

# GEO kompakt Nr. 10

Die Grundlagen des Wissens

## LEBENSRAUM MEER

**MYTHOS:**  
Die Suche nach dem  
**RIESENKALMAR**

**INVENTUR:**  
Tausende unbekannte  
**TIERARTEN** entdeckt

**KORALLENRIFFE:** Die steinernen Gärten

**GIFT:** Das Arsenal der Schwachen

**JÄGER:** Ein neues Bild vom Weißen Hai

**FELSKÜSTE:** Der härteste Lebensraum der Erde

**TIEFSEE:** Leben unter höchstem Druck

**ANATOMIE:** Das Prinzip Fisch

**SCHWARM:** Im Schutz der großen Zahl



ISBN 978-3-570-19742-4



€ 8,00  
[D]

9 783570 197424

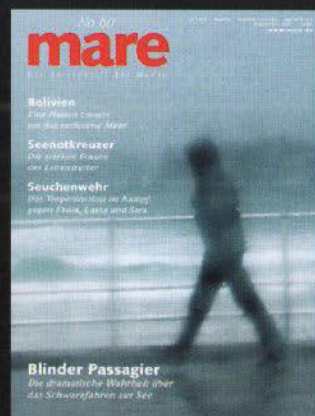
www.GEOkompakt.de



Jetzt anrufen und testen  
unter 040/3703-6273  
oder [www.mare.de](http://www.mare.de)  
Bestell-Nr. 524383

*MenschenReisenOrte.*  
*Ich lese **mare**.*

*Roger Willemsen*





# Die Grundlagen des Wissens!

GEOkompakt gibt die entscheidenden Antworten auf die großen Fragen der Allgemeinbildung. GEOkompakt dient als Nachschlagewerk mit Memo-Kästen, Glossar, Register und Zeitleisten. GEOkompakt bietet eine Erlebniswelt im Internet mit Linktipps und 3-D-Illustrationen.

Sichern Sie sich jetzt alle Vorteile! Bestellen Sie einfach per

**Tel.: 01805/861 80 00** (14 Cent/Min.)

Nutzen Sie jetzt die Chance, neue Wissensgebiete zu erschließen – mit früheren\* und zukünftigen GEOkompakt-Ausgaben!

\*Nur solange der Vorrat reicht.

## 1. Jetzt nachbestellen!



## 2. Jetzt sammeln!



### Sammelbox + Erstausgabe

Diese praktische Sammelbox schützt Ihre wertvolle Sammlung vor Staub und gibt bis zu 7 Heften einen sicheren Stand. Zusätzlich erhalten Sie die Erstausgabe von GEOkompakt gratis dazu.

### Reisetrolley

Praktischer Trolley mit Zahlenschloss, Außenfach, 2 Tragegriffen, leichtgängigem Teleskopzuggriff, Gepäckspanngurt und Innentasche. Maße: ca. 55 x 35 x 22 cm.

>>> editorial



es Zeitalter der Entdeckung ein“, verkündete der Projektkoordinator des Projekts. Denn bislang Tausendstel des Ozeans biologisch unter-

suchungen setzen die Wissenschaftlerteams an. Sie verfolgen die jahreszeitlichen Wanderungen von Tintenfischen und Rorqualen in der Antarktis und fischen mit Spezialnetzen in der Tiefsee.

Die Forscher in den vergangenen gut sieben Jahren haben eine marine Spezies erfasst, darunter mehrere Arten. Etwa Garnelen, die nach Experten-50 Millionen Jahren ausgestorben waren. Eine Art Pelz trägt (siehe Seite 118). Aber auch einen Fischschwarm, der rund 21 Kilometer lang und 100 Meter breit war.

Die Census-Experten nicht nur, um die Artenvielfalt zu erhöhen – sondern auch, um den Lebensraum vor Ausbeutung und Zerstörung zu bewahren: „Die Informationen über die enorme Diversität marinen Lebens“, so Ron O'Dor, seien eine Voraussetzung, damit die Meere in Zukunft gesund bleiben.

Auch wir berichten in diesem Heft über den zunehmenden Raubbau in den Ozeanen (Seite 140; ausführliche Reportagen dazu in der Juni-Ausgabe von GEO). Den Schwerpunkt aber haben wir anderswo gesetzt: bei der Beschreibung und Analyse jener oft ungemein raffinierten Strategien, mit denen die Tiere und Pflanzen des Meeres um ihr Überleben kämpfen – an der bretonischen Felsenküste, im Kelpwald vor Südafrika wie im Arktischen Ozean, in den Gefrierzonen des Südozeans und in der Tiefsee.

Die Initiatoren des „Census of Marine Life“ haben die Ozeanregionen als bisher unter Naturforschern über die wundersame Vielfalt auf den folgenden Seiten vermag, der wird verstehen, warum.

*Michael Schepfer*



Jetzt anrufen und testen  
unter 040/3703-6273  
oder [www.mare.de](http://www.mare.de)  
Bestell-Nr. 524383

## Alle GEOkompakt-Ausgaben für Sie!

### Ihre GEOkompakt-Vorteile

- Sie sparen mehr als 9% gegenüber dem Einzelkauf!
- Sie erhalten ein Dankeschön Ihrer Wahl gratis!
- Kein Risiko: nach 4 Ausgaben jederzeit kündbar!
- Geld-zurück-Garantie für bezahlte, aber nicht gelieferte Hefte!
- Nachbestellrecht: Frühere Ausgaben sind für Sie reserviert!

Sichern Sie sich alle Vorteile und bestellen Sie einfach per

**Tel.: 01805/861 80 00**

(14 Cent/Min.)

oder mit der Vorteilskarte

Verlag: Gruner+Jahr AG & Co. KG, Dr. Gerd Bruns, Am Baumwall 11,  
20349 Hamburg, AG Hamburg HRB 102257  
Vertrieb: DTV Deutscher Pressevertrieb GmbH, Hartmut Bühne, Dübener  
20355 Hamburg, HRB 95 752

95

### GEOkompakt-Vorteilskarte

#### 1. Jetzt nachbestellen!

☐ Ich bestelle die unten angekreuzten GEOkompakt-Ausgaben nach. Ich erhalte die fehlenden Hefte für je € 8,- zzgl. Porto und Verpackung (D).

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Nr. 1: Die Geburt der Erde (Bestell-Nr.: 70050623)       | <input type="checkbox"/> Nr. 2: Das Wunder Mensch (Bestell-Nr.: 70050624)          |
| <input type="checkbox"/> Nr. 3: Das Abenteuer Technik (Bestell-Nr.: 70050625)     | <input type="checkbox"/> Nr. 4: Die Evolution des Menschen (Bestell-Nr.: 70050626) |
| <input type="checkbox"/> Nr. 5: Geheimnis Natur (Bestell-Nr.: 70050627)           | <input type="checkbox"/> Nr. 6: Das Universum (Bestell-Nr.: 70054905)              |
| <input type="checkbox"/> Nr. 7: Der Mensch und seine Gene (Bestell-Nr.: 70055565) | <input type="checkbox"/> Nr. 8: Die Urzeit (Bestell-Nr.: 70055566)                 |

#### 2. Jetzt sammeln!

☐ Ja, ich bestelle GEOkompakt 4x jährlich zum Preis von zzt. € 7,25 statt € 8,- pro Heft (D), zzt. € 8,15 statt € 9,- (A), zzt. Fr. 14,20 statt Fr. 15,70 (CH). Als Dankeschön für meine Bestellung erhalte ich das von mir angekreuzte **Geschenk** nach Zahlungseingang **gratis**. Ich gehe kein Risiko ein, denn ich kann nach Erhalt der 4. Ausgabe jederzeit kündigen. Alle Preise inkl. Zustellung und MwSt.

Als Geschenk wähle ich (bitte nur ein Kreuz): ☐ die **Sammelbox + Erstausgabe** oder ☐ den **Reisetrolley**

Adresse des Bestellers Bitte auf jeden Fall ausfüllen!

Name, Vorname

Geburtsdatum **19**

Straße/Nr.

PLZ

Wohnort

Telefonnummer

E-Mail

☐ Ja, ich bin damit einverstanden, dass Sie mich künftig per Telefon oder E-Mail über interessante Angebote von Gruner+Jahr und Partnerunternehmen informieren.

Ich zahle gegen Rechnung. Bitte keine Vorauszahlung leisten.

**Widerrufsrecht:** Die Bestellung kann ich innerhalb der folgenden zwei Wochen ohne Begründung beim GEOkompakt Kunden-Service, 20080 Hamburg, in Textform (z.B. Brief oder E-Mail) oder durch Rücksendung der Zeitschrift widerrufen. Zur Fristwahrung genügt die rechtzeitige Absendung.

Datum

Unterschrift

**518321**

*Menschen*  
*Ich lese **ma***

*Roger Willemsen*

Antwort  
GEOkompakt  
Kunden-Service  
20080 Hamburg

Das Porto  
zahlen wir  
für Sie.





## Liebe Leserin, lieber Leser,

langsam fuhr der Tauchroboter knapp über dem Meeresgrund seinen Arm aus, gesteuert von einem Techniker, der 3000 Meter weiter oben an Bord des deutschen Forschungsschiffs „Meteor“ einen Joystick bediente. Zwischen seinen metallenen Fingern hielt der Roboterarm eine Temperatursonde; vorsichtig schob er sie in eine schwarze Rauchwolke, die aus einer Quelle am Ozeanboden, einem „Black Smoker“, emporquoll. Eine Video-



**Alle Fakten** in GEOkompakt werden von Wissenschaftlern gegengelesen und von einem Verifikationsteam überprüft. Es besteht aus den Biologinnen Susanne Gilges, Dr. Eva Danulat, Friederike Eggers und Bettina Süßemilch (v. l.)

Vor allem aber nahm die Videokamera am Rand der Quelle – wo das Wasser je nach Strömung kurzfristig mal 80 Grad heiß und mal zwei Grad kühl war – Leben wahr: kleine Garnelen und Muscheln, die bei diesen Temperaturen nicht etwa verkochten, sondern in ihrem Extrem-Biotop offenbar gut zurechtkamen.

Wie den Wissenschaftlern im Mai 2006 an Bord der Meteor geht es derzeit Forschern überall auf den Weltmeeren: Ständig stoßen sie auf unbekannte Spezies, entdecken nie gesehene Biotope, registrieren ihnen bislang fremde Verhaltensweisen.

Auslöser dieses Booms war die amerikanische Rutgers University, die im Jahr 2000 zum „Census of Marine Life“ aufrief, einer Inventur aller Lebewesen in den Ozeanen der Erde. Bis 2010, so das Ziel der gut 2000 beteiligten Wissenschaftler aus 80 Ländern, sollen alle im Meer existierenden Spezies erfasst werden, von der Mikrobe bis zum tonnenschweren Wal. Ein ambitioniertes Vorhaben: Bislang sind rund 230 000 marine Arten bekannt – geben aber soll es mindestens zehnmal so viele.

kamera des Roboters hielt die Szene fest.

In der Umgebung dieser Quelle auf dem Grund des Atlantiks auf halbem Weg zwischen Afrika und Südamerika war das Wasser nur rund zwei Grad warm gewesen; nun aber maß die Sonde mitten in der Schlotöffnung des „Schwarzen Rauchers“ eine Temperatur von 407 Grad Celsius – den höchsten Wert, der in den Weltmeeren jemals registriert worden war.

„Wir läuten ein neues Zeitalter der Entdeckung ein“, verkündet Ron O'Dor, der Chefkoordinator des Projekts. Denn bislang sei gerade einmal ein Tausendstel des Ozeans biologisch untersucht worden.

Auf ihren Expeditionen setzen die Wissenschaftlerteams Satelliten ein – mit denen sie die jahreszeitlichen Wanderungen von Haien und Tintenfischen verfolgen –, senden Roboter unter das Eis der Antarktis und fischen mit Spezialnetzen in 5000 Meter Tiefe.

Insgesamt haben die Forscher in den vergangenen gut sieben Jahren knapp 80 000 marine Spezies erfasst, darunter mehrere tausend unbekannte Arten. Etwa Garnelen, die nach Expertenmeinung bereits seit 50 Millionen Jahren ausgestorben waren. Einen weißen Krebs, der eine Art Pelz trägt (siehe Seite 118). Aber auch einen gigantischen Fischschwarm, der rund 21 Kilometer lang und vier Kilometer breit war.

All das dokumentieren die Census-Experten nicht nur, um ihren Wissensstand zu mehren – sondern auch, um den Lebensraum Meer vor weiterer Ausbeutung und Zerstörung zu bewahren:

„Die Informationen über die enorme Diversität marinen Lebens“, so Ron O'Dor, seien eine Voraussetzung, damit die Meere in Zukunft gesund bleiben.



**Titelthema** in der Juni-Ausgabe von GEO: die Überfischung der Meere

Auch wir berichten in diesem Heft über den zunehmenden Raubbau in den Ozeanen (Seite 140; ausführliche Reportagen dazu in der Juni-Ausgabe von GEO). Den Schwerpunkt aber haben wir anderswo gesetzt: bei der Beschreibung und Analyse jener oft ungemein raffinierten Strategien, mit denen die Tiere und Pflanzen des Meeres um ihr Überleben kämpfen – an der bretonischen Felsen-

küste wie im Nordseewatt, im Kelpwald vor Südafrika wie im pazifischen Korallenriff, in den Gefrierzonen des Südozeans wie im ewigen Dunkel der Tiefsee.

Eine Forderung der Initiatoren des „Census of Marine Life“ lautet, weitaus mehr Ozeanregionen als bisher unter Naturschutz zu stellen. Wer über die wundersame Vielfalt auf den folgenden Seiten zu staunen vermag, der wird verstehen, warum.

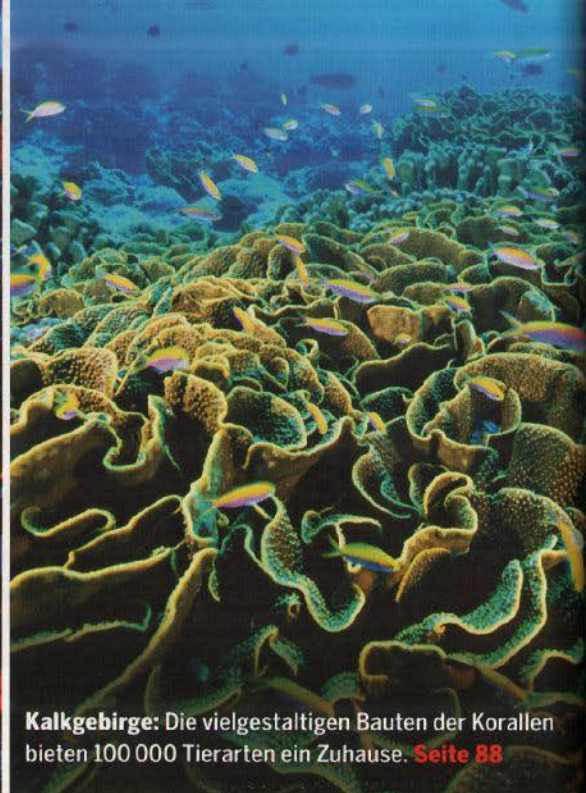
Herzlich Ihr

*Philipp Steyer*

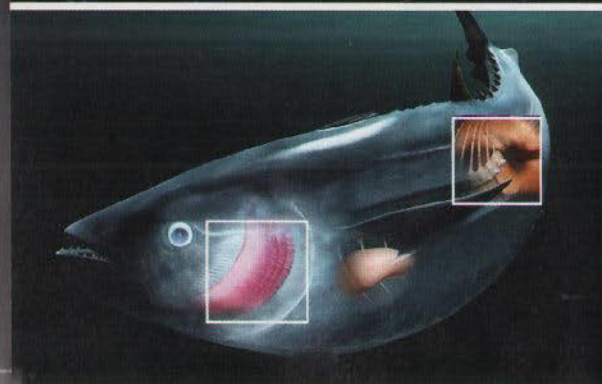




**Die Kunst zu überleben:** Auf welch raffinierte Strategien Meeresbewohner setzen, um ihre Existenz zu sichern. **Seite 6**



**Kalkgebirge:** Die vielgestaltigen Bauten der Korallen bieten 100 000 Tierarten ein Zuhause. **Seite 88**



**Fürs Wasser gebaut.** Stromlinienform, Muskelheizung, Klappflossen, Schwimmblase: Was einen Thun zum Hochleistungsschwimmer macht. **Seite 26**



**Felsenküste: der härteste Lebensraum der Erde.** Gewaltige Brecher, Wechsel zwischen trocken und nass, Salz- und Süßwasser, Dunkelheit und Sonnenlicht – kein Biotop fordert seinen Bewohnern mehr ab. **Seite 28**



**Traumschöne Einzeller** mit filigranen Skeletten sind die Nahrungsgrundlage aller größeren Tiere im Meer. **Seite 80**

**Anpassung** Mit welchen Tricks die Bewohner von Riffen ihr Überleben sichern

**6**

**Universum unter Normalnull** Woher die rätselhafte Vielfalt der tierischen Meeresbewohner kommt

**22**

**Lebensräume** Obwohl es keinerlei sichtbare Barrieren gibt, existieren im Meer unterschiedlichste Ökosysteme

**24**

**Anatomie** Was einen Fisch ausmacht

**26**

## **Gezeitenzone**

**Felsenküste** Brecher, Gezeitenströmungen, Trockenheit, Hitze: An der Küste der Bretagne herrschen die härtesten Lebensbedingungen der Welt

**28**

**Ein Kubikmeter Watt** beherbergt mehr als 100 000 mit dem bloßen Auge erkennbare Tiere. Was macht diesen Lebensraum so reich und fruchtbar?

**36**

**Karl August Möbius** Wie ein Zoologe entdeckte, dass kein Lebewesen für sich allein existieren kann

**40**

## **Küstenmeere**

**Im Schutz der großen Zahl** Um Feinde abzuwehren, zu jagen oder schneller voranzukommen, bilden Fische riesige Schwärme. Doch was genau führt die Tiere zusammen?

**42**

**Prinzip Panzer** Ihr simpler, genialer Körperbau macht die Krebse zu besonders erfolgreichen Meeresbewohnern

**50**

**Der Wald unter Wasser** Gewaltige Algenbiotope ragen in Küstengewässern vom Meeresboden auf und bieten einer erstaunlichen Zahl von Meerestieren eine Heimat

**56**

**Porträt eines perfekten Räubers** In einer Jahrmillionen dauernden Evolutiongeschichte ist der Hai zu einem höchst effizienten Jäger gereift

**62**

**Nacktschnecken** Sie tragen kein Haus und keine Schale, sondern schützen sich meist durch Gift und ihr bizarres Äußeres

**70**

**Korallenriffe** Die größten Bauwerke auf unserem Planeten haben nicht etwa menschliche Architekten konstruiert, sondern winzige Lebewesen ohne Gehirn

**88**

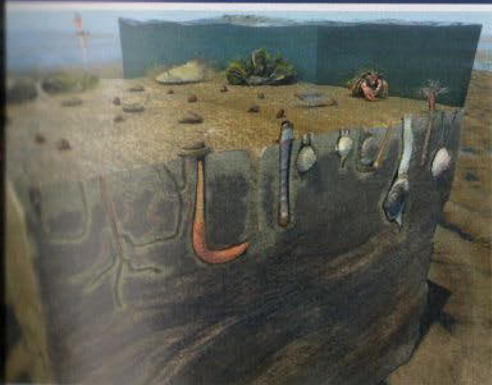




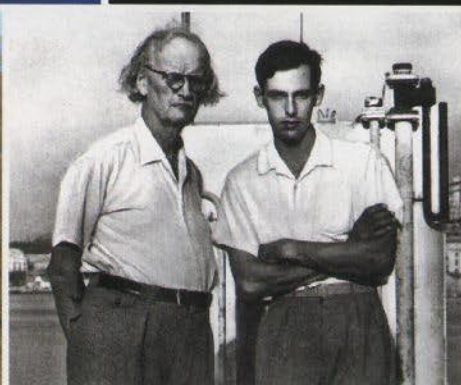
**Auf der Spur der großen Jäger:** Forscher zeichnen ein neues Bild des Weißen Hais. **Seite 62**



**Bizarre Schönheit:** Nacktschnecken schützen sich durch auffällige Farben und Formen. **Seite 70**



**Meer ohne Wasser.** Im Nordseewatt haben sich die Tiere dem Rhythmus der Gezeiten angepasst – vor allem durch ein Leben im Untergrund. **Seite 36**



**Rekord:** Mit einem selbst konstruierten Tauchboot glitt Jacques Piccard (o. r.) in eine elf Kilometer tiefe Schlucht hinab – und entging nur knapp einer Katastrophe. **Seite 122**



**Im Reich der grauen Riesen:** Wie die Vorfahren der Wale lernten, kilometertief zu tauchen und 1000 Tonnen Druck pro Quadratmeter Haut auszuhalten. **Seite 102**

- Arsenal der Schwachen** Beim Kampf ums Dasein setzen Meerestiere die stärksten Toxine auf Erden ein **126**
- Polarwelt** Wie die Pflanzen und Tiere des Südozeans das Leben um den Gefrierpunkt meistern **130**
- Kahlschlag unter Wasser** Der Mensch bedroht die Vielfalt der Meere – durch Überfischung und Verschmutzung **140**

### Offener Ozean und Tiefsee

- Tsunami Kubodera** Die Jagd auf den Riesenkalmar **78**
- Ein Meer von Winzlingen** Mikroskopisch kleine Algen gewinnen Jahr für Jahr 552 Billionen Kilowattstunden Energie **80**
- Wale** Ihre Urahnen waren so groß wie Wölfe und lebten an Land. Wie passten sich die Säuger ans Meer an? **102**
- Geschöpfe der Finsternis** Leuchtende Seegurken, Fische, die fast nur aus Maul bestehen, 40-Meter-Staatsquallen: Ein Panoptikum sonderbarer Wesen bevölkert die Tiefsee **110**
- Piccard & Walsh** Reise zum tiefsten Punkt des Ozeans **122**

### Rubriken

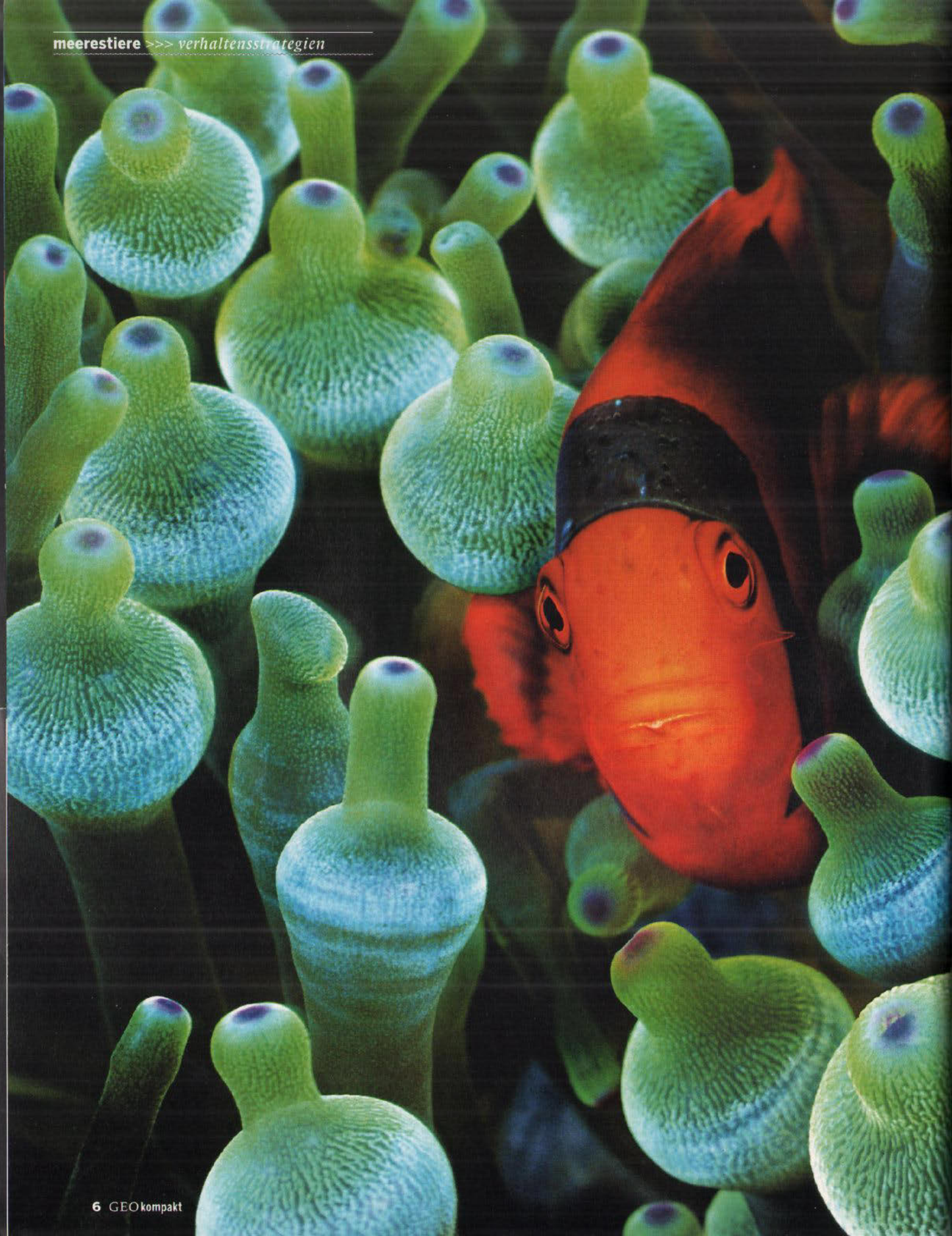
- Martensteins Welt (1)** Über Plastik im Meer und die Zukunft der Evolution **100**
- Kompakt erklärt** Glossar, Info-Kästen, Zeitleiste **146**
- Martensteins Welt (2)** Über singende Wale und die Rolling Stones **152**
- Vorschau** Die Welt der Insekten **154**
- Impressum, Bildnachweis** **150**

Redaktionsschluss dieser Ausgabe: 20. Februar 2007

### FACHBEGRIFFE – SCHNELL ERKLÄRT

In den Texten dieses Heftes sind **wichtige Begriffe** stets durch eine **blaue Schriftfarbe** hervorgehoben. Diese Begriffe werden im **Glossar** ab Seite 146 kurz definiert.









# Die Kunst zu überleben

Wohl nirgendwo im Ozean wird der Kampf um das Dasein mit so vielen Tricks ausgetragen wie in einem Korallenriff und dessen Umgebung. Bizarre Tarnungen, knallige Farben, stärkste Gifte, Zusammenschluss in der Gruppe: Die Meeresbewohner nutzen alle nur denkbaren Strategien, um sich zu behaupten

Fotos: Laurent Ballesta

## Joint Venture

Eine Allianz zum beiderseitigen Nutzen sind Samtkorallenfisch und Anemone eingegangen: Zwischen den giftigen Tentakeln des Blumentiers ist der Fisch vor Räubern sicher und hält umgekehrt unliebsame Besucher fern. Ein Schleimüberzug schützt ihn vor dem Gift des Nesseltiers. Solche Symbiosen sind im Korallenriff eine bewährte Überlebensstrategie.



## Das Feld der Aale

Wie Halme im Wind ragen Röhrenaale aus einer Seegraswiese und wiegen sich, um nach kleinsten Planktontierchen zu schnappen. Bei Gefahr verschwinden die äußerst scheuen Fische in ihren Röhren im Boden. Bis zu 5000 Tiere bewohnen eine Kolonie, meist je ein Weibchen und Männchen in enger Nachbarschaft. Röhrenaale verlassen ihre Behausungen nie – sie sind die einzigen Fische mit sesshafter Lebensweise.















## Begegnung im Riff

Riesenmuränen treffen nur selten aufeinander, da sie in der Regel allein in Felsspalten hausen. Dass die bis zu drei Meter langen Fische ihre scharfen Zähne aufblitzen lassen, ist nicht unbedingt ein Zeichen von Aggression: Die zu den Aalen gehörenden Muränen haben keine Kiemendeckel, nur Löcher, durch die sie mit Atembewegungen ihres Maules ständig frisches Wasser pumpen.



## Leuchtende Tarnung

Die auffälligen Sehorgane der Großaugenbarsche weisen darauf hin, dass die Tiere meist nachts jagen und deshalb gut sehen müssen. Die Farbe ihrer Körper ist Folge einer Anpassung: Da im Wasser die roten Wellenlängen des Lichts schon in wenigen Meter Tiefe absorbiert werden und die Tiere im Laufe der Evolution die anderen Farbanteile verloren haben, sind sie dort schwer auszumachen. Andere Fische im Riff sind dagegen schreiend bunt: etwa um zu zeigen, dass sie giftig sind – oder um sexuelle Signale zu senden.







## Fürsorgliche Väter

Zu den erstaunlichsten Fischen gehören die aufrecht schwimmenden Langschnauzen-Seepferdchen, die sich häufig in Seegraswiesen finden. Die Männchen behüten die Eier in einer Bauchtasche. Dank dieser Brutfürsorge ist die Überlebenschance der Nachkommen größer. Die meisten Meerestiere aber setzen auf eine andere Strategie: Sie produzieren riesige Mengen an Eiern und überlassen diese sich selbst.



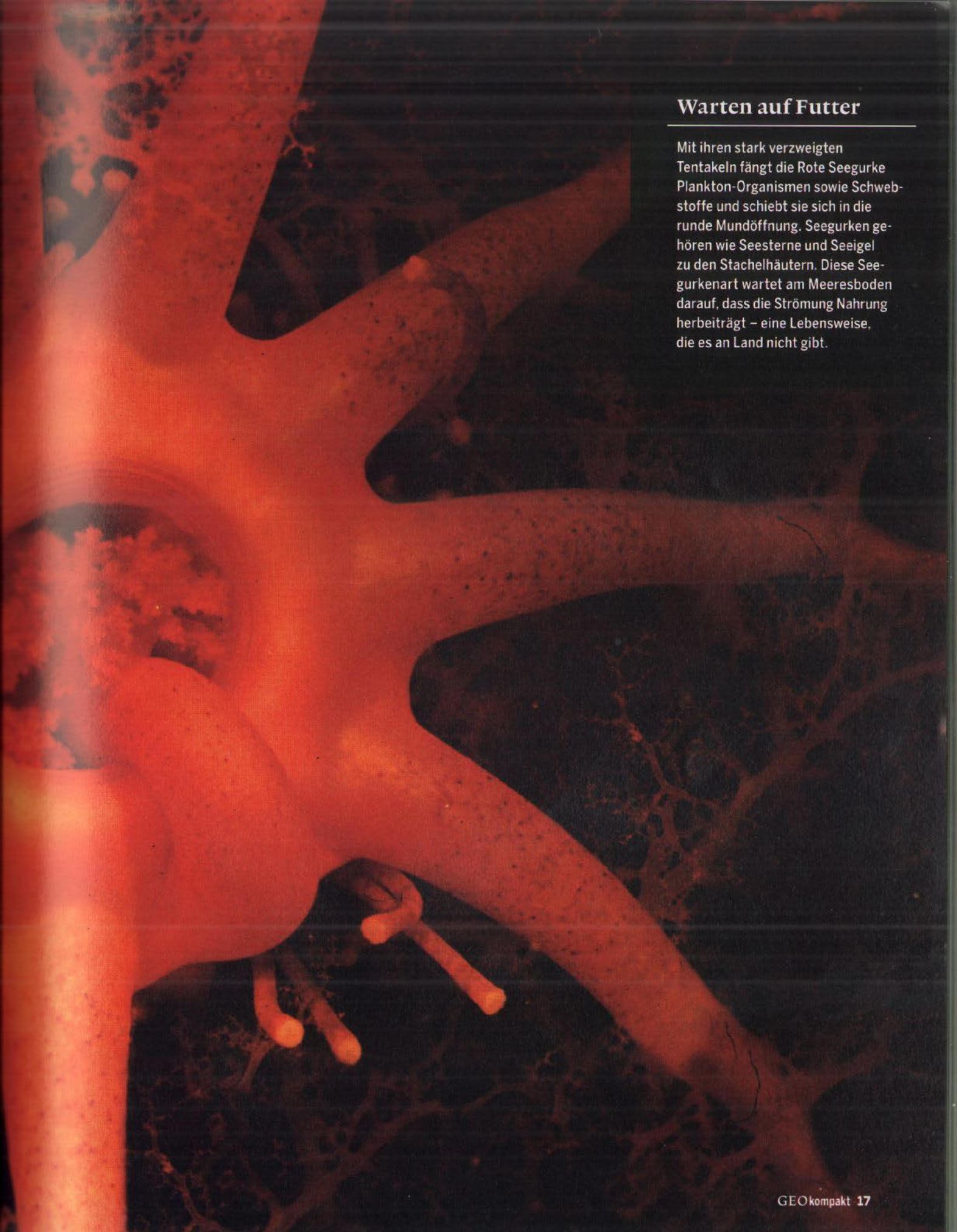













## Warten auf Futter

Mit ihren stark verzweigten Tentakeln fängt die Rote Seegurke Plankton-Organismen sowie Schwebstoffe und schiebt sie sich in die runde Mundöffnung. Seegurken gehören wie Seesterne und Seeigel zu den Stachelhäutern. Diese Seegurkenart wartet am Meeresboden darauf, dass die Strömung Nahrung herbeiträgt – eine Lebensweise, die es an Land nicht gibt.

