigentümlichsten Bewohnern der Tiefsee. Diese hochabgeleitete Gruppe perfektionierte die Methode der Verringerung des spezifischen Gewichts durch Anreicherung von Ammoniumchloridlösung im Körper. Neben klein bleibenden Arten ist in dieser Familie auch der zweitgrößte uns bekannte Kopffüßer (*Galiteuthis* sp.) zu finden. Auf den großen, bei ausgewachsenen Tieren normalerweise kugelförmigen Augen befinden sich stets Photophoren. Offensichtlich als Zeichen der Fortpflanzungsbereitschaft und damit zur Anziehung eines

Partners entwickeln sich bei erwachsenen Weibchen mancher Arten (z. B. *Teuthowenia megalops*) auf den Enden der Arme Photophoren, die mit besonderen Falten wie mit Fensterläden abgedeckt werden können. Charakteristisch für die Cranchiidae ist der sehr dünne, z. T. lederartig feste und mit nur einer schwachen Muskulatur ausgestattete Mantel sowie die Ausbildung einer auffallend geräumigen, geschlossenen sekundären Leibeshöhle (Coelom). Das aus zwei Kammern bestehende Coelom ist prall mit Ammoniumchloridlösung gefüllt, welche den gleichen Diffusionsdruck wie das umgebende Seewasser hat, aber eine geringere Dichte besitzt. Mit Hilfe dieses einmaligen Auftriebskörpers kann das Tier gleich einem Ballon frei in der Tiefe schweben, um auf Beute zu warten. Eine aktive Fortbewegung durch Muskelkontraktionen nach dem Rückstoßprinzip ist aufgrund der schwach entwickelten Mantelmuskulatur und der großen, bis zu 2/3 des Volumens der Mantelhöhle einnehmenden NH_4Cl -Kammern nur äußerst begrenzt möglich. Selbst der Atmungsmechanismus der Cranchiidae unterscheidet sich von dem aller anderen Kopffüßerfamilien: Der Atemwasserstrom wird größtenteils durch eine dünne, horizontale Membran

Abb. 5: *Mastigoteuthis magna* Joubin, 1913 (Fam. Mastigoteuthidae). Dorsalansicht. Nordostatlantik, WH 344 / 82, Hol aus 1.100 m Tiefe, 4.000 m Wassertiefe. Lebt tagsüber im Bathypelagial und steigt nachts ins Mesopelagial auf.

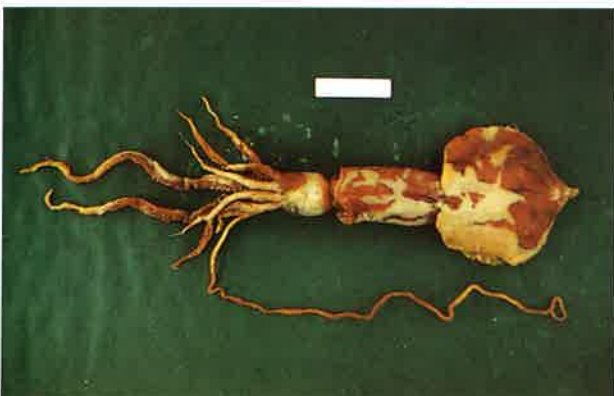


Abb. 7: *Octopoteuthis* sp. (Fam. Octopoteuthidae). Männchen, Ventralansicht. Nordostatlantik, WH 1982. Anstelle eines Begattungsarmes ist ein Penis ausgebildet.





Abb. 8: *Teuthowenia megalops* (Prosch, 1849) (Fam. Cranchiidae). Dorsalansicht. Nordostatlantik, WH 403 / 82. Nächtlicher Hol aus 500 m Tiefe, 3.850 m Wassertiefe.

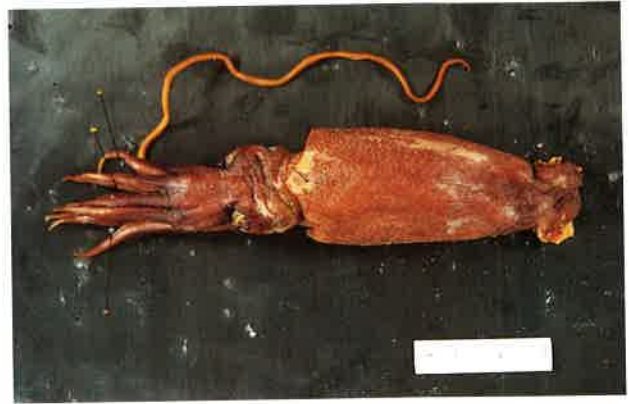


Abb. 10: *Bathyteuthis abyssicola* Hoyle, 1885 (Fam. Bathyteuthidae). Dorsalansicht. Nordostatlantik, WH 343 / 82. Hol aus 3.200 m Tiefe, 4.500 m Wassertiefe. Linker Tentakel fehlt.

erzeugt, welche die Mantelhöhle in zwei Bereiche unterteilt. Der obere Teil enthält das Coelom und steht mit dem unteren, in dem sich die Kiemen befinden, über zwei runde Öffnungen in Verbindung. Wellen von peristaltischen Kontraktionen der Horizontalmembran lassen das durch seitliche Schlitzte im Nacken in den oberen Bereich eintretende Atemwasser an beiden Seiten des Coeloms vorbeistreichen und durch die Öffnungen in der Membran hindurchtreten. Im unteren Teil angelangt, strömt es an den Kiemen vorbei und verläßt diesen Raum durch den Trichter.

Die Familie **Bathyteuthidae** (Abb. 2 h und 10) besteht aus einer einzigen Gattung mit nur drei bekannten Arten. *Bathyteuthis abyssicola* (der „Abgrundbewohnende Tiefentintenfisch“) verfügt als Auftriebshilfe über ausgedehnte Fetteinschlüsse in der Mitteldarmdrüse. In natürlicher Körperhaltung „hängt“ das tiefrot gefärbte Tier kopfabwärts im Wasser. Durch die mehr nach vorn gerichteten Augen sieht der Kalmar dabei nach unten und etwas zur Seite. Sie sind im Verhältnis zur Mantellänge größer als die von Oberflächenformen und enthalten die etwa zwei- bis fünffache Zahl an Lichtsinneszellen im Vergleich zu den Augen

Abb. 9: *Teuthowenia megalops* (Prosch, 1849) (Fam. Cranchiidae). Ventralansicht desselben Tiers. Große Leuchtorgane auf der Unterseite der Augen. Die Jungtiere dieser Art leben im Epipelagial.



anderer Kalmare, Sepien und bodenlebender Flachwasser-Oktopoden. *Bathyteuthis* führt keine größeren Vertikalwanderungen durch.

Die im Bathypelagial lebende Gruppe der Vampymorpha mit *Vampyroteuthis infernalis* (dem „Höllischen Vampirtintenfisch“; Fam. **Vampyroteuthidae**; Abb. 2 i) benutzt die beiden langen, fadenförmigen Arme sehr wahrscheinlich als Tastsinnesorgane. Diese sind vollständig in Taschen zurückziehbar. *Vampyroteuthis* ist sehr gallertig, dunkelrot bis schwarz gefärbt und ernährt sich von Plankton. Ein Tintenbeutel fehlt. Die Vampymorpha weisen Merkmale sowohl von den Decabrachia als auch von den Octopoda auf.

Auch die achtarmigen Kopffüßer (Octopoda) brachten Formen hervor, die das Bathypelagial besiedeln. Die Gruppe der pelagischen Incirrata (Abb. 2 j - m; z. B. Fam. **Amphitretidae** mit der einzigen Art *Amphitretus pelagicus*) besteht aus sich von kleinen Planktonorganismen ernährenden Arten. Ihre wenige bis keine Chromatophoren besitzenden, gallertigen Körper tragen keine Flossen.

Abb. 11: Oktopode aus der Gruppe der Cirrata (Cirroteuthidae). Nordostatlantik, WH 343 / 82. Hol aus 3.200 m Tiefe, 4.500 m Wassertiefe. Oft durch den Fang bereits stark beschädigt und durch Konservierung in Alkohol (70 %) zusammengeschrumpft, läßt sich die zerbrechliche Schönheit dieser sehr gallertigen Tiere kaum mehr erahnen.



Bei den namengebenden Zirren der Gruppe der pelagischen Cirrata (Zirrenträger; Abb. 2 n, o; Abb. 11) handelt es sich um Papillen, die in Doppelreihe entlang der Reihen reduzierter Saugnäpfe stehen. Sie stellen vermutlich Tastorgane dar, die dem Erwerb der Nahrung (planktische Kleinkrebse u. a.) dienen. Die violett bis schokoladenbraun gefärbten, manchmal auch farblosen Körper dieser Tiere sind sehr gallertig und tragen große Flossen sowie meist große Velarhäute. Eine solche schirmartig aufspannbare Membran fungiert i. R. zusammen mit den Flossen als Antriebsorgan. Mantel und Trichter werden als Fortbewegungsmittel nur zur Flucht vor Gefahr benutzt. Die Cirrata besitzen keinen Tintenbeutel mehr. Einige Arten weisen reduzierte Augen auf; der einzige völlig blinde Kopffüßer (*Cirrothauma murrayi*, der „Blinde Wunderschirm“) ist in dieser Gruppe in der Fam. *Cirrotheuthidae* zu finden.

Um den extremen Lebensraum des Tiefseepelagials besiedeln zu können, mußten sich die Cephalopoden an hohe hydrostatische Drücke, fast völlige Dunkelheit, niedrige Temperaturen, einen im Vergleich zu oberflächennahen Wasserschichten geringeren Sauerstoffgehalt und Nahrungsarmut anpassen. Zusätzlich fallen in der Tiefsee periodische Änderungen der physikalischen Umweltparameter fort, welche den in Bereichen nahe der Oberfläche lebenden Tieren als Zeitgeber (z. B. für die Synchronisation der Fortpflanzungsbereitschaft) dienen. Das Vorhandensein hoher hydrostatischer Drücke erforderte Anpassungen in der Physiologie der Tiefsee-Kopffüßer. In Tiefen, in die gerade noch ein schwacher Rest des Oberflächenlichtes eindringen kann, entwickelten sich Photophoren bei Cephalopoden besonders stark. Allgemein bedeutet die Entwicklung der Biolumineszenz bei Kopffüßern eine Erweiterung der Fähigkeiten dieser Tiere in der Auseinandersetzung mit ihrer Umwelt. Bei pelagischen Tiefsee-Cephalopoden mit ventralen Leuchtorganen scheint die Hauptfunktion dieser Photophoren die Erzeugung eines ventralen „Gegenschattens“ und damit die Tarnung zu sein. Freßfeinde, die aktiv mit Hilfe des Gesichtssinnes am Tage im Mesopelagial jagen (überwiegend Fische), können so erfolgreich getäuscht werden. Die Anordnung der Photophoren auf dem Körper der Kopffüßer ist strikt artspezifisch. Dies legt die Vermutung nahe, daß die vielleicht wichtigste Funktion der Biolumineszenz von Cephalopoden die Identifikation unter Artgenossen ist. Photophoren, die sich mit einsetzender Geschlechtsreife oder etwas früher entwickeln, dienen offensichtlich der Erkennung und Anziehung von Geschlechtspartnern. Außerdem können einige Arten Photophoren zur Blendung von Freßfeinden durch Lichtblitze, zur Silhouettenauflösung und zur Beuteanlockung einsetzen. Die Augen der Bewohner des Tiefseepelagials sind an die äußerst schwachen Lichtverhältnisse angepaßt. Neben Formen mit sehr großen, leistungsfähigen Augen (z. B. *Histioteuthis*) gibt es jedoch auch Arten mit normalen und reduzierten Augen (*Cirrotheuthis*); völlig blind ist nur *Cirrothama murrayi*.

Das Pelagial der Tiefsee ist ein nahrungsarmer Lebensraum. Mit zunehmender Tiefe verringert sich das Nahrungsangebot stetig. Gleichzeitig sinken die

Temperaturen auf Werte unter + 4 °C. Niedrige Temperaturen begünstigen das Auskommen mit wenig Nahrung, da sie die Geschwindigkeit der Stoffwechselprozesse der Kopffüßer herabsetzen und somit den Energiebedarf verringern.

Um generell mit wenig Nahrung überleben zu können, muß ein Organismus seinen Energiebedarf reduzieren oder seine Aktivitäten auf ein Minimum beschränken können. Eine Verminderung des Energiebedarfs kann neben biochemischen Anpassungen durch eine Verringerung der Körpergröße oder, unter Beibehaltung derselben, durch eine Reduktion am Stoffwechsel beteiligter Körperanteile erfolgen. Die Kopffüßer behielten ihre Körpergröße bei und reduzierten die zu versorgenden Gewebe oft zugunsten anscheinend nicht lebender Gallerte. Offenbar wären verhältnismäßig kleine Kopffüßer für die beträchtliche Anzahl aktiv jagender Tiefseefische eine leichte Beute. Nachteilig könnte eine zu geringe Größe auch für den Fang der eigenen Beute sein. Möglicherweise wirkt das gallertige Material auch auftriebsunterstützend und als Nährstoffspeicher.

Die meisten Cephalopoden des Tiefseepelagials beschränken ihre Aktivitäten auf ein Minimum. Im Unterschied zu den häufig aktiven Jägern höherer Wasserschichten warten sie, ausgestattet mit bemerkenswerten Mechanismen zur Dichteregulation (z. B. mit Ammoniumchloridlösung gefüllte Gewebehohlräume oder Coelomkammern), schwebend auf Beute. Die Kopffüßer dieses Tiefenbereichs entwickelten sich also zu mehr oder weniger passiven, aber hochspezialisierten Beutefängern.

Das Wissen über die Artenvielfalt, die Biologie und erst recht die ökologische Bedeutung dieser faszinierenden pelagischen Tiefseebewohner stellt sich als noch äußerst lückenhaft dar. Einblicke in den extremen Lebensraum der Freiwasserzone der Tiefsee konnten bis vor wenigen Jahren fast ausschließlich nur mit Hilfe von Netzen und Meßsonden gewonnen werden. Erst durch Entwicklung und Einsatz modernster bemannter und unbemannter Tauchfahrzeuge wird es nun möglich, mehr über Lebensstrategien und Verhalten der bathypelagischen Cephalopoden in ihrem natürlichen Lebensraum, den kalten, lichtlosen Tiefen der Ozeane, zu erfahren.

Literatur:

- CHUN, C. (1910, 1915): Die Cephalopoden. I. Oegopsida. II. Myopsida, Octopoda. Wiss. Ergeb. Dtsch. Tiefsee-Exped. „Valdivia“ 1898-1899 18:1 - 552, Atlas. Jena.
- NESIS, K. N. (1987): Cephalopods of the world. Neptune City, 351 p.
- NIXON, M. & J. B. MESSENGER (eds) (1977): The biology of cephalopods. Proceedings of a symposium held at the Zoological Society of London on 10 and 11 April 1975. Symp. Zool. Soc. Lond. 38: 1 - 615. London.
- PFEFFER, G. (1912): Die Cephalopoden der Plankton-Expedition. Ergeb. Plankton-Exped. d. Humboldt-Stiftung 2: 1 - 815, Atlas. Kiel, Leipzig.
- STACHOWITSCH, M. (1992): The Invertebrates. New York, 676 p.
- VOSS, G. L. (1967): The biology and bathymetric distribution of deepsea cephalopods. Studies in Tropical Oceanography 5: 511 - 535.