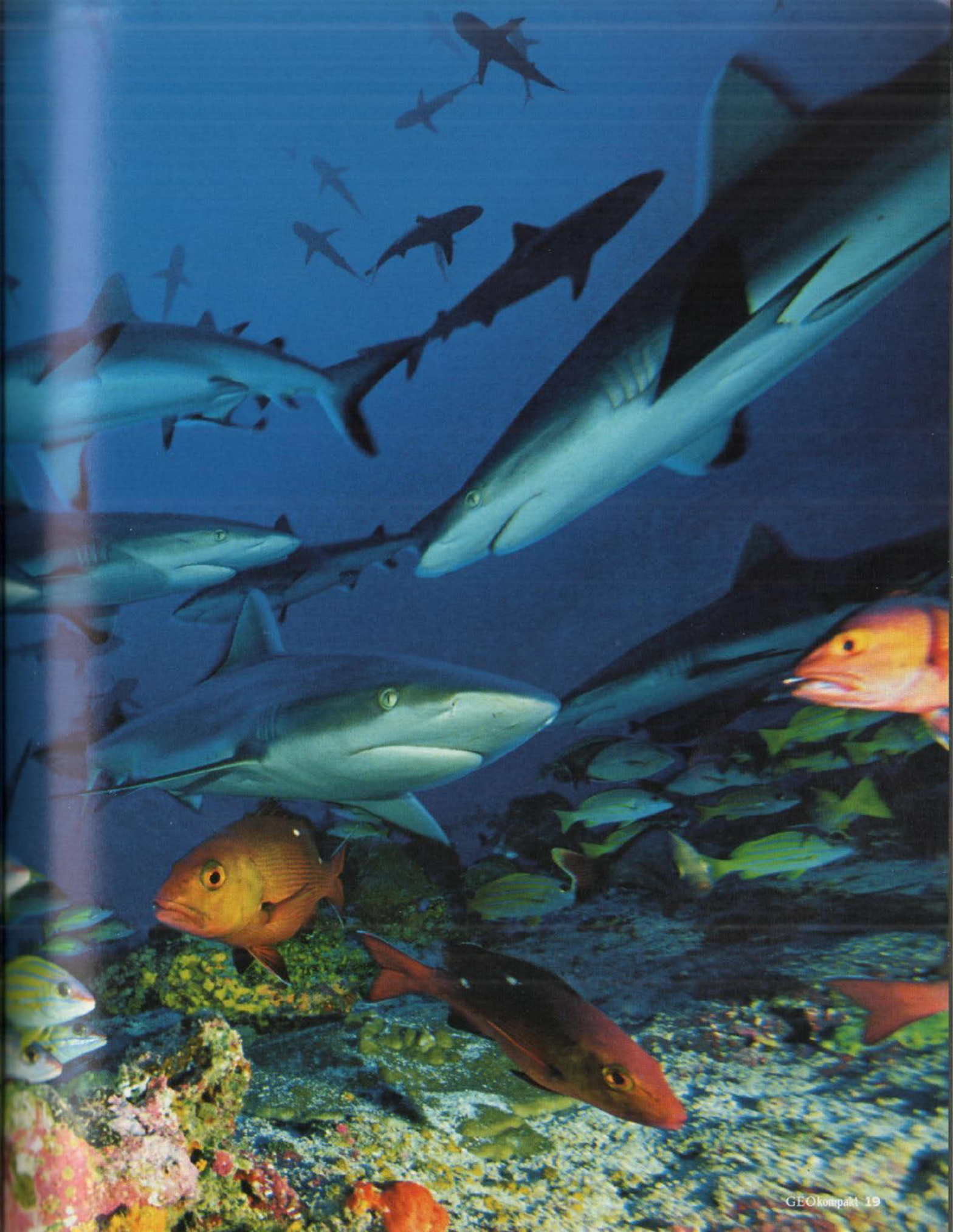




## Stunde der Jäger

Immer wieder versammeln sich bis zu 100 Graue Riffhaie tagsüber an bestimmten Stellen am Riff. Die Ursache dafür kann Neugier sein oder die gemeinsame Erkundung des Terrains. Auf die Jagd gehen die Knorpelfische dagegen einzeln und meist nachts. Dabei hilft ihnen ein Organ, mit dem sie die elektrischen Felder anderer Lebewesen registrieren und so ihre Beute aufspüren.



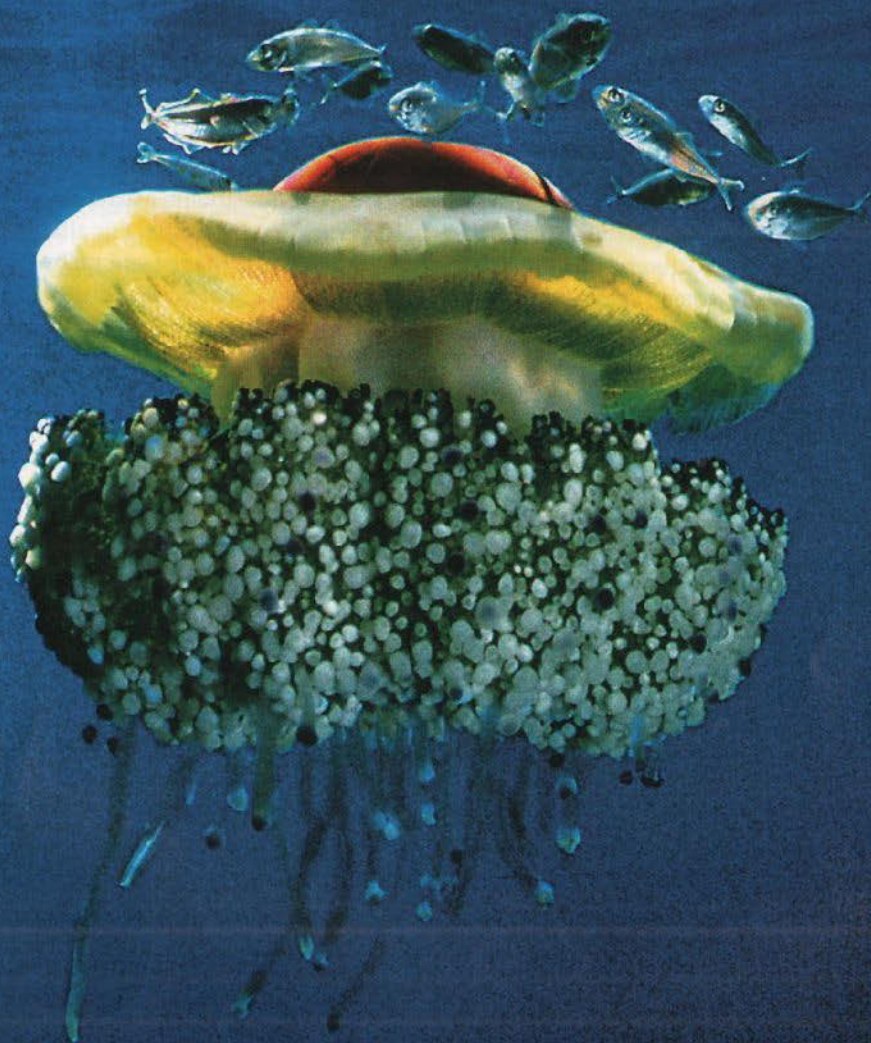




## Die Insel der Makrelen

Im freien Meer gibt es kaum Verstecke. Manche Fische suchen daher Zuflucht bei anderen Meeresbewohnern: wie diese jungen Stachelmakrelen, die sich über einer giftbewehrten Spiegeleiqualle versammelt haben. Ein Beutetier in dieser Umwelt muss schnell, giftig, gut getarnt sein – oder einen Beschützer finden. Später werden sich die Stachelmakrelen zu einem größeren Schwarm vereinen, um auch auf diese Weise Feinde abzuwehren und gemeinsam zu jagen. □





Der französische Fotograf **Laurent Ballesta** hat Meeresökologie studiert. Für seine Unterwasserbilder wurde er vielfach ausgezeichnet. Kürzlich ist sein aufwendig gestalteter Bildband »Planet Meer« erschienen.



# Das Universum unter Normalnull

Text: Henning Engeln

Vor mindestens 40 000 Jahren haben sich Menschen erstmals mit Booten aufs Meer hinausgewagt, wie die Besiedlung Australiens bezeugt. Etwa ebenso alte Muschelreste in der Nähe urzeitlicher Behausungen belegen, dass *Homo sapiens* in jener Zeit bereits die Schätze des Meeres zu nutzen wusste. Mit diesen Seefahrern begann die Erforschung einer Welt, die im Verborgenen existiert – eines Kosmos, der fremd, rätselhaft und noch heute voller Überraschungen ist.

Überliefert ist nichts aus jener vorgeschichtlichen Periode, doch seit es schriftliche Aufzeichnungen gibt, ist auch die Erkundung der Meere dokumentiert. Der ägyptische Pharao Mentuhotep III. etwa veranlasste 1750 v. Chr. eine Expedition bis nach Punt, dem heutigen Somalia. Kreter und Phönizier waren um 1200 v. Chr. vermutlich die ersten zur See fahrenden Händler. Die Phönizier verließen sogar das Mittelmeer und stießen in den Atlantik vor.

Die Kelten segelten nach Island und Grönland, die Wikinger 982 bis nach Amerika. Araber erkundeten den Indischen Ozean sowie die Ostküste Asiens, und eine riesige chinesische Flotte stieß im 15. Jahrhundert bis an die Südspitze Afrikas vor.

Schon bald darauf versuchten Forscher, den Meeren mit spezieller Technik ihre Geheimnisse abzutrotzen. 1751 ließ der Brite Henry Ellis vor Florida Eimer bis in 1200 Meter Tiefe hinab und registrierte, dass dort unten eine Temperatur von zwölf Grad Celsius herrschte, an der Oberfläche dagegen von fast 30 Grad. 1818 holte der englische Polarforscher John Ross eine Bodenprobe aus 1800 Meter Tiefe – und konnte Leben in diesem Abgrund dokumentieren: Würmer und einen Schlangenstein.

Die wohl wichtigste Expedition in der Geschichte der Meeresforschung war die dreieinhalbjährige Reise der „H.M.S. Challenger“, die 1872 begann. Sechs Wissenschaftler untersuchten die Eigenschaften des Meerwassers und des Bodens in großen Tiefen sowie die dort vorkommenden Lebewesen. Ihre Ergebnisse trugen sie in 50 Buchbänden zusammen.

Aber in die Tiefen der Ozeane blicken konnte noch niemand. Das änderte sich erst im Jahr 1912 dank einer Erfindung des deutschen Physikers Alexander Behm. Mit dessen Echolot ließen sich die bis dahin undurchdringlichen Tiefen der Meere sichtbar machen, konnten Forscher ein präzises Bild der ozeanischen Abgründe und des Bodenreliefs erstellen.

Immer raffinierter wurden in den Jahrzehnten darauf die technischen Mittel: Taucherausrüstungen, die einen Unter-

wasser-Aufenthalt ohne Schlauchverbindung ermöglichten. Sonden, die Strömung, Temperatur sowie Salzgehalte maßen. Greifarme und Bohrvorrichtungen, die Bodensedimente aus der Tiefe holten. Tauchboote, die in Abgründe vordrangen.

Und das sind einige der ermittelten Daten über das Universum unter der Meeresoberfläche: Die Ozeane bedecken eine Fläche von 361 Millionen Quadratkilometern, also rund 70 Prozent der Erdoberfläche. Die Durchschnittstiefe liegt bei 3730 Metern, der tiefste Punkt reicht bis 11 034 Meter hinunter. Um diese Abgründe zu füllen, sind rund 1,35 Milliarden Kubikmeter Wasser nötig.

In jedem Liter sind im Mittel etwa 35 Gramm an Salzen enthalten, vor allem Kochsalz. Für alle Ozeane zusammengerechnet, ergibt das die Menge von mehr als  $40 \times 10^{15}$  Tonnen Kochsalz – sie würde ausreichen, die Erde mit einer gut 36 Meter dicken Salzschicht zu bedecken.

Der Ozean ist weit mehr als nur der Lebensraum von Fischen und anderem Getier: ein gigantischer physikalisch-chemischer Körper, der die Atmosphäre und die Landoberfläche grundlegend beeinflusst. Aus den Meeren verdampfen riesige Mengen Wasser, formen Wolken, regnen ab und versorgen so die Ökosysteme des Landes mit Süßwasser. Zudem transportieren gewaltige Strömungen Wärme wie auf Transportbändern um den Planeten und prägen damit das Klima.

Im Meer löst sich nicht nur Sauerstoff, den Tiere zum Atmen benötigen, sondern auch Kohlendioxid, das beispielsweise Algen brauchen, um organische Substanz herzustellen. Jahr für Jahr nehmen die Ozeane zwei Gigatonnen des Treibhausgases mehr auf, als sie an die Atmosphäre abgeben.

Kohlendioxid ist an Land wie auch im Wasser eine Art Grundnahrung für Pflanzen, aus der sie mithilfe von Sonnenlicht und Wasser ihre Substanz aufbauen. Doch die Lebensbedingungen im Ozean unterscheiden sich von denen an Land wie der Himmel von der Erde: Das meiste Sonnenlicht gibt es in den Meeren ganz oben, dicht

unter der Wasseroberfläche, und in spätestens 200 Meter Tiefe ist es so dunkel, dass kaum eine Pflanze mehr das Licht nutzen kann. Mit genügend Sonne bestrahlte Böden gibt es nur in einer schmalen Küstenzone.

Kein Wunder also, dass das Gros der marinen Pflanzen aus winzigen, einzelligen Algen besteht, die als Teil des Planktons dicht unter der Oberfläche treiben. Moose oder Farne gibt es im Meerwasser nicht, und die Blütenpflanzen sind nur mit einigen wenigen Arten von Seegras vertreten.

Erst die Erfindung des *Echolots* machte die Abgründe der Ozeane sichtbar



Wesen, die ihr Geschlecht wandeln, an Gurken erinnernde Organismen, die bei Gefahr ihre Eingeweide herausschleudern, Weichtiere, deren Gestalt einem Flugzeug ähnelt: Nirgendwo ist die Formenvielfalt der Tiere so groß wie in den Ozeanen. Wie kommt das?

Womöglich liegt dies daran, dass Wurzeln, Stängel oder komplex gebaute Blätter in dieser Umwelt selten Vorteile bringen: Wurzeln sind von geringem Nutzen, da alle Nährstoffe sowie Gase im Wasser gelöst sind; zudem liegen die meisten Meeresböden für Pflanzen unerreichbar tief. Wasser ist sehr dicht und trägt die Pflanze – statt Sprossachsen reichen also Schwimmkörper wie etwa Gasblasen, um den Pflanzenkörper aufrecht zu halten. Und Leitungen zum Transport von Wasser sind ebenso überflüssig wie komplexe Blätter, die bei Landpflanzen Gasaustausch und Verdunstung regulieren.

So blieb die Flora im Meer auf eher bescheidenem Entwicklungsniveau. Ganz anders dagegen die Fauna.

In den Ozeanen existiert eine ungemein bunte Vielfalt von zum Teil bizarren Körperformen und -konstruktionen. Es ist, als hätte die marine Umwelt der Evolution bei den Tieren alle Fesseln und Beschränkungen genommen – vielleicht, weil es im Meer keine Grenzen gibt, weil Körper in dem nassen Medium wie schwerelos schweben und weil das Wasser ein jedes Tier umgibt und zudem alle Stoffe enthält, die es benötigt.

Nur im Ozean ist es möglich, dass manchem Bewohner sein Futter regelrecht ins Maul, in die Fangarme oder den Verdauungstrakt treibt. Einzig im Wasser gibt es daher festsitzende Tiere. Zum Beispiel Schwämme, deren äußerst einfach gebauter Körper von einem Kanalsystem durchzogen ist, das die Nahrung aufnimmt. Oder Korallenpolypen, die an Pflanzen erinnernde Formen ausprägen und zusammen etwa mit Seeanemonen und Seerosen die Klasse der Blumentiere bilden. Schon dieser Name lässt mehr an Flora als an Fauna denken.

**W**enig Ähnlichkeit mit Tieren des Landes haben auch Quallen, die Verwandten der Blumentiere, die wie Geisterwesen durch das Wasser schweben. Sie alle gehören zu den Nesseltieren und bilden einen Tierstamm, eine Gruppe von Organismen mit einheitlichem Grundbauplan.

26 solcher Tierstämme gibt es, 25 kommen im Meer vor; 13 sind dort sogar ausschließlich zu Hause. Auf der Ebene der Baupläne ist die Vielfalt in den Ozeanen also deutlich größer als an Land.

Seltsam zudem die Gruppe der Stachelhäuter. Zu ihnen zählen Seesterne, Schlangensterne und Seeigel. Die Tiere dieses Stammes sind in fünf symmetrische Abschnitte gegliedert. Wesen mit diesem Bauplan tummeln sich nur in den Meeren.

Zwei weitere Stämme dagegen leben sowohl im Meer als auch an Land. Das sind zum einen die Gliederfüßer – in den

Ozeanen vor allem die Krebse, auf den Kontinenten Spinnen und Insekten. Sie besitzen einen in Segmente gegliederten Körper und ein Außenskelett aus Chitin. An Land bilden die Gliederfüßer die artenreichste Gruppe aller Lebewesen.

Zu dem anderen Stamm, den Chordatieren, gehören die Wirbeltiere. Zu diesen zählen Fische sowie Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere. Einige Vertreter aus jeder dieser an Land entstandenen Gruppen haben sich später dem Lebensraum Meer angepasst – etwa Meeresschildkröten, Pinguine und Wale. Die bei weitem artenreichste Wirbeltiergruppe in den Meeren sind die Knochenfische mit etwa 16 600 Arten.

Übertroffen werden sie von den Schnecken mit mindestens 50 000 Arten. Sie zählen mit Muscheln und Tintenfischen zu den Weichtieren: einem Stamm, dessen Bauplan im wesentlichen aus Kopf (Muscheln fehlt selbst dieser), Fuß sowie einem Sack besteht, der die Verdauungsorgane enthält.

Ein Vertreter dieses Stamms ist so seltsam geraten, als habe ihn sich ein Science-Fiction-Autor ausgedacht. Acht schlangenähnliche Arme umkränzen einen schnabelförmigen Mund; daneben sitzen zwei riesige, hoch entwickelte Augen.

Der Kopf geht über in den Eingeweidesack, der zudem eine Höhle mit Kiemen enthält, die das Tier mit Sauerstoff versorgen. Für gemächliche

Bewegungen nutzt das Wesen seine Arme, bei Gefahr presst es Wasser aus seiner Mantelhöhle, um davonzuschießen – und stößt zur weiteren Absicherung eine dunkle Flüssigkeit aus.

Es handelt sich bei diesem Tier um den *Octopus vulgaris*, den Gemeinen Kraken aus der Klasse der Kopffüßer. Auch dessen Paarung ist ein Kuriosum: Das Männchen flackert während der Balz höchst erregt in wechselnden Farben auf, entnimmt sich selbst aus einem Sack ein Samenpaket, tastet sich mit seinem Arm zum Weibchen und steckt dieses Paket in die Mantelhöhle der Partnerin.

Und schließlich besitzt dieses seltsame Lebewesen auch noch ein recht gut entwickeltes Gehirn und ein erstaunlich umfangreiches Verhaltensrepertoire. Es kann lernen, Zeichen voneinander zu unterscheiden oder sich durch eine Röhre zu zwängen, um eine Krabbe im Nachbarbecken zu erjagen. Sogar das bloße Zuschauen bei anderen Artgenossen reicht zum Lernen. Manche Forscher glauben deshalb, Kraken seien ähnlich intelligent wie Hunde.

Kann ein Tier eindrucksvoller die Vielfalt des Lebens im Meer demonstrieren als der Oktopus? □

Der Biologe **Dr. Henning Engeln**, 52, ist GEOkompakt-Redakteur. Er hat das Konzept für dieses Heft erarbeitet.

Manchen  
Meerestieren  
*fehlt der Mund,*  
andere sehen  
aus wie Blumen



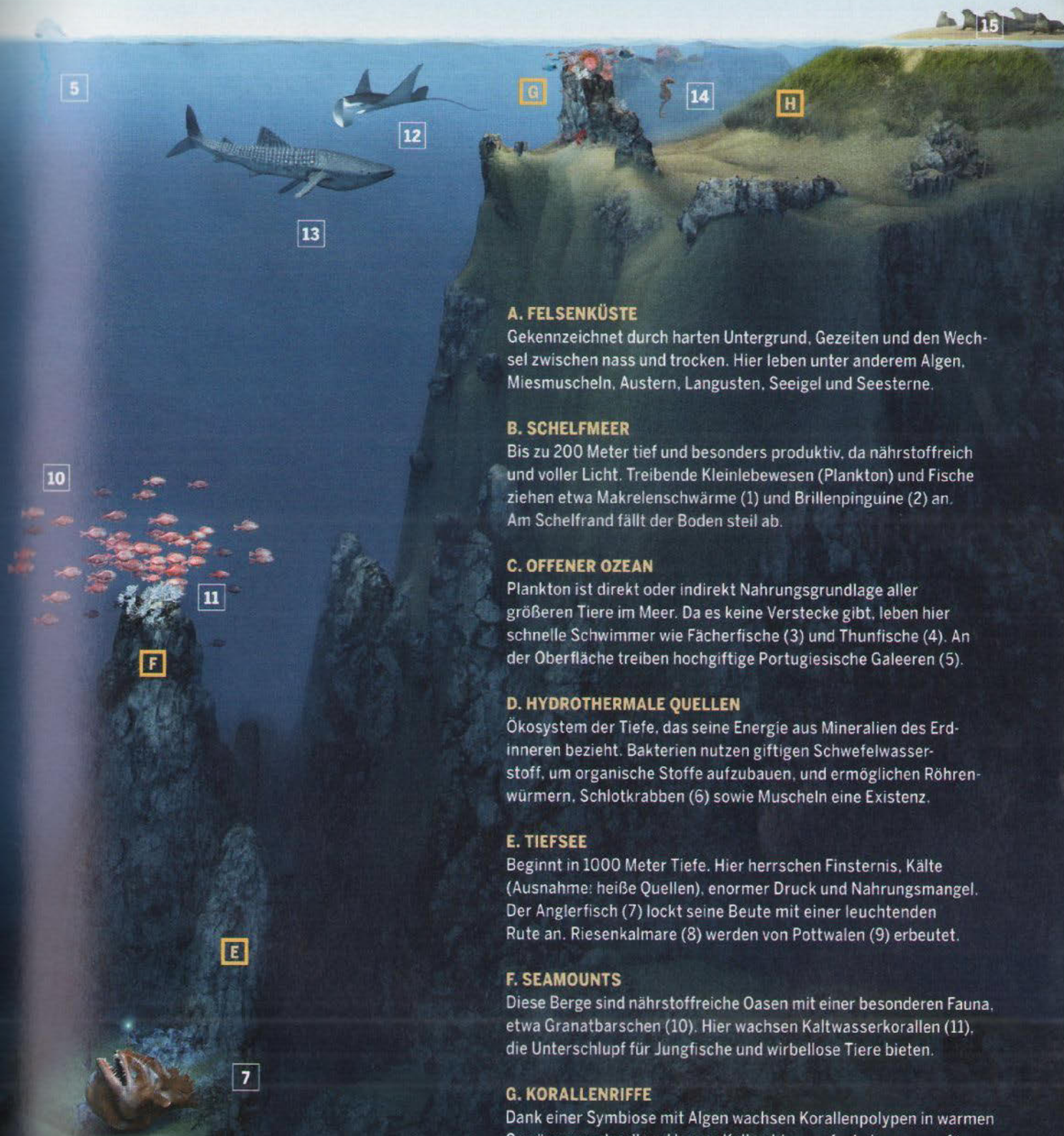


Illustration: Jochen Stuhmann  
Text: Valeria Bers, Henning Engeln

# DIE WELTEN IM MEER

**O** bwohl die Ozeane ohne geographische Barrieren sind und jedes Lebewesen – theoretisch – an jeden Ort schwimmen könnte, existieren voneinander abgrenzbare Ökosysteme, in denen alle Organismen ihre besondere Rolle einnehmen. Wassertiefe, Temperatur, Nährstoffreichtum, Salzgehalt, Strömungen, Bodenbeschaffenheit: All diese Faktoren lassen eine erstaunliche Vielfalt an Lebensräumen entstehen. Die Grafik zeigt acht bedeutsame Ökosysteme am Beispiel des Indischen Ozeans





#### A. FELSENKÜSTE

Gekennzeichnet durch harten Untergrund, Gezeiten und den Wechsel zwischen nass und trocken. Hier leben unter anderem Algen, Miesmuscheln, Austern, Langusten, Seeigel und Seesterne.

#### B. SCHELFMEER

Bis zu 200 Meter tief und besonders produktiv, da nährstoffreich und voller Licht. Treibende Kleinlebewesen (Plankton) und Fische ziehen etwa Makrelenschwärme (1) und Brillenpinguine (2) an. Am Schelfrand fällt der Boden steil ab.

#### C. OFFENER OZEAN

Plankton ist direkt oder indirekt Nahrungsgrundlage aller größeren Tiere im Meer. Da es keine Verstecke gibt, leben hier schnelle Schwimmer wie Fächerfische (3) und Thunfische (4). An der Oberfläche treiben hochgiftige Portugiesische Galeeren (5).

#### D. HYDROTHERMALE QUELLEN

Ökosystem der Tiefe, das seine Energie aus Mineralien des Erdinneren bezieht. Bakterien nutzen giftigen Schwefelwasserstoff, um organische Stoffe aufzubauen, und ermöglichen Röhrenwürmern, Schlotkrabben (6) sowie Muscheln eine Existenz.

#### E. TIEFSEE

Beginnt in 1000 Meter Tiefe. Hier herrschen Finsternis, Kälte (Ausnahme: heiße Quellen), enormer Druck und Nahrungsmangel. Der Anglerfisch (7) lockt seine Beute mit einer leuchtenden Rute an. Riesenkalmar (8) werden von Pottwalen (9) erbeutet.

#### F. SEAMOUNTS

Diese Berge sind nährstoffreiche Oasen mit einer besonderen Fauna, etwa Granatbarschen (10). Hier wachsen Kaltwasserkorallen (11), die Unterschlupf für Jungfische und wirbellose Tiere bieten.

#### G. KORALLENRIFFE

Dank einer Symbiose mit Algen wachsen Korallenpolypen in warmen Gewässern schnell und bauen Kalkgebirge auf – Lebensraum für 100 000 Tierarten. Nahebei filtern riesige Mantas (12) und Walhaie (13) Planktonorganismen aus dem Oberflächenwasser.

#### H. SEEGRASWIESEN

Wachsen auf küstennahen Sandflächen. In den Blättern dieser einzigen höheren Pflanzen im Meer siedeln Jungfische, Krebse, Seeperdchen (14). Auch der Australische Seelöwe (15) lebt hier. □

\* Die Abbildung zeigt die Lebensräume, die sich zwischen der Ostküste Südafrikas (links) und der Westküste Australiens auf einer Linie etwa entlang des 30. Breitengrades finden. Die Abbildungen der Organismen und der Landschaften sind nicht maßstabsgetreu.



# FÜRS WASSER GEBAUT

Sie verfügen über Auftriebsorgane, hochsensible Sensoren und torpedoförmige Körper: Fische haben sich im Laufe der Evolution dafür gerüstet, in alle Wassertiefen vorzudringen und möglichst energiesparend zu schwimmen. Dank seiner erstaunlichen Anpassungen gehört der **Thun** zu den schnellsten aller Fische



## KNOCHEN ODER KNORPEL

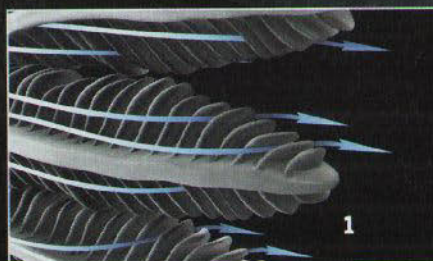
Zwei Bauweisen herrschen vor: Knorpelfische (1) wie Haie werden von leichten, flexiblen Knorpeln gestützt. Knochenfische (2) wie Dorsch oder Thun (großes Bild) sind von einem festen Gerüst aus Knochen durchzogen. Für den Auftrieb nutzen Haie ihre fetthaltige Leber (rot), Knochenfische meist eine regulierbare Gasblase (gelb). Eine schleimige Haut bedeckt die rundlichen Schuppen, die das Schwimmen effizienter macht. Bei Haien ragen dafür zahnförmige Strukturen aus der Oberhaut

## LIDLOSE AUGEN

Seine stets offenen Sehorgane stellt der Thun scharf, indem er die Linse vor- und zurückschiebt – anders als etwa der Mensch, in dessen Augen Muskeln die Linse zusammendrücken oder dehnen. Ein Thun sieht – wie Knochenfische allgemein – gleichzeitig unterschiedlich scharf: Nahes erkennt der Räuber nur direkt vor dem Maul präzise, Entferntes nur rechts und links des Kopfes

## SAUERSTOFF-VERSORGUNG

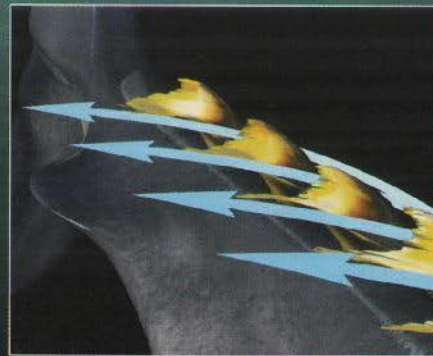
Über winzige Blätter (1) nimmt der Thun in seinen Kiemen Sauerstoff aus dem Wasser auf. Da er ständig mit offenem Maul schwimmt, muss er den dazu nötigen Wasserstrom nicht erzeugen und hat starre Kiemendeckel (2). Langsamere Fische »fächern« sich mit beweglichen Kiemendeckeln Wasser zu (siehe Seite 149)





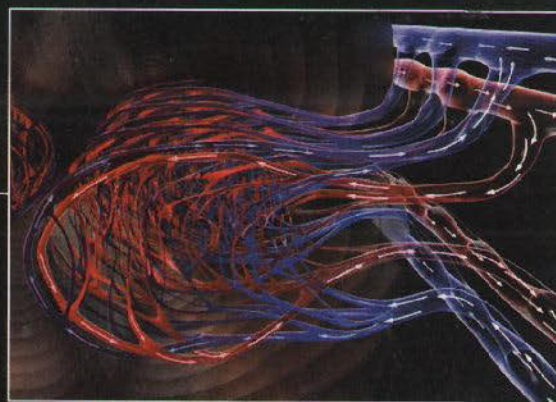
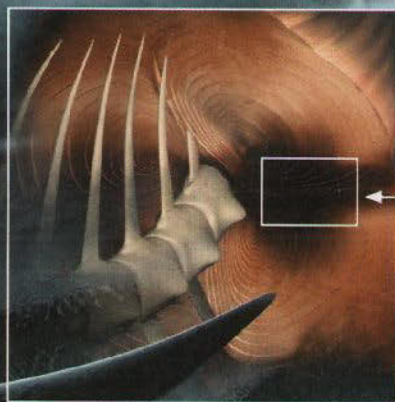
### STROMLINIENFORM

Die vorderen Flossen versenkt der Thun bei Höchstgeschwindigkeit in Gruben – so bietet der torpedoförmige Körper noch weniger Widerstand



### WIRBEL-ZACKEN

Finlets, kleine Flossen am Hinterkörper, lenken den Wasserstrom ab und verringern die bremsenden Turbulenzen



### MUSKELHEIZUNG

Mithilfe des »Wundernetzes«, eines dichten Knäuels aus Blutkapillaren, wird in den Muskeln erzeugte Wärme – die mit dem verbrauchten Blut wegströmt – auf sauerstoffreiches, kühles Blut vom Herzen übertragen und zurück in die Muskeln transportiert. So bleiben diese warm und können effektiver arbeiten. Über eine solche Muskelheizung verfügen nur Thunfische und manche Haie

### BEWEGUNGSDETEKTOREN

Eine Reihe von Sinneszellen an den Flanken des Thuns registriert geringste Druckschwankungen im Wasser: Mit diesem bei Fischen weit verbreiteten Seitenlinienorgan erfasst der Räuber etwa seine Beute

### HÖHENREGULIERUNG

Blauflossen-Thunfische besitzen eine Schwimmblase, mit der sie den Auftrieb einstellen können: je nach Tiefe wird dafür das zum Teil im Blut gebundene Gas über feinste Gefäße zu dem sackförmigen Organ transportiert

Illustration: Tim Wehrmann  
Text: Jörn Auf dem Kampe



Fische, die auf dem Trockenen überleben. Krebse, die sich einzementieren. Meeresschnecken, die Luft atmen: Die Tiere und Pflanzen an der Felsenküste der Bretagne haben sich auf raffinierte Weise an die schnellen Strömungen und tonnenschweren Brecher in ihrem Extrem-Biotop angepasst – und an den meterhohen Tidenhub



**Vor der französischen Atlantikinsel Ile d'Ouessant** schlagen Wogen an die Küste. Fische, Muscheln, Krebse und Schnecken widerstehen hier Gezeitenströmungen mit einer Geschwindigkeit von vier Metern pro Sekunde. Dafür werden sie mit Sauerstoff und Nahrung versorgt

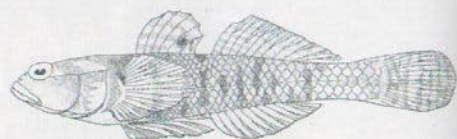


# Der härteste Lebensraum der Welt





Die Schwimmgrundel ist typisch für die bretonische Felsenküste. Bei einsetzender Ebbe bleibt sie häufig in den Gezeitentümpeln zurück und erträgt dort hohe Wassertemperaturen und UV-Strahlung



**D**as Leben im Meer besiedelt selbst die unwirtlichsten Orte. Ob in der Umgebung von bis zu 407 Grad Celsius heißen Thermalquellen, die schwefeligen, schwarzen Rauch ins Wasser speien; ob unter einer 700 Meter starken, antarktischen Eisdecke, weit entfernt vom offenen Ozean; ob in der Finsternis der Tiefseegräben, wo ein Wasserdruck von mehr als 1100 **Bar** herrscht: Überall treffen Forscher auf perfekt angepasste Lebewesen – auf riesige Bartwürmer in Röhren, auf Quallen, die mit erhobenen Tentakeln schwimmen, auf bizarre Fische mit gewaltigen Mäulern.

Doch sind es nicht nur die heißesten, die kältesten oder die tiefsten Meeresregionen, die den dort lebenden Organismen extreme Anpassung und größte Flexibilität abverlangen. Denn noch viel ungemütlicher, viel rauer als diese Regionen sind die Ränder der Ozeane: die Felsenküsten in der Gezeitenzone.

Dort, wo zweimal am Tag das Meer verschwindet (in der Bay of Fundy an der kanadischen Atlantikküste beträgt der Tidenhub zwischen 16 und 18 Metern), wo während des Niedrigwassers Sonnenhitze und UV-Strahlung Pflanzen und Tiere bedrohen, wo bei einsetzender Flut nicht selten tonnenschwere Brecher auf die Klippen einhämmern – dort, sagen Biologen, befindet sich der härteste Lebensraum auf unserem Planeten.

Sie unterscheiden in diesem Grenzbereich zwischen Land und Meer drei deutlich gegeneinander abgegrenzte

Zonen. Die unterste, das **Sublitoral**, ist auch bei Ebbe vom Wasser bedeckt. Der Bereich darüber, das **Eulitoral**, liegt nur bei Flut unter Wasser und fällt bei Ebbe trocken. Die oberste Zone schließlich, das **Supralitoral**, wird nur noch von der Gischt der Brandungswellen feucht gehalten.

**BESONDERS AUSGEPRÄGT** finden sich diese Zonen in Europa an der französischen Atlantikküste, bei Con-

gengend, was so viel bedeutet wie das Ende der Welt.

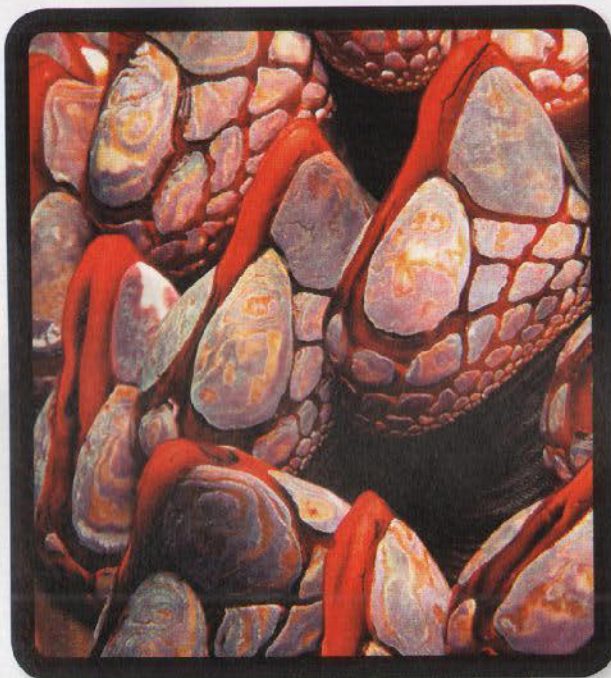
Es hat sich landschaftlich seit jener Zeit nur wenig verändert: eine Küste aus zerklüftetem Granit, die mal flach, mal steil ins Meer abfällt, unterbrochen von kleinen Sand- oder Kiesbuchten und den tiefen Einschnitten der Flussmündungen.

Nirgendwo in der Alten Welt sind die Wellen mächtiger, strömen die Gezeiten gewaltiger als in der Bretagne. Wenn die

Flut kommt, fließt das Wasser südlich von Finistère mit mehr als einem Meter pro Sekunde und erreicht, kurz bevor sich die Brandung vor den Felsen überschlägt, leicht die doppelte Geschwindigkeit. Die Kraft, welche die Strömung dann entwickelt, entspräche einem Orkan, der mit mehr als 200 Kilometern in der Stunde über das Land hinwegrast.

Bei Springfluten ist der Tidenhub besonders stark: Wenn bei Voll- oder Neumond Erde, Mond und Sonne in einer Linie stehen und die vereinten Kräfte von Trabant und Stern an den irdischen Ozeanen ziehen, kann der Meeresspiegel bei Concarneau um 5,50 Meter und bei Brest schon um 6,50 Meter schwanken. Weiter nördlich, in der Normandie, übersteigt der Tidenhub bei Mont-Saint-Michel dann sogar die Zwölf-Meter-Marke.

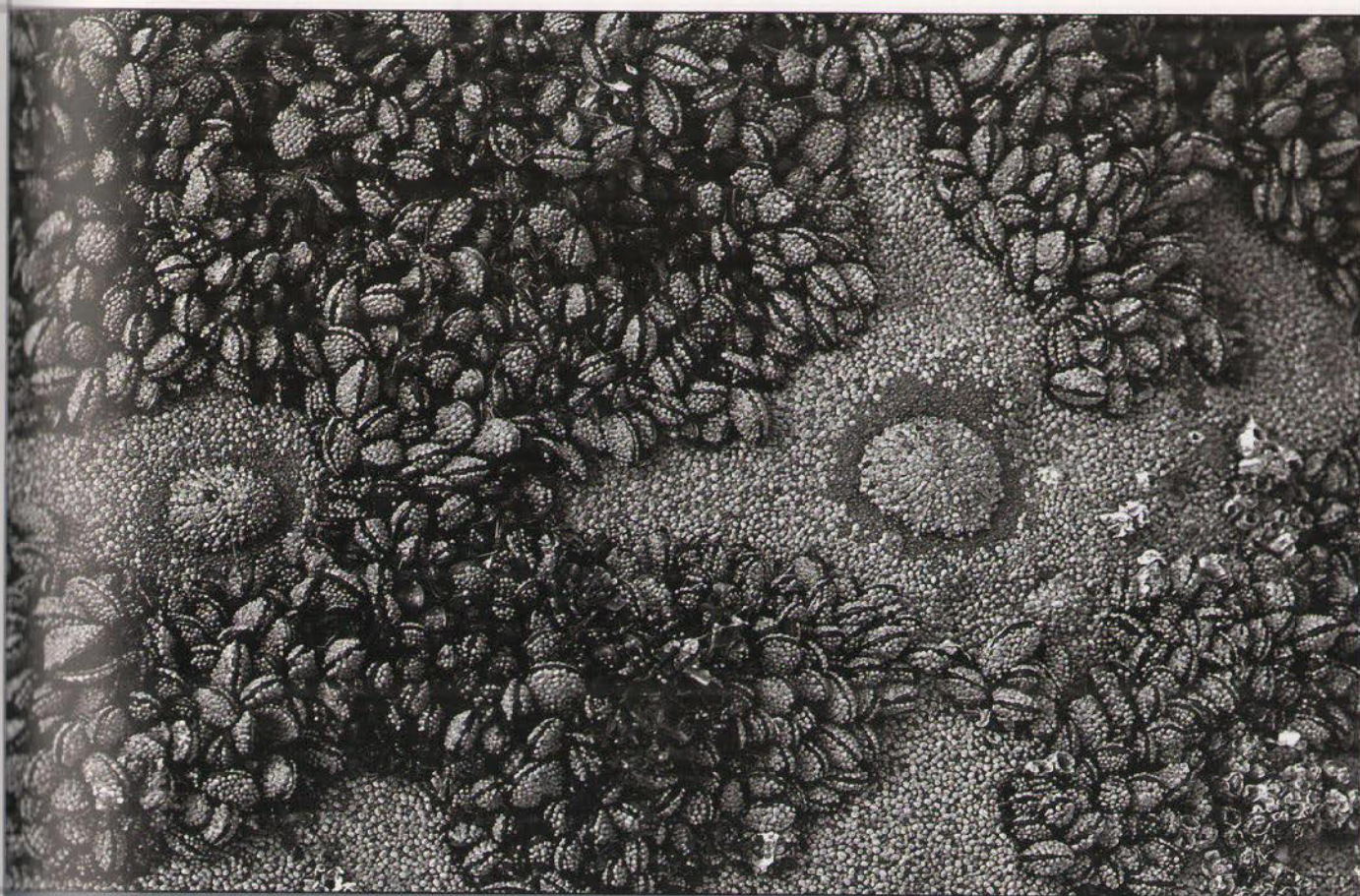
Und doch ist dieser wenig komfortable Lebensraum dicht bevölkert: Unter- und oberhalb der Grenzlinien von Ebbe und Flut haben sich zahllose Organismen angesiedelt. Dicht drängen sich in der Gischt- und der Gezeiten-



**Entenmuscheln in der Gezeitenzone.** Zum Schutz vor Austrocknung ziehen die Krebstiere bei Niedrigwasser ihre Fangarme ein und schließen die Schalen

carneau zum Beispiel, im bretonischen Département Finistère. Der Name der Region geht auf die römischen Besatzer zurück, die sie 56 v. Chr. unterworfen hatten: Finis Terrae nannten sie die





**Millionen junger Seepocken** überziehen diese Miesmuschelkolonie sowie zwei Napfschnecken, die sich an das Gestein geheftet haben. Trotz ständigen Wechsels zwischen Trockenheit und schweren Brechern gedeiht in der Zone von Ebbe und Flut eine reiche Fauna

zone Millionen von Seepocken, Miesmuscheln, Schnecken, Garnelen und Krabben. Auf den Felsen unter Wasser sitzen Austern und Seescheiden, raspeln Seeigel über Algenweiden, verbergen sich in den Spalten Kraken und Langusten. Und in dichten Tangwäldern ziehen Schwärme von Meeräschen umher.

**DIE URSACHE** dieser Fülle sind die Gezeiten selbst, denn die Flut, die täglich zweimal mit Wucht heranströmt, bringt immer wieder große Mengen frischer Nahrung: planktonische Krebse, Algen, Laich und Larven.

Wenn sich dann das Wasser von den Felsplateaus zurückzieht, finden sich in den Tümpeln Seeanemonen und Große Felsgarnelen, Miesmuscheln und Meeresschnecken; Taschenkrebse machen Jagd auf Jungfische, die von der Flut in die natürlichen Becken gesperrt wurden.

Hier und da überziehen die krustigen Schichten der Kalktrotalge die Steine

am Boden, und in Spalten versteckt sich vielleicht ein gestreifter Schleimfisch oder eine Grundel. Außerhalb der Tümpel huschen schwarzarmorierte Felsenkrabben eilig über die anfangs noch feuchten Steine.

Dabei ist, was aussieht wie ein idyllisches, kleines Naturaquarium, für die Bewohner in Wahrheit ein hartes Wechselbad: Schnell kann an einem Som-

Viele Bewohner der Pools sind darum speziell gewappnet: Von einer Strandschneckenart ist bekannt, dass sie Wassertemperaturen von bis zu 49 Grad Celsius überleben kann. Andere Schnecken tragen Kämme auf ihren Gehäusen, die wie Kühlrippen wirken, wieder andere schützen sich mit hellen Farben gegen Überhitzung, weil diese das Sonnenlicht besser reflektieren.

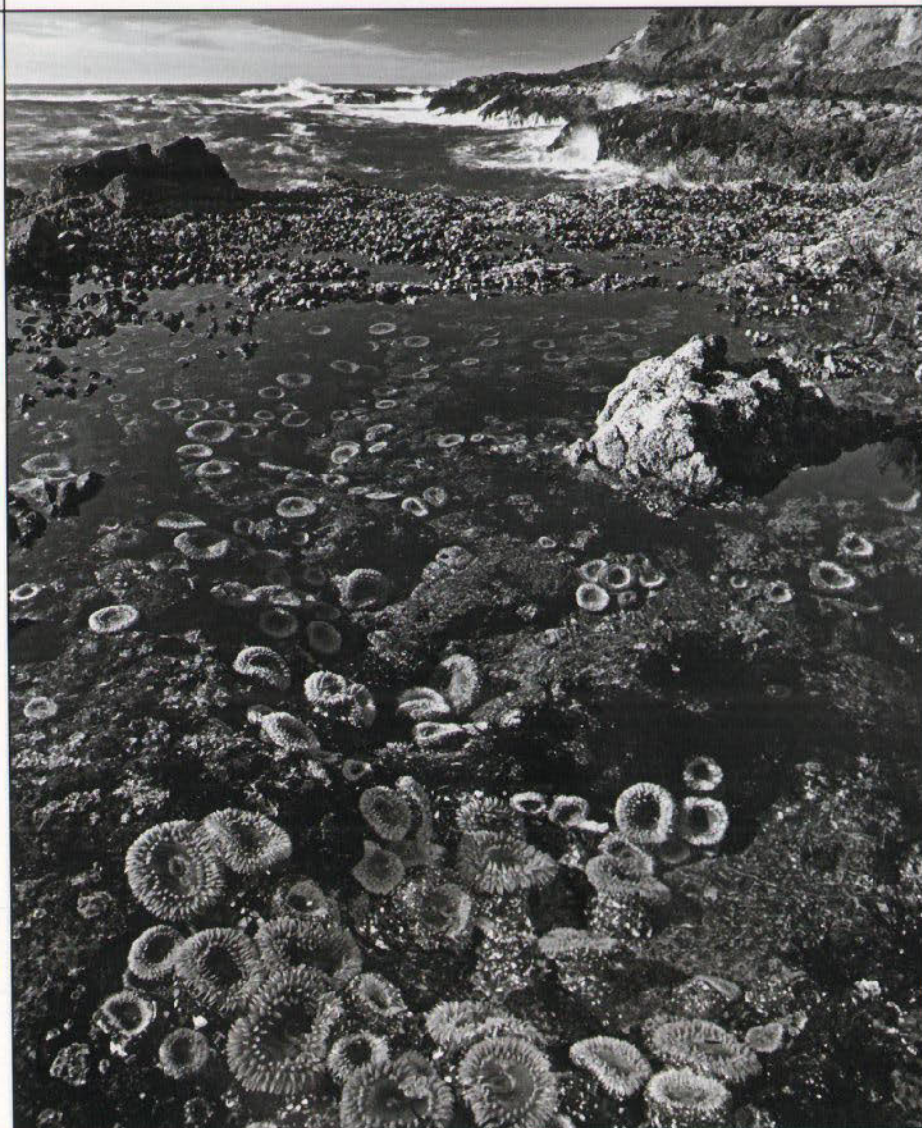
## Bei Sonnenschein werden die kleinen Tümpel im Fels für ihre Bewohner zum Hitzekessel

mertag die Mittagssonne das Wasser in den Pools auf mehr als 30 Grad Celsius erwärmen, Verdunstung lässt zudem den Salzgehalt steigen; oder ein herbstlicher Regenguss verwandelt die Becken binnen weniger Minuten in Brackwassertümpel. Und es kann Stunden dauern, bis die nächste Flut wieder frisches Salzwasser liefert.

Etwas entfernt, dort wo an der Pointe Du Millier der Granit steil ins Meer abfällt, zieht sich oberhalb der Hochwasserlinie in zum Teil acht Meter Höhe ein breiter, dunkler Streifen am Fels entlang: Es ist ein dünner Film aus **Cyanobakterien** und Flechten.

Cyanobakterien besitzen keinen echten Zellkern, betreiben aber Photosyn-





**Seeanemonen** in einem Gezeitentümpel. Die Verwandten der Korallen überstehen unter einer Schleimschicht und mit eingerollten Tentakeln selbst stundenlange Trockenphasen

these wie die Pflanzen – und wurden deshalb lange Zeit irrtümlich zu den Algen gezählt. Flechten wiederum sind symbiotische Lebensgemeinschaften von Pilzen und Algen. Beide Organismengruppen benötigen Feuchtigkeit und dehnen sich am Fels daher bis in jene Höhe aus, in die bei Flut gerade noch die Gischt der Wellen reicht.

Die dünnen Matten aus Bakterien und Flechten sind gesprenkelt von den runden Gehäusen der kleinen, unscheinbaren Zwergstrandschnecke, einem Weichtier, das hier, am steil abfallenden Fels, seine Weidegründe findet – vor allem aber Schutz vor seinen Feinden: Vögeln etwa.

An diese Welt zwischen den Elementen hat sie sich auf besondere Weise angepasst: Anders als viele ihrer vorwiegend im Wasser lebenden Verwandten atmet diese Schnecke nicht mehr mit Kiemen. Stattdessen versorgt ein speziell ausgebildetes Blutgefäßsystem in der Atemhöhle sie mit dem lebensnotwendigen Sauerstoff – sowohl im Wasser wie an der Luft.

Damit ist es der Zwergstrandschnecke möglich, mehrere Wochen lang außerhalb des Wassers zu überleben.

**FÜR ANDERE TIERE** an der Küste dagegen wird das Leben hart, sobald sich der Ozean zurückzieht. Wenn die Ebbe

einsetzt und die Sonnenstrahlen von den Küstenfelsen unterhalb der Spritzwasserzone jede Feuchtigkeit verdunsten lassen – dann legt das Meer an der Pointe Du Millier nach und nach eine einzigartige Lebensgemeinschaft frei.

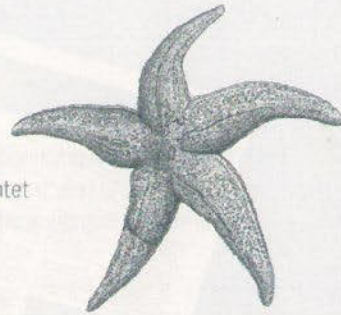
Zuerst zeigen sich die Seepocken, die zu Tausenden wie Pusteln an den Felsen kleben; dazwischen Napfschnecken, die sich mit kegelförmigen Gehäusen vor Sonne und Wind schützen. Etwas tiefer wachsen Miesmuscheln dicht an dicht auf Felsvorsprüngen, in Mulden und Ritzen. Und vereinzelt haben sich Seeanemonen ans Gestein geheftet, die unter Wasser ihre Tentakel ausstrecken – die aber nun, da die Hitze des Tages die Luft über den Klippen flimmern lässt, als kleine, rote, glibbrige Bällchen die Zeit der Trockenheit überstehen.

Vor allem zwei Eigenschaften sind es, die all diesen Organismen jeden Tag viele Stunden lang in einer feindlichen Umgebung das Überleben ermöglichen: zum einen ihre Technik, während der Trockenphasen im eigenen Körper jenes Wasser zu speichern, das sie zum Überleben benötigen; zum anderen ihre Fähigkeit, sich so fest ans Gestein zu heften, dass sie der Gewalt der anstürmenden Wellen ebenso trotzen können wie dem Sog des ablaufenden Wassers.

Die Gemeinen Napfschnecken etwa haben an geeigneten Stellen mit der Unterkante ihrer harten Schale durch beständiges Hin- und Herdrehen eine kreisförmige Kerbe ins Gestein gefräst. Während der Ebbe speichern sie das Wasser unter ihrem Schneckenhaus; die maßgeschneiderte Vertiefung im Fels sorgt dafür, dass es während der trockenen Stunden nicht entweichen kann: Vom Saugfuß gehalten, sitzt die Schale darauf wie ein Deckel auf der Pfanne.



Der Gemeine Seestern kann wie alle Stachelhäuter an der Luft nicht überleben: Er würde vertrocknen. Sinkt der Wasserstand, flüchtet er deshalb in tiefere Gebiete oder in kleine Felsenpools



Die extreme Haftfähigkeit des Fußes schützt die Tiere auch davor, fortgerissen zu werden, wenn sich Stunden später mit der ersten Brandung erneut die Flut ankündigt; wenn das Wasser in den Spalten brodeln und wirbelt, mit hoher Geschwindigkeit über die flachen Felsen jagt und die Wellen sich brechen.

**EINE ANDERE LÖSUNG**, um den tosenden Gewalten zu widerstehen, haben die Seepocken gefunden, die auf den Klippen in der unmittelbaren Gezeitenzone nahezu jeden freien Fleck bewachen. Sie zählen zu den Krebstieren, sind allerdings im Gegensatz zu ihren Artgenossen nicht in der Lage, den Standort zu wechseln – denn sie haben sich mit Zement fest ans Gestein geheftet: Diesen Klebstoff beschreiben Forscher als so stark, dass er den besten industriell erzeugten Epoxidharz-Kleber in seiner Wirkung um das Zehnfache übertrifft.

Seepocken können nur fressen, wenn Flut ist; dann strecken sie drei ihrer gefiederten Gliedmaßen aus der Öffnung an der Gehäusespitze und durchkämmen das Wasser nach **Plankton**. Bei Ebbe aber müssen sie ihren Bau fest verschlossen halten, um nicht auszutrocknen. Dafür sorgen zwei kleine, bewegliche Kalkdeckel, die sie bei ablaufendem Wasser (oder bei Gefahr) mit einem Schließmuskel vor die Gehäuseöffnung ziehen. So können Seepocken zur Not mehrere Tage Trockenheit und Hitze mit einem selbst angelegten Wasservorrat überstehen.

Die unwirtlichen Verhältnisse in diesem Lebensraum schützen die festsit-

zenden Krebstierchen vor ihrem ärgsten Feind: der Nordischen Purpurschnecke, die mithilfe ihrer Raspel und körpereigener Säure ein Loch in deren Kalkschale fräst. Den zweimal täglich anrollenden Flutwellen jedoch vermag die Schnecke

Selbst bestimmte Fische haben gelernt, in der Gezeitenzone zu überleben, indem sie ihren Körper mit einem feuchten Film überziehen. Bei Ebbe sind diese Schleimfische nicht nur in kleinen Gezeitentümpeln zu finden, aus denen

## Manche Fische verbergen sich unter feuchtem Tang, wenn ihnen die Tide plötzlich das Meer entzieht

nicht standzuhalten – die schäumende Brandung reißt sie von ihren Opfern fort und spült sie in tiefere Regionen.

Die nebenan siedelnden Seeanemonen – nahe Verwandte der Korallen – dagegen überleben trockene Luft und starke UV-Strahlung sogar ganz ohne

das Wasser langsam verdunstet, sondern oft auch verborgen unter Seetang oder in feuchten Felsspalten.

Um den heftigen Turbulenzen, den starken Strömungen und dem Wellenschlag in der Gezeitenzone besser zu widerstehen, haben sich die meisten der

rund 350 Schleimfischarten zu marinen Bodenbewohnern entwickelt: Beim Rutschen über den Boden stützen sie sich auf ihre stäbchenartigen Brustflossen und schwimmen nur noch kurze Strecken.

**DIE AUFFÄLLIGSTEN** Siedler an der Felsküste von Finistère aber sind die Miesmuscheln. Hunderttausendfach wachsen sie dicht an dicht auf den Steinen, scheinen aus Spalten im graubraunen Granit

geradewegs hervorzuspringen, drängen sich in großen Kolonien oberhalb der Niedrigwasserlinie. Denn nur auf dem Trockenen sind sie zumindest zeitweilig vor einem ihrer größten Räuber in Sicherheit: dem Gemeinen Seestern.

Und es sind dramatische, oft stundenlange Kämpfe, die sich bei Flut auf den Muschelfelsen abspielen: Wenn einer der hier zahlreich auftretenden Seesterne eine der fluchtunfähigen Mol-



**Blasentang** bei Ebbe. Kehrt das Wasser zurück, richten Gasbläschen die Algen wieder auf – und bringen sie so näher an das Leben spendende Sonnenlicht

festen Schale. Sie haben während der Ebbe ihre fast 200 Tentakel, mit denen sie bei Hochwasser Jungfische und kleine Krebse fangen, eingezogen und sich mit einer dicken Schleimschicht umgeben. Diese Schicht, die sie wie eine Folie umhüllt, hält sie über Stunden feucht.



Das Gehäuse der Napfschnecke trotz dank seiner Gestalt Wellen und Ebbstrom. Das Tier kann sich daher auch bei starker Brandung am Felsen halten



lusken angreift, sich über sie legt, sich festsaugt und mit der Kraft seiner fünf Arme versucht, ihre Schalenklappen auseinander zu reißen. Ist er erfolgreich, stülpt er seinen Magen in den Schalen-schlitz und verdaut sein Opfer an Ort und Stelle.

Die angegriffene Miesmuschel aber wehrt sich hartnäckig gegen den Zug der Saugarme – die Muskeln, die ihre Schalen zusammenhalten, entwickeln unglaubliche Kräfte: Forscher, die an der Schalenklappe einer hängenden Miesmuschel ein Vier-Kilo-Gewicht befestigt hatten, mussten mehr als vier Stunden warten, bevor das Tier nachgab.

Hält also die Molluske im Kampf mit dem Seestern bis zur Ebbe durch, ist sie gerettet. Denn dann muss sich der Stachelhäuter ins Nasse flüchten, an der Luft würde er schnell vertrocknen.

Doch die Eroberung dieses Lebens-raumes hat für die Miesmuscheln ihren Preis: In ihren Kolonien herrscht Gedränge. Um von der Brandung nicht an den Felsen der Bretagne zerschmettert zu werden, müssen die Tiere hier möglichst eng beieinander wachsen: Die aufwärts gerichteten Spitzen ihrer Schalen brechen die anrollende See in viele kleine Wirbel und nehmen ihr dadurch die Kraft.

Außerdem hat sich jede Muschel mit etwa 20 bis 200 so genannten Byssus-fäden am Gestein und an den Schalen ihrer Nachbarn befestigt. Jeder einzelne dieser haarfeinen, einige Zentimeter langen Proteinfäden kann einer Zugkraft von bis zu zwei **Newton** standhalten, wie Messungen ergeben haben. Die Kraft, die hochgerechnet pro Quadratmeter aufgewendet werden müsste, um die Fäden zu entfernen, liegt bei etwa 360 Millionen Newton. Das entspricht einem Gewicht von 36 000 Tonnen.

Unter den Miesmuscheln, die zehn Jahre und älter werden können, tobt auf den Felsen ein harter Generationenkonflikt: Junge, nachwachsende Muscheln beanspruchen immer mehr Platz wie auch Nahrung und verdrängen die alten, bis sich diese weit über das Niveau der Muschelbank hinausrecken und den

weiden ziehen, wenn in der milden Nachtluft die Felsen feucht genug bleiben.

Der hungrige Räuber ist mit einem Panzer und kräftigen Scheren bewehrt, seine Kiemenkammern sind mit Wasser gefüllt, was ihm auch außerhalb des Wassers die Jagd ermöglicht.

## Auf den dicht bewachsenen Muschelfelsen tobt ein Generationenkonflikt um Platz und Nahrung

Brechern nichts mehr entgegensetzen haben – und abreißen.

**ÜBER DEN KÜSTENFELSEN** des Finistère ist es Nacht geworden. Ebbe. Seepocken und Miesmuscheln haben ihre Gehäuse verschlossen. Nun ist

Auf acht seiner zehn Gliedmaßen huscht der Krebs zu einer Napfschnecke, baut sich hochbeinig über ihr auf und packt mit beiden Scheren unter den Schalenrand. Die Strandkrabbe hebt ihr Opfer an, dreht das Schneckenhaus um und hält es mit einer Schere fest wie einen Teller. Mit der anderen reißt sie anschließend Fleischstückchen heraus.

**WENN SICH AM MORGEN** vor Concarneau mit kräftigem Rauschen die nächste Flut ankündigt, ist auch die Strandkrabbe wieder verschwunden: geflohen in die Sicherheit einer Gesteinsritze. Denn kurz darauf werden die ersten Brecher an die Klippen krachen und die Felsen, die jetzt noch trocken liegen, in unterseeische Riffe verwandeln. Die Miesmuscheln öffnen ihre Schalen, die Seepocken ihre Gehäuse, die Seeanemonen ihre Tentakel, und am Fuß der Felsen weiden Fische.

Dann erwacht – für wenige Stunden – wieder das unterseeische Leben an der Küste von Finistère. □

### memo | felsenküsten

» **DER HÖCHSTE TIDENHUB** der Welt in der kanadischen Bay of Fundy beträgt 16 bis 18 Meter.

» **KURZ BEVOR** Wellen brechen, kann die Geschwindigkeit des Wassers der Stärke eines Orkans an Land entsprechen.

» **VIELE LEBEWESSEN** in der Gezeitenzone halten Wassertemperaturen von mehr als 30 Grad Celsius sowie schwankendem Salzgehalt stand.

» **WENN IHR LEBENSRAUM** trockenfällt, überleben Muscheln, Seepocken und Napfschnecken mit eigenem Wasservorrat.

» **EINIGE TIERE** siedeln an den Felsen im Tidenbereich, weil Feinde ihnen dorthin bei Ebbe nur schwer folgen können.

für die Strandkrabbe die Zeit gekommen, sich aus dem Dunkel der salzigen Pfützen auf die Jagd zu begeben. Denn jetzt sind ihre Opfer wehrlos – Napfschnecken etwa, die zu ihren Algen-

**Jürgen Bischoff**, 52, ist GEOkompakt-Redakteur. Wissenschaftliche Beratung: **Prof. Sievert Lorenzen**, Zoologisches Institut der Universität Kiel.





# Frisch renoviert!

## Noch mehr entdecken

Neu! Der „Kompass“ im Special.  
Fünf Start-Seiten zur ersten Orientierung.

Neu! Die Fotografie.  
Mehr Platz für optische Genüsse.

Neu! Das „Dossier“, das schlau macht.  
Zwölf Seiten kompaktes Länder-Wissen.

Neu! Die Zeitreise.  
Auf spannenden Wegen in die Geschichte zurück.

Neu! Service-Teil.  
Reisen wie die GEO Special-Reporter.  
Dazu: Tipps von GEO Special-Lesern.

## GEO Special

№ 1 Februar / März 2007

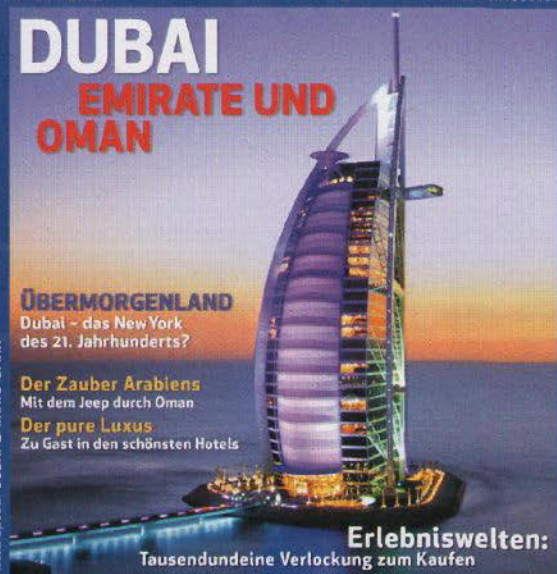
DIE WELT ENTDECKEN

### DUBAI EMIRATE UND OMAN

**ÜBERMORGENLAND**  
Dubai - das New York  
des 21. Jahrhunderts?

**Der Zauber Arabiens**  
Mit dem Jeep durch Oman  
**Der pure Luxus**  
Zu Gast in den schönsten Hotels

GEO Special DUBAI EMIRATE OMAN



**Erlebniswelten:**  
Tausendundeine Verlockung zum Kaufen

[www.geo.de](http://www.geo.de)

Mit aktuellen Tipps für die Reise



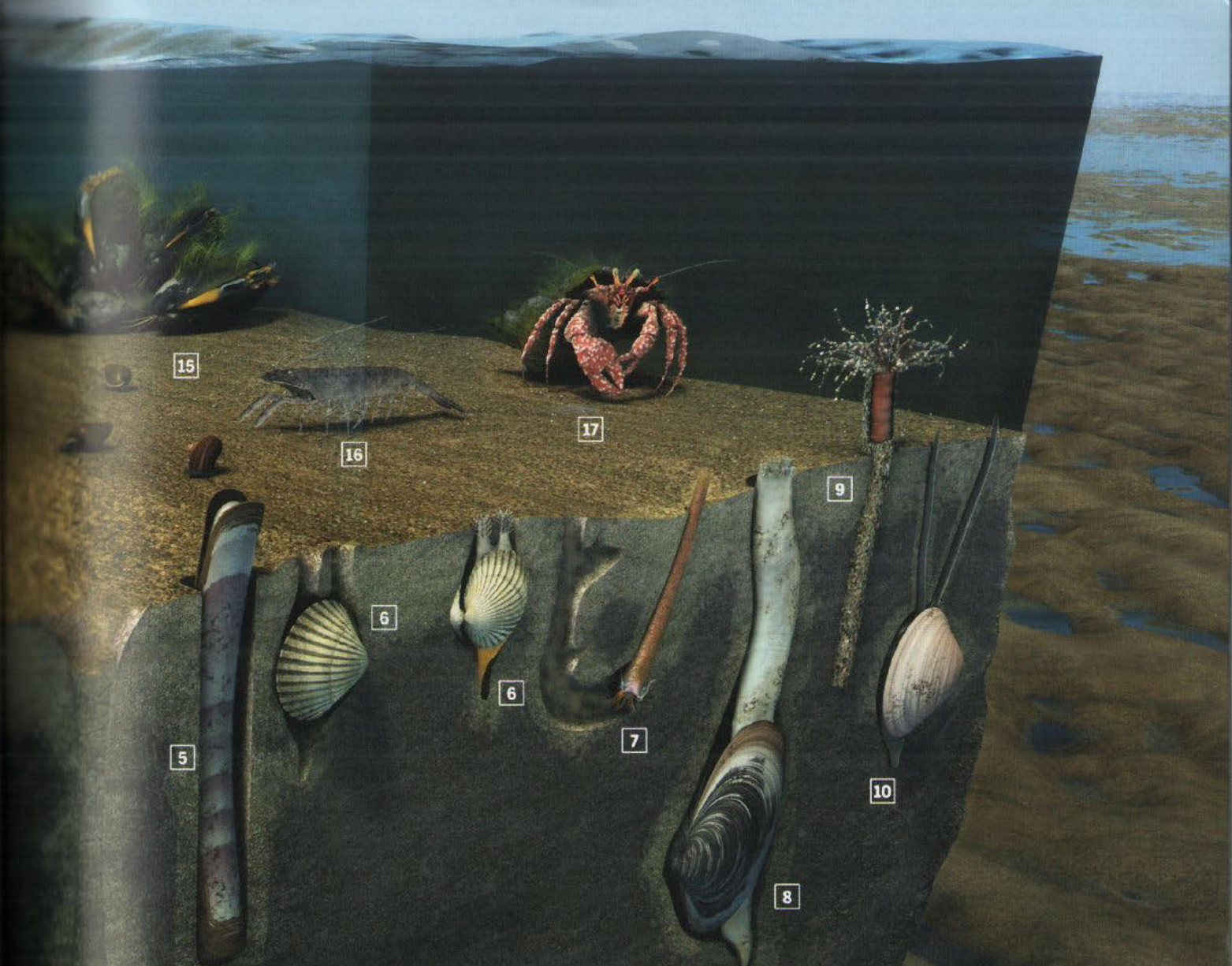


# Ein Kubikmeter Watt

Die Nordseewatten gehören zu den reichsten und produktivsten Ökosystemen der Erde. Das Leben jedoch spielt sich dort meistens im Verborgenen ab

Text: Bertram Weiß; Illustration: Jochen Stuhmann





Obwohl das Wattenmeer regelmäßig trockenfällt (oben links), existieren dort auf einem Quadratmeter bis zu 100 000 mit bloßem Auge sichtbare Kleintiere – darunter Fische, Würmer, Weich- und Krebstiere

1. **Schlickkrebse** sind fast durchsichtig und graben U-förmige Röhren.
2. Der **Schillernde Seeringelwurm** spannt in seinem Tunnelsystem ein Fangnetz auf.
3. **Kotpillenwürmer** fressen mit organischer Substanz vermengten Sand und scheiden den Kot als dunkle Kügelchen aus.
4. Der **Wattwurm** wird etwa 20 Zentimeter lang. Auffällig: seine Kothaufen.
5. Die **Schwertmuschel** lebt im seichten Wasser und steckt mit dem größten Teil ihrer dünnen Schale im Boden.
6. **Herzmuscheln** schließen sich bei Ebbe. Zum Atmen und Fressen schieben sie bei Flut zwei Schläuche nach oben.
7. Der **Köcherwurm** lebt in selbst gebauten Röhren aus Sandkörnern.

8. Die **Sandklaffmuschel** kann bis zu 30 Zentimeter tief im Boden stecken.
9. **Bäumchenröhrenwürmer** bauen aus Sand Wohnröhren und setzen darauf verästelte Fangapparate aus verklebtem Sediment.
10. Die **Pfeffermuschel** tupft mit ihrem Saugrohr Kieselalgen vom Meeresboden auf.
11. **Strandschnecken** sind Algenfresser und Kiemenatmer, überstehen aber bei Ebbe auch Zeiten ohne Wasser.
12. Die **Laichballen** der Wellhornschnecke bleiben bei Ebbe oft als Klumpen auf dem Wattboden zurück.
13. **Wattschnecken** sind nur wenige Millimeter groß, leben in großer Zahl

vorzugsweise auf Schlick und werden von verschiedenen Vogelarten gefressen.

14. Die **Scholle** wird erst mit zwölf Millimeter Größe zum Plattfisch, der auf dem Boden liegt oder sich teilweise eingräbt.

15. **Miesmuscheln** siedeln in Kolonien auf dem Meeresboden und heften sich, um Halt zu finden, mit feinen Fäden am harten Untergrund fest.