Biodiversität in der Tiefsee

H. G. Andres

Die Vielfalt in Struktur und Funktion ist wohl das auffälligste Phänomen der Lebewesen, deren Mannigfaltigkeit uns bei weitem noch nicht erschlossen ist. Millionen von Arten - Schätzungen liegen zwischen 10 und > 110 Millionen Arten - sind unbekannt und bedürfen der exakten wissenschaftlichen Beschreibung. Für die Tiefsee liefern Hochrechnungen über die zu erwartende Artenanzahl benthischer Wirbelloser auf Weichböden Zahlen zwischen ein bis zehn Millionen Spezies (MAY, 1988, 1992; GRASSLE, 1991; GRASSLE & MACIOLEK, 1992; POORE & WILSON 1993).

Die Entdeckung der Artenvielfalt fällt in eine erdgeschichtliche Epoche der größten Mannigfaltigkeit an Organismen und Arten, die jemals existiert hat, aber offensichtlich auch in eine Periode, in der der Mensch durch leichtfertiges, unkontrolliertes Eingreifen in die Biosphäre ein Aussterben von Arten herbeiführt, das eine vergleichbare Größenordnung der verheerendsten Massenextinktionen vergangener Epochen annimmt, wenn nicht gar überschreitet. Der Verlust von Biodiversität (abgeleitet aus biologische Diversität) ist daher nicht nur eine Herausforderung an die biologischen Wissenschaften, sondern stellt ein allgemeines politisches, ökonomisches und nicht zuletzt ein ethisches Problem dar (u. a. WILSON, 1988).

Das Verständnis von Biodiversität scheint zu eng gefaßt, bleibt es ausschließlich auf den relativen Reichtum an distinkten Spezies (Artenanzahl pro Einheit) gerichtet und vernachlässigt die biologische Vielfalt der Lebewesen in ihrer strukturellen und funktionellen Variabilität, die phylogenetische Beziehung, die Prozesse intra- und interspezifischer Koexistenz sowie die Interaktionen mit der Umwelt.

Dargelegt wird hier ein geraffter historischer Abriss der Entdeckung des Artenreichtums in der Tiefsee und ein kleiner Überblick neuerer Erkenntnisse ihrer Biodiversität.

Tiefseeregionen existieren bereits seit vier Milliarden Jahren. Das hydrographische Regime war jedoch während der verschiedenen Epochen sehr ungleichartig ausgebildet, z. B. war in der warmen Epoche des Tertiärs die Sauerstoffversorgung der abyssalen und hadalen Wassermassen unterbrochen. Ihre Faunen unterlagen einer völligen Extinktion. Eine Wiederbesiedlung erfolgte erst, als sich mit der globalen Abkühlung im Miozän auch das heutige System der Tiefenzirkulation herausbildete und die tiefen Regionen wieder mit Sauerstoff versorgt wurden. Die Periodizität oxischer und anoxischer Phasen wird als entscheidender Impuls für Isolationsvorgänge innerhalb der Populationen an Kontinentabhängigen und in ozeanischen Regionen betrachtet, der den allopatrischen Speziationsprozeß beschleunigt und so den Artenreichtum der Tiefsee fördert (WHITE, 1987).

Über die Herkunft der Tiefseefauna bestehen zwei divergierende Hypothesen: (a) Die Evolution hat in der Tiefsee selbst stattgefunden; (b) die Einwanderung der Fauna erfolgte vorwiegend aus Flachwassergebieten polarer Regionen. Beide Konzeptionen sind mit Beispielen zu belegen. So zeigen z. B. Untersuchungen an Foraminiferen aus der Tiefsee sowie antarktischen Gewässern, daß der größere Anteil der Arten in den jeweiligen Lebensräumen entstanden ist und nur ein kleinerer Anteil durch Submergenz / Emergenz in den jeweiligen Lebensraum einwanderte (LIPPS & HICKMAN, 1982).

Die enormen Ausdehnungen (vertikal > 10 km; Tiefseeboden nimmt mit 318 Mill. km² 62 % der Erdoberfläche bzw. 80 % des Meeresbodens ein) machen die Tiefsee heute zum größten Lebensraum der Erde. Die Diversifikation der Organismen zeigt sich in vielen Anpassungen an die charakteristischen Umweltfaktoren (GAGE & TYLER, 1992; OTT, 1996) Lichtlosigkeit, hoher hydrostatischer Druck, geringe Wasserbewegung, hohe Viskosität und relativ konstante Salinität sowie gleichbleibende, niedrige Temperatur. (Bezüglich der Temperaturen haben die Tiefseegebiete von Mittelmeer und Rotem Meer abweichende Bedingungen (12 - 13 °C bzw. 22 °C). Ihre Tiefseefauna zeigt eine mehr oder weniger isolierte Entwicklung.) Wegen des Lichtmangels fehlen die photoautotrophen Organismen, die Tiefseetiere sind Plankton-, Detritus-, Deposit-, Suspensions-, Aasfresser oder Räuber. Die Nahrungsnetze der Tiefsee fußen überwiegend auf der Produktion der schmalen euphotischen Schicht des Epipelagials. Der Eintrag organischer Partikel (Exporttransporte aus der höheren Wassersäule und durch laterale Advektion: Holzreste, Debris, Phytodetritus, „fluff“ - sedimentierende Schleimballen abgestorbenen Phytoplanktons, Pellets, tierisches Gewebe, Tierleichen) variiert räumlich. Trübeströme an Kontinentabhängigen sorgen für erheblichen Eintrag organischer Materials. Die Organismen der zentralen ozeanischen Tiefseebereiche bleiben dagegen ausschließlich von der epipelagischen Produktion abhängig. Eine Ausnahme stellt das einzigartige, komplexe Tiefseeökosystem der Thermalquellen dar; es basiert auf Biomasse, die über CO₂-Assimilation mit Hilfe geothermischer Energie von chemoautotrophen Schwefelbakterien aufgebaut wird (GAGE & TYLER, 1992).

Nur ein Bruchteil der wissenschaftlich beschriebenen Pflanzen- und Tierarten lebt in den Ozeanen. Unter den Pflanzen sind vor allem die Phycophyta mit etwa 22.000 Arten vertreten. Dominante Repräsentanten sind Dinoflagellaten, Phaeophyceen, Rhodophyceen aber auch die Chrysophyceen. Ursprüngliche Gefäßpflanzen fehlen völlig. Von den terrestrisch so erfolgreichen Spermatophyten (260.000 bekannte Arten) sind lediglich 40 Arten als eigentlich marin zu bezeichnen (OTT, 1996).

Tierarten aus 28 der insgesamt 33 verzeichneten rezenten Tierstämme siedeln in den Ozeanen (cf. ANGEL, 1993). Der große Anteil an höheren systematischen Kategorien in den Meeren verweist auf den marinen Ursprung der mannigfaltigen Konstruktionsstypen tierischer Lebewesen. Marin endemisch sind 13 Stämme. Im Meer fehlen lediglich Vertreter aus zwei terrestrischen Gruppen, den parasitischen Pentastomida und rezenten Onychophora (OTT, 1996). Für den marinen Lebensraum ist bemerkenswert, daß sich nur in 12 Tierstämmen Repräsentanten mit permanenter pelagischer Lebensweise entwickelt haben (ANGEL, 1993); kein Phylum ist endemisch für das Pelagial.

Unter den rezenten marinen Tieren haben die Mollusca mit 70.000 beschriebenen Spezies die größte Artenvielfalt; es folgen die Crustacea (25.000), Osteichthyes (16.000), Cnidaria (8.000), Echinodermata (6.000) und mit jeweils 5.000 die Porifera und Polychaeta. Im Tiefseebereich (ab 1.000 m Wassertiefe) zeigt das Pelagial eine deutliche Reduktion der Artenvielfalt bei 3.000 m, da vor allem räuberisch lebende Kleinfische und Chaetognathen ausfallen. Im Abyssopelagial (> 3.000 m) dominieren omnivore Amphipoden, wenige Fische, Medusen und Siphonophoren. Im Benthos nimmt der Artenreichtum von der Küste bis zum Kontinentalfuß (3.000 m) zu; gegen die Tiefsee-Ebenen und Hadalzone fällt die Artenzahl ab (GERLACH, 1994; OTT, 1996).

„Im ganzen Ozean, so groß er auch ist, lebt nichts, das wir nicht kennen.“ Die heutige biologische Tiefseeforschung hat diesen Kenntnisstand, einst konstatiert von PLINIUS dem Älteren (cf. SEIBOLD, 1996), bei weitem noch nicht erreicht. Der Lebensraum Tiefsee selbst ist in seinen Grenzen nicht eindeutig definiert. Die Verteilung der Organismen läßt in Relation zu Tiefe, geomorphologischer Struktur und Temperatur keine Abgrenzung zu. So besiedeln charakteristische Komponenten der Schelffauna in den niederen Breiten den Kontinentalabhang bis in über 1.000 m Tiefe, während in den Polargebieten Tiefseeorganismen flache Schelfzonen bewohnen. Das Archibenthal (300-900 m) bildet in hohen Breiten eine Übergangszone, da Elemente der Schelf- als auch der eigentlichen Tiefseeafauna anzutreffen sind. In niederen Breiten liegt diese Zone zwischen 1.000 und 3.000 m (tropische Submergenz); allerdings bestehen nur wenige faunistische Gemeinsamkeiten zwischen Schelf und Abyssal. Unterteilungen des Abyssals in unterschiedliche Tiefenregionen und die Abgrenzung des Hadals (Zone der Tiefseeegräben) als selbständiger Lebensraum bleiben vorläufig, da die Aussagekraft der berücksichtigten Kriterien, wie das Fehlen, die Seltenheit oder Häufigkeit und auch der Endemismus bestimmter Organismen bzw. Organismengruppen, von dem jeweiligen Kenntnisstand abhängig ist (GAGE & TYLER, 1992; OTT, 1996).

Das erst in den 70er Jahren in der Galapagos Rift-Region entdeckte eigenständige Ökosystem an den untermeerischen heißen Schwefelquellen (Thermalquellen) verdeutlicht sehr drastisch unsere mangelnde Kenntnis über mögliche Untergliederung der einheit-

lich erscheinenden Tiefsee in kleinskalige Räume mit Lebensgemeinschaften, deren Systeme durch charakteristische physiko-chemische Faktoren kontrolliert werden und spezifischen Organismen Lebensraum bieten.

J. ROSS fing im frühen 19. Jahrhundert (1818) die ersten Lebewesen in der Tiefsee. Diese Entdeckung widersprach späteren Untersuchungsergebnissen von FORBES (publ. 1839) aus dem Mittelmeer, die besagten, daß unterhalb von 300 - 700 m Tiefe kein Leben existieren könne (spezielle, lokale physiko-chemische Umweltfaktoren bedingte dieses Resultat). Die Auffassung entsprach der damaligen generellen Anschauung über die Lebensfeindlichkeit der Tiefsee. Die Beobachtung, daß mit zunehmender Tiefe die Temperatur abnimmt, führte sogar zur Vorstellung von einer ewigen Eisschicht auf dem Tiefseeboden (cf. EKMAN, 1967; GAY & TYLER, 1992).

Die Expeditionen von J. C. ROSS und HOOKER Mitte des 19. Jahrhunderts in die südlichen Ozeane erbrachten frühen Nachweis einer unerwartet großen Artenvielfalt in der Tiefsee. Die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen an Tiefseeorganismen publizierte M. SARS im Jahr 1851! Etwa zeitgleich beschrieben BAILEY und HUXLEY bodenlebende Foraminiferen aus abyssalen Tiefen des Atlantiks. Die Diskussion um die FORBESsche Hypothese war wesentlicher Anstoß für die Durchführung wichtiger meereskundlicher Expeditionen. So wurden während der „Challenger“-Expedition (1873-76) neben physikalisch-chemischen Untersuchungen auch Vorkommen und Verteilung der Organismen in großen Tiefen erforscht. Die Plankton-Expedition 1889 (HENSEN; DAHL; KRÜMMEL) lieferte grundlegende Daten über die quantitative Planktonverteilung. Die Deutsche Tiefsee-Expedition („Valdivia“ 1898-99) erbrachte Erkenntnisse zur Existenz einer Lebensgemeinschaft des Meso- und Abyssopelagials. Die planmäßige Erforschung des Südatlantiks während der „Meteor“-Expedition (1925 - 27) führte u. a. zur Klärung der Tiefenzirkulation der Wassermassen im Atlantik. Doch erst während der „Galathea“-Expedition (1950-52) wurde schließlich endgültig nachgewiesen, daß Tiere auch die größten ozeanischen Tiefen, die pazifischen Tiefseeegräben, besiedeln können (EKMAN, 1967; GAGE & TYLER, 1992; OTT, 1996).

Bei den frühen Tiefseeaufsammlungen wurden lebende Tiere aus Organismengruppen eingebracht, die seinerzeit nur als Fossilien bekannt waren. Diese Funde führten zu der Auffassung, daß die Tiefsee ein Refugium für Organismengruppen darstellen könnte, die man bereits seit langer Zeit ausgestorben wähnte. Diese Vermutung fand bis heute allerdings keine Bestätigung, da in Flachwasserzonen eine vergleichbare Anzahl von „lebenden Fossilien“ entdeckt wurde (GAGE & TYLER, 1992; GERLACH, 1994).

Noch in den 60er Jahren unseres Jahrhunderts dominierte die Auffassung, daß der Lebensraum Tiefsee wesentlich durch die Gleichförmigkeit der Umweltfaktoren kontrolliert wird und nur eine relativ geringe Artenvielfalt beherbergt. Generell galt das Konzept

eines markanten Gradienten für Individuendichte und Artenanzahl mit zunehmender Entfernung von den Küsten und steigender Wassertiefe (WOLFF, 1977). Vor allem durch Einsatz technisch weiterentwickelter Fanggeräte - einschließlich der bemannten Tauchboote bzw. Tauch-Roboter - und die ergänzende Anwendung sorgfältigerer Sortiermethoden wurden unerwartete, neue Erkenntnisse über den Lebensraum Tiefsee erzielt. Bisher unbekannte Lebensgemeinschaften wurden im Umfeld der bereits erwähnten Thermalquellen, der „Cold Seeps“ (Austrittsstellen von Methan, Erdgas, oder Erdöl) und im Bereich der bodennahen Trübungszone (Benthic Boundary Layer) entdeckt.

Für das Tiefsee-Pelagial wird eine globale Artenarmut, allgemein vom epipelagischen Phytoplankton bekannt - 3.500 bis 4.500 Spezies (SOURNIA et al., 1991) - durch die Forschung für alle pelagischen Taxa belegt (ANGEL, 1993). Beispielsweise sind von den 12.000 bis 14.000 marinen Fischarten nur 1.000 pelagisch (MADIN & MADIN, 1995). Die Artenarmut scheint mit einer mangelnden Diversität an Ökosystemen im Pelagial korreliert, die u. a. in Zusammenhang mit der enormen latitudinalen Ausdehnung derselben Wassermassen in abyssalen Tiefen gebracht wird (im Atlantik >2.700 m). Dies führte zu einer Fauna mit ubiquitären Taxa. Der rapide Austausch des Tiefenwassers der Ozeane (>1.500 m; Zeitraum zwischen 250 und 500 Jahren) und wenige Verbreitungsbarrieren erhöhen das Potential für raschen, großräumigen Genfluß zwischen den Populationen (ANGEL, 1993).