16. **Nordseegarnelen** sind langschwänzige Krebse, werden aber häufig fälschlich als Krabben bezeichnet.

17. Der **Einsiedlerkrebs** schützt seinen weichen Hinterleib mit dem Gehäuse einer toten Meeresschnecke.



**E**igentlich sieht dieses Biotop öde aus, wenn sich das Wasser im Pulsschlag der **Gezeiten** hinter den Horizont zurückgezogen hat: eine windige Welt aus feuchtem Matsch, ein Meer ohne Wasser, ein Land auf Zeit. Tatsächlich aber zählt das **Watt** zu den reichsten und produktivsten Lebensräumen der Erde.

Man muss nur genau hinschauen.

An der Oberfläche dieses riesigen Biotops sind in der Regel bei Ebbe wenige Tiere zu sehen – allenfalls Schnecken, an manchen Stellen Austern oder Miesmuscheln sowie einige Strandkrabben.

Die meisten Spezies haben den Untergrund erobert und verraten sich nur durch charakteristische Spuren: durch die verknäulten Häufchen aus dunklem Schlick und Sand etwa, die der Wattwurm an die Oberfläche befördert.

Durch fein verästelte Fangapparate aus verklebtem Sediment, die der Bäumchenröhrenwurm auf seine Behausung setzt. Oder durch Sternchen aus dünnen Rillen, die der Schlickkreb in die Bodenoberfläche ritzt.

Oft geben winzige Kieselalgen dem Boden seine unregelmäßige Färbung. Solche **Diatomeen** können sich nur nahe der Oberfläche verbreiten, denn sie sind auf die Energie des Sonnenlichtes angewiesen. Auf einer nur fingernagelgroßen Fläche können mehrere Millionen dieser Einzeller nebeneinander existieren.

Dicht unter diesem Teppich aus Kieselalgen leben in wenigen Zentimeter Tiefe Herzmuscheln und Seeringelwürmer. Bei Flut schiebt die Herzmuschel aus ihren kräftigen, rundlichen Schalenklappen zwei Schläuche an die Oberfläche: Durch den einen strudelt

ben Liter Meerwasser durch ihren Körper. Auf einem einzigen Quadratmeter leben zuweilen mehrere hundert Tiere.

Der Schillernde Seeringelwurm hat dagegen eine ganz andere Strategie entwickelt, um satt zu werden: Das zehn bis 15 Zentimeter lange, vieräugige Tier baut mit seinem ausstülpbaren Schlund und seinen bis zu 120 stummeligen Füßchen ein Tunnelsystem mit mehreren Ausgängen an der Oberfläche. In den Röhren platziert er einen schleimigen Vorhang.



**Die Deutsche Bucht ist Teil der weltgrößten Wattfläche, die sich von Dänemark bis zu den Niederlanden erstreckt. Bei Ebbe fallen insgesamt etwa 3500 Quadratkilometer trocken**

Mit schlängelnden Bewegungen fächert der Wurm nun das Meerwasser durch seinen Bau und treibt so feine Nahrungsteilchen in das Geflecht. Von Zeit zu Zeit verschlingt er dann seinen Fang samt Netz. Rund 2000 dieser Fallensteller können unter der Oberfläche

Er gräbt eine meist rund 20 Zentimeter tiefe, L-förmige Röhre in den Wattboden. Am unteren Ende der Röhre frisst er den Boden weg und verwertet darin enthaltenes abgestorbenes Material, Algen und Bakterien.

Weil Sand in diese Lücke hinabrutscht, entsteht ein zusätzlicher Schacht mit einem Trichter oben, und die gesamte Röhre wird zu einem „U“. Am anderen Ende wirft der Wurm kleine Kothaufen an die Oberfläche.

So übernimmt er eine wichtige Aufgabe im Gefüge des Watts: Er lockert den Boden auf und bringt frisches Wasser und damit lebenswichtigen Sauerstoff in den Untergrund.

Wenn der Wattwurm sein Hinterteil aus dem Boden streckt, ist er jedoch leichte Beute für Fische, Krebse und Vögel. Hat einer dieser Fressfeinde den Wurm von hinten gepackt, teilt der sich kurzerhand an einer Art Sollbruchstelle. Bis zu 30 Mal hat der Wurm so die Möglichkeit, sich zu retten.

**D**as Leben im Watt verbirgt sich vor allem im Untergrund. Auf und knapp unter einem Quadratmeter Oberfläche existieren bis zu 100 000 mit bloßem Auge sichtbare Kleintiere.

Sie strudeln oder filtrieren das Wasser, fressen einzellige Algen, sammeln Abfälle, jagen oder stellen Fallen auf. Etwa 100 dieser größeren Tierarten ist es gelungen, sich an die extremen Bedingungen im Watt anzupassen.

Die Zahl mikroskopischer Algen und kleinster Tiere, die in den Lücken zwischen Sandkörnern leben, ist noch deutlich höher: Es gibt rund 1400 Arten. Offenbar werden die Winzlinge mit der Wechselhaftigkeit des Watts gut fertig.

## Die Tide baut das Watt ständig um. Nirgendwo gibt es einen Ort, auf dessen Bedingungen sich das Leben verlassen kann

sie dann Wasser in sich hinein und filtriert daraus Sauerstoff und Fressbares wie einzellige Algen oder Bakterien.

Durch den anderen Schlauch stößt sie das Wasser wieder aus. Eine ausgewachsene Muschel pumpt auf diese Weise in einer Stunde durchschnittlich einen hal-

eines Quadratmeters Wattboden gleichzeitig ihre Schleimtapeten aufspannen.

Bei Ebbe aber sind Herzmuscheln und Ringelwürmer kaum aktiv – im Gegensatz zu jenen Arten, die sich unter ihnen eingerichtet haben, etwa dem 20 Zentimeter langen Wattwurm.

Für das Leben in diesem schützenden Boden nehmen die Organismen extreme Bedingungen in Kauf.

Denn nur wenige Zentimeter des oberen Wattbodens – manchmal sogar nur einige Millimeter – sind gut durchlüftet; zudem zehren Bakterien die ohnehin



geringen Sauerstoffvorräte schnell auf. In den Schichten darunter fehlt es an dem für höhere Organismen lebenswichtigen Gas. Dort produzieren Bakterien, die ohne Sauerstoff leben können, faulig riechenden Schwefelwasserstoff.

Siebt man einen Quadratmeter Wattboden bis auf 40 Zentimeter Tiefe durch – so weit, wie in der Regel die belebte Zone reicht – und legt Würmer, Schnecken, Muscheln, Krebse sowie andere Organismen ohne ihre Schalen auf eine Waage und trocknet sie, bleiben durchschnittlich etwa 50 Gramm **Biomasse** übrig. So viel organische Substanz produzieren nur wenige andere Küstenmeere.

Der Rhythmus der Gezeiten macht aus dem nahrungsreichen Lebensraum eine sich ständig ändernde Welt. Regen und Süßwasser aus Flussmündungen können den Salzgehalt immer wieder verändern.

Bei Ebbe wirbelt der Wind über die kahle Fläche, bei Flut spülen die Wellen über den Grund. Im Sommer wird das Wasser im Vergleich zur offenen See sehr warm, im Winter merklich kälter.

Ständig transportiert die Tide neuen Sauerstoff heran und baut gleichzeitig das Watt um: Die Wassermassen bringen Feinmaterial herbei, tragen es ab und lagern es andernorts wieder an. Und je nachdem, wie schnell das Wasser fließt und wie schwer die Partikel sind, werden sie unterschiedlich weit transportiert.

Die eher schweren Sandkörner sinken, sobald sich die Geschwindigkeit des Wassers verlangsamt, schnell zu Boden. So bildet sich in größerer Entfernung von der Küste grobkörniges Sandwatt, gezeichnet vom fließenden Wasser: In unterschiedlichen Formen und Abständen ist der Boden geriffelt wie Wellblech.

Feinere Schwebstoffe dagegen sinken erst zu Boden, wenn das Wasser in Küstennähe ruhiger wird. Dort bildet sich Mischwatt.

Noch näher am Festland entsteht schließlich Schlickwatt: matschig, dunkel und muffig. Hierhin verfrachten die Gezeiten den größten Teil des organischen Materials, das zuvor durch das Absterben von Pflanzen und Tieren im Meer entstanden ist; es macht bis zu zehn Prozent des Schlicks aus und erklärt dessen Nährstoffreichtum.

Darüber hinaus tragen Flüsse aus dem Landesinneren ständig Nährstoffe und organische Partikel ins Watt. Die von Meer und Wind aufgeworfenen Inseln und Sandbänke schließlich bewahren die Wattgesellschaft im Boden vor dem stürmischen Seegang der Nordsee.

**G**rundsätzlich können Wattflächen nur dort entstehen, wo das Wasser viele Schwebeteilchen in ruhige, seichte Bereiche trägt, die vor Wellen und starker Strömung geschützt sind. Solche „Sedimentationsräume“ gibt es etwa an der westkoreanischen Küste oder an der Atlantikküste Mauretaniens.

Aber nirgendwo ist eine so große, zusammenhängende Wattfläche entstanden wie an der Nordsee, die als extrem flaches Meer besonders günstige Voraussetzungen für diese Art Ökosystem bietet: Wenn sich das Wasser zurückzieht, säumen 3500 Quadratkilometer Wattboden die Küsten Dänemarks, der Niederlande und Deutschlands in einer Breite zwischen fünf und 20 Kilometern.

#### memo | wattenmeer

» **AUF UND UNTER JEDEM** Quadratmeter Nordseewatt leben bis zu 100 000 sichtbare kleine Individuen.

» **KIESELALGEN** an der Oberfläche sind Lebensgrundlage vieler Organismen.

» **WÜRMER** lockern mit ihren Gängen den Boden und versorgen die unteren Schichten mit frischem Sauerstoff.

» **NUR DIE OBERSTEN ZENTIMETER** – zum Teil nur Millimeter – Boden sind durchlüftet. Darunter fehlt es den höheren Organismen an Sauerstoff.

Und obwohl Meerespflanzen wie Großalgen hier fehlen, da sie sich im lockeren und beweglichen Wattboden kaum festhalten können, sind auch pflanzliche Lebewesen in diesem Ökosystem von größter Bedeutung.

Denn die mikroskopisch kleinen Kieselalgen an der Wattoberfläche sind die Lebensgrundlage vieler Organismen. Ihre aus dem Sonnenlicht stammende, stofflich gebundene Energie wird durch das ganze **Nahrungsnetz** weitergereicht – über Würmer, Muscheln, Krebse bis hin zu Fischen, die im Watt auf der Jagd sind.

Auch für Millionen von Zugvögeln, die im Frühjahr und Herbst hier Rast machen, sind diese Energiereserven von existenzieller Bedeutung: Sie ernähren sich unter anderem von den Wattwürmern, die sie regelrecht abweiden.

Wenn dann langsam die Flut aufläuft und erste Wellen den Grund umspülen, kommen viele Tiere, die sich während der Ebbe zurückgezogen hatten, aus ihrer Deckung: Schnecken ziehen die Deckel von den Öffnungen ihrer Gehäuse, schieben die Fühler heraus und machen sich daran, mit ihren Raspelungen die Kieselalgen vom Boden abzuschaben.

Muscheln recken ihre Saugrohre. Seeringelwürmer fächeln Wasser durch ihre Gänge. Strandkrabben laufen geschäftig umher und packen alles, was ihnen vor die Schere kommt.

Auch die gefräßige Seemaus durchstöbert den Wattboden nach Fressbarem wie Aas und anderen Würmern. Dieser Borstenwurm ist eine der seltsamsten Erscheinungen des Watts: Haarige Borsten auf dem Rücken können alle Farben des Lichtspektrums reflektieren. Das irisierende Farbspiel hat schon die Aufmerksamkeit von Physikern und Lasertechnikern geweckt; sie wollen nach dem Vorbild der Borsten neue Glasfaserleitungen entwickeln.

Mit der Flut kommen auch Garnelen und andere Meeresbewohner zurück und stürzen sich auf das reiche Buffet im Wattboden. Plattfische wie die Schollen durchpflügen den weichen Meeresboden auf der Suche nach Nahrung.

Im Frühjahr bevölkern vor allem die Larven von Schollen und anderen Fischen das flache, warme Wasser des Wattenmeeres. So wird es zur Kinderstube unzähliger Fische, die eines Tages den Ozean bevölkern werden. Geschützt vor großen Raubfischen und schwerem Seegang, stärken sich die Jungfische am Angebot des überfluteten Watts.

Das ewige Diktat der Gezeiten lässt ihnen dazu jedoch nur einige Stunden Zeit. Dann zieht das Wasser sie wieder davon. □

**Bertram Weiß**, 23, ist Wissenschaftsjournalist in Hamburg. Dort lebt auch der Illustrator **Jochen Stuhmann**, 32. Beratung: **Prof. Karsten Reise**, Wattenmeerstation des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung, List auf Sylt.



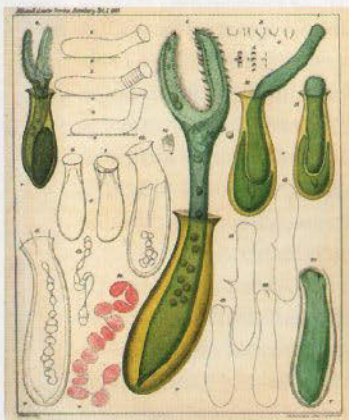
# Die Auster als soziales Wesen

*Über viele Jahre sammelt der Zoologe Karl August Möbius Mitte des 19. Jahrhunderts in der Kieler Bucht Lebewesen, misst Strömungen, Temperatur und Salzgehalt. Als er erkennt, dass keine Art für sich allein leben kann, beginnt er, die Bewohner der Ozeane als Gemeinschaft wahrzunehmen – und wird so zum Mitbegründer der Meeresökologie*

Text: Insa Holst

**S**ogar die Schale lebt! In Zwischenräumen und Spalten verstecken sich winzige Borstenwürmer, von außen haben sich Polypen, Seepocken und Moostierchen an die schrundige Oberfläche gehaftet. Hunderte Tiere zählt Karl August Möbius – auf einer einzigen Auster. Der Kieler Professor erkundet mit Schleppnetzen und Stangen die Austernbänke im deutschen Wattenmeer. Sie sind nur an Stellen zu finden, wo grober Sand und Muschelschalen den Grund bedecken. Und dort leben nicht allein Austern.

Die Fischer haben noch viele andere Tiere aus dem Netz geschüttet: An Deck des Schiffes winden sich Schollen und Würmer, kriechen Einsiedlerkrebse und Wellhornschnecken unter Seesternen, Seeigeln, Herz- und Miesmuscheln hervor. Andere Forscher würden die Tiere einzeln beschreiben, zählen und katalogisieren – Möbius aber denkt in ökologischen Kategorien. Er sieht Beziehungen zwischen Lebewesen und erkennt in dem Fang eine Tiergemeinde, in der ein Organismus vom anderen abhängig ist.



**Flaschentierchen** (*Folliculina ampulla*) sind winzige Einzeller, die in der Kieler Förde häufig vorkommen. Möbius erkennt als Erster, dass die mikroskopisch kleinen Wesen Teil der Lebensgemeinschaft auf einer Austernschale sind

Als Karl August Möbius 1825 im sächsischen Eilenburg geboren wird, spricht noch niemand von Ökologie. Der Sohn eines Kutschenbauers lernt schon mit drei Jahren lesen, doziert bald vor seinen Mitschülern und sammelt gern Schnecken und Eier. Mit 19 Jahren wird er Lehrer an einer Volksschule. Aber der Unterricht füllt Möbius nicht aus. In seiner Freizeit liest er Heine, Goethe, Shakespeare – und die Schriften Alexander von Humboldts. Nichts begeistert ihn mehr als dessen Forschungsreise in die südamerikanischen Tropen.

Das Vorbild Humboldt vor Augen, schreibt sich Möbius 1849 an der Universität Berlin ein, studiert Naturwissenschaften und Philosophie. Am liebsten hört er

Vorlesungen in Zoologie; ein Fach, das lange darauf konzentriert war, Arten zu beschreiben und in Klassen einzuteilen. Seit kurzem aber beschäftigen sich die Tierkundler auch mit der Entwicklungsgeschichte und inneren Funktionsweise der Organismen.

Nach dem Studium unterrichtet Möbius Naturwissenschaften an der Gelehrtenschule des Johanneums, Hamburgs ältester Bildungsstätte. Dort kann er auch forschen, etwa über die Naturgeschichte der Perle. Auf das Thema seines Lebens stößt Möbius, als er 1857 Heinrich Adolf Meyer kennen lernt. Der Kaufmann und Mäzen ist von der Meeresfauna fasziniert, nimmt Privatstunden bei Möbius und lädt ihn zu Fahrten in der Kieler Bucht ein. Fortan ist Möbius an Wochenenden meist mit Meyer auf der Ostsee unterwegs; sammelt, misst, untersucht.

Die meisten Tiere bringen die Männer lebend nach Hamburg. Möbius beobachtet ihr Verhalten in Meyers privaten Aquarien – bis er 1863 ein Schau-Aquarium in Hamburgs neuem Zoologischen Garten mitbegründet. Die erste deutsche Seewasseranlage wird nach modernsten Erkenntnissen erbaut: Um das Wachstum von Algen zu verhindern, erhalten die Besichtigungsräume kein Tageslicht. Die Besucher treten direkt vor die Scheiben der künstlich erleuchteten Aquarien und studieren die Meerestiere mithilfe eines von Möbius verfassten Führers.

1865 erscheint der erste Band der „Fauna der Kieler Bucht“. Möbius und Meyer beschreiben darin unterschiedliche Weichtierarten, analysieren aber auch deren Umwelt: die Strömungsverhältnisse und Bodenbeschaffenheit, den Salzgehalt und die Temperaturen des Wassers – allesamt Faktoren, die „das Leben am Meeresboden begünstigen oder beschränken“. Sie unterteilen die Bucht in fünf Regionen, in denen jeweils bestimmte Pflanzen und Tiere vorkommen.

Den Begriff für diesen neuartigen Forschungsansatz definiert 1866 der Jenaer Zoologe Ernst Haeckel: „Ökologie“. Doch Möbius ist der Erste, der diesen Begriff in die Praxis umsetzt und nicht nur Gemeinschaften im Meer, sondern auch deren Lebensbedingungen beschreibt.

1868 beruft ihn die Kieler Universität auf den neuen Lehrstuhl für Zoologie. Zwei Jahre später wird er Sach-





### Karl August Möbius (1825–1908)

wird von Preußens Regierung um 1870 beauftragt, herauszufinden, weshalb die Austernbänke vor der Nordseeküste immer weniger Ertrag abwerfen. Der Zoologe löst das Rätsel – und erkennt, dass Lebewesen stets in Abhängigkeit voneinander existieren

**Fischern Hoffnung:** Sie können die Bedingungen beeinflussen – wenn sie konkurrierende Muschelarten entfernen und zugleich die Austern schonen.

Seine Vorschläge machen weltweit Furore – zumal das Modell allgemein gültig ist. Ein Besucher seiner Lehrveranstaltungen, der Hauptlehrer Friedrich Junge, überträgt diesen Ansatz auf den Dorfteich.

Möbius hält Vorträge vor Fischereivereinen, parliert mit Reichskanzler Bismarck über die Qualität der holsteinischen Austern, wird mit Ehrenmitgliedschaften, Orden und Plaketten gefeiert.

1881 gründet er das Zoologische Museum in Kiel, 1887 wird er Direktor des Zoologischen Museums der Humboldt-Universität in Berlin. Wie in Kiel richtet er mithilfe der gewaltigen Sammlungen eine Ausstellung für die Öffentlichkeit ein, versehen mit sorgfältigen Beschriftungen und Hinweisen auf die Lebensweise der Tiere. Unter den Objekten befindet sich auch die Nachbildung einer Austernbank.

Doch dass andere Forscher seinen Gedanken der Biozönose auf Tiere an Land übertragen, dass sie die äußeren Lebensbedingungen unter dem Begriff **Biotop** zusammenfassen und die Wissenschaft schließlich beide Begriffe im Bild vom **Ökosystem** vereint – all das erlebt Karl August Möbius nicht mehr: Nach schweren Asthma-Anfällen im Winter stirbt er mit 83 Jahren am 26. April 1908 in Berlin.

Die europäische Auster verschwindet im Verlauf des 20. Jahrhunderts vor den deutschen Küsten. Was ihr Aussterben bewirkt, ist bis heute nicht genau bekannt, doch spielt Überfischung – also der menschliche Eingriff in die Biozönose – dabei zumindest eine wesentliche Rolle. □

Insa Holst, 30, ist Journalistin in Hamburg.

verständiger einer „Kommission zur wissenschaftlichen Untersuchung der deutschen Meere“ und erkundet nun die gesamte Ostsee. Der internationale Durchbruch aber gelingt ihm mit seinen Studien zur Auster.

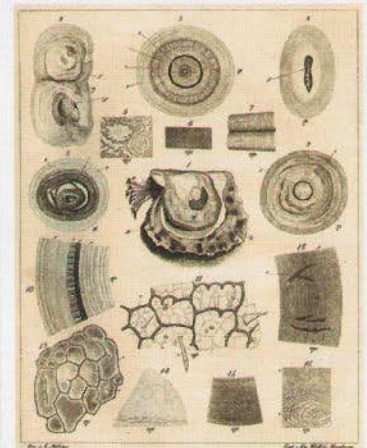
Denn seit die leicht verderblichen Muscheln per Eisenbahn immer weiter transportiert werden, steigt die Nachfrage – doch die 47 Austernbänke vor der Nordseeküste geben immer weniger her. Die preußische Regierung beauftragt Möbius deshalb, die Chancen einer Austernzucht an den deutschen Küsten zu beurteilen.

**E**r inspiziert zunächst die Austernkulturen in Frankreich und England. Der Anblick ist ernüchternd. Die französischen Areale liegen verlassen da; in englischen Zuchtbecken findet Möbius verkümmerte Austern vor. Offenbar, schließt er, sind die Lebensbedingungen alles andere als ideal. Um diesen Verdacht wissenschaftlich zu untermauern, untersucht er den natürlichen Lebensraum der Austern im Wattenmeer. Er erkennt: Die Weichtiere pflanzen sich nur auf schlickfreien Böden fort. Und die leben stets mit anderen Organismen zusammen.

Jede Bank berge eine „den äußeren Lebensverhältnissen entsprechende Auswahl und Zahl von Arten und Individuen, welche sich gegenseitig bedingen und durch Fortpflanzung in einem abgemessenen Gebiet dauernd erhalten“, führt Möbius 1877 aus. „Ich nenne eine solche Gemeinschaft Biocoenosis oder Lebensgemeinde.“

Ein bahnbrechender Gedanke, erklärt er doch die Fehlschläge der Austernzüchter: Ändert sich nur ein Faktor des komplexen Wechselgefüges – Boden, Nahrungsmenge oder Zahl der fruchtbaren Tiere –, bildet sich die **Biozönose** einer Austernbank um, indem sich zum Beispiel Herz- und Miesmuscheln stark vermehren.

In deutschen Gewässern hält Möbius eine wirtschaftlich rentable Zucht für unmöglich. Dennoch macht er den




**Wie Perlen entstehen**, beschreibt Möbius in einer 1857 erschienenen Abhandlung. Mit diesem Thema sowie mit südamerikanischen Wespennestern befasst sich der Gelehrte während seiner Zeit am Hamburger Johanneum – ehe er die Natur auf neue, ökologische Weise zu sehen beginnt









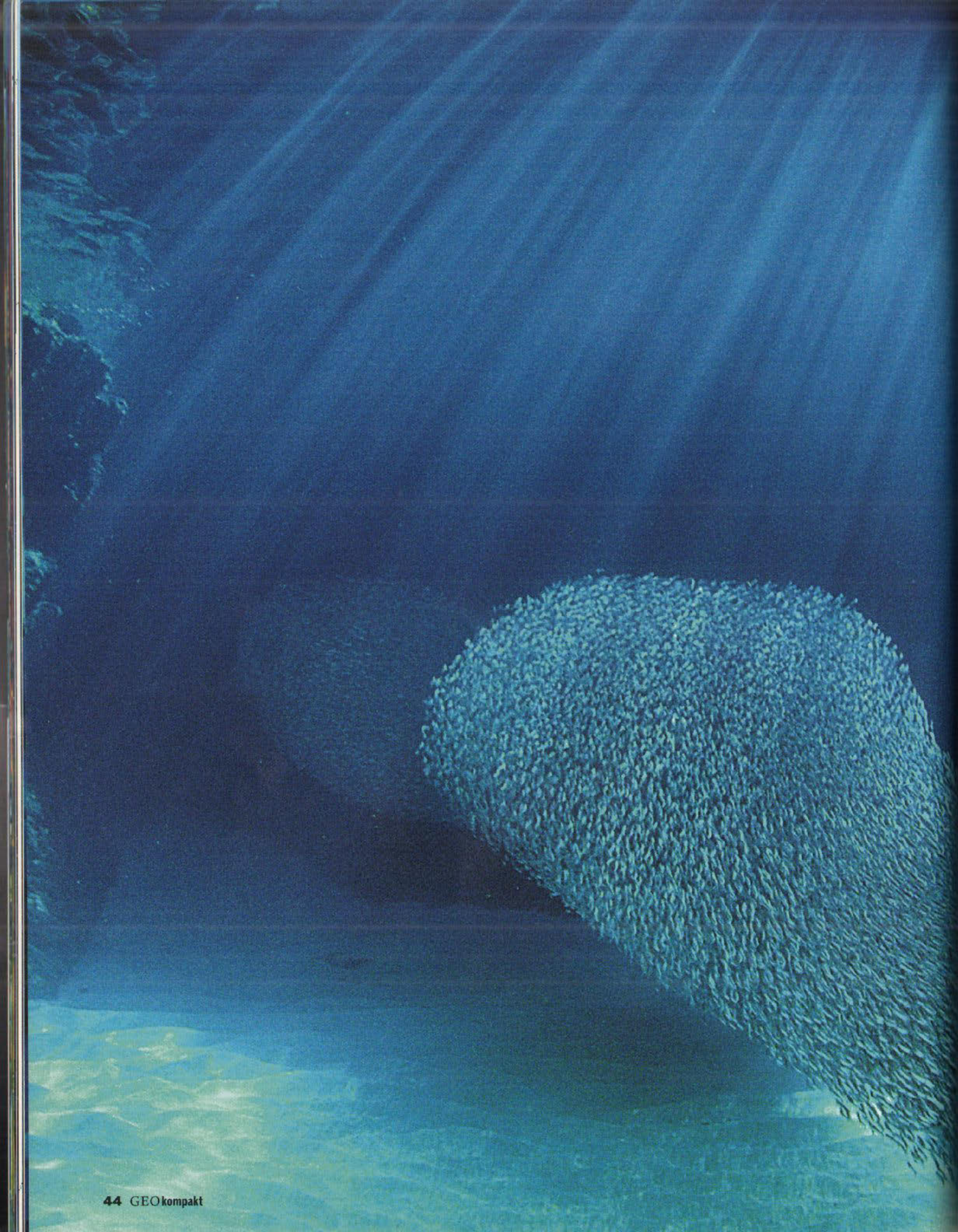
Ein Schwarm von mehreren hundert Barrakudas dreht sich nahe den Salomonen-Inseln spiralförmig von der Meeresoberfläche in die blaue Tiefe des Westpazifiks. Als Jungtiere leben die Raubfische oft in großen Gruppen, später werden sie zu Einzelgängern

# Im Schutz der großen Zahl

Fische sind Herdentiere, etwa jede zweite Art pflügt während einer bestimmten Lebensphase in Gruppen durch die Meere: um sich zu schützen, um schneller voranzukommen, um zu jagen. Was aber führt die riesigen Schwärme zusammen? Und woher wissen Millionen Tiere, wohin sie schwimmen müssen?

Text: Martin Paetsch









**Wie ein einziges großes Lebewesen** erscheint dieser Jungfisch-Schwarm vor Formentera. Ein Schwarm funktioniert problemlos, solange sich jedes Individuum an drei Regeln hält: keinem anderen zu nahe zu kommen, sich der Richtung der Nachbarn anzupassen und dabei deren Geschwindigkeit beizubehalten





**Verteidigung durch Verwirrung** vollführen hier Zigtausende silberglänzender Ährenfische: Sie formen um einen Tarpon einen Tunnel, eine »Vakuole« – sodass der Angreifer einzelne Fische nicht mehr unterscheiden kann

**E**igentlich hatte Nicholas Makris vor der US-Ostküste nach alten Flussbetten gesucht – Tälern aus einer Zeit, als der Meeresspiegel viel niedriger war als heute. Anhand dieser verborgenen Gräben wollte der Forscher vom Massachusetts Institute of Technology ein neuartiges Sonar erproben, das größere Flächen erfasst als herkömmliche Systeme.

Doch als er im Mai 2001 gemeinsam mit Kollegen die See durchmusterte und niederfrequente Schallwellen in die Tiefe sandte, warfen über dem Grund ganz andere Gebilde die Signale zurück. Sie waren von gewaltiger Größe und schienen laufend ihre Form zu verändern.

Zunächst vermuteten die Wissenschaftler, sie seien einer Täuschung aufgegeben. Erst zwei Jahre später, nach einem weiteren Experiment, hatten sie Gewissheit: Bei den Flecken handelte

es sich um gigantische Schwärme von mehreren zehn Millionen Fischen – sie zählen zu den größten jemals im Ganzen erfassten Ansammlungen von Tieren.

Die zum Teil mehr als zehn Kilometer langen Fischzüge bewegten sich durch die relativ flachen Gewässer über dem **Kontinentalschelf**, einem unterseeischen Vorsprung der Landmassen. In dieser sich an die Küste anschließenden Region finden die Meeresbewohner besonders viel Nahrung.

Auf dem Bildschirm konnten die Forscher verfolgen, wie die riesigen Haufen innerhalb weniger Minuten dramatische Veränderungen durchmachten. Vielleicht um einer unbekannten Störung auszuweichen, strömten Millionen Fischleiber von einer Seite des Schwarms zur anderen. In den Nachmittagsstunden zerfielen die ausgedehnten Gebilde zu kleineren Gruppen und verschwanden bald vom Schirm – um am Morgen darauf wieder neu zu entstehen.

Einen vergleichbaren Tagesrhythmus kennen Forscher von Heringen, die bis zum Sonnenuntergang in Gruppen über dem Meeresgrund verweilen. Dann steigen sie zur Oberfläche auf, wo sie sich zum Fressen in kleinere Formationen aufteilen. Bei einer derart großen Menge von Individuen war dieses Phänomen jedoch noch nie beobachtet worden.

Die Superschwärme im Schelfmeer sind offenbar die höchste Organisationsform im Leben der Fische – vorübergehend versammeln sich zahllose kleinere Schulen zu einem solchen Mega-Kollektiv. Welche Spezies sich vor der US-Ostküste zusammenfindet, können die Forscher nicht mit Sicherheit sagen. Infrage kommen in dieser Region neben dem Atlantischen Hering auch die Nordamerikanische Brasse oder der Seehecht. Vielleicht machen sogar verschiedene Arten in den Riesenhaufen gemeinsame Sache: Gemischte Schwärme sind in den Meeren keine Seltenheit.



Der Gruppentrieb ist unter Fischen ohnehin weit verbreitet. Schätzungsweise die Hälfte der fast 30 000 bekannten Spezies verbringen einen Teil ihres Lebens in Schwärmen.

Im evolutionären Wettrüsten zwischen Jägern und Gejagten bietet die Gruppenstrategie beiden Parteien Vorteile: Die Verfolgten sind im Schwarm kaum zu überraschen, weshalb die Verfolger ebenfalls kooperieren. Allerdings werden dadurch beide zur leichten Beute der Hochseefischer. Einzelgänger der Meere, wie etwa die in Felslöchern lauernde Muräne, sind vor den Fangnetzen dagegen weitgehend gefeit.

**B**ei vielen sozial veranlagten Fischen ist bereits der Zeugungsakt eine Massenveranstaltung – so bei den Doktorfischen im Korallenmeer. Regelmäßig schwimmen diese Riffbewohner zu einer gemeinsamen Laichstelle, wo sie sich zu Hunderten versammeln. Aus der Menge schießen dann einzelne Weibchen nach oben, um milchige Wolken aus Eizellen auszustoßen, gefolgt von mehreren Männchen, die ihre Spermien dazugeben. Diese Manöver erfolgen rasch und unvermittelt, sodass sich den ringsum lauern den Räubern kein einfaches Ziel bietet.

Nach dem Schlüpfen fehlt Fischlarven noch die nötige Orientierung für das Synchronschwimmen. Doch typische Schwarmspezies wie Sardellen beginnen schon nach drei Wochen, für das Gemeinschaftsleben zu üben: Während sich Sehvermögen und Schwimmblase gerade erst entwickeln, finden sich die gut ein Zentimeter langen Larven bereits in Paaren oder kleinen Gruppen zusammen.

Selbst wenn das Schwarmverhalten in Gegenwart von Räubern schneller einsetzt, so ist es wohl zumindest zum

Auch andere Spezies ziehen die meiste Zeit ihrer Existenz in großen Schwärmen umher. So suchen jedes Jahr im Oktober rund acht Milliarden Heringe in Schwärmen von schätzungsweise jeweils 100 Millionen Tieren in den Fjorden Norwegens Zuflucht vor den Winterstürmen.

Makrelen führen ein ähnliches Wanderleben und pflügen in dichten Gruppen mit Geschwindigkeiten von bis zu 40 km/h durch die Meere. In dunklen Nächten verraten sich manchmal knapp unter der Oberfläche schwimmende Schulen durch eine glimmende Spur, hervgerufen durch leuchtaktive Lebewesen, die von den Fischen berührt werden.

Für ein spektakuläres Naturschauspiel sorgen Sardinenschwärme, die jedes Jahr von Mai bis Juli entlang der Ostküste Südafrikas nach Norden ziehen. Bei dieser Wanderung sind die Küstengewässer oft über Kilometer hinweg von Millionen Fischleibern aufgewühlt.

Die Massenversammlung lockt Räuber in großer Zahl an: Vom Himmel stürzen sich Tölpel herab und tauchen ins Wasser; im Meer treiben Haie, Delfine, Robben und Wale die silbrigen Massen vor sich her. Mitunter stranden flüchtende Schwärme im flachen Wasser.

Die Sardinen gehören zu den typischen Bewohnern des Schelfmeeres. Mit seinem reichen Nahrungsangebot ist dieser Lebensraum, der sich saumartig um die Kontinente erstreckt, ein Sammelplatz für zahlreiche Arten. In Küstennähe gedeihen mikroskopisch kleine pflanzliche Lebewesen (**Phytoplankton**) besonders gut: Sie profitieren von den düngenden Nährstoffen, die mit dem Wasser der Flüsse ins Meer gelangen.