Nach ANGEL (1993) nimmt im Atlantik die Artenanzahl in einer Wassersäule bis 2.000 m Tiefe latitudinal von Nord nach Süd zu; ihr Maximum fällt mit der Frontzone zwischen dem Süd- und Nordatlantischen Zentralwasser zusammen. Die Kline ist eng assoziiert mit den saisonal fluktuierenden Produktionsprozessen in den höheren Breiten und den gleichmäßiger verlaufenden in den subtropischen Zonen. Auffällig ist, daß eine erhöhte Artenvielfalt mit geringerer Biomasseproduktion korreliert. Ein gleicher Befund liegt für die Weichbodenfauna der Tiefsee vor; die höchste Artendiversität ist unterhalb der oligotrophen Zone des nordpazifischen Wirbels zu verzeichnen (GAGE & TYLER, 1992; POORE & WILSON, 1993).

Entscheidende Faktoren für die Diversifikation bei pelagischen Organismen (MADIN & MADIN, 1995) sind Unterschiede in der raumzeitlichen Vertikalverteilung (Größenordnung in der räumlichen Verteilung: vertikal 10^{-3} m, horizontal 10^3 km; cf. ANGEL, 1993), das angebotene Nahrungsspektrum (bei Nahrungskonkurrenz Einnischung in verschiedene Tiefenhorizonte) und das Reproduktionsverhalten der Tiere (zeitgleiches Treffen der Geschlechter wird z. B. durch Lumineszenzmuster bzw. Ausscheidung von Pheromonen herbeigeführt).

Neuere Erkenntnisse weisen nun darauf hin, daß lokale, kleinskalig auftretende Mischungsvorgänge in der Wassersäule für die Ausbildung raumzeitlich begrenzter Bereiche mit erhöhter Produktivität verantwortlich sind. Der Transport dieser „klimatischen“ Änderung in

die tieferen Regionen führt wiederum zu Unterschieden in Abundanz und Artendiversität (MADIN & MADIN, 1995).

Die Verbreitung pelagischer Lebensgemeinschaften ist korreliert mit den gleichförmigen, großskaligen Zirkulationssystemen in den Ozeanen (Van der SPOEL & PIERROT-BULTS, 1979; GAGE & TYLER, 1992; ANGEL, 1993) oder von diesen überlagert. Die Unterteilung ihrer Wassermassen in kleinskalige Provinzen wird durch geomorphologische Strukturen, jedoch im wesentlichen durch physikalisch-chemische Diskontinuitäten (Fronten) bewirkt (u. a. TETT & BARTON, 1995).

Der exakte Einsatz von Fanggeräten führte zur Entdeckung unbekannter, eigenständiger Lebensgemeinschaften im Pelagial. So weist die Grenzzone der „Mesopelagic Boundary“, assoziiert mit geomorphologischen Strukturen, gegenüber dem ozeanischen Mesopelagial eine distinkte Artengemeinschaft auf (spezieller untersucht sind Krebse und Fische; MADIN & MADIN, 1995). Strömungen am Tiefseeboden führen zur Resuspension sedimentierter Partikel und damit zur Ausbildung einer bis 200 m starken Trübungszone über dem Boden, die eine doppelt so hohe Biomasse aufweist wie die darüberliegende Wassersäule. Diese „Benthic Boundary Layer“ wird vor allem von kleinen Copepodenarten besiedelt. Die meisten Organismen dieser Zone sind wissenschaftlich noch nicht beschrieben. Die Trübungszone stellt wegen der Anreicherung von Biomasse aber auch für größere Räuber (Amphipoden, Fische) eine Attraktion dar (GOWING & WISHNER, 1986; ANGEL, 1990; GAGE & TYLER, 1992).

Nur der Tauchboot-Einsatz erlaubt direkte Beobachtung und den in situ-Fang der fragilen Formen des „gelatinösen Planktons“. Wichtige Kenntnisse wurden über Artendiversität und Individuendichte von Ctenophoren (bisher 40 neue Arten beschrieben), Siphonophoren und Medusen gewonnen. In den verschiedenen Lebensgemeinschaften des tiefen Pelagials lagen Abundanz und Artendiversität weit höher als bisher angenommen. Maximale Werte traten besonders in Bereichen starker Gradienten physiko-chemischer Parameter auf (SHUSHKINA et al., 1991; MADIN & MADIN, 1995).

Interspezifische Assoziationen zwischen gelatinösem Plankton und Krebsen, Würmern, Mollusken sowie Fischen sind weithin bekannt, konnten aber lediglich in wenigen Fällen an Hand von Netzfängen untersucht werden. Nur direkte Beobachtung ermöglicht hier Fortschritte in der Erforschung dieser speziellen Systeme des Pelagials.

Wie das Pelagial ist auch der Lebensraum des Tiefseebodens allgemein durch gleichförmige klimatische Eigenschaften charakterisiert und weist nur wenig Barrieren gegen eine Ausbreitung der Organismen auf. Die Konzeption einer generellen Artenarmut der Fauna des Tiefseebodens („Wüste der Ozeane“) erfuhr eine drastische Umkehr mit den Untersuchungen von R. HESSLER und H. SANDERS in den 60er

Jahren. Ihre Aufsammlungen mit dem Epibenthos-schlitten zeigten für das Tiefseebenthos eine erstaunliche Artenvielfalt, deren Größenordnung derjenigen tropischer Flachwassergebiete entsprach. Durch den Einsatz des Schlittens konnten Organismen aus Gruppen der Crustacea, Polychaeta und Mollusca entdeckt werden, die bei älterer Fang- und Gerätetechnik unbeobachtet geblieben waren (HESSLER & SANDERS, 1967; SANDERS & HESSLER, 1969; SANDERS, 1968). Mit einem einzigen Schleppzug konnte eine größere Artenzahl eingebracht werden, als es der Gesamtausbeute einer früheren Expedition entsprach (SANDERS, 1977).

Standardisierte, quantitative Kastengreifer-Aufsammlungen vor der amerikanischen Ostküste führten zu einem wesentlichen Fortschritt in der Struktur- und Artenanalyse der Lebensgemeinschaften am Tiefseeboden (GRASSLE, 1991). Auffällig war der Anstieg der Artenzahl mit Zunahme der beprobten Fläche. Die insgesamt beprobte Fläche von 50 m² enthielt 1.597 Arten. Die Untersuchung erfaßte nur die kleinere Makrofauna; Meio- und Nanofauna blieben unberücksichtigt. Die eingangs erwähnten Schätzungen der möglichen totalen Artenzahl benthischer Wirbelloser des Weichbodens in der Tiefsee basierten auf diesen Daten. Kalifornische und australische Studien in vergleichbaren bathyalen Tiefenzonen zeigen eine ähnlich hohe Artendiversität; die Zusammensetzung der Taxa ist aber eine nahezu völlig andere (GRASSLE, 1995). Ein regionaler Vergleich der Artendiversität unterstreicht die Artenvielfalt der Tiefsee. Das Makrobenthos des Kontinentalhangs vor der amerikanischen Ostküste umfaßt 707 Polychaeten- und 426 peracaride Krebsarten; die vieljährig untersuchten Schelfregionen der Chesapeake Bay und von Woods Hole weisen hingegen nur 119/226 Polychaeten bzw. 99/104 Peracariden auf (GRASSLE, 1991).

Die Entdeckung der Artenvielfalt in der Tiefsee legt einen Vergleich mit den tropischen Regenwäldern nahe. Beide Systeme sind entwicklungsgeschichtlich alt. Doch ist die Artenvielfalt im Regenwald um ein Vielfaches höher. Sie ist ursächlich verknüpft mit einer biogenen mikrostrukturellen Komplexität, die der Tiefsee in diesem Ausmaß fehlt (u. a. GAGE & TYLER, 1992). Den beiden Systemen ist weiterhin die sehr geringe Individuendichte der gefundenen Arten gemein. Im Tiefseebenthos erreichen die häufigsten Einzelarten maximal 8 % der Individuen-Abundanzen. Ausnahmen sind die Spezialisten der hydrothermalen Quellen, wie die über 2 m langen Riftia-„Würmer“ und 25 cm großen *Calypptogena*-Muscheln, mit ihrer hohen Individuendichte und Biomasse. Zwar repräsentieren die für diesen Biotop beschriebenen neuen Taxa neben vielen Arten auch Gattungen, Familien, Ordnungen und eine Klasse (Stamm?), doch wird die Diversifikation innerhalb der Biozönose der Thermalquellen mit etwa 300 Arten (5 % davon waren bereits bekannt) gegenüber der des umliegenden Tiefseebodens als gering eingestuft (GAGE & TYLER, 1992; OTT, 1996).

Einen Erklärungsansatz für die erstaunliche Artendiversität der Tiefsee formulierte SANDERS (1968) mit der „Time-Stability-Hypothese“. Hohe Stabilität der

physiko-chemischen Parameter und zeitlich lange, ungestörte Existenz des Lebensraumes fördert die Diversifikation durch feinere Strukturierung der Nischen und Ressourcenaufteilung. Jüngere Erkenntnisse deuten aber auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen der Artendiversität und der, in früheren Konzeptionen nicht beachteten, Heterogenität in Raum und Zeit. Von besonderer Wichtigkeit erscheint die fleckenhafte, kleinräumige Verteilung (cm² bis m²) und - in Ergänzung zum saisonalen - das episodische Angebot und Vorkommen der Nahrung (Exporttransporte aus der höheren Wassersäule); Bodenströmungen bewirken ihre unregelmäßige Verteilung in Vertiefungen und Senken (u. a. GAGE & TYLER, 1992).

Aktivitäten der Tiere (Fortbewegung, Nahrungssuche, Bauten, Anhäufen von Fäzes) verursachen im und auf dem Sediment strukturelle Veränderungen / Störungen (Bioturbation), die Attraktionen für die Ansiedlung spezifischer Organismen darstellen, in deren Folge andere Siedler bzw. Räuber auftreten. So entstehen raumzeitlich sehr kleinskalige Habitate, die die Existenz spezifischer Biozönosen mit diversen, distinkten Arten ermöglichen (GRASSLE, 1991; GAGE & TYLER, 1992; SNELGROVE & GRASSLE, 1995).

Erste in situ-Experimente bestätigen, daß kleinskalige Heterogenität den Lebensraum Tiefsee strukturiert und in ihr, außer in zwischenartlichen Interaktionen (Konkurrenz, Predation), eine wesentliche Konzeption für das Verständnis der außerordentlich hohen, lokalen Artendiversität liegt. Sedimentproben, mit unterschiedlichen organischen Partikeln angereichert, wurden jeweils von verschiedenen Arten besiedelt, die nicht mit denen des natürlichen Umfelds identisch waren. Der Artenbestand änderte sich mit dem Altern der ausgesetzten organischen Partikel (GRASSLE, 1991; SNELGROVE & GRASSLE, 1995).

Das Auftreten von Gradienten in Umweltparametern stärkt den Selektionsdruck innerhalb der Lebensgemeinschaften. Tiefenabhängige Gradienten zeigen in den Regionen des Kontinentalabhangs die stärksten Auswirkungen auf Populationsstruktur und Bestand der Arten. Auf demselben bathymetrischen Niveau können die Cañon-Topographie und die hangabwärts gerichteten Trübestrome zu einer raumzeitlichen Strukturierung beitragen (u. a. GAGE & TYLER, 1992).

Mit zunehmender Kenntnis der Tiefseefauna wandelten sich auch die Vorstellungen über ihre geographische Verbreitung. Wegen der vermuteten Gleichförmigkeit und Konstanz der Umweltfaktoren bestand noch etwa Mitte unseres Jahrhunderts die Konzeption weniger Faunenprovinzen, die sich ungefähr mit den großen Becken der Ozeane deckten. Erst nach Klärung des Zusammenhangs von Tiefengradient und Veränderung der Artendiversität wurde die Verbreitung der Tiere mit kleinskaligen geomorphologischen Strukturen und raumzeitlichen Prozessen in Verbindung gebracht. Im Gegensatz zu der Flachwasserfauna ist auf dem Genus-Niveau (oder höher) allerdings eine ausgeprägte globale Verbreitung festzustellen. Beispielsweise sind von 143 pazifischen Isopoden-Gattungen neun im Atlantik nicht vertreten (HESSLER

& WILSON, 1983). In der zoogeographischen Forschung wird zukünftig die Frage nach der Verbreitung isolierter Populationen bzw. als selten eingestufte Arten im Vordergrund stehen (ANGEL, 1993). Durch sorgfältige taxonomische Forschung und Nutzung der Ergebnisse aus DNA-Sequenzierung sind grundsätzliche zoogeographische Erkenntnisse zu erwarten, insbesondere über zurückgelegte Migrationswege und die Existenz von Fortpflanzungsgemeinschaften in großskaligen Verbreitungsräumen (CARON & GAST, 1995).

Überlegungen zur Speziation aus zoogeographischer Sicht setzen die exakte Identifikation der Arten voraus. Die Aufstellung relevanter, distinkter Merkmale ist nicht frei von Subjektivität. Möglicherweise hat die seinerzeit vorherrschende „Philosophie“ einer globalen Uniformität der klimatischen Bedingungen in der Tiefsee die Einstellung gefördert, offensichtliche Unterschiede in der Merkmalsausbildung nur als phänotypische Varianten und nicht als distinkte Artkriterien zu werten. Die Materialsichtung älterer Aufsammlungen unter Berücksichtigung neuerer taxonomischer Erkenntnisse führte innerhalb vieler Taxa zur Aufspaltung angeblich kosmopolitischer Spezies in zahlreiche Einzelarten (GAGE & TYLER, 1992). Die Fortsetzung dieser taxonomischen Überprüfung und vor allem die möglichst umfassende Aufnahme neuer Arten in der Tiefsee mit umfangreicher Dokumentation ihrer Eigenschaften, raumzeitlichen Verbreitung sowie funktionalen Stellung im Ökosystem gehören zur grundlegenden Aufgabenstellung, die Vielfalt zu beschreiben und einem tiefergehenden Verständnis näher zu bringen.

Literatur:

ANGEL, M. V. (1990): Life in the benthic boundary layer: connections to the mid-water and the sea floor. *Philosophical Transactions of the Royal Society London*, A 331: 15-28.

ANGEL, M. V. (1993): Biodiversity of the Pelagic Ocean. *Conservation Biology* 7, 4: 760 - 772.

CARON, D. A. and R. J. GAST (1995): Probing Biodiversity. *Molecular Techniques Offer Powerful New Tools*. *Oceanus* 38, 2: 11 - 15.

EKMAN, S. (1967): *Zoogeography of the Sea*. Sidgwick & Jackson, London, 417 pp.

GAGE, J. D. and P. A. TYLER (1992): *Deep-Sea Biology. A Natural History of Organisms at the Deep-Sea Floor*. First paperback edition, Cambridge, University Press, 504 pp.

GERLACH, S. A. (1994): *Spezielle Ökologie. Marine Systeme*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 226 Seiten.

GOWING M. M. and K. F. WISHNER (1986): Trophic relationships of deep-sea calanoid copepods from the benthic boundary layer of the Santa Catalina Basin, California. *Deep-Sea Research* 33, 7: 939 -961.

GRASSLE, J. F. (1991): Deep-Sea Benthic Biodiversity. The ocean bottom supports communities that may be as diverse as those of any habitat on Earth. *BioScience* 41, 7: 464 - 469.

GRASSLE, J. F. and N. J. MACIOLEK (1992): Deep-Sea species richness: regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples. *The American Naturalist* 139: 313 - 341.

HESSLER, R. R. and H. L. SANDES (1967): Faunal diversity in the deep sea. *Deep-Sea Research* 14: 65 - 78.

HESSLER, R. R. and G. D. F. WILSON (1983): The origin and biogeography of the malacostracan crustaceans in the deep sea. In: *Evolution, Time and Space: the Emergence of the Biosphere*, eds. R. W. Sims, J. H. Price and P. E. S. Whalley, London, Academic Press: 227 - 254.

LIPPS, J. H. and C. S. HICKMAN (1982): Origin, age and evolution of Antarctic and deep-sea faunas. In: *The Environment of the Deep Sea*, eds. W.G. Ernst and J. G. Morin, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall: 324 - 356.

MADIN, L. P. and K. A. C. MADIN (1995): Diversity in a Vast and Stable Habitat. Midwater is one of Earth's least explored Environments. *Oceanus* 38, 2: 20 - 24.

MAY, R. M. (1988): How many species are there on Earth? *Science* 241: 1441 - 1449.

MAY, R. M. (1992): Bottoms up for the oceans. *Nature* 357: 278 - 279.

OTT, J. (1996): *Meereskunde. Einführung in die Geographie und Biologie der Ozeane*. 2. Aufl., Ulmer Verlag, Stuttgart, 424 Seiten.

POORE, G. C. B. and G. D. F. Wilson (1993): Marine species richness. *Nature* 361: 597 - 598.

SANDERS, H. L. (1968): Marine benthic diversity: a comparative study. *The American Naturalist* 102: 243 - 282.

SANDERS, H. L. (1977): Evolutionary ecology and deep sea benthos. *Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Special Publications* 12: 223 - 234.

SANDERS, H. L. and R. R. HESSLER (1969): Ecology of the deep-sea benthos. *Science*, Washington 163:1419 - 1424.

SEIBOLD, E. (1996): Fülle des Lebens. *Natur und Museum* 126, 5: 141 - 150.

SHUSHKINA, E. A., Y. G. CHINDONOVA, M. E. VINOGRADOV and A. M. SAGALEVICH (1991): Marine Biology. Investigation of Ocean Zooplankton in the Kuril-Kamchatka Region from the Mir Deep-Water Submersible. *Oceanology* 31, 4:442 - 446.

SNELGROVE, P. V. R. and J. F. GRASSLE (1995): The Deep Sea: Desert AND Rainforest. Debunking the Desert Analogy. *Oceanus* 38, 2: 25 - 29.

SOURNIA, A., M.-J. CHRETIENNOT-DINET and M. RICARD (1991): Marine phytoplankton: How many species in the world ocean? *Journal of Plankton Research* 13: 1093 - 1099.

TETT, P. and E. D. BARTON (1995): Why are there about 5000 species of phytoplankton in the sea. *Journal of Plankton Research* 17, 8: 1693 - 1704.

WHITE, B. N. (1987): Oceanic Anoxic Events and Allopatric Speciation in the Deep Sea. *Biological Oceanography* 5: 243 - 259.

WILSON, E. O. (Ed.) (1988): *Biodiversity*. National Academy Press, Washington.

WOLFF, T. (1977): Diversity and faunal composition of the deep-sea benthos. *Nature* 267: 780 - 785.

Van der SPOEL, S. and A. C. PIERROT-BULTS, Eds. (1979): *Zoogeography and diversity of plankton*. Bunge, Utrecht, 410 pp.

Aktuelle Ergebnisse des Forschungsprojektes DISCOL für den vorsorgenden Umweltschutz

G. Schriever

Einführung

Manganknollen auf dem Meeresboden der Tiefsee sind seit der englischen Challenger-Expedition im Jahre 1872 bekannt. Jedoch erst vor etwas mehr als 30 Jahren begannen Industrie und Wissenschaft die Vorkommen zu untersuchen und entdeckten große, abbauwürdige Manganknollenfelder in 4.000 m bis 6.000 m Tiefe des Nordost- und Südostpazifiks. Nicht der Mangangehalt von etwa 30 - 40% waren für die Industrie interessant, sondern vor allem der Anteil an Nickel und Kobalt. Man plante, mit dem Abbau so schnell wie möglich zu beginnen, wenn die technischen Probleme der Förderung gelöst waren. Einen Dämpfer bekam diese Euphorie, als die Vereinten Nationen einen zukünftigen Abbau mit der Einführung des „Law of the Sea“ regelte und sich damit gegen die Vorstellungen der meisten Industriestaaten stellte. Gleichzeitig wurden erste, wenn auch vage, Umwelt-

schutzbestimmungen im Zusammenhang mit einem zukünftigen Abbau von Rohstoffen aus der Tiefsee aufgestellt.

Vorgeschichte des Projektes

Die Diskussionen um das Vorhaben, das jetzt unter dem Namen DISCOL bekannt ist, begannen im Jahre 1985. Zunächst war vorgesehen, einen von der Industrie geplanten Test eines Kollektorsystems begleitend zu untersuchen. Als sich jedoch herausstellte, daß dieser Test für die ökologische Fragestellung nicht das leisten konnte, was erforderlich war, nämlich die Störung einer großen zusammenhängenden Fläche, sondern nur einzelne schmale Spuren in der Breite des Testkollektorsystems (3,5 m) erzeugt werden würden, wurden der technische Test und die Umweltuntersuchungen voneinander getrennt. Die Arbeiten am nordöstlichen Rand des Deutschen Anspruchsgebietes im Südostpazifik vor der Küste Perus wurden 1989 auf Wunsch des damaligen Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) aufgenommen (Abb. 1).

Mit der Trennung von der industriellen Entwicklung war einerseits die Forderung verbunden, ein System zu entwickeln, das den Meeresboden adäquat stören würde, andererseits zeigt sich nachträglich, daß DISCOL noch nicht begonnen hätte und auch in absehbarer Zeit nicht beginnen würde, da alle weiteren technischen Entwicklungen und Tests in der Zwischenzeit eingestellt worden sind.

Nach langen Überlegungen und Planungen wurde die Störung mit einem Gerät gesetzt, das den Namen „Pflugegge“ erhielt (Abb. 2). An einem eggenähnlichen Rahmen wurden Agrar-Pflüge nach beiden Seiten weisend in gleichmäßiger Verteilung angebracht, so daß eine 8 m breite Spur gepflügt werden konnte. Vom Prinzip her hat sich die Pflugegge ausgezeichnet bewährt. Die erhebliche Skepsis, mit der zahlreiche Beobachter die Vorbereitungen für die erste DISCOL-Expedition betrachteten, wurde dankenswerter Weise erst nach der erfolgreich gesetzten Störung des Tiefseebodens bekannt.

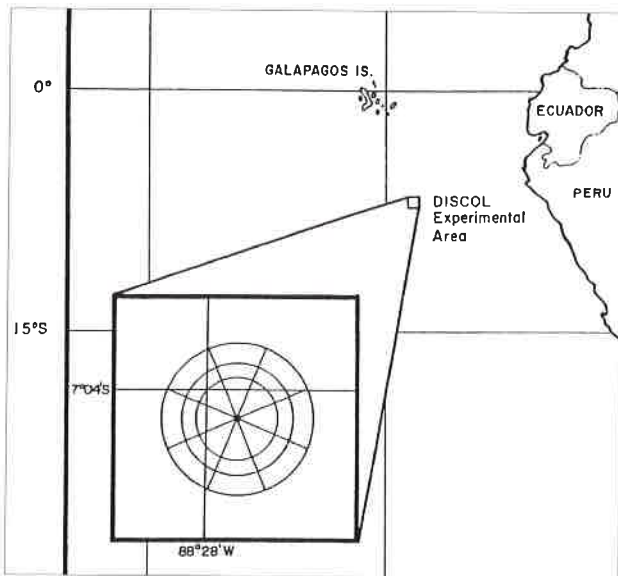


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet im Südost-Pazifik.

Abb. 2: Die Pflugegge.



Wissenschaftliche Arbeitsziele

In bestimmten Regionen des Nord- und Südpazifiks ist der Meeresboden dicht mit Manganknollen belegt (Abb. 3). Das Ziel des Forschungsvorhabens DISCOL ist es, das Ausmaß von Schäden durch den Manganknollenabbau abschätzen zu lernen.

Die Kollektorsysteme werden beim zukünftigen kommerziellen Abbau nach Möglichkeit so geschleppt, daß die Sammelbahnen eng nebeneinander liegen. Bei diesem Vorgang wird der Lebensraum entscheidend verändert und zwar durch:

- Abschürfung oder Aufwirbelung der Sedimentoberfläche in den Sammelbahnen;



Abb. 3: Ein Tiefseefisch über einem Manganknollenfeld im 4.100 m Wassertiefe.

- Aufwirbelung von Sediment durch das Schleppen des Kollektorsystems;
- Ausstoß möglichst hoher Anteile des mit den Knollen aufgenommenen Sediments in unmittelbarer Nähe über Grund;
- Sedimentation der aufgewirbelten und ausgestoßenen Sedimentmassen im Nah- und Fernbereich.

In den Sammelspuren kann von einer völligen Zerstörung der Lebensgemeinschaften ausgegangen werden. Naheliegende, schmale intakte Streifen, die nicht von den Kollektorsystemen erfaßt werden, werden von aufgewirbeltem oder ausgestoßenem Sediment übersedimentiert. Es muß damit gerechnet werden, daß die Fauna in diesen Bereichen ebenfalls stark beeinflusst wird. Aus dieser Situation wurden zwei verbundene Fragestellungen entwickelt:

- Wie schnell kann die gestörte Fläche des Meeresbodens wieder besiedelt werden ?
- Wie lange dauert es, bis die Lebensgemeinschaft sich bis zu einem „normalen“ Zustand erholt hat?

Es ist noch nicht möglich, das Ausmaß der Lebensraumstörung vollständig zu simulieren, da dieses nur durch Kollektorsysteme möglich wäre, wie sie später im Gewinnungsprozeß tatsächlich eingesetzt werden. Experimentell ist es bisher aber ebenfalls nicht möglich, die Manganknollen abzuräumen, wie es im kommerziellen Tiefseebergbau geschehen wird.

Im Vorhaben DISCOL ist eine großflächige Störung gesetzt worden, die dennoch die kommerziellen Störungen im gewissen Umfang simuliert (Abb. 4).

Abb. 5: Verlauf der Wiederbesiedlung durch die Megafauna (Tiere größer als 4 cm) in Abhängigkeit von der Störung und Zeit (1989 - 1992).

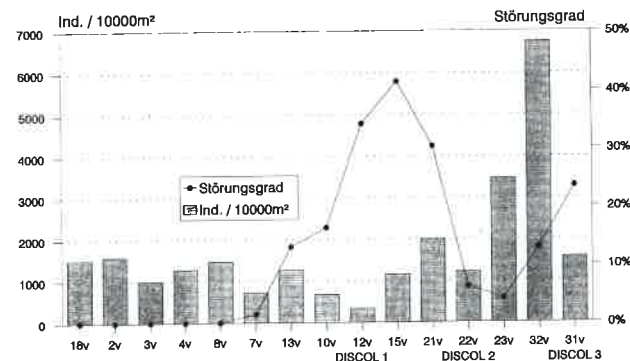


Abb. 4: Von der Pflugegge gestörter Meeresboden.

DISCOL, abgeleitet von Disturbance and Re-colonization, untersucht den Prozeß der Wiederbesiedlung des Meeresbodens, die Entwicklung zur „normalen“ Lebensgemeinschaft. Im Anschluß an Ergebnisse aus dem Flachwasser muß damit gerechnet werden, daß sich zunächst opportunistische Arten (Schnell-Siedler) einfinden werden, denen Langsam-Ansiedler folgen. Durch Sukzession verschiedener Artenkombinationen wird sich in einem lang andauernden Prozeß eine stabile Lebensgemeinschaft einstellen.

Ablauf des Projektes

Zentrale Aktivitäten waren die Expeditionen

- DISCOL 1, 02. Februar - 03. April 1989, FS SONNE-Reise SO 61;
- DISCOL 2, 02. September - 03. Oktober 1989, FS SONNE-Reise SO 64;
- DISCOL 3, 26. Januar - 27. Februar 1992, FS SONNE-Reise 77 und
- ATESEPP, 01. Januar - 03. Februar 1996, FS SONNE-Reise 106 in die DISCOL-Experimental Area (DEA) (Abb. 1).

Die um vier Wochen längere Reise DISCOL 1 hatte durch den experimentellen Forschungsansatz ein breiteres Aufgabenspektrum. Sie gliederte sich in fünf verschiedene Arbeitsphasen, von denen sich die Phasen 3 und 4 zum Teil überschneiden:

- Phase 1: Suche nach einer geeigneten, flachen und felsfreien Region mit dem Tiefenecholotsystem SEABEAM. Video- und Fotoeinrichtungen, Transpondermarkierung des Arbeitsfeldes;
- Phase 2: Basisuntersuchungen der ungestörten Verhältnisse am Meeresboden;
- Phase 3: Ausführung der Störung mit der Pflugegge, zwischenzeitlich Video- und Fotobeobachtungen zur Erfolgskontrolle;
- Phase 4: Nachuntersuchung;
- Phase 5: Aussetzen von Strömungsmesserkette und Langzeitkamera.

Für die Störung wurde eine kreisförmige Fläche mit einem Durchmesser von zwei Seemeilen - entsprechend knapp 11 km² - ausgewählt, die als DISCOL Experimental Area bezeichnet wird. Diese Fläche wurde mit der Pflugegge 78 Male gequert. Die Anordnung bedingt starke Störung im Zentrum und geringere Störung in den peripheren Bereichen der DEA. Die

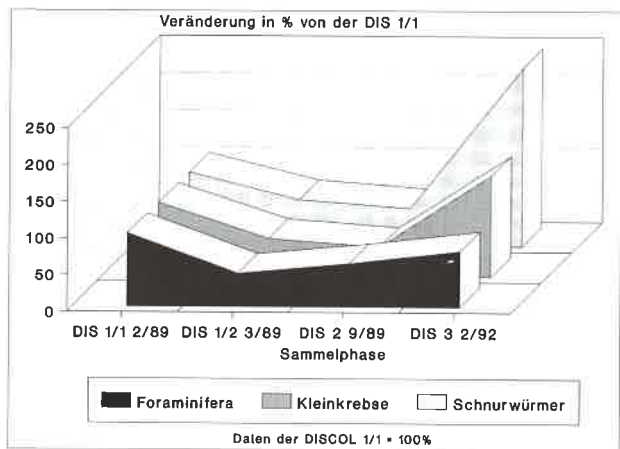


Abb. 6: Verlauf der Wiederbesiedlung am Beispiel der prozentualen Veränderung von drei Meio-Faunagruppen (Tiere kleiner als 1 mm) im Verhältnis zur Basisuntersuchung (1989 - 1992).