Von dem Phytoplankton ernährt sich das **Zooplankton** – im Wasser schwebende kleine Tiere, die wiederum

Temperatur und Salzkonzentration aufeinander. An diesen **Fronten** sammelt sich das Plankton, weshalb die Schwärme bevorzugt über der Schelfkante entlangziehen.

Ihre Mitglieder haben gute Gründe, sich nicht allein auf Futtersuche zu machen.

Zum einen ermöglicht ihnen der Schwarm eine energiesparende Fortbewegung. Denn beim Schwimmen wird jeder Fisch von der Reibung zwischen seiner Körperoberfläche und dem Wasser gebremst – mit jedem Schlag der Schwanzflosse erzeugt er jedoch Wirbel, die sich der jeweilige Nachbar zunutze machen kann. Wie Experimente gezeigt haben, gleiten Fische mit leichten Wadlbewegungen an diesen Turbulenzen entlang wie Surfer auf einer Welle. Dank dieser Technik kommen sie im Schwarm mit geringerem Krafteinsatz voran.

Zum anderen ist die Gruppe nicht nur beim Aufspüren neuer Nahrungsquellen effektiver – auch Angreifer werden schneller bemerkt.

Viele Jäger haben sich auf Schwärme spezialisiert und dabei zum Teil bemerkenswerte Strategien entwickelt. So können Schwertwale mit Schlägen der Schwanzflosse schockartige Schallwellen im Wasser erzeugen. Forscher vermuten, dass die entstehenden Dröhnegeräusche auf die Fische ähnlich wirken wie ein Schlag mit dem Hammer. Zudem rauben ihnen Wasserwirbel die Orientierung und machen sie so für einige Minuten zu einer leichten Beute.

Bei Buckelwalen, die gemeinschaftlich jagen, taucht oft ein Tier unter einen Schwarm und stößt Luft aus, während es sich spiralförmig nach oben bewegt. Die aufsteigenden Blasen bilden einen zylindrischen Schirm von bis zu 30 Meter

## So mancher Raubfisch verliert vor lauter Schwarm sein Opfer aus den Augen

Teil in den Genen festgeschrieben. Fortan sind die Sardellen jedenfalls nie mehr allein: Ob sie auf Wanderung sind, nach Nahrung suchen oder sich fortpflanzen – alles geschieht in der Gruppe.

die Lebensgrundlage für Heringe und andere Schwarmfische bilden. Über der **Schelfkante**, dort wo der Meeresgrund zur Tiefsee abzufallen beginnt, treffen Wassermassen mit unterschiedlicher

Durchmesser, der die attackierten Fische wie ein Netz umschließt. Die übrigen Mitglieder der Walgruppe folgen dem Anführer mit geöffnetem Maul und sammeln die Beute ein.



Manche Jäger sind erstaunlich gut organisiert: So konnten Forscher vor der kalifornischen Küste beobachten, wie mehrere große Gelbschwanzmakrelen gemeinsam gegen einen Schwarm kleinerer Fische vorgingen. Dabei näherten sich die Angreifer zunächst linienförmig von der Seeseite und isolierten eine kleinere Gruppe vom Hauptschwarm.

Die wurde in sichelartiger Formation gegen die Küste getrieben und umzingelt. Während sich die Gruppe dicht zusammendrängte, stieß eine der Makrelen mitten hinein. Die auseinander stiebenen Fische flüchteten direkt in die Mäuler der ringsum wartenden Räuber.

**D**och ein Schwarm ist seinen Feinden nicht hilflos ausgeliefert. Er beherrscht etliche Abwehrmanöver, die den Jägern das Leben schwer machen. Schon der Anblick einer dicht gedrängten Menge, die sich wie ein einziges großes Lebewesen bewegt und kaum Einzelziele erkennen lässt, kann einen Angreifer verwirren – mitunter sieht er vor lauter Schwarm die Fische nicht. Zudem kann eine schnelle Wendung, bei der alle silbrigen Leiber zeitgleich aufblitzen, einen Beobachter regelrecht blenden.

In einem norwegischen Fjord konnten Wissenschaftler das Verteidigungsverhalten von Heringsschwärmen genau untersuchen. Als Schwertwale die zu einer Kugel geballten Fische bedrängten, tauchten diese unvermittelt ab, teilten sich in zwei Gruppen oder machten während der Flucht plötzlich kehrt und schwammen dem Angreifer entgegen.

Bei einem „Vakuole“ genannten Manöver fand sich der Räuber nach seinem Vorstoß in einem fischfreien Raum inmitten des Heringsschwarms wieder, bis er die ihn umgebende Tiermauer wieder

Wie manche ihrer Jäger können womöglich auch Heringe Luftblasen zu ihrem Vorteil einsetzen: Indem sie über den Anus kleine Gasmengen aus der Schwimmblase ablassen, erzeugen sie einen Schleier aus Bläschen, der das Sonar der Wale stört und so dem Schwarm ein unbemerktes Abtauchen erlaubt.

Bei den rasanten Synchronbewegungen hilft den Fischen vor allem die visuelle Wahrnehmung. Dabei kommt ihnen zugute, dass sich ihre Augen an den Seiten des Kopfes befinden und somit den Nachbarn besser fixieren können.

Wichtig für den Zusammenhalt sind zudem Nervenzellen, die in einer Linie an den Körperseiten verlaufen. Dieses **Seitenlinienorgan** reagiert äußerst empfindlich auf Druckwellen, die etwa bei der Ausweichbewegung eines in direkter Nähe schwimmenden Fisches entstehen. So können Schwarmmitglieder das Verhalten ihrer Nachbarn blitzschnell nach-

#### memo | fischschwärme

- » **FISCHE** bilden Schwärme, um sich zu schützen und Energie zu sparen.
- » **HERINGE** sammeln sich in riesigen Gruppen von bis zu 100 Millionen Tieren.
- » **DAS SCHWARMVERHALTEN** ist zum Teil bereits im Erbgut festgelegt.
- » **BEI DEN DOKTORFISCHEN** im Korallenmeer ist sogar der Zeugungsakt eine kollektive Veranstaltung.

ahmen und als Signal weitergeben sowie auch in trüben Gewässern die Formation wahren.

Wie solche konzertierten Aktionen ohne jede Planung ablaufen, beschäftigt Verhaltensbiologen schon seit langem. Früher galten die Gruppentiere als selbstlose Geschöpfe, die ihr eigenes Wohl dem Arterhalt unterordnen.

eine rasant manövrierende Einheit werden kann.

Erste Einblicke gewann 1986 der Software-Experte Craig Reynolds, als er das Gruppenverhalten einfacher Kreaturen am Computer simulierte. Es genügt bereits, so fand er heraus, dass jedes Mitglied drei einfache Grundregeln einhält: Es muss seine Richtung der seiner Nachbarn anpassen, dabei deren Geschwindigkeit beibehalten und Kollisionen vermeiden. Befolgen mehrere Individuen diese Prinzipien, so entsteht ohne weiteres Zutun ein Schwarm.

Im Ozean unterliegt jeder in Formation schwimmende Fisch zusätzlich einem Interessenkonflikt. Er kann sich nicht zu weit von der schützenden Gemeinschaft entfernen, weil er sonst zur leichten Beute für Jäger wird. Zugleich ist aber die Fresskonkurrenz außerhalb des Schwarms geringer. Wie Untersuchungen zeigen, schwimmen die hungrigsten Fische oft in vorderster Front und beeinflussen die Richtung, während sich ihre satten Artgenossen ins relativ sichere Zentrum zurückfallen lassen.

Vergleichbar wirken sich bei einem Angriff die Ausweichbewegungen am Rand des Schwarms auf das Verhalten der Gruppe aus. Wer beim Manöver aus der Reihe schert, zieht die Aufmerksamkeit des Angreifers auf sich – eine perfekte Choreografie liegt also im Interesse der Individuen.

Auch die Schwarmgröße wird vom Eigensinn der Mitglieder geregelt. Einerseits erhöht sich mit Ausdehnung der Gruppe das Gefühl von Sicherheit – so konnten Wissenschaftler anhand der Atemfrequenz nachweisen, dass Fische in kleineren Kollektiven unter stärkerem Stress stehen. Doch je mehr Tiere von den Vorteilen etwa bei der Nahrungs-

## Jeder Fischwarm ist eine blitzschnell manövrierende Einheit aus unzähligen Egoisten

durchbrach. Bei einer anderen Abwehrformation namens „Sanduhr“ flüchteten die Fische an die beiden Enden der Gruppe, während sich das attackierte Zentrum zu einem schmalen Steg verdünnte.

Davon sind die Wissenschaftler mittlerweile jedoch abgerückt: Jedes Tier im Schwarm verfolgt seine eigenen Interessen. Umso erstaunlicher ist es, dass aus einer Ansammlung von Egoisten

suche profitieren wollen, desto kleiner wird der Anteil jedes Einzelnen.

Wahrscheinlich sind deshalb gewaltige Ansammlungen wie jene, die das Team um Nicholas Makris vor der nord-





**Fledermausfische sind typische Bewohner tropischer Riffe** und leben zumeist allein oder in Paaren. Manchmal jedoch bilden erwachsene Tiere Gruppen – dort sind sie besser geschützt und schwimmen mit geringerem Kraftaufwand

amerikanischen Ostküste studiert hat, relativ instabil. Sie bleiben nur zusammen, solange die Sicherheit im Vordergrund steht. Beim Fressen haben Schulen aus vergleichsweise wenigen Individuen jedoch bessere Chancen.

Die Superschwärme verhielten sich zwar in vielem ähnlich wie kleinere Gruppen – so nahmen auch sie die Vakuo- und Sanduhr-Formationen ein. Doch konnten die Wissenschaftler keine schnellen Synchronbewegungen wie bei kleineren Schwärmen beobachten.

Stattdessen schien sich die Masse nicht immer einig zu sein. Wie die Forscher erkennen konnten, gab es in dem Schwarm gleich mehrere Populationszentren, an denen sich die Fische enger drängten als anderswo. Und während sich eines dieser Zentren zur einen Seite bewegte, kam es vor, dass ein anderes in die entgegengesetzte Richtung strebte.

Regelmäßig liefen zudem Dichtewellen durch die Versammlung: Sie be-

stehen aus Zonen größerer Fischdichte, die sich schneller als mit der üblichen Geschwindigkeit des Schwarms ausbreiten. Die einzelnen Fische bewegen sich dabei kaum von der Stelle – ähnlich den Zuschauern in einem Fußballstadion, die nacheinander kurz aufstehen und dadurch eine Wellenbewegung im Publikum hervorrufen.

Im Fischschwarm entstehen solche Wellen womöglich durch Ausweichbewegungen am Rand, die sich dann kilometerweit ins Innere der Gruppe fortpflanzen. Vielleicht vermitteln diese Impulse den Individuen einen Eindruck von der Ausdehnung des Schwarms und helfen so, das Gebilde zusammenzuhalten.

Die Schwärme der Superlative gewähren den Fischen zwar einen gewissen Schutz vor tierischen Räubern. Doch zugleich fallen sie den Fischereifloten der Menschen leichter zum Opfer. Zudem kann eine dicht gedrängte Ansammlung von Fischen große Bestände vortäuschen,

wo möglicherweise nur noch wenige Einzelpopulationen vorhanden sind.

Die tatsächliche Anzahl der Tiere lässt sich mit den herkömmlichen Sonarmethoden, die jeweils einen etwa 100 Quadratmeter großen Ausschnitt der Meeresfläche erfasst, kaum ermitteln. Das neue von Nicholas Makris und seinen Kollegen entwickelte System erlaubt dagegen die Überwachung von riesigen Gebieten mit bis zu 10 000 Quadratkilometer Ausdehnung.

Dieser Rundumblick in die Tiefe soll in Zukunft helfen, die Vorkommen der Schwarmfische besser abzuschätzen. Von Fangquoten, die auf solchen genaueren Beobachtungen beruhen, würde letztlich auch die Hochseefischerei profitieren – andernfalls könnten die gigantischen Fischkollektive des Schelfmeeres bald der Vergangenheit angehören. □

**Martin Paetsch**, 36, ist Wissenschaftsjournalist in Hamburg und schreibt regelmäßig für GEOkompakt.



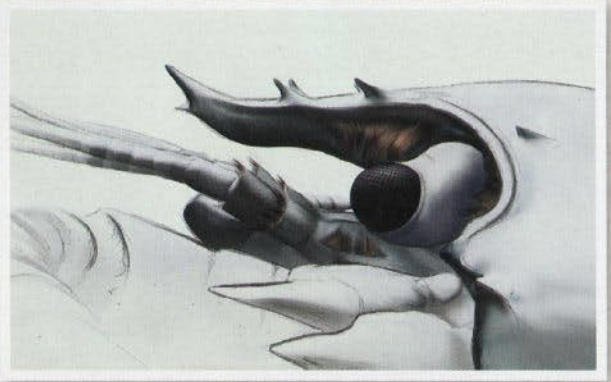
# Das Prinzip Panzer

Ihr Körperbau ist so simpel wie genial: Krebse haben eine bewegliche Rüstung, die sämtliche Organe und Gliedmaßen umschließt. So sind sie geschützt, aber auch mobil – und konnten im Laufe der Evolution vielfältige Gestalten annehmen sowie alle Lebensräume im Meer erobern

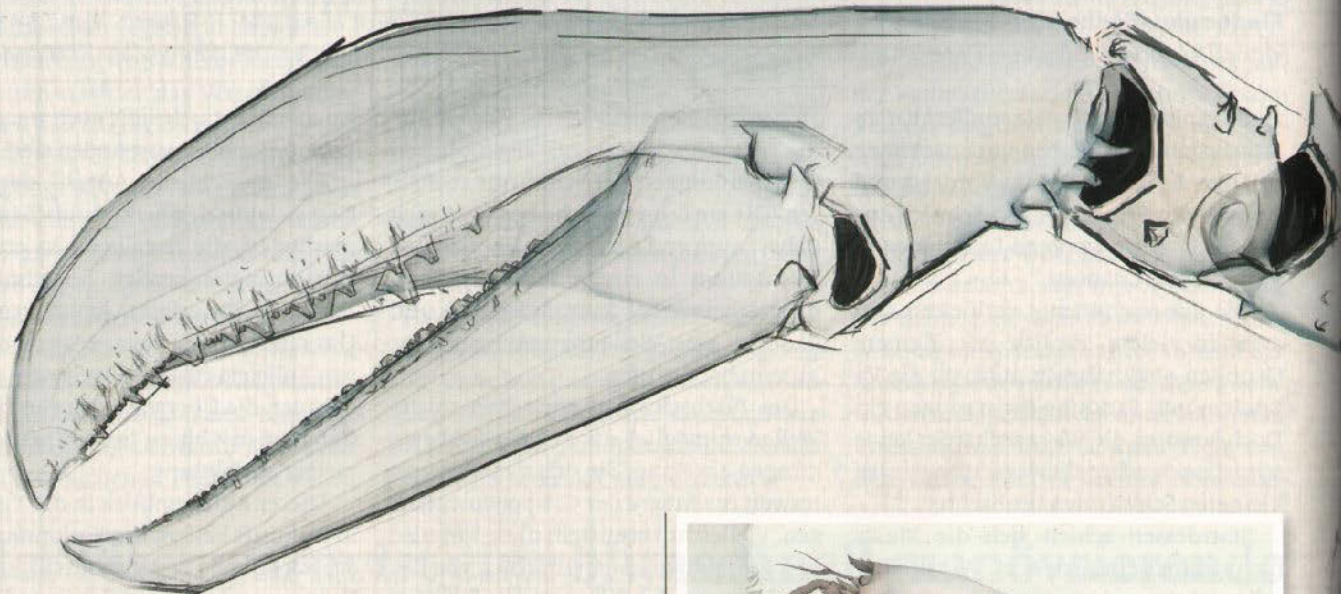
Text: Jörn Auf dem Kampe; Illustration: Tim Wehrmann



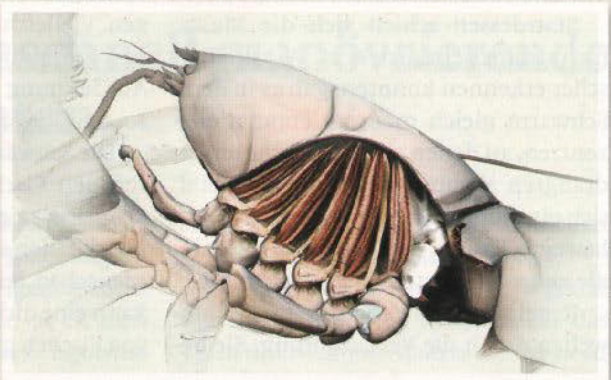
**DIE MUND-  
WERKZEUGE** sind  
hoch spezialisiert:  
Ein Paar Gliedmaßen  
(1) hält die Beute  
fest und prüft deren  
Qualität, weitere fünf  
Paare (2) zerstückeln  
sie schließlich



**MIT SEINEN FACETTENAUGEN**, aus einzelnen  
Sehorganen zusammengesetzt, erkennt der Hummer  
besonders gut schnelle Bewegungen



**DIE OBERFLÄCHE**  
der Kiemen ist dank  
schlauchförmiger An-  
hänge enorm vergrößert  
– so nehmen Hummer  
effizient Sauerstoff aus  
dem Wasser auf



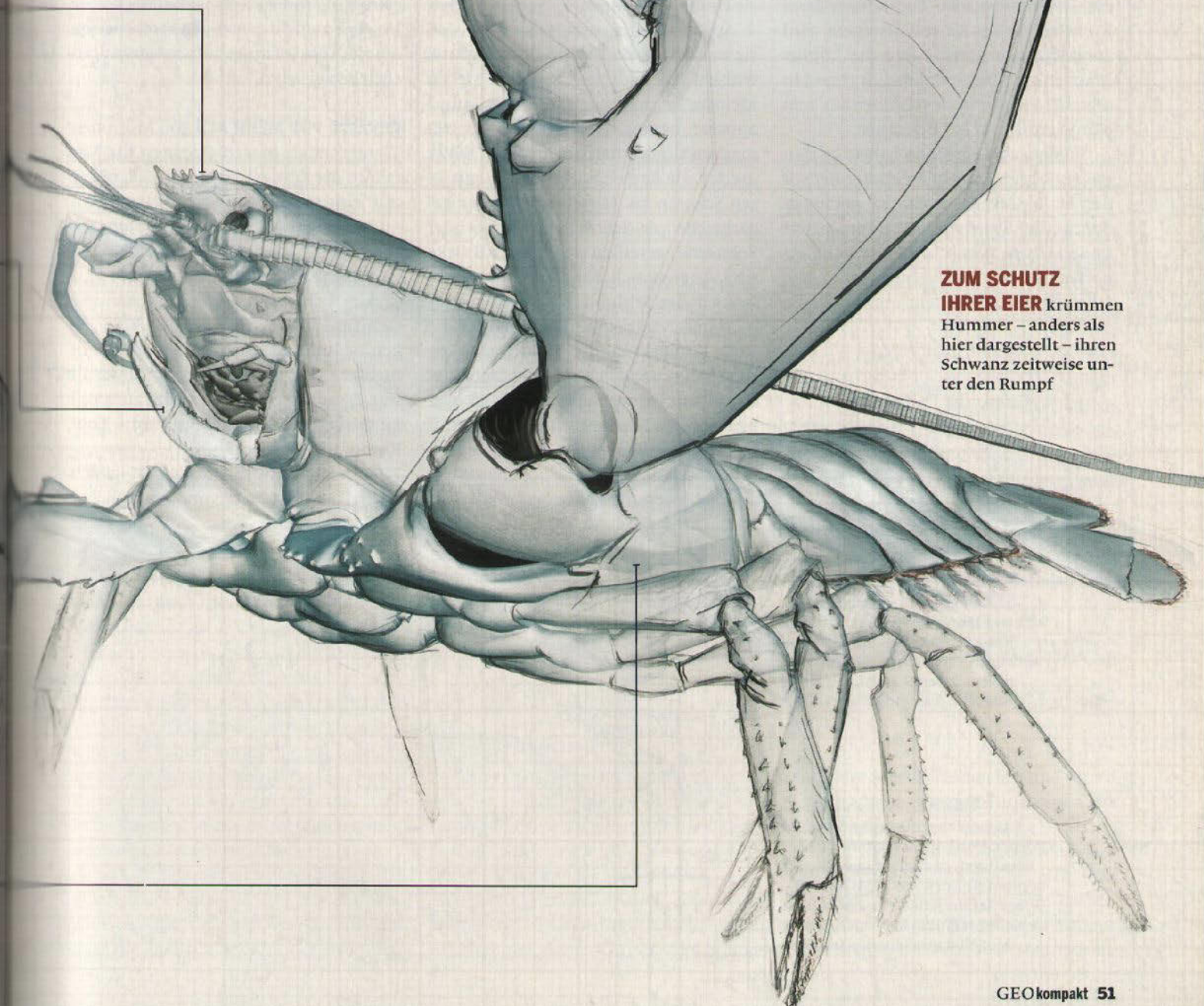


**MIT IHREN  
MÄCHTIGEN SCHEREN**  
setzen Krebse wie  
der Hummer enorme  
Kräfte frei



**DER AMERIKANISCHE HUMMER**  
trägt einen zwei bis drei Millimeter  
dicken Panzer und kann 60 Zenti-  
meter lang werden. Er gehört damit  
zu den größten Krebsen der Erde

**ZUM SCHUTZ  
IHRER EIER** krümmen  
Hummer – anders als  
hier dargestellt – ihren  
Schwanz zeitweise un-  
ter den Rumpf





# E

s sind eigentümliche Wesen, die da immer weiter in die Norwegensee vorstoßen. Mit winzigen Stielaugen fixieren sie die Umgebung, zwei Antennen messen die Strömung, fühlen, schmecken und riechen zugleich. Sie tragen dunkelrote, mit Dornen bewehrte Panzer, schreiten auf sechs Beinen voran und packen mit zwei kräftigen Scheren zu.

Es sind Krebse, Rote Königskrabben, und sie haben gewaltige Ausmaße: Die Mächtigsten unter ihnen erreichen eine Spannweite von anderthalb Metern und ein Gewicht von zehn Kilo. Kein anderes Krebstier vor der Küste Norwegens wird annähernd so groß – aber die Königskrabben sind im Grunde auch fremd in diesem Meer, denn sie stammen aus dem Nordpazifik und der Beringsee.

Sowjetische Forscher haben in den 1960er Jahren Exemplare dieser Art vor der Halbinsel Kamtschatka gefangen, durch die Sowjetunion transportiert und in einem russischen Fjord nahe der norwegischen Grenze ausgesetzt. Die schmackhaften Krustentiere sollten die

Ernährung der örtlichen Bevölkerung aufbessern.

Von dort aus jedoch wanderten manche gen Westen, paarten sich und entließen Abermillionen befruchtete Eier in die See. Larven schlüpften, aus denen sich junge Krebse entwickelten. 1992 wurden die ersten Vielbeiner im norwegischen Varangerfjord gefangen.

Heute sind sie entlang der Küste rund 300 Kilometer weiter in westlicher Richtung vorgedrungen. Und ihr Eroberungszug scheint nicht zu stocken. Ob die heimische Flora und Fauna unter den Ungetümen leidet, ist zwar noch nicht bekannt. Aber sie fressen fast alles, was sie einfangen können.

Auf der Suche nach Nahrung laufen sie weite Strecken über den Meeresgrund, wühlen das Sediment auf und sieben kleinste Organismen mit ihrem Mundapparat heraus. Auch über Fischeier machen sie sich her. Bei größerer Beute greifen die Krebse wirkungsvoll mit ihren Scheren zu. Muscheln oder Seeigel zerbrechen sie, Schnecken, Würmer oder Seesterne zerreißen sie gleich in Stücke und stopfen sich das Fleisch portionsweise in den Schlund.

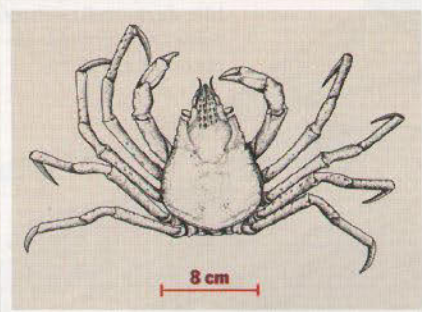
Als ausgewachsenes Exemplar hat die Rote Königskrabbe vor Norwegen zudem kaum natürliche Feinde. Denn der Gigant aus Fernost lebt recht sicher in einer mobilen Festung – und steht damit beispielhaft für ein seit Urzeiten erprobtes Design, das sich stark von dem vieler anderer Meeresbewohner unterscheidet.

Wirbeltiere wie etwa Fische tragen im Inneren des Körpers ein flexibles Rückgrat und ein Skelettsystem; Tintenfischleiber sind meist von einem starren Kalkstab zur Auftriebsregulierung und Balancierung im Wasser durchzogen. Seeigel panzern sich mit harten Platten, die von einer dünnen Haut überzogen sind – nur sehr langsam bewegen sie sich auf ihren Stacheln voran. Den festsitzenden Schwämmen verleiht ein Stützwerk etwa aus Kalk, Silikat oder Kollagen den nötigen Halt; Muscheln verschanzen sich hinter zwei mit einer Art Scharnier verbundenen Schalen. Quallen, Würmer und Nacktschnecken kommen sogar ganz ohne eine feste Struktur aus. Krebse hingegen sind die einzigen Meereswesen, die trotz der Rüstung zumeist ausgesprochen beweglich sind.

**BEREITS VOR MEHR ALS** 500 Millionen Jahren traten in den Ozeanen die Verfahren der Königskrabbe auf: Geschöpfe mit einem soliden, aber beweglichen Außenskelett. Es waren die ersten „Arthropoden“ oder „Gliederfüßer“ (siehe GEOkompakt „Die Urzeit“).

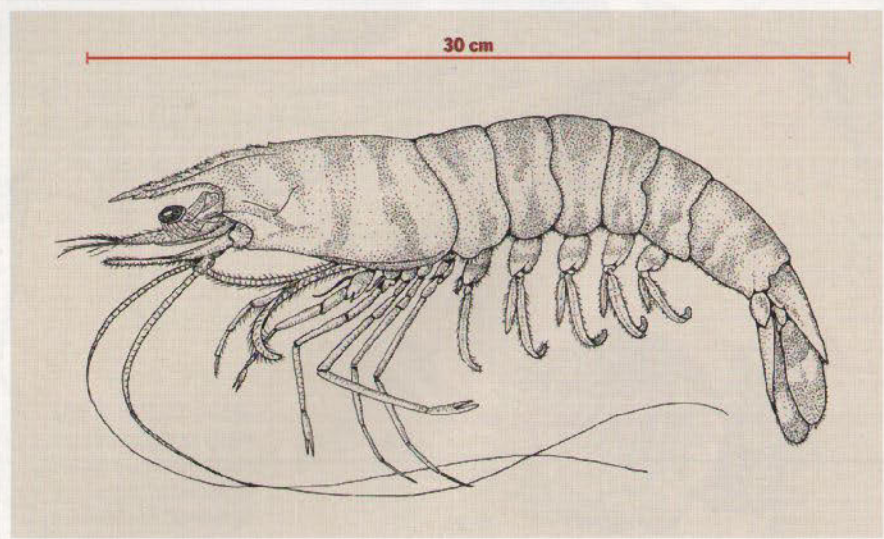
Sämtliche verletzbaren Organe wie Gehirn, Herz, Darm oder Muskeln trugen sie im Inneren eines Panzers, der in mehrere Segmente („Glieder“) aufgeteilt war. Diese verschmolzen später zum Teil zu größeren Körperabschnitten – Kopf, Rumpf und Hinterleib.

Die feste Hülle umschloss jedoch auch die Extremitäten und ermöglichte



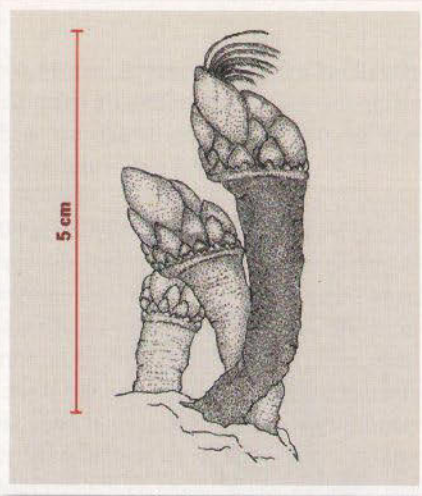
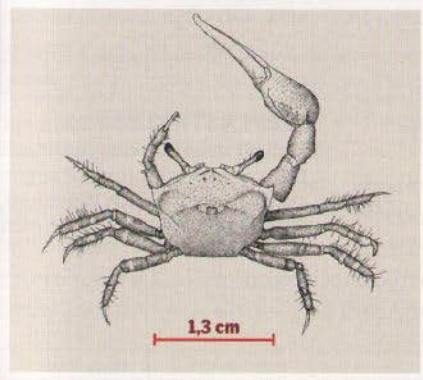
**SEESPINNEN** müssen anders als etwa Hummer keinen Schwanz hinter sich herschleppen – das verkümmerte Anhängsel klappen sie unter den Rumpf. Dennoch sind sie eher langsame Läufer

**GARNELEN** haben einen langgezogenen zylindrischen Körper. Dank ihrer hintereinander liegenden, paddelartigen Glieder können sie vorwärts schwimmen – bei Gefahr jedoch katapultieren sie sich mit einem kräftigen Schlag des Schwanzfächers rückwärts



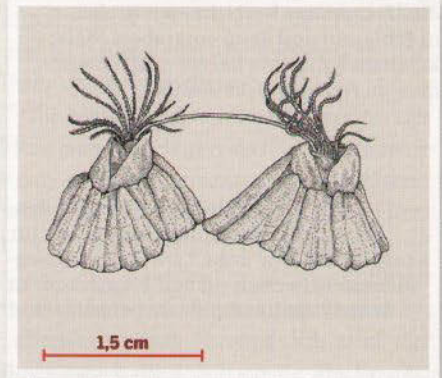


**MIT IHREN RANKENFÜßSEN**, zu Fangarmen umfunktionierten Gliedmaßen, fischen Entenmuscheln (rechts) Plankton aus dem Wasser. Die immobilen Krebse sitzen auf Schiffswänden, Treibgut oder Felsen



**EINE SCHERE** ist bei den männlichen Winkerkrabben stets vergrößert – sie dient dem Imponiergehabe. Bei vielen Krebsen haben sich die beiden Scheren zu unterschiedlich mächtigen Werkzeugen entwickelt

**SEEPOCKEN** sind wegen ihrer sesshaften Lebensweise darauf angewiesen, dass die Nahrung zu ihnen gelangt. Beim Sex hingegen können die Zwitterwesen aktiv mit ihrem Penis die Entfernung zwischen Partnern überbrücken



erstmalig die Bildung von gepanzerten Gliedmaßen mit Gelenken. So waren die Gehäuseträger rundum geschützt und blieben dennoch agil.

Wie diese Prototypen aber entstanden sein könnten und zu ihrem Harnisch kamen, vermögen Wissenschaftler bislang nicht in allen Details zu rekonstruieren. Möglicherweise gehen die Arthropoden, wie manche Forscher vermuten, allesamt auf eine wurmartige Kreatur mit einer Reihe von Körpersegmenten und primitiven Stummelfüßen zurück.

Im Laufe der Evolution schließlich brachten die Gliederfüßer immer neue Varianten hervor, doch an ihrer fundamentalen Bauweise änderte sich nichts mehr. Grundlage all ihrer Hüllen ist bis heute ein außergewöhnliches Baumaterial: Chitin.

Kein Chemiker hätte für diesen Zweck eine brauchbarere Substanz erfinden können als diesen aus langen Zuckerketten aufgebauten Werkstoff. Denn Chitin ist robust und leicht zugleich. Es ist höchst formbar, und je nach weiteren Zutaten nimmt der Panzer unterschiedliche Eigenschaften an, wird starr, biegsam oder gummiartig elastisch.

So tauglich waren offensichtlich der wandelbare Baustoff und das einfache Konstruktionsprinzip aus Segmenten, dass die meisten Spezies der Erde heu-

te zum Clan der Gliederfüßer gehören. Mehr als drei Viertel aller bekannten Tierarten zählen dazu, darunter neben den Krebsen auch Spinnen, Tausendfüßer und Insekten.

Zwar stellen Insekten den allergrößten Teil der Arthropoden. Doch sie haben es selten ins Meer geschafft – und die Krebstiere sind kaum übertroffen, wenn es um die Fülle an unterschiedlichen Gestalten geht.

**RUND 42000 ARTEN** fassen Biologen als Krebse oder Crustacea (lat. *crusta* = Kruste) zusammen. Manche Wissenschaftler rechnen hoch, dass es sogar noch weit mehr Spezies geben muss, möglicherweise Hunderttausende.

Auch ein Krebs mit kräftigen **Scheren** muss vorsichtig sein – ein Defekt im Panzer heilt meist nicht vollständig

Einige davon erkennt auch ein Laie auf den ersten Blick: all jene, die reichlich Kalk zur Verstärkung ihrer Chitinpanzer eingelagert und die augenfälligsten Rüstungen erbaut haben, etwa die gestreckten, zylindrisch geformten Hummer, Langusten und Garnelen. Oder die Krabben, deren Körper stets breiter

als lang ist und zu denen beispielsweise der in der Nordsee heimische Taschenkrebs gehört.

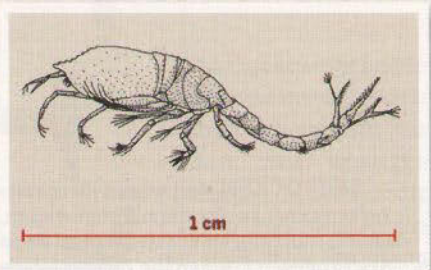
Wie fast alle Gliederfüßer setzen auch viele Krebse befruchtete Eier frei, aus denen sich häufig erst Larven und dann erwachsene Tiere entwickeln. Die meisten größeren Exemplare, wie etwa die Königskrabbe, atmen Sauerstoff über Kiemen. Doch schon allein die Anzahl der Gliedmaßen ist so unterschiedlich, dass viele Spezies äußerlich kaum Gemeinsamkeiten aufzuweisen scheinen: Es gibt Krebse mit zehn Beinen und solche mit 142.

Und längst nicht alle bewegen sich selbstständig: Seepocken etwa kleben in starren Gehäusen auf Felsen, treibendem

Holz oder Schiffswänden fest und filtern Kleinstorganismen mit Fangarmen aus dem Wasser.