Berechnung der gepflügten Fläche ergibt, daß etwa 20% durch den direkten Kontakt mit der Pfluggege gestört werden konnten, während die übrige Fläche eine mehr oder weniger starke Abdeckung mit Sediment erhalten hat. Auch außerhalb des Kreises sedimentierte ein Teil der Wolke.

Ergebnisse zum Wiederbesiedlungsprozeß

Um den Wiederbesiedlungsprozeß nach der Störung beurteilen zu können, wurde eine Basisuntersuchung der Bodentiere, die im und auf dem Sediment leben, durchgeführt. Die dabei gefundenen Lebensgemeinschaften wurden als Ausgangswert zur Beurteilung des Wiederbesiedlungsprozesses angesetzt. In den Abbildungen 5 und 6 ist der Verlauf für die Megafauna (Tiere größer als 4 cm) und die Meiofauna (Tiere kleiner als 1 mm, die im Sediment leben) bis 3,5 Jahre nach der Störung (DISCOL 1 / 2 - DISCOL 3) aufgezeichnet. Die großen Tiere gehen mit zunehmender Störung stark zurück und auch 6 Monate nach der Störung ist nur eine geringe Zunahme der Anzahl zu verzeichnen. Bei den kleinen Tieren im Sediment ist ein drastischer Rückgang der Tierzahlen bei allen drei Gruppen zu verzeichnen, der sich sechs Monate später weiter fortgesetzt hat. Dies führen wir auf eine Störung der Nahrungskette für diese Organismen zurück, die dazu führt, daß sich die Zahl der Tiere weiter verringert. Nach 3,5 Jahren hat sich die Situation jedoch stark verändert. Sowohl bei den großen, als auch bei den sehr kleinen Organismen ist es zu einem starken Anstieg der Zahlen gekommen. Ein deutlicher Hinweis auf den begonnenen Wiederbesiedlungsprozeß. Die Zahl der gefundenen Tiere in den verschiedenen Gruppen ist sogar deutlich höher als bei der Basisuntersuchung vor der Störung. Dies ist der normale Verlauf eines Wiederbesiedlungsprozesses. Erst nach längerer Zeit pendelt sich die Anzahl der Organismen auf den „Basiswert“ wieder ein, und die reinen Zahlen zeigen lediglich, daß der Wiederbesiedlungsprozess begonnen hat. Die Bestimmung der verschiedenen Tierarten in den Proben der Basisuntersuchung und den Nachuntersuchungen haben gezeigt, daß

nach der Störung deutlich weniger Arten in den entsprechenden Proben vertreten waren und bei der dritten Nachuntersuchung im Februar 1992 einige Arten mit sehr hohen Zahlen vertreten waren. Diese Arten waren offenbar in der Lage, den Lebensraum, den jetzt fehlende Arten freigelassen haben, vermehrt zu besiedeln. Auch die Foto- und Videoaufnahmen unserer Expedition vom Januar 1996 haben ein weiteres Fortschreiten des Wiederbesiedlungsprozesses erkennen lassen, aber als abgeschlossen ist er auch knapp sechs Jahre nach der Störung noch nicht zu bezeichnen.

Der Lebensraum Manganknollenfeld in der Tiefsee wird nach einem kommerziellen Abbau der Manganknollen ganz anders aussehen als zuvor. Die Manganknollen bilden als Hartsubstrat neben den weichen Sedimenten einen zusätzlichen Lebensraum für Tiere, die auf den Knollen, im Südpazifik aber auch in den Knollen leben. Diese Organismen werden nach dem Abbau ihren Lebensraum endgültig verloren haben und auch nicht mehr in der Lage sein, wieder hier zu siedeln. Der Lebensraum verändert sich von einem Mischsubstrat aus Knollen und Sediment zu einem reinen Weichsubstrat, eine unabwendbare Veränderung, die aber bei einem kommerziellen Abbau in Kauf genommen werden muß. In welchem Stadium sich der Wiederbesiedlungsprozeß sieben Jahre nach der Störung befindet, darüber wird die Aufarbeitung der Proben von der Expedition im Januar 1996 vielleicht Aufschluß geben.

Die Tiefsee-Umweltschutz-Gruppe und der Tiefsee-Umweltschutz-Forschungsverbund

DISCOL entstand als vorwiegend biologisches Projekt aus einem ursprünglich sehr viel breiteren Forschungsansatz, der auch andere ozeanographische Disziplinen berücksichtigen sollte. Gleichzeitig ergab sich aus Diskussionen mit dem Bundesministerium für Forschung und Technologie jedoch, daß

- weitere Forschungsvorhaben zum Tiefsee-Umweltschutz angeregt und
- diese mit Vertretern aus der Wirtschaft und aus den Ingenieurwissenschaften diskutiert und abgestimmt werden sollten.

Aus diesen Vorgaben entwickelten sich

- die Tiefsee-Umweltschutz-Gruppe (TUSCH-Gruppe) mit Vertretern aus Ministerien, aus der Wirtschaft, den Ingenieur- und den ozeanographischen Wissenschaften, sowie
- der Forschungsverbund Tiefsee-Umweltschutz der mitarbeitenden Wissenschaftler.

Durch diese Einrichtungen sind Wissenstransfer und Beratung zwischen den verschiedenen Interessengruppen gesichert. Die Forschungsarbeiten können durch den Austausch von Informationen und Ideen an technischen Vorgaben und die technischen Entwicklungen sowie wirtschaftlichen Überlegungen an den Erkenntnissen der ozeanographischen Forschungen orientiert werden. Insgesamt wird seit 1992 in neun geologischen, geochemischen, ozeanographischen und biologischen, vom Forschungsministerium geförderten Projekten im DISCOL-Gebiet im Südost-Pazifik gearbeitet.

Bemerkenswerte Witterungsereignisse und ihre Auswirkungen an der Ostküste der Insel Rügen im Winterhalbjahr 1995/96

R. Reinicke

Im Spätherbst 1995 und im Winter 1995/96 gab es im Bereich der südwestlichen Ostsee eine Reihe bemerkenswerter Witterungsereignisse: das schwerste Sturmhochwasser seit 1954 und einen ungewöhnlich langen Eiswinter. Einige der dadurch verursachten Auswirkungen auf die Küste Ostrügens wurden u. a. im Rahmen von Geländebeobachtungen vom Autor dokumentiert und sind in diesem Beitrag zusammengefaßt.

Sturmhochwasser vom 3. / 4. November 1995

Nach langanhaltenden Winden aus westlichen Richtungen kam es am 3. / 4. November 1995 bei einem Nord- bis Nordoststurm mit Windgeschwindigkeiten bis zu 27 m / sec (Windstärke 11), in Spitzen bis 35 m/sec (Windstärke 12), zum schwersten Sturmhochwasser seit dem 4. Januar 1954. Dabei wurden in der Nacht vom 3. zum 4. November 1995 folgende Maximalwasserstände über NN erreicht: Sassnitz 1,30 m, Stralsund 1,62 m, Lauterbach 1,64 m, Greifswald/Wieck 1,77 m und Stahlbrode 1,81 m.

Besonders betroffen auf der Insel Rügen war die ost- bzw. nordostexponierte Außenküste. Hier tobte bei auflandigem Wind zusätzlich eine schwere Sturmbrandung, die sich durch eine Windwirklänge von mehr als 700 km aufbauen konnte. Durch den Stau der Buchten wurde ihre Wirkung zusätzlich verstärkt. Deshalb kam es im Bereich der Flachküsten der Schaabe (Tromper Wiek), der Schmalen Heide (Prorer Wiek), der Baaber Heide und des Großen Strandes (Abb. 1) zu erheblichen Schäden. Auf langen Strecken wurde der bewachsene, bis zu drei Meter hohe Dünenwall um mehrere Meter zurückgeschnitten - vor Prora stellenweise um 13 Meter. Diesen als Deich fungierenden Dünenwall konnte das Hochwasser allerdings an keiner Stelle durchbrechen. Es drang nicht von der Außenküste, sondern vielmehr rückseitig von den Bodden und vom Strelasund her in die nicht eingedeichten Küstenniederungen vor. Diese standen großflächig unter Wasser (Abb. 2). Auf Mönchgut durchbrach das Hochwasser die Boddendeiche bei Gager und an zwei Stellen zwischen Groß Zicker und Thiessow. Als eine der Ursachen für diese Durchbrüche wird die Vernachlässigung der dortigen Deichanlagen angesehen. Auf den vom Hochwasser überfluteten Wiesen der Zickerniß-Niederung bei Gager ertranken mehr als 400 Schafe, die man nicht mehr in Sicherheit bringen konnte. Überspült wurde der „Wall“ zwischen Thießower Haken und dem Inselkern von Klein Zicker und der dort gelegene Campingplatz. Hier und an einigen anderen Stellen der ostrügenschen Boddenufer entstanden Schäden durch Unterspülungen.

Einen ähnlich starken Küstenrückgang wie am Dünenwall verzeichnete man an den Kliffs aus pleistozänen Schmelzwassersanden im Bereich der Granitz (besonders am Quitzlasler Ort), am Göhrener Inselkern und am Gelben Ufer auf dem Zudar. Die Intensität der

Abtragung während des Sturmhochwassers war an diesen Bereichen derart groß, daß die Transportkraft des Wassers nicht ausreichte, um den vom Kliff abgespülten Sand weiterzutransportieren. Das führte dazu, daß etwa 0,4 bis 0,7 m über dem Niveau des Strandes eine neue Strandterrasse aufgeschüttet wurde, die bei rasch sinkendem Wasserstand zurückblieb. An diesen Sandaufschüttungen bildeten sich später niedrige sekundäre Kliffs aus. Diese umfangreichen Sanddepots wurden erst im Laufe des Jahres 1996 bei erhöhten Wasserständen abgetragen.

Durch die beim Sturmhochwasser meterhoch gegen die Kliffs tosende Brandung wurden auch an den wesentlich widerstandsfähigeren Geschiebemergel- bzw. Kreidekliffs alles gelockerte Material abgetragen und die Steilufer geglättet. Auf diese Weise entstanden an vielen ostrügenschen Kliffs (besonders an denen der Halbinsel Jasmund) ungewöhnlich gute Aufschlußverhältnisse (Abb. 3), die einen ausgezeichneten Einblick in den geologischen Bau der Steilufer erlaubten. Bereits wenige Tage nach dem Ereignis setzte eine Regenperiode ein, gefolgt von langanhaltendem Frost. Das führte nicht nur zu zahlreichen neuen Rutschungen und Abbrüchen der teilweise übersteilten Kliffs (z. B. am Kieler Ufer an der Kreidesteilküste von Jasmund), sondern leider auch zu einer raschen und weitgehenden oberflächlichen Zerstörung der bei dem Sturmhochwasser geglätteten und daher für Kartierung und Fotodokumentation idealen Oberfläche. So existieren nur wenige Dokumente vom Zustand der ostrügenschen Kliffs unmittelbar nach diesem Ereignis.

Abb. 1: Der Große Strand vor Thießow auf Mönchgut unmittelbar nach dem Sturmhochwasser, Dünenwall um mehr als 5 m zurückgeschnitten (4. 11. 1995).





Abb. 2: Sturmhochwasser auf Mönchgut/Südostrügen. Die nicht eingedeichte Niederung an der Baaber Beek zwischen Baabe und Moritzdorf (im Hintergrund) (4. 11. 1995).

Vereisung der Gewässer

Ein ungewöhnlich kalter Dezember ließ Bodden und Strelasund bereits in der ersten Monatshälfte zufrieren. Vom Januar bis März des Jahres 1996 war auf Rügen jeder Tag ein Frosttag (Tage mit Temperaturminimum unter 0 °C). Im Januar und Februar registrierte man je 21 Eistage (Tage mit Dauerfrost), im März noch fünf. Von Anfang Januar bis Mitte Februar lag kaum Schnee. Es gab zwar keine extrem tiefen Temperaturen, dafür aber ungewöhnlich langanhaltende Kälte. Im Vergleich zum strengen Eiswinter 1986/87 verzeichnete man sogar mehr Frost- bzw. Eistage. Während der Kahlfrost den Boden ungewöhnlich tief durchfrieren ließ, kam es auf den Gewässern zu einer besonders langen Eisperiode.

Durch den langandauernden Frost vereisten nicht nur die Bodden, sondern auch die freie Ostsee vor der Außenküste. Charakteristisch für den Eiswinter 1995 bis 1996 waren große, auf der Ostsee treibende Eisfelder, die - abhängig von der Windrichtung - oft innerhalb kurzer Zeit zu einer völligen Änderung der Eissituation führen konnten. Deshalb zeigte das Eis auch um Rügen herum eine sehr ungleichmäßige Verteilung. Während beispielsweise vor den exponierten Uferzonen der Halbinseln Jasmund und Wittow im Februar und März lange Zeit nur ein schmaler Randeisgürtel lag, waren Tromper Wiek und Prorer Wiek von Ende Januar an völlig mit zusammengescho-

nem und -gefrorenem Scholleneis bedeckt. Stürmische Winde aus Ost bzw. Nordost hatten am 24. Januar und vom 19. bis 21. Februar 1996 auf der Ostsee treibendes Eis nicht nur in diese Buchten, sondern auch in den inneren Bereich der Pommerschen Bucht vor Südostrügen gepreßt.

Eiswälle und Eiskliffs

Am lange Zeit stabilen Eisrand vor der Außenküste arbeitete die Brandung. Durch sie wurde nicht nur kleinscholliges Eis ausgeworfen, sondern auch der Eisrand geformt. Auf diese Weise bildeten sich, besonders an den schmalen Randeisgürteln vor den nordrügenschten Steilufnern, auf langen Strecken Eiswälle und Eiskliffs (Abb. 4) heraus. Einige der uferparallel verlaufenden Randeiswälle erreichten dort drei Meter Höhe. An manchen Stellen lagen mehrere derartige Eiswälle hintereinander, so u. a. östlich vom Königshörn bei Glowe. Dort konnten im März auch längs der Eiskante verlaufende, mehrere Meter breite, bis zu 100 Meter lange, braunschwarze Streifen beobachtet werden (Abb. 5), die aus der Entfernung an ausgeworfenes Öl erinnerten. Bei genauer Betrachtung handelte es sich um fein zerleinerte Rotalgen, zum allergrößten Teil um Reste des Gabeltanges (*Furcellaria fastigiata* L.). Ursache für diesen Algenauswurf war die kräftige Brandung vor dem unterhöhlten Eiskliff. Durch das mit Eisstücken durchsetzte, kräftig durchbewegte Wasser wurden offensichtlich auf Grund der dort herrschenden geringen Wassertiefen (1 bis 2 m) die auf Geschiebeblockfeldern am Meeresboden wachsenden Algen abgerissen und vom Spritzwasser ausgeworfen.