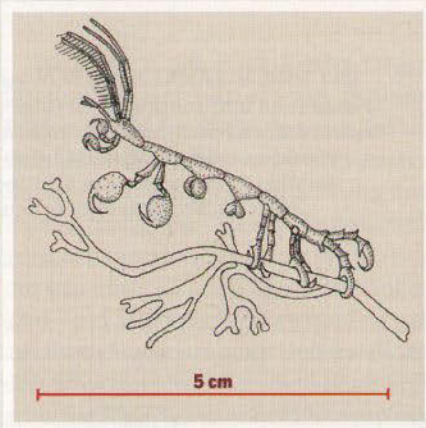
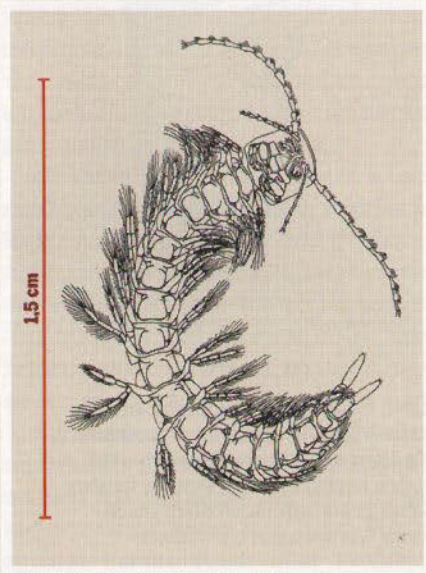
Auch der Größenunterschied der Gehäusetiere ist enorm – er reicht von winzigen, weniger als einen halben Millimeter langen Krebsen bis hin zur Japanischen Riesenskrabbe *Macrocheira*





**MITHILFE** des biegsamen Hinterleibs und ihrer Grab-Beine können sich die als Cumacea bezeichneten Krebse in Schlamm und Sand eingraben. Meist kommen sie nachts hervor und schwimmen im freien Wasser umher

**IN HÖHLEN** hausen diese blinden, Remipedia genannten Krebse, die für Krustentiere eine hohe Zahl an Rumpfsegmenten aufweisen – jenen Elementen, an denen Gliedmaßenpaare befestigt sind



**GESPENSTKREBSE** leben auf Meerespflanzen, an denen sie sich festkrallen – mit ihren Fängen greifen sie von dort aus nach Würmern, Ruderfußkrebsen oder Larven

*kaempferi*, deren Scherenarme ausgestreckt von Spitze zu Spitze rund vier Meter messen.

**ÜBER JAHRMILLIONEN SIND** bei den einzelnen Linien der Krebstiere immer wieder Körperabschnitte miteinander verschmolzen, oder sie wurden völlig neu modelliert. Bei manchen Spezies verschwanden scheinbar alle Abschnitte bis auf einen – beim Taschenkrebse und der Roten Königskrabbe etwa verwachsen Kopf und Rumpf zu einer Einheit, an der sämtliche Gliedmaßen montiert sind.

Der Hinterleib ist auch bei den kompakt gebauten Königskrabben nicht ganz verschwunden – sie klappen ihn als winziges Anhängsel unter den Rumpf. Bei einigen der blinden, in Höhlen lebenden Krebse aus der Klasse der Remipedia reihen sich dagegen 39 Abschnitte hintereinander.

Manche Gehäuse sind zart und durchscheinend wie dünnes Papier, andere massiv und fast undurchdringlich. Einige tragen einen Kamm aus spitzen Zacken auf dem Rücken wie einige Flohkrebse, viele Asseln haben sich dagegen mit mehreren flachen, ineinander geschobenen Panzerplatten gewappnet.

So unüberschaubar ist die Formenvielfalt im Zuge der Evolution geworden,

dass es sogar Spezialisten schwer haben, bestimmte Krebse als solche zuzuordnen – und sie überhaupt als Gliederfüßer zu erkennen.

Zu diesen Rätseltieren gehört der Wurzelkrebse, der größere Krustentiere befällt. Seine weiblichen Larven dringen über einen Stich in einen fremden Panzer ein. Dort wachsen sie zu einem Geflecht von Schläuchen heran, welche die Organe des Wirts umspinnen.

Wie zusätzliches Gewebe machen sie sich im Inneren breit und zweigen Nährstoffe aus dem Blut ab. Bei einem männlichen Wirt zerstören sie sogar dessen Geschlechtsdrüsen und kastrieren ihn dabei. Nur ein knolliger Teil des Parasiten durchbricht das Wirtsgehäuse und wölbt sich nach draußen – dort docken ihre winzigen Männchen an und und befruchten die Eier des Weibchens.

Dass die Tiere überhaupt den Krebsen zugeordnet werden, lesen Forscher aus einem Stadium der Entwicklung ab: Ihre Larven weisen eine für den Krebsnachwuchs charakteristische Anatomie auf – eines der wenigen gemeinsamen Merkmale, auf das sich die Biologen einigen können.\*

Auch die Extremitäten der Krebstiere haben sich im Verlauf der Evolution zu vielerlei Varianten umgebildet. Vorder-

beine verwandelten sich bei manchen Spezies in stabile Kneifzangen oder wurden zu filigranen Mundinstrumenten modifiziert, die Nahrungsbrocken anreichern. Aus wieder anderen Extremitäten formten sich Fühler, Kauwerkzeuge, Schwimmpaddel oder Halteapparate, mit denen sich die Partner bei der Kopulation aneinander klammern – oder sie bildeten sich zu Behältern für die dabei befruchteten Eier um.

So ist ein erstaunliches Arsenal von Werkzeugen und Waffen entstanden: Bei männlichen Winkerkrabben etwa hat sich eine der beiden Scheren enorm vergrößert. Diese oft grell gefärbte Zange schwenken die Krebse bei der Balz in einer sonderbaren Choreografie auf und ab, um ihren Weibchen zu imponieren.

Auch Hummer tragen zwei ungleiche Scheren mit sich herum: Mit der kleineren und schnelleren packen sie Beute, die grobe knackt Schalen und Panzer. Welche Kräfte dabei frei werden können, zeigen Experimente mit Schwarzen Steinkrabben: Sie greifen mit bis zu 800 **Newton** zu.

Damit sind die Krabbenscheren etwa so stark wie der menschliche Kiefer – und bezogen auf die geringe Körpergröße gehören die Krebse zu den stärksten Tieren der Welt. Die Zangen sind zudem

\*Bei den Zungenwürmern etwa, die als Parasiten in Lungen, Nasen oder Stirnhöhlen von Wirbeltieren eindringen, scheitert sogar dieses Merkmal: Ob sie Krebstiere sind, ist strittig. Jedoch legen Untersuchungen ihrer Erbsubstanz und der Bau der Spermien den Schluss nahe, dass sie zu den Krebsen gerechnet werden müssen – obwohl sie in keiner Phase ihres Lebens mit anderen Krustentieren vergleichbar sind.



so konstruiert, dass die Kraft genau auf den Punkt wirkt; so lassen sich fremde Gehäuse leichter sprengen.

Dass Krebse auch mit ihren gepanzerten Gliedmaßen durchaus vorsichtig hantieren, beweist eine Untersuchung an Strandkrabben: Die höchstens handtellergroßen Räuber brechen häufiger kleine Muscheln auf, auch wenn stattdiehere zur Auswahl stehen. Wissenschaftler vermuten, dass die Krustentiere starke Schalen meiden und so Verletzungen vorbeugen – geborstene Scheren wachsen zwar nach, doch das braucht Zeit.

Wesentlich brachialer gehen die tropischen Fangschreckenkrebe zu Werke. Bei manchen Arten sind zwei vordere Extremitäten zu Keulen umgebildet. Wie Gottesanbeterinnen winkeln sie ihre An-

#### memo | krustentiere

» 42 000 ARTEN zählen zu den Krebsen.

» DIE VIELFALT ist so unüberschaubar, dass einige Spezies selbst für Experten kaum als Krebse erkennbar sind.

» IHR GRÖSSENSPEKTRUM reicht von Exemplaren mit vier Meter Spannweite der Scherenbeine bis zu Vertretern mit einem halben Millimeter Körperlänge.

» ALLE KREBSE müssen, wenn sie wachsen, die alte Hülle abstoßen.

griffswaffen an, bis sie diese blitzschnell ausfahren: Mit einer der schnellsten Bewegungen des Tierreichs, in nur vier Millisekunden, zerschlagen sie Panzer von anderen Krebsen und Muscheln oder Gehäuse von Schnecken und strecken die Beute nieder.

Andere Spezies aus der gleichen wissenschaftlichen Ordnung tragen eine Reihe von Dornen auf den schlagkräftigen Gliedmaßen – und erdolchen Fische oder Weichtiere. Der Pistolenkrebs hat eine ebenso fulminante Waffe entwickelt: Eine Scherenhand ist zu einem Schussapparat umfunktioniert worden – lässt der Krebs die Schere zusammenschnappen, entsteht unter einem lauten Knall ein Wasserstrahl, mit dem er seine Opfer betäubt. Oder gleich erschießt.

Auch Konkurrenten um Weibchen und Wohnhöhlen halten die bis zu fünf Zentimeter langen Krustentiere mit Warnschüssen auf Distanz. Kolonien

von Pistolenkrebsen erzeugen bei Revierkämpfen zuweilen derart viel Geknatter, dass sie damit die Sonar-Ortung von U-Booten stören können.

**ANGESICHTS DES REICHTUMS** an grundverschiedenen Vertretern ist es nicht verwunderlich, dass die Krebse alle Zonen sämtlicher Meere bewohnen. Sie kommen an heißen Schloten der Tiefsee ebenso vor wie im Schlick des Wattenmeers, sie ziehen als ausdauernde Schwimmer in Schwärmen an den Küsten entlang oder treiben en masse als Bestandteil des Planktons durch die Meere (Seite 80).

Manche hausen solitär in selbst gegrabenen Tunneln am Meeresboden, andere leben zwischen den Sandkörnern am Strand oder ausschließlich in überfluteten Höhlen in Küstennähe. Auch im Süßwasser sind sie zahlreich vertreten: in unterirdischem Grundwasser sowie in Flüssen und in den Gletscherpfützen des Hochgebirges.

Viele Krebstiere nutzen – wie der Wurzelkreb – andere Organismen als Domizil und Nahrungsquelle. Die Assel *Cymothoa exigua* hat es unter den Parasiten dabei zu einer besonders bizarren Strategie gebracht. Sie dringt in das Maul eines Fisches ein, saugt Blut aus der Zunge ihres Wirts, bis diese stark verkümmert ist – und setzt sich dann an deren Stelle: Damit der Wirt nicht verhungert, lässt die Assel Nahrung passieren und hilft möglicherweise sogar bei deren Zerquetschen. Dafür zapft sie weiter Blut ab.

Und selbst auf das feste Terrain sind Krebse vorgestoßen und haben dafür ihre Kiemen auf Luftatmung umgestellt – wie etwa eine rote Landkrabbe, die auf den Weihnachtsinseln im Indischen Ozean lebt.

Nur noch zur Fortpflanzung muss sie zurück ins Wasser, um dort die befruchteten Eier auszusetzen. Die Wüstenassel, eine nahe Verwandte der in Kellern heimischen Asseln, hat sich dagegen so weit

dem trockenen Extrem angepasst, dass sie völlig ohne offenes Wasser zur Vermehrung auskommt.

Doch so zahlreich die Lebensräume sind, welche die Krebse mithilfe ihres vielseitigen Designs erobern konnten, so schwer wiegt die Bürde ihres evolutionären Erbes. Denn wer sich mit einer festen Verpackung umgibt, muss sie bei zunehmender Größe ständig erneuern – und so häuten sich alle Krebse während ihrer Wachstumsphasen.

Sie bilden eine frische Hülle unter der alten aus und legen das zu eng gewordene Außenskelett ab. Der neue Panzer wird anschließend noch ausgedehnt und muss sich verfestigen. In dieser Zeit sind sogar die gewaltigen Königskrabben in Gefahr – in ihrem ursprünglichen Lebensraum im Nordpazifik und der Beringsee haben sich große Fische und Seeotter auf diesen Moment eingerichtet und greifen an, solange die neue Hülle der Krabben noch weich ist.

Aber auch wenn sie sich nicht häutet, ist die Königskrabbe verwundbar – zumindest in ihrer neuen Heimat vor Norwegens Küste gibt es einen veritablen Krabbenfresser, der die wandelnde Festung bezwingen kann: den Seewolf, einen bis zu anderthalb Meter langen Fisch mit mächtigem Gebiss.

Als in einem Bassin eine Krabbe und ein Seewolf zusammengebracht wurden, riss der große Räuber dem Gehäuse tier nach und nach einfach die Beine ab, um an das Fleisch darin zu gelangen.

## Wenn sich Krebse einen neuen **Panzer** zulegen, sind selbst die Giganten unter ihnen in Gefahr

Den Bestand der Königskrabbe aber wird auch der Seewolf kaum gefährden. Im Meer vor Norwegen sind die Panzerknacker viel zu selten, um die Erfolgsgeschichte der Krebse zu beenden. □

**Jörn Auf dem Kampe**, 33, ist GEOkompakt-Redakteur. Der Hamburger Illustrator **Tim Wehrmann**, 32, sezierte für seine Zeichnungen einen Hummer aus Nordamerika. Wissenschaftliche Beratung: **Prof. Dr. Gerhard Scholtz**, Humboldt-Universität Berlin; **Isabel Schmalenbach**, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Helgoland.



riesentang >>> kelp







# Der Wald unter Wasser

Text: Lars Abromeit

Gewaltige Algenbiotope ragen in vielen Küstengewässern vom Meeresboden auf. Diese Kelpwälder formen Unterwasser-Ökosysteme, die einer erstaunlichen Zahl von Meeres-tieren eine Heimat bieten

**Die größte Algenart der Welt** ist der 60 Meter lange Riesenentang *Macrocystis pyrifera*. Dieser Kelp, wie hier vor der Küste Kaliforniens, wächst bei guter Nährstoffversorgung bis zu 36 Zentimeter am Tag und benötigt zur Verankerung felsigen Grund





**Südamerikanische Seebären** durchstreifen einen Kelpwald vor der Küste Südgeorgiens. Die Ohrenrobben erbeuten im Dschungel der Riesenalgen Fische, Schnecken, Muscheln, Tintenfische und finden Schutz vor Haien oder Schwertwalen

**K**alt und schummrig ist es im Inneren des Dickichts. Dünne, in den Wellen pendelnde Stämme ragen aus dem zerklüfteten Felsboden empor und verzweigen ihre Kronen zu einem dichten, im Wasser vibrierenden Blätterdach. Nur hin und wieder lässt es einen Sonnenstrahl passieren, der sich auf dem Weg zum Boden in türkisfarbenen Nebelwolken auflöst. Ein Wald erhebt sich dort vom Meeresgrund, zwölf Meter unter der Wasseroberfläche.

Silberne Fischschwärme ziehen vorbei, ein grau melierter Oktopus sucht Schutz im „Unterholz“, durch das die Wogen wie Sturmböen hindurchfegen. Alle drei Sekunden eine Welle. Das ist der Takt dieses ständig wankenden Reiches.

Botaniker nennen diese Gewächse im Unterwasserdschungel Seetang oder

Kelp. Es sind Braunalgen, deren Bauplan zu den schlichtesten Grundformen der Flora gehört: Über ihre langen Wedel, die wie Blätter wirken, betreiben sie eine sehr einfache Form der **Photosynthese**, und Nährstoffe nimmt der Seetang, wie alle Algen, mit seinem ganzen Körper aus dem Wasser auf.

So einfach der Kelp auch aufgebaut sein mag: In seiner schieren Größe wird er von keiner anderen Meerespflanze übertroffen. Die mächtigste der weltweit rund 100 Seetang-Arten erreicht eine Länge von 60 Metern.

Die aquatischen Urwaldriesen säumen Felsküsten an allen Kontinenten der Erde. Vor Kalifornien und Chile breiten sie sich aus, vor Tasmanien und Südastralien, Japan, Korea und im Nordatlantik. Nirgendwo aber finden sie so ideale Lebensbedingungen wie an der Westküste Südafrikas.

Denn der Kelp braucht für sein rasantes Wachstum vor allem bewegtes, nährstoffreiches Wasser. Besonders gut gedeihen Seetangstauden daher dort, wo mächtige Meeresströme aus der Tiefsee an den Steilhängen der Kontinente aufsteigen. Und das weltweit stärkste Auftriebsgebiet dieser Art umgibt den Südwestzipfel Afrikas.

Dort pumpt der Benguelastrom kaltes, mit Nährstoffen angereichertes Wasser aus den unteren Schichten der antarktischen Gewässer zum Kap. Unterstützt von einem stetigen Südostwind, der das warme Oberflächenwasser vor der Küste abdrängt, steigt der Benguela dabei mit einer Geschwindigkeit von bis zu 30 Metern pro Tag aus der Tiefe empor.

Die so umsorgten Kelpwälder ziehen sich über mehrere hundert Kilometer an Südafrikas Westküste entlang: Rund eine Million Tonnen Seetang wiegen sich hier



in der Brandung. An der Ostküste kann sich der Kelp dagegen nicht ausbreiten, dort drängt der warme Agulhasstrom des Indischen Ozeans den Benguela zurück, und tropische Korallenriffe lösen die Welt der Unterwasserwälder ab.

Durch das Zusammenspiel von Benguela- und Agulhasstrom gehören die Gewässer Südafrikas zu den artenreichsten der Erde: Mehr als 11 000 Tier- und 800 Pflanzenarten leben hier. Etwa 40 Prozent davon sind in keinem anderen Meeresgebiet der Welt heimisch.

## Das Biotop Kelpwald ist in mehrere Stockwerke gegliedert

*Ecklonia maxima*, die mit zwölf Meter Länge größte Kelpspezies Südafrikas, ist eine „Schlüsselart“ und für das Biotop in mehrfacher Hinsicht unverzichtbar. So dient sie unter anderem als Baugerüst, in dem sich – ähnlich wie in terrestrischen Regenwäldern – verschiedene Lebensräume schichtweise überlagern.

Ganz oben, im Kronendach, streiten die Wipfel der Kelpstauden vehement um Licht und Raum. Tag für Tag wächst das lanzenförmige, von einer Luftkam-

mer gestützte Primärblatt an der Spitze eines jeden Sprosses um bis zu 1,3 Zentimeter in die Höhe – und entfaltet dabei eine gigantische Rosette aus derben, bis zu zwei Meter langen „Blättern“. Das damit eingefangene Licht kann die Pflanze dank eines besonderen Pigments höchst effektiv zur Photosynthese nutzen.

Auf der Ebene darunter wuchern auf den Wedeln rote, buschige **Epiphyten** – Aufsitzerpflanzen, die den Seetang als Unterlage nutzen. Moostierchen überziehen die Blätter in dichten Matten und filtern Schwebstoffe aus der Strömung. Und in den tausend Winkeln des grünen Blätterlabyrinths finden zahlreiche junge Napfschnecken, Krebse und Garnelen ein Versteck vor Raubfischen.

Eine weitere Etage tiefer, im Schatten des Kronendaches, verläuft das Netzwerk des Unterwasserwaldes. Schulen von silbernen „Hottentot“- und gelb gestreiften „Strepie“-Fischen schlängeln sich zwischen den Galerien der Kelpstängel hindurch. Auch Pelzrobben, Katzenhaie und Rochen lassen sich durch den ständig wogenden Mittelbau treiben.

Sesshaft aber werden hier nur wenige Organismen, wie etwa die Napfschnecke *Patella compressa*: Sie beherrscht den vertikalen Drahtseilakt im schwingenden Terrain der Kelpstängel perfekt. Ihr Haus ist am Rand gewölbt – und schmiegt sich derart passgenau an die Rundungen der



## Wälder und Wiesen

**Kelpwälder** (violett) sind vor allem in gemäßigten Zonen verbreitet, **Seegraswiesen** (grün) eher in sandigen Küstengewässern. Bei Seegräsern handelt es sich um Blütenpflanzen, die sich ans Meerwasser angepasst haben. Ihre langen schmalen Blätter bieten vielen Würmern, Schnecken, Krebsen und Fischlarven sowie Seekühen Heimat und Nahrungsgrundlage.

Stiele an, dass es kaum abzulösen ist. In der Regel bleibt die Napfschnecke ihr ganzes Leben lang an einem einzigen Spross haften, kriecht grasend hin und her – und verteidigt ihr Revier hartnäckig gegen konkurrierende Artgenossen.

Am Boden des Waldes schließlich verbirgt sich der üppigste Teil des Biotops. Tausende von winzigen Muscheln, orangefarbenen Moostierchen und violetten Schwämmen überziehen hier den Fels mit bunten Teppichen, aus denen Anemonen hervorsprossen und ihre tiefroten, mit weißen Spitzen gekrönten Tentakel räkeln. Hornkorallen und Röhrenwürmer strecken leuchtende Fangarme empor, Schlangensterne zucken mit rot-braun gestreiften Körpern.

Auf jedem Zentimeter des Felsens drängelt sich das Kleingetier und reckt gierig Wedel, Fächer, Schirme, behaarte Schüsseln und engmaschige Filternetze in die Strömung. Zittert mit dunklen, gewellten Klappen, schwingt vernarbte, blau schimmernde Keulen, droht mit purpurfarbenen Dornen. Ein Heer von Seeigeln kriecht zwischen den grellfarbigen, manchmal in mehreren Lagen übereinander gestapelten Kolonien der festgewachsenen Schwamm- und Nesseltiere hindurch.

In den Spalten der Felsen verstecken sich Dutzende von Krabben und ellenlange Langusten. Und in besonders stark durchströmten Canyons hocken – vor Feinden als Steine getarnt – Abalone-Schnecken, die größten Weidetiere des Seetangwaldes. Dank ihrer massiven



**Seeigel** bewegen sich auf zahlreichen Röhrenfüßchen am Boden des Kelpwalds und fressen dort Algen, Aas und kleine Tiere





**Als Auftriebsorgane** dienen dem Kelp gasgefüllte Blasen, die den Spross und die blattähnlichen Wedel zur Oberfläche, zum Sonnenlicht hinziehen. Mit einer einfachen Form der Photosynthese gewinnt die Riesenalge chemische Energie

Saugfüße trotzen sie selbst mächtigen Brandungswellen, wenn sie herabhängende oder vorbeischwimmende Kelpblätter einfangen und Stück für Stück zerkleinern.

Mindestens 80 Prozent der Kelpwald-Bewohner leben hier am Boden des Biotops. Schon in der Wurzel einer einzigen Staupe finden oft mehr als 100 Arten Unterschlupf. Eine solche fein verästelte Haftkralle, die mit ihren unzähligen Spalten und Winkeln vor allem jungen Tieren Schutz gewährt, hält den Wellen auch an steilen Abhängen stand, indem sie sich tief in die Spalten und Poren des Gesteins hineinklemmt und ihre äußere Zellschicht zusätzlich mit einem Sekret am Fels verklebt.

Kleinere Pflanzen und Algen nutzen diese Wurzeln ebenfalls als Ankerplatz und formen ein buschiges Gestrüpp, in dem kleine Krebse, braun getüpfelte Nacktschnecken und die weichen Eikapeln von Katzenhaien verborgen sind.

Nach welchen Regeln aber funktioniert dieser schillernde Lebensraum? Weshalb ist in diesem Dickicht die Vielfalt an Schwämmen, Muscheln, Schnecken, Stachelhäutern und sesshaften Hydrozoen-

#### memo | kelpwälder

» **DIE BIOMASSE** des Kelps versechsfacht sich Jahr für Jahr.

» **RUND VIER FÜNFTEL** der Tiere im Kelpwald leben am Boden des Biotops.

» **DIE MEISTEN BEWOHNER** dieses Ökosystems filtern Schwebstoffe, etwa pflanzliche Partikel, aus dem Wasser.

» **BIS ZU 200 SCHNECKEN** pro Quadratmeter existieren in manchen Kelpwäldern.

Polypen offenbar deutlich üppiger als die etwa der Fische?

Und weshalb konzentriert sich das Leben, anders als im tropischen Regenwald, ausgerechnet am Boden, wo das Licht am schwächsten ist?

Seit mehr als 20 Jahren erforscht der Zoologe Charles Griffiths das Ökosystem Kelp. Der Professor der Universität von Kapstadt hat sein winziges Büro mit Souvenirs aus dem Unterwasserwald geschmückt. Mit dem Foto einer Käferschnecke zum Beispiel, die mit ihren wie Dachziegel geschichteten Panzerplatten an einen trägen Dinosaurier erinnert. Mit dem Bild einer Anemone, die ihren Fuß zu einem Fallschirm umgebildet hat und so auf der Jagd nach Beute frei durchs Wasser schweben kann. Und einer Aufnahme der Nacktschnecke *Melibe rosea*, die eine mächtige Glocke vor sich herträgt und damit ihre Beute einfängt.

Der ökologischen Bedeutung solcher Kreaturen ist der Südafrikaner in einer kleinen Bucht bei Kapstadt nachgegangen und hat dort die Nahrungsketten des Kelpwald-Biotops verfolgt. Eine seiner Erkenntnisse: Die mächtigen Algen gestalten das Ökosystem nicht nur, sie ernähren es auch.



Die Seetang-Stauden wachsen derart schnell, dass sie ihre eigene Biomasse Jahr für Jahr versechsfachen. Doch nur etwa ein bis zwei Prozent dieser Nahrungsfülle wird von Pflanzenfressern wie Napfschnecken, Abalonen und Meeresasseln direkt an den Blättern abgezupft.

Der größte Anteil der verwertbaren Seetangvegetation gelangt hingegen in Form von abgestorbenen, frei im Wasser schwebenden Partikeln in das Nahrungsnetz. Denn ständig verlieren die Blätter an ihren Rändern alte Zellschichten. Und die gewaltige Kraft der Atlantikwellen reißt welke Stücke fort, zerschlägt sie oder entwurzelt gar die ganze Pflanze.

Ein paar Stücke werden an den Strand oder aufs offene Meer hinausgespült. Der Rest aber, rund 94 Prozent des Kelp-Materials, bleibt übrig für Filtrierer wie Schwämme, Korallen oder Seescheiden und für die Abfallverwerter am Boden – etwa Schlangensterne oder Seeigel.

Gerade der Sturm der Wellen also, der den Kelpwald Tag und Nacht durchrüttelt und einem zunächst so lebensabweisend erscheint, hält die Vielfalt dieses Ökosystems aufrecht. Mit der Wucht von manchmal sieben Meter hohen Brechern drückt er die Partikelwolken durch das Dickicht. Und die Seeanemonen, Federsterne, Seepocken und Korallen dort müssen nur noch zulangen.



**Fetzen-Seepferdchen**, auch Seedrachen genannt, gleiten auf der Suche nach Beute – etwa kleinen Krebsen – durch Tangwälder und Seegraswiesen vor Südaustralien. Die Männchen tragen die Eier unter dem Schwanz

## Algen und Gräser: die Flora im Ozean

Im Gegensatz zum Land ist die Flora im Meer nur mit zwei großen Gruppen vertreten:

- Blütenpflanzen, und zwar ausschließlich Seegräser. Sie erzeugen etwa ein Prozent der marinen **Primärproduktion** (Herstellung organischen Materials durch Photosynthese);
- Algen. Die wiederum teilen sich, abhängig von ihren Photosynthese-Farbstoffen, in Grün-, Rot- und Braunalgen. Große, mehrzellige Algen – etwa Tange – tragen rund fünf Prozent zur Primärproduktion der Ozeane bei. Die Einzeller, vor allem Panzergeißler



**Seegräser** formen dichte Wiesen auf dem sandigen Grund flacher Küsten

Etwa 70 bis 90 Prozent aller Waldbewohner filtern umhertreibende Schwebstoffe aus: entweder die Pflanzenpartikel selbst oder Bakterienklumpen, die gelöste Seetangbestandteile absorbiert und mit Stickstoff angereichert haben. Bis zu siebenmal pro Tag, so fand Griffiths heraus, können die Filtrierer das gesamte Wasservolumen eines Waldes durch ihre Körper schleusen.

Und noch von weiteren, erstaunlichen Details der Kelpwald-Bewohner weiß Griffiths zu berichten. Von See-

geißler (Dinoflagellaten) und Kieselalgen, treiben als Teil des **Phytoplanktons** im freien Wasser, manche siedeln auch auf dem Meeresboden. Zum Phytoplankton werden zudem Cyanobakterien gerechnet, die zwar ebenfalls Photosynthese betreiben, aber nicht zu den Pflanzen zählen. Insgesamt leistet das Phytoplankton etwas mehr als 92 Prozent der organischen Primärproduktion in den Meeren.

igeln, die Kelpstücke auf ihren Dornen balancieren und so als „Sonnenschirme“ zweckentfremden. Von aufgeblähten Seesternen, die ihre Nachkommen im Inneren ihres Körpers ausbrüten.

Und von der Wellhornschnecke *Burnupena papyracea*, die sich mit einem giftigen Moostierchenpelz auf ihrer Schale gegen ihren ärgsten Fressfeind zu schützen sucht, die dutzendfach größere Kap-Languste.

Manchmal allerdings kehrt sich die Beziehung zwischen Jäger und Beute um: In besonders dichten *Burnupena*-Kolonien von bis zu 200 Tieren pro Quadratmeter rüsten die Schnecken zum Gegenangriff – und fallen im Pulk über einzelne Langusten her.

In der Regel jedoch werden die Krebstiere nicht von Schnecken ausgesaugt, sondern von Tintenfischen, Hundshaien und Pelzrobben gefressen.

Die Robben wiederum, die wie silbrig glänzende Geschosse durch das „Unterholz“ der Kelpstängel flitzen, sind nur im Schutz des Dickichts ihres Lebens sicher. Draußen, am Waldesrand, lauert ihnen das gefährlichste Raubtier der Meere auf: der Weiße Hai.

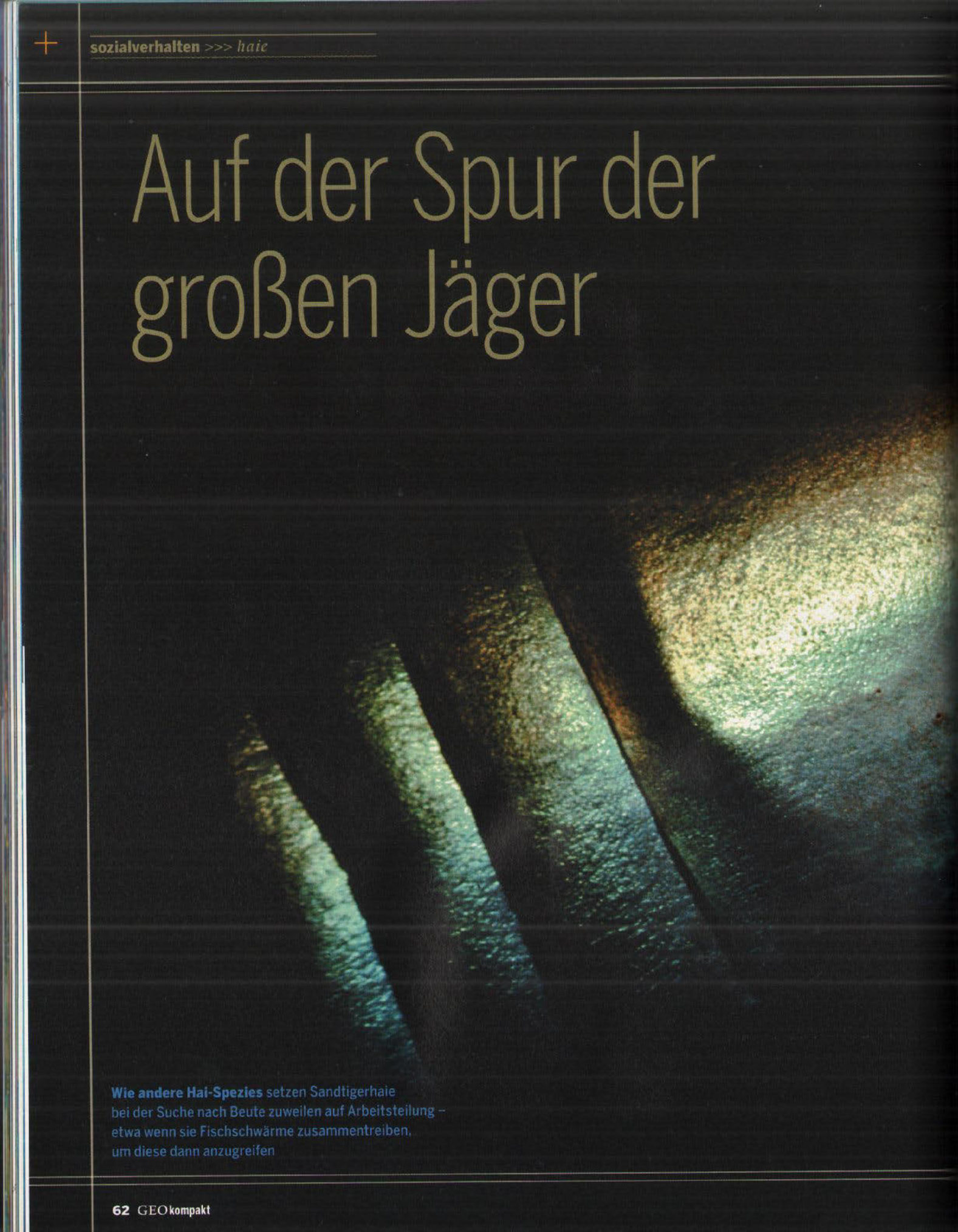
Ein Jäger, der nur darauf wartet, dass der obskure, stetig hin und her wogende Unterwasserdschungel eine unachtsame Beute in den Ozean entlässt. □

**Lars Abromeit**, 32, ist GEO-Redakteur. Wissenschaftliche Beratung: **Prof. Dr. Klaus Lüning**, List auf Sylt.





# Auf der Spur der großen Jäger



Wie andere Hai-Spezies setzen Sandtigerhaie bei der Suche nach Beute zuweilen auf Arbeitsteilung – etwa wenn sie Fischschwärme zusammentreiben, um diese dann anzugreifen





Text: Malte Henk

Haie registrieren die Druckwellen schwimmender Tiere, erspüren mit speziellen Nervenzellen deren elektrische Felder und riechen einen Tropfen Blut noch in millionenfacher Verdünnung. Manche Arten haben zudem ein nahezu unfehlbares Zeit- und Raumgefühl entwickelt. Porträt eines perfekten Räubers



S

ie haben sie „Rasta“ genannt. Weil ihr Verhalten an die Mitglieder der Rastafari-Sekte auf Jamaika erinnert und an den Reggaesänger Bob Marley; weil sie selbstbewusst wirkt, offen, dominant und in sich ruhend. Seit 1997 ist sie jedes Jahr im südafrikanischen Winter nach „Seal Island“ gekommen, zur „Robbeninsel“ bei Kapstadt, um dort auf Jagd zu gehen. Sie kam zusammen mit Dutzenden anderen Weißen Haien – von denen

aber keiner so berühmt wurde wie Rasta.