Tote Wasservögel am Eisrand

Anfang März (TV und Presseberichte 11. - 14. 03. 96) wurden an den Eisrändern vor den Ostküsten der Insel Rügen zahlreiche verendete Wasservögel mit veröltem Gefieder - hauptsächlich Eis-, Trauer- und Samtenten - gefunden (nach Angaben des WWF insgesamt etwa 10.000 vor Rügen). Die Vögel zeigten ein teilweise, manche auch ein völlig veröltes Gefieder und hatten z. T. Ölreste im Verdauungstrakt. Geringe Ölreste konnten auch im Wasser kleiner Buchten am Eisrand vor dem „Randeiskliff“ beobachtet werden. Als Ursache für die Ölansammlung wurde zuerst eine Schiffshavarie vermutet. Trotz intensiver Bemühungen des STAUN (Staatliches Amt für Umwelt und Natur) Stralsund und WWF (u. a. Beobachtungen vom Flugzeug aus) konnten weder ein Verursacher noch eine größere Ölkonzentration gefunden werden. Nach den analysierten Proben aus dem Gefieder der Enten handelte es sich bei dem Öl um Rückstände von sogenanntem Bunker-C-Öl. Dieses von größeren Schiffen genutzte Dieselöl muß an Bord gereinigt werden. Rückstände davon wurden wahrscheinlich - trotz strengsten Verbotes - in die Ostsee eingeleitet. Die Art der Verteilung und die etwas krümelige Konsistenz mancher Ölreste könnte nach eigenen Beobachtungen zum gleichen Zeitpunkt auch dafür sprechen, daß es sich hier teilweise um die Konzentration von Öl und Ölkohleresten (Ruß) handelte, die als permanente Emission aus dem Schiffsverkehr herrühren (z. B. aus Abgasen). Der Niederschlag aus der Abgas-Emission ist bei Kälte besonders hoch. Durch die extrem lange Eislage konnten diese Substanzen nicht, wie normal, an die Strände getrieben, dort an organisches Material gebunden und auf natürliche Weise abgebaut

Abb. 3: Zustand des Kliffs zwischen Mukran und Sassnitz kurz nach dem Sturmhochwasser vom 3. / 4. November 1995 (2. 12. 1995).

werden. Vielmehr konzentrierten sich diese vom Wind angetriebenen Reste vor dem Eisrand gerade an jenen Stellen, an denen auch Wasservögel nach zusammengespülter Nahrung tauchten. Viele andere, beim oder nach dem Eisaufruch an den Bodden beobachtete, tote Enten (wie beispielsweise die im April zu Hunderten am Strand vor dem Zickerschen Höft am Greifswalder Bodden gefundenen) zeigten allerdings äußerlich keine Ölkontamination.

Eisaufpressungen am Greifswalder Bodden

Der Greifswalder Bodden war bereits seit Mitte Dezember 1995 vereist und trug bis in den April 1996 hinein eine geschlossene Decke aus Kompakteis bzw. Packeis. Die mittlere Eisstärke betrug im Februar - März etwa 40 - 60 cm. Wasserstandsschwankungen und kurzzeitiges Tauwetter konnten diese Eisdecke im Laufe des Eiswinters nur in den östlichen Randbereichen des Boddens kurzzeitig aufbrechen. Das Fahrwasser vom Osttief bzw. Landtief durch den Greifswalder Bodden und den Strelasund zum Stralsunder Hafen mußte von Januar bis in den April hinein durch laufenden Einsatz von Eisbrechern befahrbar gehalten werden. Das Wasser- und Schifffahrtsamt Stralsund setzte hier - wie auch zeitweise vor den Häfen Sassnitz und Mukran - hauptsächlich den schweren Eisbrecher „Stephan Jantzen“ ein. Am Greifswalder Bodden kam es im Februar zu bemerkenswerten Eisaufpressungen. Ein schwerer



Abb. 4: Randeiswälle und Eiskliff unmittelbar nördlich vom Lobber Ort auf Mönchgut/Südostrügen (24. 2. 1996).



Abb. 5: Algenauswurf durch Spritzwasser an der Kompakteiskante („Randeiskliff“), etwa ein Kilometer östl. vom Königshörn am Nordstrand der Halbinsel Jasmund (9. 3. 96).

Wintersturm aus Nordost mit Orkanböen führte im Zeitraum vom 19. bis 21. Februar 1996 zu Sturmhochwasser. Dadurch wurde das gesamte Eis des Boddens angehoben. Der Sturm verursachte zwar keinen Eisaufbruch, dafür aber - verstärkt durch die Trichterwirkung der Pommerschen Bucht - offensichtlich einen Schub der geschlossenen Eisdecke. Am Ostufer des Palmer Ortes auf dem Zudar - im westlichsten Teil des Greifswalder Boddens - entstand dabei ein strandparallel verlaufender, etwa 300 Meter langer und bis zu fünf Meter hoher Wall aus grob-

scholligem Eis (Abb. 6). Die meisten Schollen besaßen eine Dicke von 0,3 bis 0,4 Metern. Die höchsten Eisaufpressungen fanden sich dabei unmittelbar an der Landspitze des Palmer Ortes. Nach Norden hin wurde der Eiswall schmäler und niedriger. Im südlichen Bereich der Aufpressung lag er vor dem flachen Dünenwall. Nördlich davon entstand ein etwas land-

Abb. 6: Eisaufpressungen am Palmer Ort auf der Halbinsel Zudar, der Südspitze der Insel Rügen - sie erreichten stellenweise fünf Meter Höhe (4. 3. 1996).



einwärts versetzter, bis an den Waldrand reichender Eiswall. Auf einem kurzen Abschnitt hatten sich die dort etwa zwei Meter hoch aufgetürmten Schollen gegen die 5 - 6 m hohen Kiefern geschoben und deren Stämme teilweise geknickt (Abb. 7).



Eisaufpressungen sind am Palmer Ort in Eiswintern - nach dem Eisaufruch - häufig zu beobachten. Ungewöhnlich war die Dimension der Eiswälle, besonders aber die Tatsache der Aufpressung vor dem eigentlichen Eisaufruch, also bei noch geschlossener Festeisdecke. Begünstigt wurde die Mobilität des Eises im Bereich des Ostufers der Halbinsel Zudar offenbar durch die in unmittelbarer Nähe verlaufende, von Eisbrechern laufend aufgebrochene Fahrinne sowie durch die vor Palmer Ort vorhandene geringe Neigung der sandigen Schorre gegen die Schubrichtung, d. h. nach Osten hin.

Eisaufschiebungen gab es auch am Gelben Ufer auf dem Zudar. Dieses etwa zwei Kilometer nördlich vom Palmer Ort gelegene Kliff besteht überwiegend aus Schmelzwassersand und -kies. Das grobschollige Eis wurde hier an dem etwa acht bis zehn Meter hohen Steilufer aufgeschoben und erreichte an einer Stelle fast die Kliffkante (Abb. 8). Beim Eisschub wurde auch Lockermaterial vom Strand aufgenommen - hauptsächlich jenes, das bei den durch das Sturmhochwasser vom 3. / 4. 11. 1995 verursachten Rutschungen noch am Fuße des Kliffs lag. Beim Niedertauen blieben dadurch an einigen Stellen des Strandes langgestreckte, bis zu zwei Meter hohe „Endmoränen“ aus zusammengeschobenem Sand und Kies sowie Pflanzenteilen zurück, in denen das teilweise eingeschlossene Eis nur sehr langsam schmolz. Ähnliche, etwas niedrigere Bildungen gab es am Palmer Ort (Abb. 9).



Der Eisaufruch erfolgte ungewöhnlich spät, aber recht rasch in der ersten Aprildekade. Ungewöhnlich warmes Wetter verursachte ein schnelles Tauen des Eises (am 20. / 21. April wurden Tageshöchsttemperaturen um 25 °C gemessen). Da es nach dem Eisaufruch keinen Starkwind gab, kam es dabei zu keinen weiteren Eisaufpressungen am Greifswalder Bodden. Ungewöhnlich waren allerdings jene Eisreste, die noch am 10. Mai am Strand unmittelbar südlich vom Gelben Ufer auf dem Zudar lagen.



Literatur:

Dokumentation der Sturmflut vom 3. und 4. November 1995 an den Küsten Mecklenburgs und Vorpommerns.- Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt des Landes Mecklenburg/Vorpommern, Schwerin 1996.
 Presseinformationen der Umweltstiftung WWF Deutschland vom März 1996.

Abb. 7 (oben): In den Wald geschobene Eisschollen, ca. 300 m nördlich Palmer Ort/Zudar (4. 3. 1996).

Abb. 8 (Mitte): Eisaufpressungen am Gelben Ufer/Zudar. Das Eis wurde an dieser Stelle etwa sechs Meter am Kliff aufgeschoben (8. 4. 1996).

Abb. 9 (unten): „Endmoränen“ - mit Eis durchsetzte Wälle aus Sand, Kies und organischem Material nach dem Niedertauen der Eisaufpressungen am Palmer Ort (7. 5. 1996).

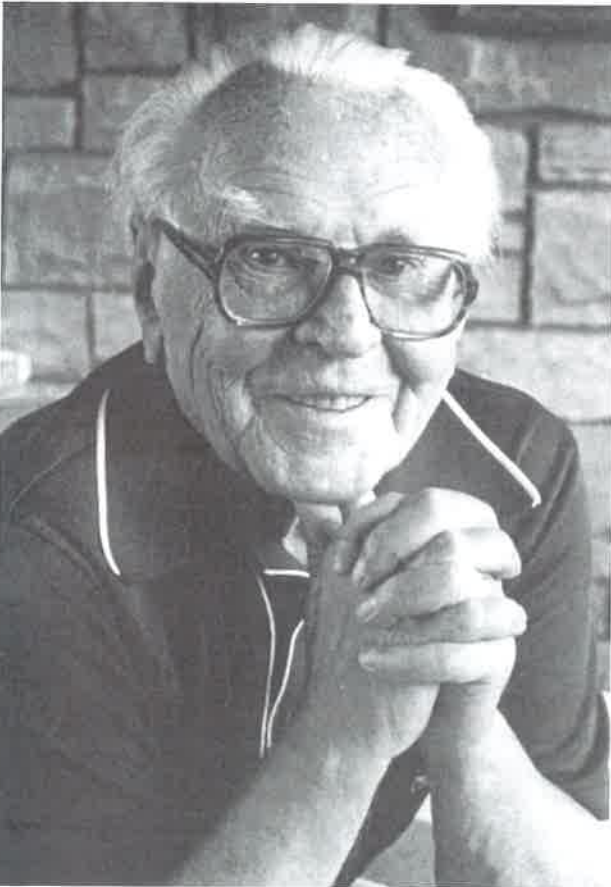
Professor Dr. Johannes Holtfreter - ein berühmter Wissenschaftler und begabter Künstler Vorpommerns

V. Hamburger und W. Fiedler

Holtfreters Leben und Wirken (V. Hamburger *)

Johannes Holtfreter wurde 1901 in Richtenberg in Vorpommern geboren. Er war der Sohn eines wohlhabenden Brennereibesitzers. Im Jahre 1914 siedelte die Familie nach Stralsund um.

Johannes Holtfreters Interesse an Pflanzen und Tieren erwachte schon in jungen Jahren. In Richtenberg begann er eine Sammlung von Schmetterlingen, die bald alle Arten der Gegend umfaßte. In Aquarien und Terrarien pflegte und züchtete er Fische, Molche, Eidechsen und Schlangen.



Johannes F. C. Holtfreter
1901 - 1992

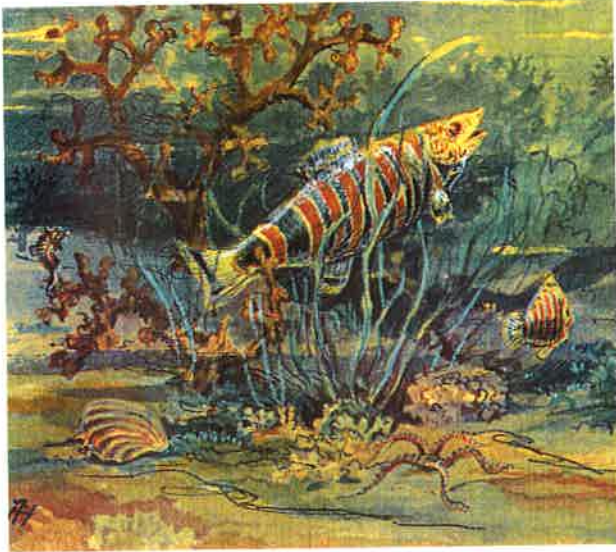
Er begann seine Universitätsstudien in Rostock und Leipzig. Im Frühjahr 1920 ging er zur Universität Freiburg. Dort war Professor Hans Spemann, der Direktor des Zoologischen Instituts, ein schon damals bekannter Experimental-Embryologe. Gleichzeitig mit Holtfre-

ter kam auch ich an dasselbe Institut. Aber wir wurden dort nur flüchtig miteinander bekannt, weil er mit Leib und Seele Wandervogel war, während ich der Jugendbewegung fern stand. Ende 1924 bestanden wir beide das Doktor-Examen.

Unsere Freundschaft begann, als wir Anfang 1925 an der Zoologischen Station in Neapel eintrafen, um mit der Meeresfauna bekannt zu werden. Wir durchstreiften zusammen die wunderbare Umgebung, die an Natur- und Altertumsstätten reich ist. Aber eines Tages verschwand er, und ich hatte jahrelang keinen Kontakt mehr mit ihm. - Er wurde der Wissenschaft untreu und widmete sich seiner besonderen Gabe für Malen und Zeichnen. Er lebte erst monatelang bei einer Bäckerfamilie in einem Dorf auf der Insel Ischia in der Nähe von Neapel und wanderte während der folgenden Monate zu den Kunststätten Italiens: nach Rom, Florenz, Venedig und zu entlegenen Naturwundern in Sizilien und Kalabrien. In all dem offenbarte sich eine Grundeigenschaft seiner Persönlichkeit, die Abenteuerlust, die ihm später, als er wieder in der Wissenschaft tätig wurde, sehr zustatten kam. Nach seiner Rückkehr nach Stralsund bereitete er sich ohne Begeisterung auf ein Lehramt am Gymnasium vor. Er malte Porträts der Freunde seines Vaters. Die Zukunft sah trübe und unsicher aus.

Unabsichtlich hatte ich Anteil an seiner Wiederkehr zur Wissenschaft. Seit 1926 war ich Assistent in der Abteilung für Experimentelle Embryologie am Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie in Berlin-Dahlem, dessen Direktor Dr. Otto Mangold, Spemanns ältester und bevorzugter Schüler, war. Im Jahre 1928 rief mich Spemann nach Freiburg zurück, und Mangold bot Holtfreter die offene Stelle an, die er sogleich annahm. Die Gelegenheit zur Forschung war ideal, da man keine Lehrverpflichtungen hatte. Plötzlich - es war wie ein Wunder - entfaltete sich Holtfreters Schöpferkraft. Die experimentelle Embryologie war seine wahre Berufung. Die Experimente, die er im nächsten Jahrzehnt an Amphibien-Embryonen ausführte (bis 1933 in Dahlem und dann am Münchener Zoologischen Institut als Außerordentlicher Professor) waren so bedeutend und originell, daß er der führende Experimental-Embryologe seiner Generation wurde. Er arbeitete vorwiegend an Molch-Embryonen. Molche wurden im Frühjahr in den Teichen der Umgebung gefangen; die Eiablage erfolgte dann in Aquarien im Laboratorium. Mit den von Spemann erfundenen Glasinstrumenten wurden Transplantationen und andere Experimente an jungen Embryonen ausgeführt. Sie erforderten eine ruhige Hand und viel Geduld. Holtfreter gelang es, die alten von Spemann bearbeiteten Probleme auf ganz neue Bahnen zu lenken, und er erfand auch ganz neue experimentelle Methoden zur Analyse dieser Probleme. Eines der wichtigsten Ergebnisse der neuen Richtung war der Durchbruch zu einer biochemischen Behandlung von Entwicklungsprozessen. Sehr bald waren zahlreiche Laboratorien in Europa und Japan mit diesem Zweig

* Viktor Hamburger, geboren 1900, Promotion (Zoologie) 1925 in Freiburg, Rockefeller-Stipendiat 1932 - 35 in Chicago, 1935 apl. Prof., 1939 ao. Prof., 1941 - 1968 Professor für Zoologie an der Washington Universität St. Louis M. O. und Direktor der Abteilung Zoologie bis 1966, emeritiert 1968. Hamburger war seit 1925 mit J. Holtfreter befreundet. Er lebt jetzt in St. Louis.



I wish I were a fish
(aus dem künstlerischen Schaffen Holtfreters)

der Biologie beschäftigt. Die dreißiger Jahre wurden die fruchtbarsten seines Lebens. Seine Arbeitskraft war unbegrenzt. Allein im Jahre 1933 schrieb er sechs wichtige Arbeiten, die 400 Seiten umfaßten. Damals hatte er nur eine Laborantin als Hilfe. Die Arbeiten wurden nur gelegentlich unterbrochen, wenn Gastvorlesungen an europäischen Universitäten zu halten waren.

Das Jahr 1936 brachte eine willkommene Pause. Holtfretter erhielt ein Reisestipendium, das er erst zu längeren Besuchen an amerikanischen Universitäten benutzte. Den Rest des Jahres verbrachte er auf einer Reise um die Welt, aber diesmal nicht als Wissenschaftler, sondern als Abenteurer mit künstlerischen Ambitionen. Sie begann in Hawaii, ging dann nach Japan, China und Java. Die zwei glücklichsten Monate verbrachte er auf der Insel Bali. Wie üblich, lebte er bei den Eingeborenen. Er nahm teil an ihren Tempel-

Time is ill, time stops progressing
(aus dem künstlerischen Schaffen Holtfreters)



festen, an den berühmten Tanzveranstaltungen, die von Gamelan-Musik begleitet waren, und nächtlichen Schattenspielen. Er brachte eine große Sammlung von Zeichnungen und Radierungen von Landschaften und Menschen heim.

Als er 1937 nach München zurückkehrte, fand er die von den Nazis geschaffene politische Atmosphäre bedrückend. Kurz vor Kriegsausbruch wanderte er nach England aus, wo ihn befreundete Kollegen der Universität Cambridge unterstützten. Aber da er rein arisch war, wurde er nach Kriegsausbruch als feindlicher Ausländer nach Kanada verschifft. Einige Jahre verbrachte er in einem Lager. Nach seiner Entlassung arbeitete er am Zoologischen Institut der Mc Gill-Universität in Montreal. 1946 wurde er als Professor der Zoologie an die Universität in Rochester, im Staate New York der USA, berufen, wo er bis zum Ende seines Lebens blieb. Zwar erreichte er nicht mehr seine frühere Produktivität, aber er veröffentlichte noch einige wichtige Arbeiten, die noch heute zitiert werden. Dagegen entwickelte er jetzt zum ersten Mal eine ausgiebige Lehrtätigkeit. Seine Schüler schätzten ihn sehr, und mit vielen verbanden ihn freundschaftliche Beziehungen. Seine Persönlichkeit war dazu geschaffen. Er war gesellig, heiter und aufgeschlossen, er kannte keine Alters- und Standesunterschiede. Und er hatte einen feinen Sinn für Humor. Viele seiner Zeichnungen und Radierungen sind sarkastisch, z. B. hat eine Grafik den Titel „Die Zeit ist krank“: Eine riesige Wanduhr liegt auf dem Fußboden einer Klinik, einige ältere Ärzte mit besorgten Mienen behorchen sie mit Hörrohren. Einen Überblick über sein künstlerisches Schaffen hat seine Frau 1995 veröffentlicht unter dem Titel „A Pictorial Autobiography“.

Hannes war auch ein begabter Zauberkünstler. Wenn er uns besuchte, unterhielt er unsere Kinder mit seinen Zaubereien. Sein Natursinn und die Liebe zu Tieren begleiteten ihn sein ganzes Leben. Ein Hündchen, dem er einige Tricks beigebracht hatte, verließ ihn nie. Eine Veranda in seinem Haus war bevölkert mit Wellensittichen und einheimischen Vögeln, einem Leguan und Eidechsen, die frei herumliefen.

Ein besonderes Ereignis in seinem Leben war die Hochzeit mit seiner japanischen Assistentin Hiroko Ban. Sie bereicherte sein Leben über drei Jahrzehnte, und sie sorgte treulich für ihn, als seine Gesundheit nachließ. Er starb im November 1992. Ich verlor einen treuen Freund und anregenden Kollegen, die Embryologie verlor einen ihrer begabtesten Pioniere.

Holtfretter in seiner Heimat, Ehrungen in Richtenberg und Stralsund (W. Fiedler)

Die Kleinstadt Richtenberg, früher Kreis Franzburg-Barth und jetzt zum Landkreis Nordvorpommern gehörend, entdeckte ihren bedeutenden Sohn erst 1995. Der Stadtarchivar und Familienforscher Rudolf Biederstedt (†) aus Greifswald hatte mich auf einer Tagung der Gesellschaft für Pommersche Geschichte, Altertumskunde und Kunst auf Johannes Holtfretter aufmerksam gemacht, was mich bewog, an den Universitäten Nachforschungen über ihn anzustellen. Daß Professor Holtfretter in seiner Heimat bisher weitgehend unbekannt geblieben ist, hängt mit der politi-

schen Entwicklung in Deutschland zusammen. Johannes Holtfreter war ein von Freiheitswillen und Toleranz beseelter Mensch. Er hat sich nach der Machtübernahme durch Hitler nicht von der damals herrschenden Begeisterung anstecken lassen. Nach dem Einwirken der NS-Prinzipien im Universitätsbereich blieb Holtfreter weiter kritisch distanziert und politisch völlig inaktiv. 1938 hat man ihn aus dem Staatsdienst entlassen. Im Jahr zuvor war eine Bewerbung um einen Lehrstuhl in Erlangen möglicherweise deshalb erfolglos geblieben, weil über ihn eine negative Beurteilung vom Münchener Dozentenführer vorgelegen hat. Holtfreter emigrierte schließlich über die Schweiz nach England. Nach der Internierung und Entlassung aus dem Lager erhielt er in Kanada Einbürgerungspapiere. Später wurde er amerikanischer Staatsbürger. Eine Rückkehr in das Nachkriegsdeutschland kam für ihn nicht mehr in Betracht, jedenfalls lehnte er 1949 einen Ruf, an das Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie nach Hechingen zu kommen, ab.

Eine einzige Zeitungsnotiz von 1947 fand ich in der für Mecklenburg herausgegebenen „Landeszeitung“, die sich auf Presseberichte in Kanada und den USA bezieht und Holtfreters Verdienste für die Forschung hervorhebt.

Eine Reise, die er 1972 in seine Heimat unternahm, bereitete ihm eine große Enttäuschung. Der in aller Welt geachtete und inzwischen hoch geehrte Wissenschaftler durfte die Institute der Ernst-Moritz-Arndt-Universität in Greifswald nicht betreten.

1914 waren Holtfreters Eltern von Richtenberg nach Stralsund in die Schill-Str. 36, die ehemalige Fischerstraße, gezogen. Das stattliche Haus ist noch erhalten. Dieses Palais verkauften die Eltern 1944 und zogen in die Sarnowstr. 2. Ihre Grabstätte befindet sich auf dem städtischen Friedhof in Richtenberg.

In der herrlichen Umgebung Richtenbergs und Franzburgs, damals noch am See gelegen, lernte der junge Johannes die Schönheiten der heimischen Tier- und Pflanzenwelt kennen. In Stralsund, der traditionsreichen Hansestadt, traf er auf vortreffliche Lehrer, was seine Phantasie und künstlerische Begabung weiter beflügelte. Auch verstärkte sich in ihm die Sehnsucht, fremde Länder kennenzulernen. Johannes sollte aber einen „ordentlichen“ Beruf ergreifen; sein Vater hatte für seine Neigungen zum Künstler und die Abenteuerlust kein Verständnis. So legte Holtfreter also noch, wenn auch erst 1927, in Greifswald die Prüfung für den Lehramtsberuf ab. Lehrer an einer Schule ist er allerdings nicht geworden, dafür aber ein bei seinen Studenten und Assistenten sehr geschätzter Hochschulprofessor.

1995 besuchte seine Frau, Dr. Hiroko Holtfreter, Greifswald, Stralsund und Richtenberg. Sie wurde begleitet vom Ehepaar Prof. Dr. Lehmann aus Münster, den ehemaligen Mitarbeitern Holtfreters in Rochester. Kurz vor ihrem Eintreffen konnte in Stralsund in der Burmeister-Gedenkstätte des Deutschen Museums für Meereskunde und Fischerei eine kleine Ausstellung fertiggestellt werden. Und Oberkustos Horst Schröder führte die Gäste durch die Einrichtungen.

Am Brennereihaus der ehemaligen Firma J. C. Holtfreter, dem Geburtshaus des Professors, in der Richtenberger Langen Straße wurde von Bürgermeisterin



Frau Dr. Hiroko Holtfreter (r.) enthüllt in Richtenberg eine Gedenktafel, auf der zu lesen ist:

Brennereihaus der Holtfreterschen Kornbranntweinbrennerei und Brauerei (1795).

Hier wurde am 9. 1. 1901 der weltbekannte Zoologe und Embryologe Prof. Dr. Johannes Friedrich Karl Holtfreter geboren.

Gestorben am 13. 11. 1992 in Rochester, N. Y. USA

Ingrid Kerber und Frau Dr. Holtfreter eine Gedenktafel enthüllt. Diese hatte dankenswerterweise die Pommern-Spirituosen GmbH „Sonne“ gestiftet.

Das Holtfreter-Haus ist seit 1957 in städtischem Besitz, und es wurde bis Anfang 1996 vom Diakonischen Werk der Pommerschen Evangelischen Kirche als Altenpflegeheim genutzt.

Nach einem Empfang der Bürgermeisterin nahmen Gäste, Stadtvertreter und Bürger im Rathaus Gelegenheit, eine Holtfreter-Ausstellung, Dokumente und Bildreproduktionen, zu betrachten. Über dieses Ereignis berichtete die „Ostsee-Zeitung“ in ihrer Stralsunder Ausgabe am 13. 9. 1995.

Neue Erkenntnisse erlaubten es, die im Burmeister-Haus in Stralsund befindlichen Informationen zu aktualisieren. Hier haben die zahlreichen Besucher des Meeresmuseums und andere Gäste der Stadt kostenlos Zugang zu einer Bildungsstätte, die jetzt auch über Professor Johannes Holtfreter, einen bedeutenden Gelehrten und Künstler aus Vorpommern, informiert.

Einige seiner hunderte Porträts, Landschaften und Cartoons sind 1989 in einer Ausstellung der Rush Rhees Art Library Gallery der Universität Rochester N. Y. zu sehen gewesen.

Ein Nachruf „In Memoriam Johannes F. C. Holtfreter (1901 - 1992)“, verfaßt von Joseph T. Bagnara Ph. D., Prof. em. der Anatomie, Universität von Arizona, erschien in der internationalen wissenschaftlichen Zeitschrift „Developmental Biology“ 1993.

W. Fiedler dankt Herrn Prof. Hamburger herzlich, auch im Namen der Stadt Richtenberg, für seine aufschlußreichen Briefe über J. Holtfreter und dafür, daß er seine Schilderung über ihn für diese Veröffentlichung zur Verfügung gestellt hat.

Buchbesprechungen

Der Freskensaal der Stazione Zoologica Anton Dohrn - Biographie eines Kunstwerkes

Christiane Groeben
Gaetano Macchiaroli editore
Napoli 1995
79 S. mit 60, teils farbigen Abbildungen

Ein schmales, unscheinbares Bändchen liegt hier vor, das aber eindrucksvoll davon zeugt, wie bei der Entstehung der ersten Meeresbiologischen Station die naturwissenschaftliche Elite sich als Kulturträger in Europa betrachtete und wie selbstverständlich bei der Planung dieser völlig neuen meeresbiologischen Anstalt auch die bildende Kunst integriert wurde. Heute zählt der Freskensaal zu den bedeutenden Kunstleistungen des 19. Jahrhunderts; und die Zoologische Station Neapel zieht nicht nur viele meeresbiologisch interessierte Besucher an, sondern auch viele kunstinteressierte Touristen.

Anton Dohrn (1840 - 1909), der Gründer der Zoologischen Station Neapel, war früh durch sein Elternhaus, besonders durch den Vater Carl August Dohrn (1806 - 1892), mit vielen Wissenschaftlern und Künstlern zusammengekommen. Felix Mendelssohn war z. B. der Pate Anton Dohrns. Die fein verzweigten geistigen Verbindungen jener Zeit lassen sich nur noch erahnen, denn sie sind von zu viel barbarischem Müll überdeckt. Der berühmte Naturwissenschaftler Hermann Burmeister aus Stralsund war ja auch Freund der Familie und also auch in diesem Netz derer, die da Einfluß hatten, verwoben.

In seinem Bemühen, eine Zoologische Station zu gründen, wurde Anton Dohrn von dem Aufschwung der biologischen Wissenschaften durch die Evolutionsforschung in der Mitte des 19. Jahrhunderts begünstigt. Durch einflußreiche und engagierte Zoologen wurde sein Vorhaben unterstützt, so von Charles Darwin, Ernst Haeckel, Carl Vogt und Carl von Siebold. Als er dann die Möglichkeit erhielt, in Neapel seine Vorstellungen von einer zoologischen Arbeitsstätte direkt am Meer und mit Aquarien zu verwirklichen, war es für ihn selbstverständlich, daß auch die Kunst in solch einem Bauwerk etabliert sein müsse, und für den „Salon für die Musik“, ein solcher wurde eben auch selbstverständlich mit eingeplant, war an eine Ausgestaltung mit Wandgemälden und Plastiken gedacht. Ein Kreis von Künstlern scharte sich dann auch bald in Neapel um Anton Dohrn, von denen besonders der Maler Hans von Marées und der Bildhauer und Architekt Adolf Hildebrand zu nennen sind. Es war ein glückliches Zusammentreffen von kunstinteressierten Naturwissenschaftlern und bedeutenden Künstlern, denen es vergönnt war, verhältnismäßig unabhängig ihre neuen Auffassungen von Kunst zu verwirklichen und die auch ein positives Verhältnis zu den Naturwissenschaften besaßen.

Das Bändchen gibt sehr anschaulich und am Beispiel zahlreicher Abbildungen den Prozeß der Entstehung dieses Werkes wieder.

Es zeigt instruktiv, wie der Plan für die künstlerische Ausgestaltung entstand, sich entwickelte und schließlich verwirklicht wurde. Auch die Probleme, die damals schon aufkamen, werden deutlich. So der Fakt, daß der gedachte Musiksalon schon 1875 zu einer Bibliothek umfunktioniert werden mußte und damit der ursprüngliche Raumeindruck geschmälert wurde.