Wenn die Forscher auf ihrem Beobachtungsboot standen, konnte es vorkommen, dass Rasta den Kopf aus dem Wasser reckte und die Menschen anschaute. Sie war so ruhig und zutraulich, dass sie stundenlang das Boot begleitete, anstatt schnell wieder zu verschwinden wie die meisten ihrer Artgenossen. Sie war so neugierig, dass sie sogar Plastiktüten untersuchte, die auf dem Meer



Wenn ein Weißer Hai aus der Tiefe angreift, kann er bis zu 40 km/h schnell werden – genug, um meterhoch aus dem Wasser zu schießen

schwammen. Und sie war verspielt: Einmal schnappte sie einen Seevogel. Tauchte unter. Tauchte wieder auf; und ließ den Vogel frei.

Bei alldem konnten die Forscher Rasta immer gut erkennen: an ihrer verkrüppelten Rückenflosse. Vermutlich war sie der Motorschraube eines Fischerbootes zu nahe gekommen.

Weißer Haie: Das sind, wie die Biologen inzwischen wissen, Tiere, die über ein individuelles Wesen verfügen. Räuber, deren Charakter durch ihren Erfolg beim Jagen geprägt wird. An der Robbeninsel haben Forscher diesen Zusammenhang studiert. Haben Kämpfe auf Leben und Tod gefilmt, bis zu 25 an jedem Tag, mehr als 2500 insgesamt. Auch solche, an denen Rasta beteiligt war.





**Der Weiße Hai**, der größte Raubfisch der Meere, verfügt über ein individuelles Wesen, ist neugierig – und vorsichtig: Er plant die Attacken auf seine Opfer sehr genau, um nicht selbst dabei Schaden zu nehmen. Bereits auf mehrere Kilometer Entfernung vernimmt er die Geräusche verletzter Tiere, und ein feiner Geruchssinn verrät ihm, ob sich seine Beute links oder rechts von ihm befindet

Mit ihrem grauen Rücken ist sie im Dämmerlicht des Morgens für Pelzrobben, die an der Oberfläche schwimmen, kaum zu erkennen. Von unten schießt sie plötzlich empor, 40 km/h schnell – mit solcher Gewalt, dass sie mitunter ihren etwa eine Tonne schweren Körper einige Meter weit in die Luft katapultiert.

Weißer Haie sind vorsichtige Tiere, sie greifen immer aus dem Hinterhalt an. Mit genau geplanten Überraschungsattacken minimieren sie ihr Sicherheitsrisiko und steigern die Aussicht auf Erfolg.

Gelingt es nicht, die Beute mit einem einzigen Biss zu erledigen, beginnt ein Todesballett. Die Robbe flieht im Zickzackkurs, wehrt sich mit Bissen. Irgendwann, spätestens nach zehn Minuten, geben die meisten Haie auf.

Nicht aber Rasta. Sie ist eine geduldige Verfolgerin. Sie jagt weiter, so lange,

bis sie den Feind zu fassen bekommt. Ja, sie sieht dessen Aktionen sogar voraus. Am 29. Juli 2003 greift Rasta, sie ist zu dieser Zeit knapp vier Meter lang, eine Robbe an. Diese versucht zu entkommen. Verschwindet für 15 Sekunden unter Wasser, springt plötzlich in die Luft, fällt herunter – ins geöffnete Maul von Rasta, die an der richtigen Stelle gewartet hat.

sich leisten. Vor welchem Meeresbewohner sollte sie Furcht haben? Unter den Weißen Haien, den größten Raubfischen, gehört sie zu den erfolgreichsten.

**ALS RASTA UM** das Jahr 1990 aus dem Mutterleib ins Meer entlassen wurde, war sie bereits eine fertige Beutegreiferin: vielleicht 1,40 Meter lang, etwa

## Bei Sandtigerhaien fallen die Embryos schon im Mutterleib übereinander her

Die Forscher haben errechnet, dass an der Robbeninsel 47 Prozent der Hai-Attacken tödlich enden; bei Rasta sind es fast 80 Prozent. Und so erklärt sich, weshalb Rasta so zutraulich ist: Sie kann es

25 Kilo schwer, mit den dreieckigen, extrem spitzen Zähnen des Weißen Hais und dessen typischer Stromlinienform.

Schon als Embryo lernte sie zu fressen. Im Mutterleib verschlang sie – gemein-



sam mit den Geschwistern – unbefruchtete Eier. Bei anderen Arten, etwa dem Sandtigerhai *Carcharias taurus*, geht dieser Kannibalismus noch weiter: Nur der Embryo, der im Uterus all seine Geschwister gefressen hat, schafft es ins Meer.

In einer Hinsicht ähnelt die Fortpflanzung mancher Haie der von Säugern. Die Jungen von etwa zwei Dritteln aller Arten werden lebend geboren; denn die Entwicklung der Eier ist im Laufe der Evolution nach und nach in den schützenden Körper übergegangen.

Die Eischale verschwand, die Versorgung erfolgte stattdessen über den Dottersack im Mutterleib – so auch beim Weißen Hai, dessen Weibchen nach 14 Monaten zwei bis zehn Minijäger zur Welt bringen. Bei anderen Arten bildete sich gar ein Plazenta-ähnliches Organ

aus. Immer mehr Energie investierten die Muttertiere so in ihren Nachwuchs.

Solch eine evolutionäre Perfektionierung brauchte viel Zeit. Vor knapp 400 Millionen Jahren schwammen die ersten Urtypen der Haie im Meer. Vor 200 Millionen Jahren stand ihre heutige Form fest. Vor 25 Millionen Jahren jagte *Carcharodon megalodon* durch die Ozeane, ein Ahn des Weißen Hais: mehr als zwölf Meter lang, mit 18-Zentimeter-Zähnen und einem Gebiss, das er so weit öffnen konnte, dass ein Mensch aufrecht hineingepasst hätte.

Auch wenn der Weiße Hai nur halb so lang wird wie sein riesiger Vorfahr: Er ist ein Top-Prädator, ein Tier also, das an der Spitze der Nahrungspyramide steht. So wie viele der 428 heute bekannten Hai-Arten.

Auf dem Land kamen und gingen die Top-Räuber, verdrängte der Tiger den Tyrannosaurus, der Wolf den Velociraptor. Im Wasser behauptete sich der Hai. Kaum ein Meeresbewohner ist heute auf der Welt ähnlich weit verbreitet wie Blauhai, Makohai und Weißer Hai – Erfolgsmodelle der Evolution, die viele Bestände im Gleichgewicht halten und vorwiegend schwache oder kranke Tiere einer Spezies aus dem Verkehr ziehen.

**UND SO SIEHT ES AUS,** Rastas in Jahr-millionen entwickeltes Jagdinstrumentarium: Da sind zunächst die überscharfen Sinne. Weiße Haie können die Beute über Hunderte Meter hinweg erschnüffeln. Ein einziger Tropfen Blut in einem Schwimmbecken – Rasta käme ihr auf die Spur. Sogar rechts und links kann

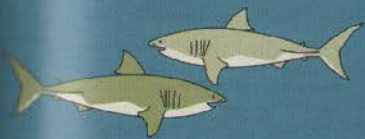


**Nur die vorderste Zahnreihe** verwendet der Weiße Hai, die hinteren dienen als Reserve – um abgenutzte Zähne zu ersetzen



# Verständigung durch Körpersprache

Weißer Hai haben spezielle Verhaltensmuster, um Konflikte zu vermeiden oder die Rangordnung festzulegen



## Langsames Vorbeischwimmen

Dient vermutlich dazu, das Gegenüber zu identifizieren



## Gähnen über Wasser

So kann Frust abgebaut werden, ohne andere zu provozieren



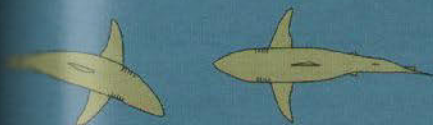
## Strecken bei Begegnung

Signal für den Neuankömmling: Ich bin größer – und stärker



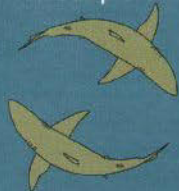
## Schwanzschlagen

Wer kräftiger schlägt, erhält die strittige Beute



## Aufeinander zuschwimmen

Wer ausweicht, erkennt die Dominanz des Rivalen an



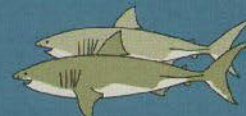
## Umkreisen

Ritual zur Identifizierung oder zur Bestimmung der Rangfolge



## Buckeln

Zeigt Unterwerfung an – aber auch Angriffsbereitschaft



## Synchronschwimmen

Auch ein Größenvergleich kann über die Rangfolge entscheiden

sie mit ihrem Geruchssinn unterscheiden und durch S-förmiges Schwimmen einem Duftgefälle präzise über mehr als 100 Meter folgen. Das Zappeln eines verletzten Tieres spürt sie noch in einigen Kilometern Entfernung. Ihre Augen sind empfindlicher als die einer Katze.

Wenn Rasta zum Angriff ansetzt, lässt sie sich von **Haarsinneszellen** leiten, die unter der Haut angeordnet sind und auf Druckschwankungen reagieren – ausgelöst etwa durch Flossenschläge.

Für präzise Ortung sorgen zudem die **Lorenzinischen Ampullen** am Maul, kleine Hautkanäle voller Nervenzellen. Mit ihnen ermitteln Haie das elektrische Feld, das Lebewesen umgibt. Auch wenn der Feind sich tarnt – Herzschlag und Muskelbewegung werden ihn verraten.

Schnappt Rasta schließlich zu, kann sie einen Beißdruck von drei Tonnen pro Quadratzentimeter entwickeln, doppelt so viel wie ein Königstiger. Ihr Maul ist eine Art Munitionslager. Dort stehen mehrere Reihen Zähne; nur die vordere wird gebraucht. Ist ein Zahn abgenutzt, fällt er aus, und von hinten rotiert Ersatz nach vorn.

Sogar beim Verfolgungsrennen gegen kleine, wendige Gegner hat die Evolution dem Superjäger der Meere Chancen

eingerräumt. Dank ihres Knorpelskeletts kann Rasta fliehenden Robben auf der Spur bleiben, kann ihren massigen Körper krümmen und verdrehen; undenkbar bei Knochenfischen dieser Größe.

Der zweite wichtige Unterschied zur Bauweise der Knochenfische: Haie haben keine **Schwimmbase**. Deren Aufgabe übernimmt die ölhaltige Leber – ein gigantischer Energiespeicher, der beim Weißen Hai 15 bis 20 Prozent des Körpergewichts ausmacht.

Und am besten mit kalorienreicher Nahrung zu füllen ist. Rasta frisst Thun-

ternehmen. Wer bekommt das beste Jagdgebiet, wer erjagt die meisten Kalorien? Zehntausende Pelzrobber leben auf Seal Island. Dabei ist die Insel klein, sie misst etwa 50 mal 400 Meter.

Für Forscher ein idealer Ort. Aus der gesamten Welt kommen sie nach Südafrika, um zu studieren, wie sich der Weiße Hai verhält, wenn er auf engstem Raum seine Artgenossen trifft. Zwar liegt das Leben des Top-Räubers noch immer in weiten Teilen im Dunkeln: Paarung, Geburt und Alltag unter Wasser sind nie beobachtet worden. Aber an Orten wie

## Manchmal fressen Haie so lange, bis sie sich übergeben müssen

fische und Sardinen, Schildkröten und Krabben, Delfine und andere Haie. Bevorzugt aber frisst sie, was die Robbeninsel bei Kapstadt im Angebot hat. Und ihren Artgenossen geht es genauso.

**DER WETTSTREIT** unter den Räubern ist hart. Er beginnt jedes Jahr im Mai, wenn die Robbenjungen sechs Monate alt sind und ihre ersten Streifzüge im Meer un-

der Robbeninsel ist den Wissenschaftlern immerhin eines klar geworden: Sie haben es nicht mit Einzelgängern zu tun.

Immer genauer zeichnen die Forscher das Bild eines sozialen Wesens, eingebunden in eine Hierarchie des Jagens, angewiesen auf Kooperation und Konfliktvermeidung.

Die Hauptregel lautet: Vorrecht für die Größeren, Älteren, Erfahrenen. Jung-



tiere etwa müssen sich mit einem Jagdrevier begnügen, das direkt vor der Insel liegt, dort also, wo Robben eher an Land entweichen können. Rasta belegt einen besseren Platz weiter draußen im Meer.

Macht ein Junghai erst einmal Beute, kann es vorkommen, dass Rasta auftaucht, angelockt vom Blutgeruch. Der Junghai muss dann weichen. Wie gut diese Verhaltensregel greift, können die Forscher auch beobachten, wenn

ein toter Wal im Meer schwimmt. Dann versammeln sich an einem Tag bis zu 25 Weiße Haie an dem riesigen Kadaver und fressen gigantische Mengen Fleisch – so lange, bis sie nicht mehr in der Lage sind, sich koordiniert zu bewegen. Manche Tiere übergeben sich sogar. Von diesem Festmahl sind kleinere Artgenossen ausgeschlossen: Ihnen bleibt höchstens ein Platz an den wenig ergiebigen Brust- oder Schwanzflossen des Wals.

Was aber, wenn zwei Weiße Haie, die etwa gleich stark sind, um ein Beutetier konkurrieren?

Um einen – womöglich tödlichen – Zweikampf zu vermeiden, bedienen sich die Räuber einer Reihe von Verhaltensweisen. Sie schwimmen etwa kurze Zeit parallel miteinander; und ermitteln so eine Rangfolge, indem sie ihre Längen vergleichen. Oder sie halten frontal aufeinander zu. Wer ausweicht, ordnet sich unter – und zeigt das auch an: mit einer Art Buckeln vor dem Sieger.

Nie haben die Forscher beobachtet, dass Rasta solche Begegnungen hatte – auch nicht, als sie die Weißen Haie mit einem Köder direkt an ihr Boot lockten. Es war verblüffend: Schwamm Rasta neben dem Boot, kamen keine Artgenossen; erschien Rasta, verschwanden die Artgenossen. Die Dominanz einer erfahrenen Räuberin, die über die beste Jagdstrategie verfügt, hatte sie vertrieben.

Dass sich der Charakter mancher Weißen Haie auf ihren Rang auswirkt, ahnten die Forscher, als sie sahen, wie einige Jungtiere ältere Artgenossen herausforderten. Sie ließen sich nicht einmal von einschüchternden Bissen aufhalten und waren so aufdringlich, dass sie einen Teil der Beute für sich ertrotzten.

**SOBALD IM MAI** vor Seal Island die Jagdsaison beginnt, sind die Superjäger zur Stelle, denn ihr Zeit- und Raumgefühl funktioniert perfekt. Einige kommen fast auf den Tag genau Jahr für Jahr zur Robbeninsel. Kennen sie sich? Gehören sie einer Gruppe an, die gemeinsam die Insel erreicht und in den folgenden Monaten auch zusammenbleibt?

Manche Forscher glauben, dass Weiße Haie Zweckbündnisse schließen, um ih-

re Nahrungsausbeute zu erhöhen, oder in bestimmten Entwicklungsphasen lockere Gruppen bilden.

Vor der kalifornischen Küste haben Wissenschaftler fünf Weiße Haie mit Ultraschallsendern überwacht – und herausgefunden: Die Räuber griffen zwar nicht gemeinsam an; aber sie blieben stets nahe genug beieinander, um die Beute eines Artgenossen zu teilen. Ob es Verwandte waren, Angehörige vielleicht eines Familienclans, soll nun ein genetischer Abgleich klären.

Noch stehen die Wissenschaftler erst am Anfang, noch haben sie nicht geklärt, ob sich die sozialen Kontakte der Weißen Haie auf Extremsituationen wie die Beutejagd beschränken; ob sie lediglich dazu dienen, Konflikte zu entschärfen, oder ob sie darüber hinaus Beziehungen aufbauen.

Auch wenn Rasta in den Jahren nach 1997 auffällig oft mit einem männlichen, ebenfalls noch nicht geschlechtsreifen Begleiter gesehen wurde: Permanent

#### memo | haie

» **VOR 400 MILLIONEN** Jahren gab es die ersten Urtypen der Haie, vor 200 Millionen Jahren entstand ihre jetzige Form.

» **428 HAI-ARTEN** sind den Wissenschaftlern heute bekannt.

» **SPEZIELLE NERVENZELLEN** am Maul der Jäger reagieren auf die elektrischen Felder anderer Lebewesen.

» **ETWA ZWEI DRITTEL** aller Hai-Arten bringen lebende Junge zur Welt.

scheint kein Weißer Hai in einer Gruppe zu leben. Wenn die Jagdsaison vor Seal Island im September endet, zerstreuen sich die Räuber im Ozean.

Einige bleiben in der Nähe der Küste. Für andere aber ist die Robbeninsel möglicherweise nur eine Art Raststätte, an der sie fettreiche Nahrung aufnehmen, um sich auf eine sehr lange und sehr einsame Reise durch den Ozean vorzubereiten. Manche Haie können ausdauernd schwimmen: Denn anders als bei fast allen Knochenfischen durchströmt ihre Muskeln warmes Blut, dessen Temperatur um bis zu 14 Grad Celsius höher als die des Wassers sein kann.

**Eine weiße Haut** schützt die empfindlichen Augen vieler Hai-Arten beim Angriff. Ist diese Nickhaut geschlossen, orientieren sich die Tiere mithilfe der anderen Sinnesorgane

**Die meisten Haie** besitzen fünf Kiemenpaare. Frei schwimmende Arten lassen ständig Wasser durch ihr Maul über die Kiemen strömen, um so den Sauerstoffbedarf zu decken – ohne Bewegung würden sie ersticken



Mit Satellitenpeilsendern, angebracht an der Rückenflosse, haben Forscher weltweit die Routen von Weißen Haien verfolgt: „Neale“ – von der Südostspitze Australiens nach Norden, 2946 Kilometer in 113 Tagen. „Tipfin“ – von Kalifornien nach Hawaii, 3800 Kilometer in 50 Tagen. Schließlich „Nicole“: Ihr Trip führte von Südafrika nach Westaustralien – 11 100 Kilometer in 91 Tagen.

Nicole ist womöglich eine Ausnahme. Aber relativ häufig schwimmen Weiße Haie von Südafrika die Küste entlang Richtung Norden, um nach etwa 2000 Kilometern haltzumachen – und einige Monate später zurückzuschwimmen. Folgen sie den Schwärmen von Fischen? Wandern sie zu Paarungsplätzen? Oder suchen sie eine Bucht, um ihre Jungen zur Welt zu bringen und vielleicht sogar vor hungrigen Artgenossen zu schützen?

**DIESE FRAGEN** werden die Wissenschaftler erst beantworten können, wenn sie viele weitere Sender an die Flossen der

Weißen Haie geheftet haben werden. So wie Alison Kock im August 2005. Eigentlich wollte die Haiforscherin an jenem Tag ihre Untersuchung über das Verhalten der Männchen fortsetzen und zwei von ihnen mit Sendern versehen.

Aber dann tauchte, wieder einmal, Rasta auf, und Kock entschloss sich spontan, die Wege ihres Lieblingshais

Was danach geschah, weiß die Südafrikanerin nicht. Im Frühjahr 2006 wartete sie auf Rastas Rückkehr zur Robbeninsel – vergebens. Das Raubtier tauchte nicht auf, zum ersten Mal seit neun Jahren.

Rasta müsste jetzt 4,50 Meter lang sein: ein etwa 16-jähriges, geschlechtsreifes Weibchen. Womöglich, vermutet Alison Kock, ist sie trächtig und nimmt

## Das Hai-Weibchen »Nicole« schwamm 11 100 Kilometer – in nur 91 Tagen

zu verfolgen und sie mit einem „Pinger“ zu markieren, einem akustischen Sender, dessen Signale von Stationen an der Küste aufgefangen werden.

So erfuhr die Biologin, dass Rasta wenige Tage danach die Gegend verließ. Dass sie im Monat darauf vor der Küste Südafrikas patrouillierte. Und schließlich ins offene Meer hinausschwamm.

deswegen eine Auszeit vom Jagen. Oder vielleicht ist sie unterwegs zu einem anderen, unbekannten Ort, um sich dort zu paaren.

Das Rätsel Rasta – es ist das Rätsel Weißer Hai. □

Malte Henk, 30, ist Reporter in Hamburg. Fachliche Beratung: Dipl.-Biol. Heike Zidowitz, Deutsche Elasmobranchier-Gesellschaft.

ANZEIGE

### Konzentrierter. Ausgeglichener. Belastbarer.

## Wunderwerk Gehirn: Wie ich meine Konzentration verbessere.



Unser Gehirn ist ein Wunderwerk der Natur: es steuert unsere Gefühle und bestimmt unsere Konzentration. Ein Netzwerk aus 100 Milliarden Gehirnzellen – und jede Zelle eine Energiequelle, die wir besser nutzen können. Für mehr Gehirnleistung und mehr Konzentration.

Unsere Konzentration ist abhängig von der Energieleistung der Mitochondrien. Diese „Kraftwerke“ in den Gehirnzellen versorgen uns jeden Tag mit neuer Energie.

Auf diese natürliche Energieproduktion der Gehirnzellen kann man heute gezielt einwirken und die **Gehirnleistung „ankurbeln“**. Genau dafür wurde **Tebonin®** mit dem

exklusiven Ginkgo-Spezial-extrakt EGb 761® entwickelt. **Tebonin®** schützt die Mitochondrien vor Leistungsabfall, ihre Energieversorgung bleibt aktiv. Selbst angegriffene Zellen können wieder regeneriert werden. So wird auf natürliche Weise Ihre **geistige Leistungsfähigkeit gesteigert**.

Nach wenigen Wochen werden Sie feststellen: Sie sind **konzentrierter** und die **Gedächtnisleistung nimmt zu**. Besser belastbar meistern Sie die Anforderungen des Alltags leichter und sind ausgeglichener. Kurz: Sie haben **spürbar mehr Gehirnleistung** – auch andere werden es merken. Fragen Sie noch heute Ihren Apotheker nach **Tebonin®**. Er wird Sie gerne beraten.

[www.tebonin.de](http://www.tebonin.de)

## Tebonin®

Mehr Energie für das Gehirn



**Stärkt Gedächtnis und Konzentration.**



**Pflanzlicher Wirkstoff. Gut verträglich.**



**Mit der Natur. Für die Menschen.**

Dr. Wilmar Schwabe Arzneimittel  
[www.tebonin.de](http://www.tebonin.de)  
[www.schwabe.de](http://www.schwabe.de)

**Tebonin® intens 120 mg Wirkstoff:** Ginkgo-biloba-Blätter-Trockenextrakt **Anwendungsgebiete:** Zur Behandlung von Beschwerden bei durch altersbedingte Arterienverengung hirnanorganisch bedingten Leistungsstörungen im Rahmen eines therapeutischen Gesamtkonzeptes mit den Hauptbeschwerden: Rückgang der Gedächtnisleistung, Merkfähigkeit und Konzentration, Kopfschmerzen, Schwindelgefühle, Ohrensausen. Hinweise: Bevor die Behandlung mit Ginkgo-Extrakt begonnen wird, sollte geklärt werden, ob die Krankheitsbeschwerden nicht auf einer spezifisch zu behandelnden Grunderkrankung beruhen. Zu Risiken und Nebenwirkungen lesen Sie die Packungsbeilage und fragen Sie Ihren Arzt oder Apotheker. **Dr. Wilmar Schwabe Arzneimittel, Karlsruhe.** Stand: 01/07 T/01/07/3/1



# Die Nackten und die Schönen

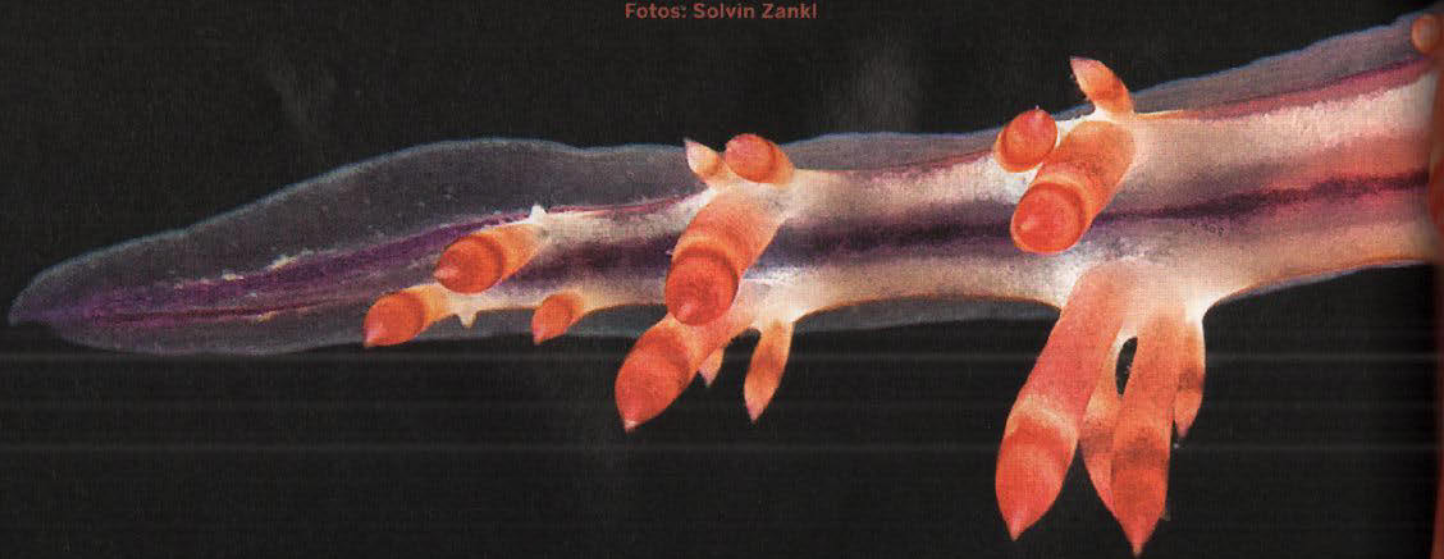
SIE TRAGEN KEIN HAUS, KEINE SCHALE GIBT

IHNEN SICHERHEIT. NACKTSCHNECKEN SCHÜTZEN

SICH MEIST MIT GIFT. UND WARNEN IHRE FEINDE

DURCH AUFFÄLLIGE FARBEN UND FORMEN

Fotos: Solvin Zankl







### **Flabellina rubrolineata**

**DIESE SCHNECKENART LEBT UNTER ANDEREM IM TROPISCHEN INDOPAZIFIK** und ernährt sich vorzugsweise von einer speziellen Kleinpolypenart. Die Nesselkapseln ihrer Opfer bleiben unverdaut und gelangen durch den Darm bis in die Spitzen der Körperanhänge. So hat diese Spezies, die wie alle Schnecken zu den Weichtieren zählt, praktisch keine Fressfeinde: Fische, die versuchen zuzubeißen, verbrennen sich am Gift der zuvor von Flabellina vertilgten Nesseltiere – und lassen sie daher in Ruhe.







### Polycera quadrilineata

**IST IN DEN GEZEITENZONEN** zwischen Ostsee und Mittelmeer weit verbreitet. Die Gestreiften Hörnchenschnecken können bis zu zwei Zentimeter lang werden und fressen vor allem Moostierchen, die sie von Tangblättern abweiden. Bei der Orientierung helfen ihnen zwei keulenförmige Kopffühler, bei der Abwehr von Feinden vermutlich saure Sekrete in der Haut.



### Nembrotha purpureolineolata

**KANN BIS ZU SECHS ZENTIMETER GROSS WERDEN** und kommt im Pazifik sowie im Indischen Ozean vor. Die leuchtend bunte Art gehört zu den Sternschnecken (auf Deutsch heißt sie Neonsternschnecke), bei denen die Kiemen als Büschelkranz um die Afteröffnung in der hinteren Körperhälfte angeordnet sind. Bei Nembrotha sind sie rot, wie die beiden Fühler am Kopf.





### Chromodoris geometrica

**HÄLT MIT EINER EIGENWILLIGEN** Methode potenzielle Feinde auf Distanz: mit Mimikry. Ihr mit weißen Höckern übersäter Rücken lässt sie einer anderen Art frappierend ähnlich erscheinen, die – anders als *Chromodoris geometrica* – einen hochtoxisch wirkenden Stoff absondert. Räuber halten sich deshalb von jener Art nach Möglichkeit fern: Ein Umstand, den sich *Chromodoris* mit ihrer Verkleidung zunutze macht.



## Hypsclodoris bullockii

**GEHÖRT ZU DEN AUFFÄLLIGSTEN** Geschöpfen unter den Nacktschnecken, wächst ihr der Kiemenkranz doch gelb-orange wie eine Fackel aus dem pinkfarbenen Körper – als deutliche Warnung an mögliche Feinde. Denn die Prachtsternschnecke ernährt sich von Schwämmen und übernimmt deren Körpergift, um sich gegen Angreifer zu schützen.



## Phyllodesmium briareum

**SIEHT AUS WIE EINE FEDERBOA**, doch die äußere Erscheinung ist nur eine geschickte Form der Tarnung. Denn diese in tropischen Meeren vorkommende Fadenschnecke frisst mit Vorliebe Weichkorallen – und zwar mitsamt den darin enthaltenen symbiotischen Algen, die in der Schnecke weiterleben und sie fortan mit Energie versorgen.





## Cerberilla

**LIEBT SANDBÖDEN** und ernährt sich dort vor allem von so genannten Zylinderrosen: in Wohnröhren lebenden Blumentieren. Auf dem Rücken trägt die farbenprächige Schnecke unzählige Körperanhänge, die Cerata. Sie dienen wohl in erster Linie zur Vergrößerung der Körperoberfläche und damit der besseren Sauerstoffaufnahme durch die Haut.

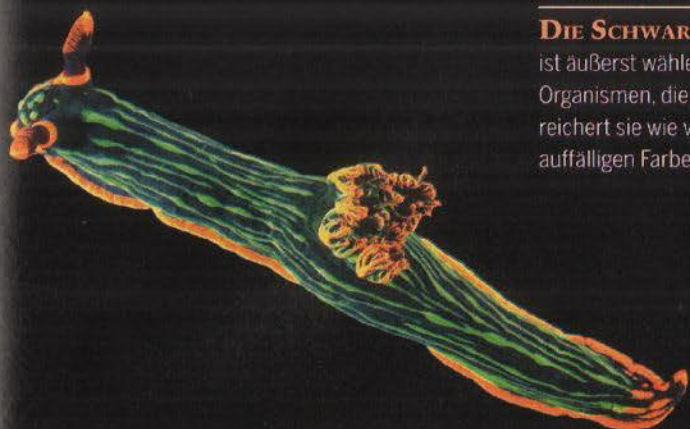


Der Kieler Fotograf **Solvin Zankl**, 35, ist Biologe. Für diese Aufnahmen tauchte er weltweit in unterschiedlichen ozeanischen Regionen.



### Nembrotha kubaryana

**DIE SCHWARZGRÜNE NACKTSCHNECKE** stammt aus Südostasien und ist äußerst wählerisch in ihrer Ernährung: Sie verzehrt ausschließlich Seescheiden, Organismen, die das Ozeanwasser besonders effektiv filtern. Das Gift aus dieser Kost reichert sie wie viele ihrer Artverwandten im Körper an – und warnt mit ihren auffälligen Farben Fische und Krabben davor, ihr zu nahe zu kommen.



### Ceratosoma tenue

**DIESE SPEZIES HAT EINE RAFFINIERTE STRATEGIE ENTWICKELT**, ihr Überleben zu sichern. Die Schnecke speichert in dem gebogenen, lappenartigen »Horn« hinter dem Kiemenkranz viele der ungenießbaren Giftstoffe, welche die ihr als Nahrung dienenden kleinen Schwämme hergeben. Das »Horn« wiederum lockt gezielt potenzielle Fressfeinde an, die danach schnappen – und auf der Stelle jeden weiteren Appetit an dem gepunkteten Weichtier verlieren. □



# Der Gigant aus der Tiefe

*Der Riesenkalmar Architeuthis ist das größte wirbellose Wesen der Erde – doch wenig erforscht, da kein lebendes Exemplar gefangen werden konnte. Niemand hat das bis zu 22 Meter lange Weichtier in seiner natürlichen Umwelt, der Tiefsee, beobachtet. Bis der Japaner Tsunemi Kubodera 2002 einen kühnen Plan ersinnt, um es zu ködern*

Text: Martin Lindner und Henning Engeln

**H**erbst 2004: Fast täglich fahren die beiden Japaner seit drei Jahren in ihrem Boot hinaus auf den Pazifik und werfen ihre Leinen aus. Bislang vergeblich. Doch Tsunemi Kubodera und Kyoichi Mori haben Geduld. Schließlich erwartet sie enormer wissenschaftlicher Ruhm, wenn sie Erfolg haben: Sie wollen den geheimnisvollsten aller Meeresbewohner aufspüren – den Riesenkalmar.

Über den Ködern haben sie in etwa 900 Meter Tiefe eine Spezialkamera mit Blitzgerät angebracht, die alle 30 Sekunden ein Bild aufnimmt. Stürzt sich der sagenhafte Riese auf den Köder, wird ihn die Kamera zumindest einmal ablichten – so hoffen Kubodera, ein Zoologe am Nationalen Wissenschaftsmuseum in Tokyo, und sein Partner von der örtlichen Walbeobachtungsstation.



**In 900 Meter Tiefe** spielt sich vor den japanischen Ogasawara-Inseln am 30. September 2004 ein Drama ab: Ein Riesenkalmar verhakt sich in Kuboderas Angelleine und kämpft mehr als vier Stunden um sein Leben – bis einer der Arme abreißt. Eine automatische Kamera nimmt die ersten Bilder eines Architeuthis in seinem Lebensraum auf

Schon seit den 1980er Jahren machen Forscherteams aus aller Welt mit Unterseebooten und Tauchrobotern Jagd auf den in der Tiefsee vermuteten Giganten. Manche haben sogar tief tauchende Pottwale mit High-Tech-Kameras ausgerüstet, um endlich Bilder einer lebenden Riesemolluske zu erhalten. Ohne Ergebnis.

30. September 2004, vor den Ogasawara-Inseln. Wieder einmal hieven die beiden Japaner die Leinen an Bord. Doch diesmal spüren sie ein ungewöhnliches Gewicht. Und dann taucht ihr Fang auf: der fünfeinhalb Meter lange, abgerissene Tentakel eines riesigen Tintenfischs, auf der einen Seite rötlich, auf der anderen weiß und übersät mit Saugnäpfen.

Noch zuckt der Arm, versuchen die Saugnäpfe in einem letzten Reflex, die Finger der Forscher zu greifen. Aufgeregt prüfen die Männer ihre Kamera. Ist auf den Fotos erstmals ein lebender Riesenkalmar in natürlicher Umgebung zu sehen?

Seit Jahrhunderten schon ranken sich Legenden um den räuberischen Tiefseebewohner. Der römische Chronist Plinius der Ältere hat im ersten Jahrhundert n. Chr. von einem großen „Polypen“ mit zehn Meter langen Armen geschrieben, der Fischzuchten an der spanischen Küste geplündert und 700 Pfund gewogen habe. In späteren Jahrhunderten erzählen Seefahrer von Giganten, die Schiffe in die Tiefe gerissen hätten.