Aber die von Frans von Marées freskenförmig geplanten Gemälde konnten eben nur hier entstehen: in der Form des Tryptichons, mit Personen in der Umgebung des Meeres, in schlichter Haltung, aber durch die Form des Hintergrundes bedeutungsvoll aufgewertet. Andächtig gestimmte Besucher sollten sich vor diesen Bildern wie in eine religiöse Sphäre erhoben fühlen. Diese großen, architekturgebundenen Wandbilder und Fresken zeigen Menschen, wie man sie sich erträumte, von konstruktiver Gesinnung, in edler, bescheidener Haltung, aber als Krone der Schöpfung. Die künstlerische Bedeutung dieser Bildwerke ist erst in unserem Jahrhundert deutlich geworden, und glücklicherweise konnten sie in den

Jahren 1956 und 1974 gründlich restauriert werden. Erst anläßlich der Feier zum 150. Geburtstag von Anton Dohrn (1990) wurde der Saal endlich seiner ursprünglichen Bestimmung zugeführt.

Die Verfasserin dieser Studie endet mit dem Satz, der allen Planern ähnlicher Einrichtungen als Mahnung diene:

„In einem meeresbiologischen Forschungsinstitut haben Kunst und Wissenschaft in gleicher Weise Hausrecht - ganz wie der Stationsgründer das gewollt hatte-, weil nur durch eine Einheit des Wissens, die im Menschen ihren Mittelpunkt hat, sich die Harmonie verwirklichen kann, die zu einer ‚Kultur‘ führt, die dieses Namens würdig ist“.

Gerhard Schulze, Stralsund

Sammlung geologischer Führer, Band 88

Die deutsche Ostseeküste

K. Duphorn, H. Kliewe, R.-O. Niedermeyer, W. Janke und F. Werner;

Gebr. Borntraeger Berlin, Stuttgart 1995 (49.- DM)

281 S., 87 Abb., 6 Tab.

Erstmals in neuerer Zeit werden hier sowohl Geologie wie auch Geomorphologie der landschaftlich überaus vielfältigen deutschen Ostseeküste längs ihrer gesamten heutigen Erstreckung von der Flensburger Förde bis zum Oderhaff dargestellt - von ost- und westdeutschen Autoren gemeinsam herausgegeben und bewußt als erster „gesamtdeutscher“ Band dieser verdienstvollen Reihe angelegt.

In seinem 90 Seiten umfassenden allgemeinen Teil enthält das handliche Buch in gestraffter Form ein ausgezeichnetes Kompendium aller wesentlichen geologischen Verhältnisse und geodynamischen Vorgänge an dieser Küste. Von den zahlreichen neueren Erkenntnissen über das Präquartär des Untergrundes reicht das Spektrum über die pleistozänen und die holozänen Entwicklungen im Küstengebiet bis hin zu Genese, Klassifikation und Dynamik des aktuellen Formenschatzes der heutigen Küstenlandschaft. Dabei berührt die abgehandelte Thematik nicht nur die schmale Küstenregion mit Kliff und Strand, sondern u. a. auch die wichtigsten hydrographischen Besonderheiten der Ostsee und die Sedimente des Ostseebeckens.

Im regionalen Teil gelangen auf ca. 130 Seiten die geologisch interessantesten Küstenabschnitte sowie ausgewählte Aufschlüsse an der insgesamt über 700 km langen deutschen Ostseeküste zur Darstellung. Dargestellt sind außerdem auch die Besonderheiten an den Ufern der Förden, Bodden und Haffe. Zahlreiche Übersichten, Schnitte und Schemata verdeutlichen die geologische Situation und erleichtern das Verständnis der Lagerungsverhältnisse am jeweiligen Aufschluß. Mittels der in 18 Exkursionen zusammengefaßten Beschreibung und der dazu speziell empfohlenen Kartenwerke und Literatur (insgesamt über 600 Titel im Anhang) für einzelne Gebiete und Lokalitäten ist es sicher möglich, sich das Inventar der beschriebenen Uferzonen gut zu erschließen. Für Schleswig-Holstein sind im einzelnen beschrieben: Flensburger Förde, Schlei, Eckernförder Bucht, Probstei und Hohwacher Bucht, Wagrien und Fehmarn sowie die Lübecker Bucht. Für die Küste Mecklenburg-Vorpommerns sind es: Wismar-Bucht und Umgebung, Kühlungsborn - Rostocker Heide, Fischland - Darß - Zingst, Hindensee, Jasmund und Wittow (Rügen), Schaabe - Schmale Heide - Jasmunder Bodden (Rügen), Südost-Rügen, Südküste des Greifswalder Boddens, Nordwest-Usedom, Südost-Usedom sowie die Südküste des Kleinen Haffs.

Gleichermaßen für den vorgebildeten Laien wie für den Fachmann geeignet, ist der Band u. a. eine wertvolle Hilfe bei der Vorbereitung geologischer Exkursionen und damit sicher nicht nur für Studierende und Lehrer zu empfehlen.

Rolf Reinicke, Stralsund

20 Jahre „Shantys unterm Wal“



Seemanns-Chöre gibt es in vielen Küstenorten. Sie suchen und finden immer wieder originelle Auftrittsorte, mal auf der Mole, mal im Vereinslokal. Aber „Shantys unterm Wal“ gibt es auf der Welt wohl nur einmal, und zwar in der Hansestadt Stralsund! Im Meeresmuseum, im einstigen Chor der gotischen Katharinenhalle, hängt das fünfzehn Meter lange Skelett eines Finnwales. Und hier begann vor 20 Jahren die einzigartige Zusammenarbeit des Museums mit der Shanty-Gruppe, die sich heute „Saalhund“ nennt nach dem plattdeutschen Wort für Seehund. Am 19. Mai 1976 trat jener Männerchor der Stralsunder Volkswerft an dieser Stelle zum ersten Mal auf, und damit war die Veranstaltungsreihe „Shantys unterm Wal“ geboren. Sie erfreut sich bis heute großer Beliebtheit, zumal die Shanty-Gruppe auch bei Ausstellungseröffnungen, Familiensonntagen oder den Tagen des Meeres auftritt. Das Jubiläum soll uns Anlaß sein, auf die Geschichte der „Saalhunde“ einzugehen. Im Juni 1971, bei den ersten Betriebsfestspielen der Stralsunder Werft, sang die Shanty-Gruppe zunächst mit nur sechs Mitgliedern Volkslieder, später wurden es über ein Dutzend. Gründer der Gruppe, und seit 25 Jahren ihr Chef, ist der Putbuser Schiffbauingenieur Gerhard Wöller. Ihm ist es auch zu verdanken, daß dieser Chor so lange zusammengehalten und manche Flaute überstanden hat. Die künstlerische Entwicklung verlief relativ schnell und gradlinig, aber kostete sicherlich auch viel Schweiß. Die Gruppe ist dem Ursprung der Lieder - der ungeschminkten Wiedergabe des Seemannslebens zur Zeit der Windjammer - treu geblieben, faßt sie als nationales Kulturerbe auf und bietet sie so ernsthaft an, wie sie sind. Waren es anfangs noch die bekannten und gängigen Seemannsweisen, orientierte sich die Gruppe später auf fast vergessene Gesänge aus dem vorpommerschen und schwedischen Raum.

Ein sehr wichtiger Partner war das inzwischen verstorbene Ehrenmitglied der Gruppe, der Ehrenvorsitzende der Schiffercompagnie, Kapitän Gustav Drews. Er steuerte viel fachliches Wissen und manch originelle

Anregung bei, so zur Premiere des Programms „Noh den Süden to, dor foohrt een Schipp“ am 24. 6. 1982 unterm Wal, als in seiner Anwesenheit auch das von ihm wiederentdeckte Gedicht „Der ewige Teer“ vorgetragen wurde. Vor allem bis 1984 fanden eine Vielzahl von Veranstaltungen unterm Wal für die unterschiedlichsten Zielgruppen statt.

Auch der Stapellauf des Museums-Zeesbootes am Querkanal im Stralsunder Hafen 1987 wurde von der Shantygruppe künstlerisch umrahmt. Im April 1993 fand unterm Wal ein Familiensonntag zum Thema „Christliche Seefahrt“ statt. In der Talkshow mit dabei waren der Stralsunder Hafenkaptän W. Weinert, der Vorsitzende der „Stralsunner Klüverbohm Kommün e. V.“ Herr Ribbeck und natürlich der Shantychor mit dem Lied „Haal mi den Saalhund ...“, dem die Gruppe ihren Namen entlehnt hat. Die Besucher erfuhren an diesem Tag auch viel Wissenswertes über die Biologie sowie Vorkommen und Verbreitung der Seehunde. Die Vielzahl und Vielschichtigkeit der Veranstaltungen mit der Shantygruppe „Saalhund“ im Meeresmuseum können hier in der Kürze aber nicht vollständig wiedergegeben werden. Am 8. 6. 1996 feierte der zwölköpfige Chor erst einmal Geburtstag. Das Jubiläumskonzert konnte diesmal leider nicht unterm Wal stattfinden, da im Chor gerade eine Fußbodenheizung eingebaut wurde. Aber der Rahmen im 2. Obergeschoß der Katharinenhalle in der Ausstellung „Mensch und Meer“ zwischen den Robben war nicht weniger geeignet. Zur Feier am Abend im Bootshaus in der Friedrich-Naumann-Straße waren viele Freunde und ehemalige Sänger eingeladen. Wir wünschen den Jubilaren noch viele gemeinsame Veranstaltungen mit uns im Museum - solche auf der ganzen Welt nur in Stralsund stattfindenden „Shantys unterm Wal“.

K. Harder

Abbildung: Am 8. 6. 96 gratulierte K. Harder, Leiter für Öffentlichkeitsarbeit, im Namen des Meeresmuseums dem Leiter der Shantygruppe G. Wöller.

Mitarbeiter dieses Bandes:

- Prof. Dr. Dieter Adelung, Leiter der Abteilung Zoologie des Institutes für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel;
Dr. Hans Georg Andres, Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Taxonomischen Arbeitsgruppe der Biologischen Anstalt Helgoland, Hamburg;
Dr. Rudolf Bannasch, Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fachgruppe Bionik und Evolutionstechnik der Technischen Universität Berlin;
Dr. Harald Benke, Direktor des Deutschen Museums für Meereskunde und Fischerei, Stralsund;
Dr. Gerhard Bohrmann, Abteilung Marine Umweltgeologie des GEOMAR-Forschungszentrums für Marine Geowissenschaften an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel;
Prof. Dr. Angelika Brandt, Abteilung Niedere Tiere II (Crustacea, Polychaeta) des Zoologischen Institutes und Zoologischen Museums der Universität Hamburg;
Dr. Wolfgang Fiedler, Archivar im Kreis Nordvorpommern, Bereich Grimmen;
Prof. em. Dr. Viktor Hamburger, St. Louis, bis 1968 Professor für Zoologie an der Washington Universität St. Louis M. O. und Direktor der Abteilung Zoologie;
Dipl.-Biologe Klaus Harder, Oberkustos am Deutschen Museum für Meereskunde und Fischerei, Stralsund;
cand. rer. nat. Volker Christian Miske, Zoologisches Institut, Allgemeine und Spezielle Zoologie, Universität Rostock;
Dr. Axel Redlich, freiberuflich tätig als Biologe und Tierarzt, Diessen a. Ammersee;
Dipl.-Geologe Rolf Reinicke, Hauptkustos am Deutschen Museum für Meereskunde und Fischerei, Stralsund;
Dipl.-Biologin Edith H. Ries, Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Abteilung Aquatische Ökologie des Instituutes voor Bos- en Natuuronderzoek, Texel;
Dr. Roland Rihm, Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Vulkanologie und Petrologie des GEOMAR-Forschungszentrums für Marine Geowissenschaften an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel;
Dr. Gerd Schriever, Leiter des BIOLAB-Forschungsinstitutes in Hohenwestedt;
Dipl.-Biologe Gerhard Schulze, Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Deutschen Museums für Meereskunde und Fischerei, Stralsund;
Dr. Ursula Siebert, Wissenschaftliche Mitarbeiterin des Forschungs- und Technologiezentrums Westküste der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Büsum;
Dr. Ralf P. Sonntag, Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Forschungs- und Technologiezentrums Westküste der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Büsum;
Prof. Dr. Erwin Suess, Direktor des GEOMAR-Forschungszentrums für Marine Geowissenschaften an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel;
Dr. Friedrich-Wilhelm Tesch, Biologische Anstalt Helgoland, Hamburg;
Prof. Dr. Hjalmar Thiel, Leiter der Arbeitsgruppe Tiefseeökologie des Alfred-Wegener-Institutes für Polar- und Meeresforschung Bremerhaven.

Fotonachweis:

- | | |
|---|---|
| Adelung, D. (4): Seiten 27, 32. | Miske, V. Chr. (9): Seiten 75, 76, 77. |
| Bannasch, R. (5): Seiten 12, 14. | Pütz, K. (1): Seite 28. |
| Benke, H. (3): Seiten 3, 5 unten. | Redlich, A. (7): Seiten 34, 36, 37. |
| Bohrmann, G. (4): Seiten 58 oben, 59. | Reinicke, R. (11): Seiten 50, 87, 88, 89, 90, 91. |
| Brandt, A. (3): Seiten 69, 70. | Ries, E. H. (8): Seiten 18, 19, 20 oben, 23 Mitte, unten. |
| Creuwels, J. (3): Seiten 20 unten, 21 oben links. | Schriever, G. (2): Seite 85. |
| Dietz, R. (2): Seite 6 oben. | Sonntag, R. P. (5): Seiten 8, 9. |
| Donat, B. (1): Seite 22 unten rechts. | Suess, E. (1): Seite 58 unten links. |
| Engelhard, G. (1): Seite 21 oben rechts. | Tesch, F.-W. (2): Seite 41. |
| Erdmann, R. (1): Seite 96. | Thiel, H. (4) Seiten 52 oben, 53, 84. |
| Fiedler, W., Leipzig (1): Rücktitelfoto. | Torres, M. (1): Seite 58 unten rechts. |
| Fiedler, W., Richtenberg (1): Seite 94. | Townsend, F. (2): Seiten 4, 5 oben. |
| Kinzer, J. (1): Seite 51. | Traut, I. (1): Seite 23 oben. |
| Meijboom, A. (1): Seite 22 unten links. | Wilson, R. (3): Titelfoto, Seiten 26, 30. |

In dieser Schriftenreihe sind von 1980 bis 1995 die Bände 1 bis 11 erschienen. Die Bände 1 bis 4 sind vergriffen, die Bände 5 bis 11 können im DMMF bezogen werden.

MEER UND MUSEUM, Schriftenreihe des Deutschen Museums für Meereskunde und Fischerei, 12, 1996

Herausgeber: Dr. rer. nat. Harald Benke
Redaktion, Layout und Gestaltung:
Dr. Sonnfried Streicher
Dipl.- Biologe Horst Schröder

Bezug: Deutsches Museum für Meereskunde und Fischerei
Katharinenberg 14-20
D 18439 Stralsund
Tel. 03831-295135

Druck und buchbinderische Verarbeitung:
Offsetdruckerei Gotthardt Simons
Boninstr. 56, 24114 Kiel

Rücktitelfoto:
Blick auf die Unterseite einer Karettschildkröte (*Eretmochelys imbricata*), die an der Wasseroberfläche schwimmt.



DEUTSCHES MUSEUM
FÜR MEERESKUNDE UND FISCHEREI



Meeresmuseum Stralsund