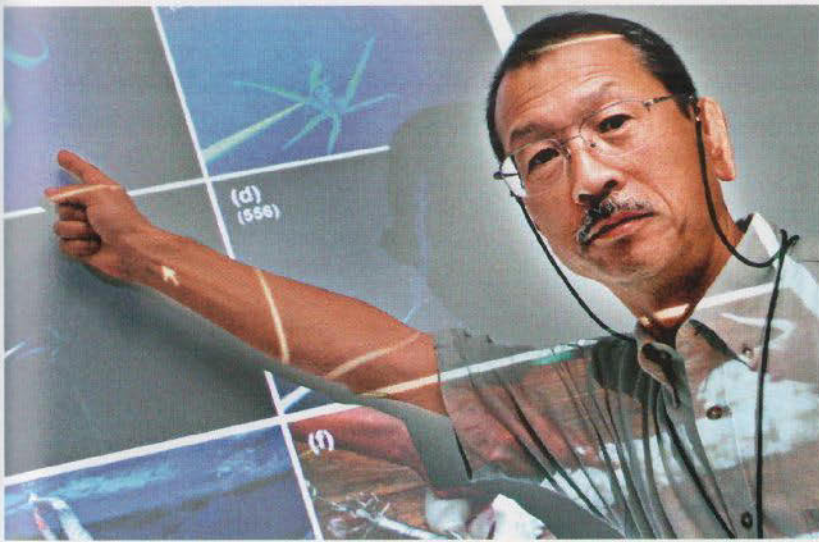
In den 1850er Jahren analysiert der dänische Naturgelehrte Japetus Steenstrup historische Berichte und Zeichnungen von Riesemollusken und untersucht den Kiefer eines vor Jütland gestrandeten toten Exemplars. Er gibt dem Seeungeheuer den Namen *Architeuthis dux* – Herrscher der Tintenfische. Gut 20 Jahre später stranden Dutzende Riesenkalmare vor Neufundland, möglicherweise aufgrund ozeanischer Strömungsschwankungen.

Insgesamt sind bis heute mehr als 200 tote oder gerade verendende Exemplare angeschwemmt oder in Fischernetzen gefangen worden. Manche dieser Tiere mit den suppentellergroßen Augen haben Forscher gesichert, präpariert und seziiert. Und dadurch viele Erkenntnisse über den Riesen der Tiefe gewonnen.

Obwohl *Architeuthis* landläufig oft als „Riesenkralke“ bezeichnet wird, zählt er nicht zu den – achtarmigen – Kraken, sondern zu den Kalmaren, die einen länglichen Körper besitzen und zudem über zwei deutlich längere Tentakel mit keulenförmigen Enden verfügen, die Fangarme. Im Inneren wird der wirbellose Weichtiergigant von einem Stab aus Chitin gestützt. Das Gewebe selbst enthält viele Stickstoffverbindungen, etwa gelöstes Salmiak, die leichter sind als Wasser und *Architeuthis* wahrscheinlich als energiesparendes Auftriebssystem dienen – ihm aber seinen strengen Geruch verleihen: Der Gigant stinkt.

Womöglich lebt er nur drei bis fünf Jahre; darauf deuten zumindest „Jahresringe“ in den **Schweresteinen** der Gleichgewichtsorgane hin. Der Riesenkalmar ist ein gefährlicher Räuber, der Fische sowie andere Weichtiere verspeist, möglicherweise sogar Artgenossen. Seine Opfer zerkleinert er mit seinem felsenharten, an einen Papageienschnabel erinnernden Kiefer.





**Tsunemi Kubodera** (Jahrgang 1951) arbeitet seit 1984 beim Nationalen Wissenschaftsmuseum in Tokyo. Im Jahr 2002 macht sich der Zoologe auf, einen Riesenkalmar zu fangen. Pottwale bringen ihn auf die Spur der Tintenfische

Ausgewachsene Riesenkalmare haben keine natürlichen Feinde – bis auf die Pottwale, in deren Mägen sich immer wieder Kalmarenschnäbel finden. Saugnapfnarben auf der Haut der Wale zeugen davon, dass sich die Beutetiere nicht kampflos ihrem Schicksal ergeben. Mehr als 20 Meter lang kann die Molluske inklusive der Tentakel werden und etwa eine Tonne schwer – Architeuthis ist das größte wirbellose Tier der Welt.

Bereits in den 1980er Jahren beginnt Tsunemi Kubodera, die Klasse der Kopffüßer im Pazifik systematisch zu erforschen. Er untersucht ihre Verwandtschaftsbeziehungen, versucht herauszufinden, wo und wie die eigentümlichen Weichtiere leben und von welchen Raubfischen und Seevögeln sie gefressen werden.

Die Lebensweise von Architeuthis bringt den Japaner auf eine Idee: Wenn die Riesenkalmare von Pottwalen gejagt werden, müsste man sich nur den Großsäugern anschließen, um den Mollusken auf die Spur zu kommen.

Wie Kubodera aus den Daten von Wal-Beobachtern weiß, suchen die Pottwale jedes Jahr zwischen September und Dezember im Meer vor den Ogasawara-Inseln, etwa 1000 Kilometer südöstlich der japanischen Hauptinsel Honshu, nach Beute – vermutlich nach Riesenkalmaren, die in der von Canyons zerklüfteten Unterseelandschaft gute Lebensbedingungen vorfinden. Kubodera kauft ein altes Fischerboot und fährt mit Kyoichi Mori hinaus: an Bord die Leinen mit dem Kamerasystem. In jeder Saison, Woche um Woche, Jahr für Jahr.

Bis zu jenem 30. September 2004. Nachdem die Forscher ihre Kamera an den Computer angeschlossen haben, offenbart sich ihnen auf mehr als 500 Fotos ein stundenlanges Drama, das sich rund 900 Meter unter der Meeresoberfläche abgespielt hat: Um 9.15 Uhr hat ein etwa acht Meter langer Architeuthis den Köder angegriffen, sich in den Haken verfangen – und über vier Stunden lang versucht, sich zu befreien. Schließlich riss der verhakte Arm ab, und der Kalmar entwand in der Tiefe.

Auch wenn auf den Bildern der Unterwasserkamera nur wenige Details zu erkennen sind, gelten diese ersten

Fotos eines frei lebenden Riesenkalmars in der Fachwelt als ein Durchbruch. Doch Kubodera ist nicht zufrieden, fährt weiterhin regelmäßig hinaus – und hat erneut Erfolg: Anfang Dezember 2006 hängt an der Leine der Forscher ein komplettes Architeuthis-Exemplar, das sich in 640 Meter Tiefe den Köder, einen kleineren Tintenfisch, schnappen wollte und nun selbst gefangen ist.

Es handelt sich um ein noch nicht ausgewachsenes Weibchen. Die Forscher machen Videoaufnahmen des noch lebenden Tieres an der Wasseroberfläche und beobachten dabei, wie es Wasser aus seiner Mantelhöhle spritzt – offenbar ein Fluchtversuch nach dem Rückstoßprinzip. Zwei Männer sind nötig, um das ohne die Fangarme fünf Meter lange Tier an Deck des Schiffes zu heben, wo es kurze Zeit später stirbt.

Dank dieses Erfolges und der Fotos hat sich schon jetzt das Bild davon gewandelt, wie der Gigant in der Tiefe lebt. Meeresbiologen hatten lange Zeit angenommen, dass Architeuthis ein träges Tier ist, das im Wasser schwebt, die Tentakel wie Angelleinen herabhängen lässt und damit zufällig vorbeikommende Beute packt.

Doch die Unterwasserfotos der japanischen Wissenschaftler zeigen Architeuthis als höchst aktives Raubtier: Der Riesenkalmar attackiert seine Opfer aus der Horizontalen und umwickelt sie sofort nach dem Ergreifen mit seinen beiden langen Fangarmen, ähnlich wie eine Pythonschlange.

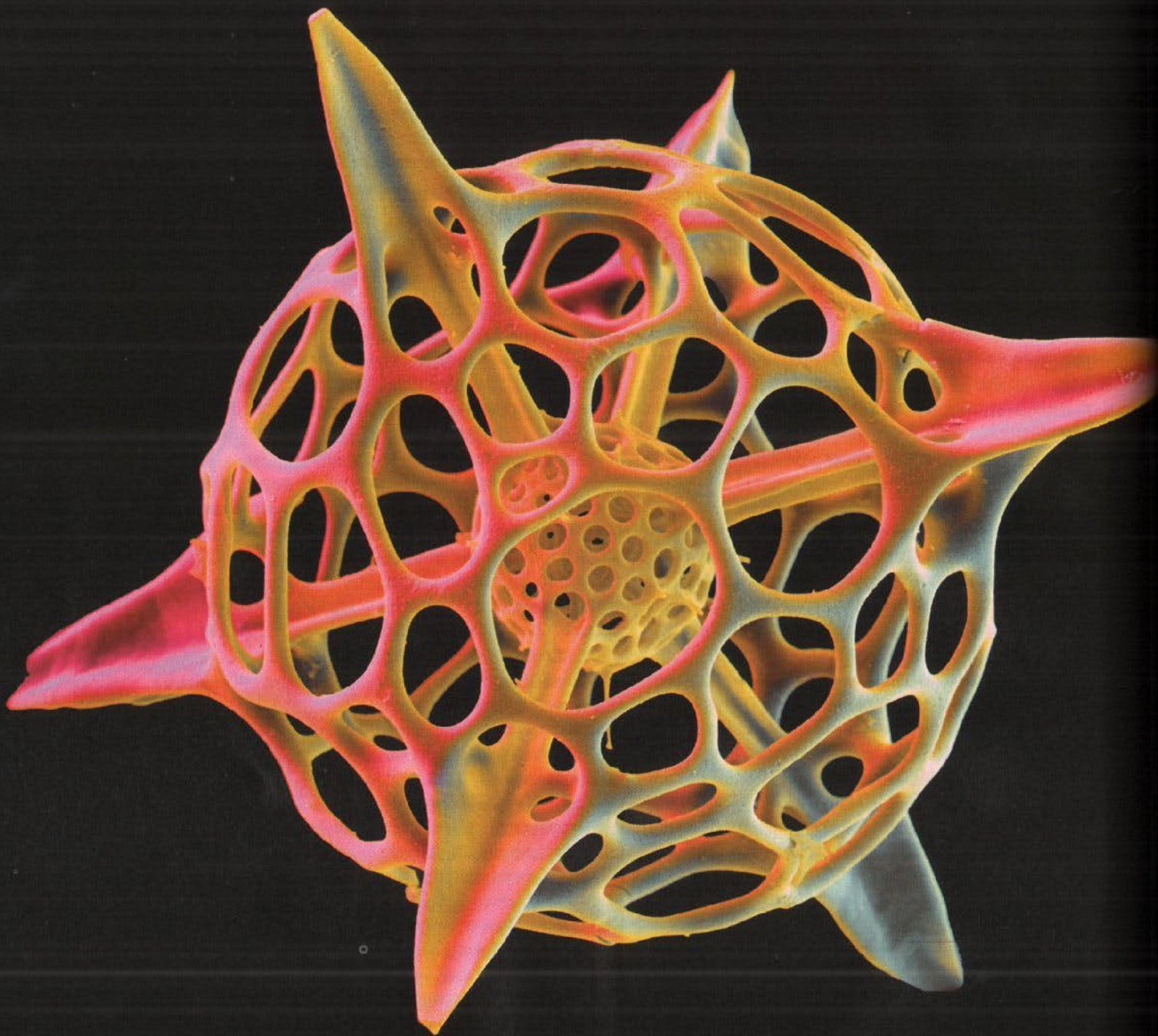
Und genau so, wie es die Legenden der Seefahrer einst beschrieben haben. □



**Im Dezember 2006** gelingt es Kubodera erstmals, einen lebenden Riesenkalmar aus 640 Meter Tiefe an die Meeresoberfläche zu ziehen. Das rund fünf Meter lange, noch nicht ausgewachsene Weibchen hat sich den Köder, einen kleineren Tintenfisch, geschnappt und hängt nun am Haken einer Tiefsee-Angel. Kurz darauf stirbt es

Dr. Martin Lindner, 38, ist Wissenschaftsjournalist in Berlin.





#### EINZELLER MIT SKELETT

Strahlentierchen (Radiolarien) haben vielfältig gestaltete Gerüste meist aus Silikat (Salz der Kieselsäure), wie diese Aufnahme im Raster-Elektronenmikroskop zeigt.

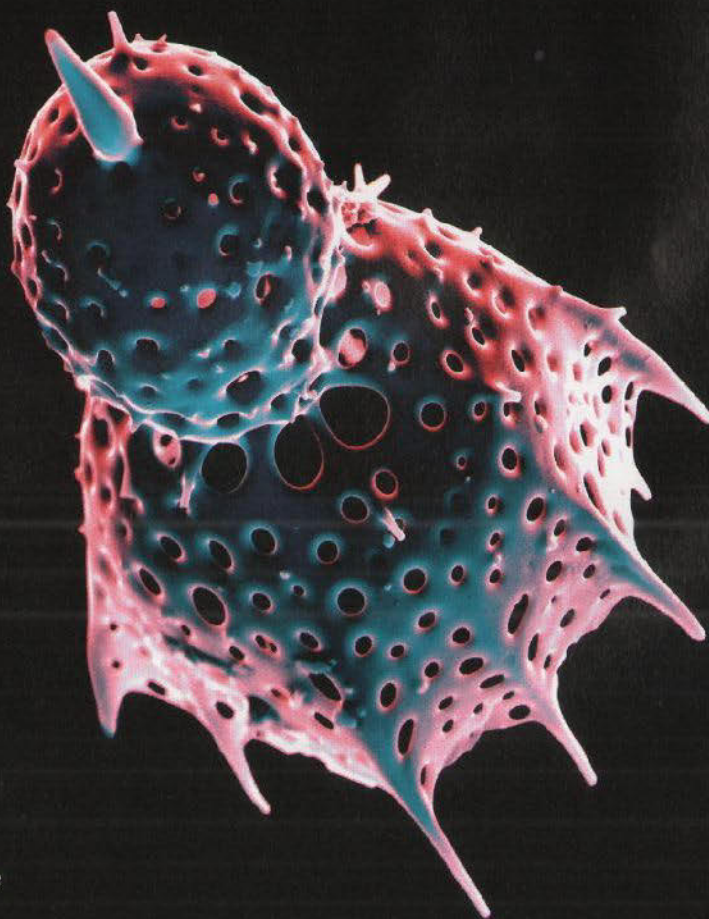
Bei diesen Lebewesen handelt es sich um im Meer treibende Einzeller, deren Zellkörper sich im Inneren des Skeletts befindet



# Ein Meer von Winzlingen

In den Weiten der Ozeane gedeiht pflanzliches Leben fast ausschließlich in Form mikroskopisch kleiner Algen. Tierische Einzeller mit bizarren Innenskeletten verzehren sie und werden wiederum von anderen, ebenfalls winzigen Lebewesen gefressen. Sie alle bilden – gemeinsam mit Bakterien, Viren, Pilzen und größeren im Meer treibenden Tieren wie Quallen – das Plankton: die Nahrungsgrundlage aller übrigen Meeresbewohner

Text: Henning Engeln; Fotos: Manfred Kage



## VIelfalt aus 600 Millionen Jahren

Strahlentierchen gehören zum Zooplankton: Darunter werden alle im Meer schwebenden tierischen Lebewesen zusammengefasst. Radiolarien gibt es bereits seit 600 Millionen Jahren auf unserem Planeten, ihre fossilen Gehäuse sind auch im Gestein zu finden



**A**m 17. September 1835 erreicht das englische Vermessungsschiff „Beagle“ den Galápagos-Archipel. An Bord ist der junge Naturforscher Charles Darwin, der auf den Inseln entscheidende Hinweise für seine Evolutionstheorie findet – indem er zum Beispiel nahe verwandte Arten von Finken miteinander vergleicht. Doch noch etwas anderes notiert der Engländer erstaunt in seinem Tagebuch: Weshalb gibt es hier, mitten am Äquator, Seelöwen und Pelzrobben – also Meeresbewohner, die eigentlich in kühleren Regionen zu Hause sind?

Es ist nicht die einzige Besonderheit, welche die Gewässer um die Galápagos-Inseln zu bieten haben. Auch heute noch sind Besucher von der Masse an Lebewesen beeindruckt, die im oder vom Meer existieren.

Zahllose dunkelgraue Meerechsen weiden Algen ab; Seelöwen springen von den Felsen ins Wasser, um Fische zu jagen. Tausende Blaufußstörpel stürzen sich synchron aus der Luft in mächtige Schwärme von Salema-Barschen, die zudem von Delfinen und Thunfischen verfolgt werden.

Schwertwale erbeuten große Fische und Robben. Blauwale, die mächtigsten

Tiere des Planeten, filtern Garnelen aus dem Meerwasser oder bringen hier womöglich ihre Jungen zur Welt. Und Fischer holen Jahr für Jahr enorme Mengen von Meeräschen, Langusten, Thunfischen sowie Millionen von Seegurken aus dem Ozean.

Offenbar sind die Galápagos-Inseln eine Oase der Fruchtbarkeit – was für die Biologen anfangs erstaunlich war, da die Hochseeregionen um den Äquator in der Regel wenig produktiv sind: In den kristallklaren, blauen Gewässern der Tropen macht sich das Leben normalerweise rar; und so gilt „Blau“ unter Fischern wie Seefahrern gemeinhin als die Wüstenfarbe des Meeres.

Nahrung und Fischreichtum in den Ozeanen sind höchst ungleich verteilt – obwohl die Weite der offenen See einheitlich wirkt und durch keinerlei geographische Barrieren unterteilt ist. Es gibt Regionen, in denen Tiere reichhaltige Nahrung und Beute vorfinden und solche, die karg und nahrungsarm sind.

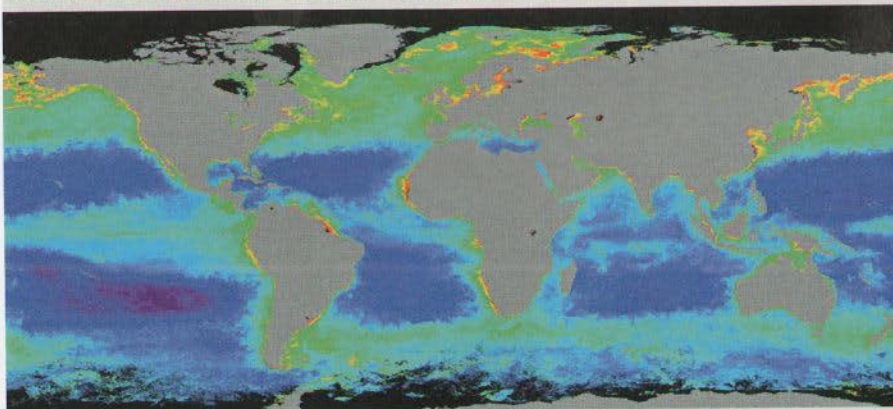
Das Angebot schwankt von Ort zu Ort, aber auch mit den Jahreszeiten: So ziehen in jedem Frühjahr riesige Schwärme von Makrelen in die Nordsee, den Skagerrak und die norwegische Küste hinauf, um sich dort während der

Sommermonate eine Fettschicht anzufressen. Wale wandern Jahr für Jahr über Tausende Kilometer zu ihren saisonal aufblühenden Nahrungsgründen, und auch die Riesenhaie wissen, wann es an bestimmten Stellen im Ozean reichlich Plankton gibt.

Für all diese Schwankungen muss es Erklärungen geben, und die müssen mit der Ernährungsgrundlage der Bewohner in der offenen See zu tun haben.

In einem Milliliter  
Wasser schwimmen  
manchmal mehrere  
hundert Millionen  
Lebewesen

## Wo die Meere am fruchtbarsten sind



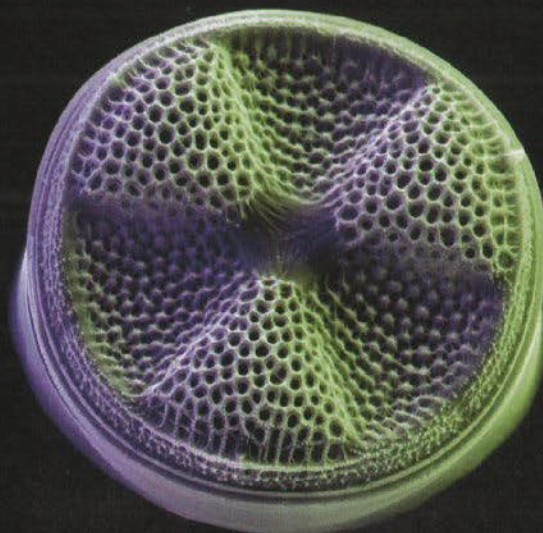
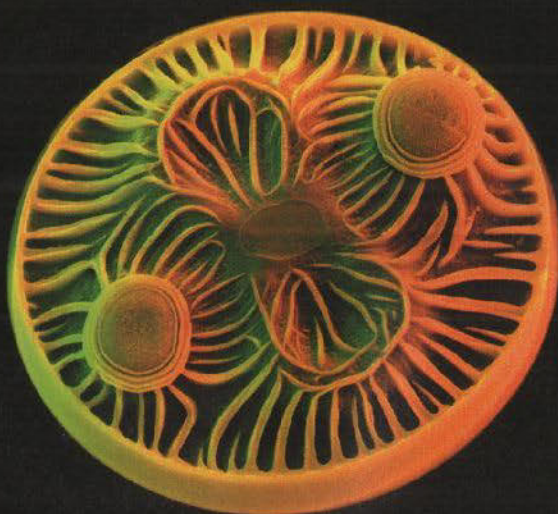
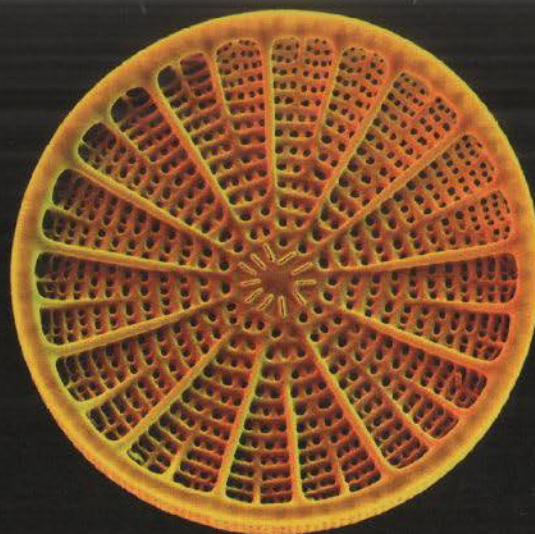
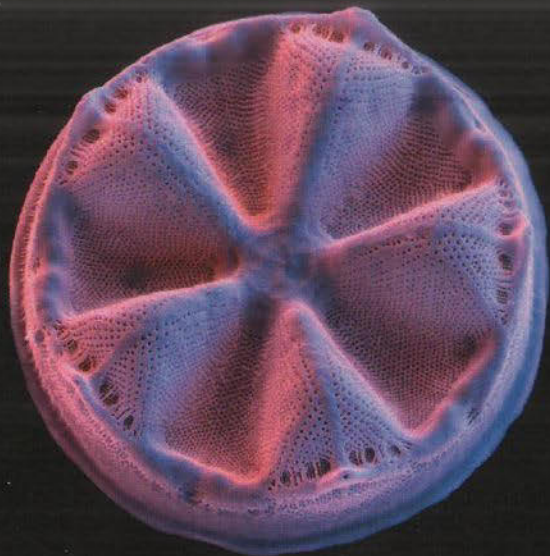
Pflanzliche Lebewesen, die Sonnenlicht benötigen – etwa einzellige Algen sowie Cyanobakterien – enthalten Chlorophyll, einen grünen Farbstoff, den sie zur Photosynthese nutzen. Diese Satellitenkarte zeigt die Verteilung des Chlorophyll-Gehalts und damit des pflanzlichen Planktons (blau = geringe, grün = mittlere, gelb bis rot = große Mengen). In fruchtbaren Regionen wie etwa im Nordatlantik, in den flachen Schelfmeeren und dort, wo kaltes nährstoffreiches Wasser aus der Tiefe steigt, gedeiht es reichlich. Die Tropen dagegen sind arm an Meerespflanzen, weil dort meist ein Mangel an Nährstoffen herrscht.

**EINER DER ERSTEN WISSENSCHAFTLER**, die diese Frage nach der Fruchtbarkeit der Meere zu enträtseln versuchten, war der Kieler Physiologe Victor Hensen (1835–1924). Schon 1867 setzte er sich im preußischen Landtag „für die Herbeiziehung wissenschaftlicher Untersucher zur Erforschung des Meeres im Interesse der Fischerei“ ein.

Für die Fischerei sei es notwendig, sich ein Urteil über die Ertragsfähigkeit des Meeres zu bilden. Dazu sammelte der Forscher unter anderem Daten über das Ausmaß des Fischfangs an der deutschen Küste und zählte im Meerwasser treibende Fischeier. So kam er schließlich auf die Spur der „Urnaehrung der Meeresthiere“ und versuchte, diese Nahrungsgrundlage zu bestimmen.

Sie basiert auf zumeist winzigen, im Wasser schwebenden Lebewesen, erkannte Hensen. Und er prägte dafür den Begriff **Plankton** (griech.: das Dahintreibende). Von Mitte Juli bis November 1889 leitete er eine Expedition im Atlantik, die grundlegende Erkenntnisse über die Verteilung des „Treibenden“ lieferte.





#### SCHUTZPANZER AUS SILIKAT

Die kunstvollen Schalen dieser einzelligen Algen bestehen aus dem Salz der Kieselsäure (Silikat), deshalb heißen sie Kieselalgen (Diatomeen). Ihre dosenförmigen Gehäuse bieten einen gewissen Schutz vor kleinen Krebsen. Diese Meeresbewohner gewinnen chemische Energie mithilfe der Photosynthese aus dem Sonnenlicht und tragen damit entscheidend zur Fruchtbarkeit der Meere bei. Sie allein erzeugen rund ein Viertel der gesamten pflanzlichen Biomasse auf unserem Planeten. Es gibt eine enorme Vielfalt von Diatomeen, womöglich 100 000 Arten. Teilt sich ein solcher Einzeller, erhält eine Tochterzelle den Oberteil der »Dose«, die andere den Unterteil und ergänzt sie jeweils mit einer kleineren Hälfte

Unter anderem ermittelten die Forscher, dass die Tropen arm an Plankton sind – ein erster Hinweis auf die ungleiche Verteilung der Nahrung im Ozean.

Plankton, so wissen die Meeresbiologen heute, setzt sich aus höchst unterschiedlichen Lebewesen zusammen, die oft abenteuerliche Gestalt angenommen haben.

In der Regel sind sie winzig: In einem Milliliter Meerwasser sind manchmal mehrere hundert Millionen dieser Lebewesen zu finden, wobei die kleinsten die weitaus häufigsten sind. Biologen unterscheiden fünf Gruppen von Plankton:

- Viren
- heterotrophe (also vom Sonnenlicht unabhängige) Bakterien
- Pilze
- pflanzliche Lebewesen (**Phytoplankton**)
- tierische Organismen (**Zooplankton**)

**ZUM PHYTOPLANKTON ZÄHLEN** die Wissenschaftler all jene Lebensformen, die per Photosynthese mithilfe des Sonnenlichts energiereiche Moleküle herstellen können. Dazu gehören vor allem:

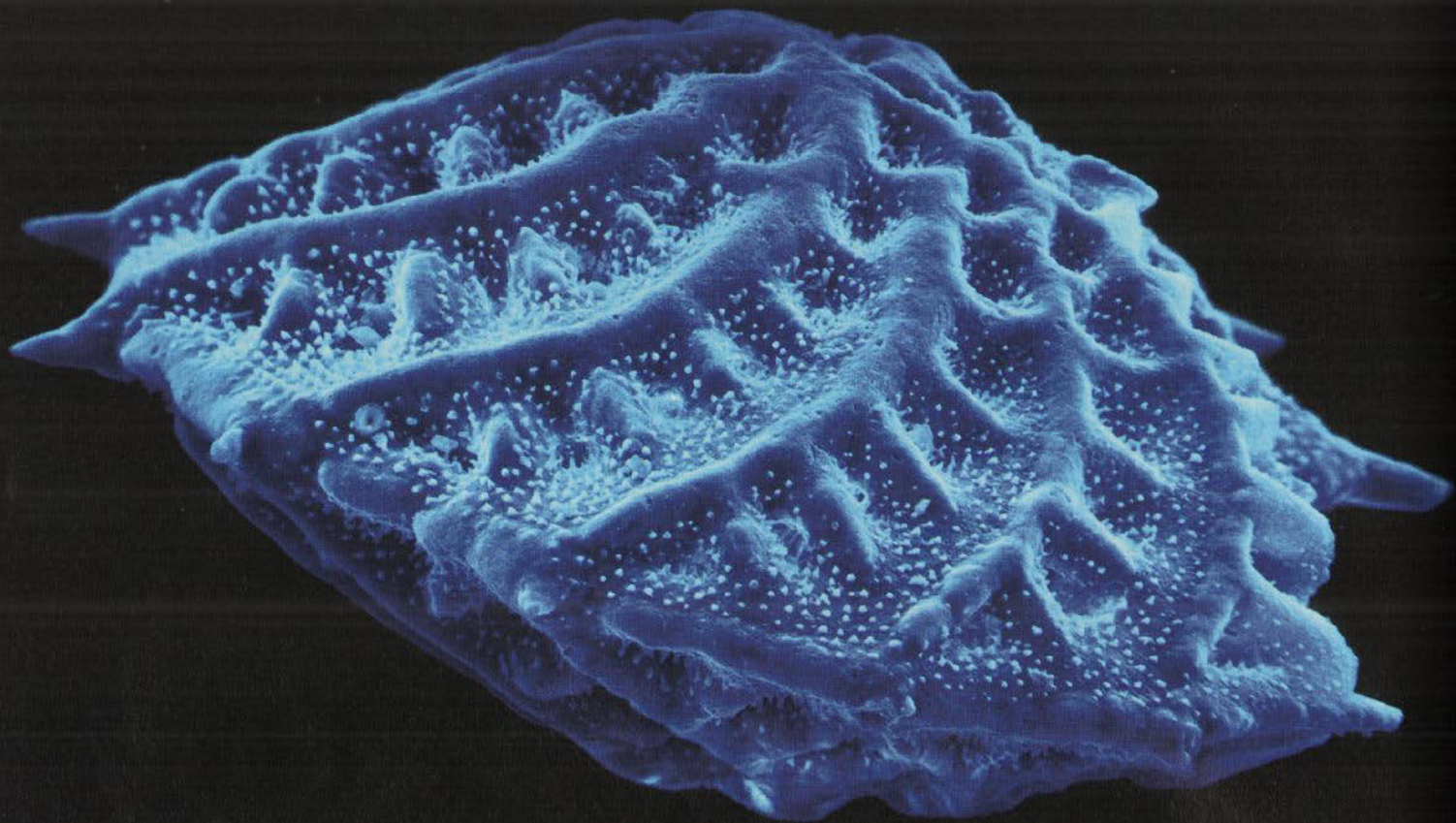
- Cyanobakterien – das Sonnenlicht nutzende Mikroben, die meist weniger

als zwei Tausendstel Millimeter messen, aber bedeutenden Anteil an der Biomasse und Produktionsleistung des Phytoplanktons haben;

- Kieselalgen (Diatomeen) – pflanzliche Einzeller mit Größen zwischen wenigen Tausendstel und einem Millimeter, die filigran geformte Panzer aus Kieselsäure bilden;

- Panzergeißler (Dinoflagellaten), die zur **Photosynthese** fähig sind und sich zuweilen so massenhaft vermehren, dass sich das Wasser bräunlich rot oder orange-farben verfärbt. Einige von ihnen bilden starke Gifte.





#### DIE SELTSAME WELT DER KAMMERLINGE

Die einzelligen Foraminiferen (Kammerlinge) formen oft kompliziert gebaute, porige und in Kammern gegliederte Kalkschalen. Im Inneren des Gehäuses befindet sich der Zellkörper, der Fortsätze durch die Poren nach außen schickt – etwa zur Aufnahme von Nahrung. Manche der Tiere leben in Symbiose mit Algen

**ZUM ZOOPLANKTON** gehören Zehntausende Tierarten aus verschiedenen Stämmen. Viele davon sind Einzeller, darunter:

- Dinoflagellaten ohne Photosynthese, die sich als Tiere ernähren; manche von ihnen erzeugen Licht (**Biolumineszenz**) und verursachen das bei Nacht zu beobachtende grünliche **Meeresleuchten**;

- Geißel- und Wimpertierchen, die zwischen fünf und 50 Tausendstel Millimeter groß sind;

- Kammerlinge (Foraminiferen), die mit Poren durchsetzte, meist in Kammern unterteilte Kalkschalen ausbilden; sie erreichen Durchmesser von etwa

einem Zehntel Millimeter, und manche nehmen Algen in sich auf;

- Strahlentierchen (Radiolarien), deren bizarr geformte Skelette aus Silikat häufig mit Nadeln gespickt sind und regelmäßig perforierte Schalen aufweisen.

Zudem zählen Biologen auch unzählige vielzellige Tiere zum Zooplankton:

- Schirm- und Rippenquallen, Pfeilwürmer, Manteltiere sowie einige Schneckenarten;

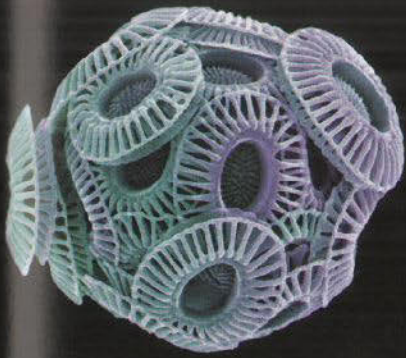
- Kleinkrebse;

- die Larvenstadien größerer Meerestiere, etwa von Fischen, Krebsen, Weichtieren und Stachelhäutern.

Insgesamt gehören zum Plankton all jene Wesen, die sich überwiegend treibend fortbewegen und nicht in der Lage sind, gegen die Strömung anzuschwimmen. Das können auch relativ große Organismen sein – etwa Quallen mit drei Meter langen Tentakeln.

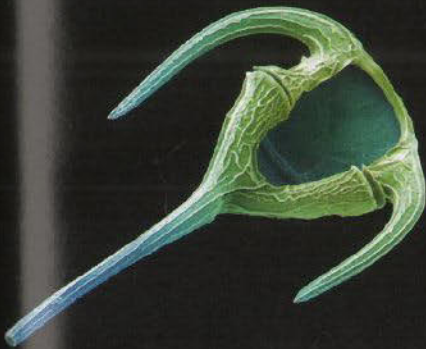
**DIE GRÖSSTE BEDEUTUNG** unter all diesen Lebewesen hat das Phytoplankton: weil es die Grundlage allen weiteren Lebens im offenen Ozean schafft. Dank der Fähigkeit zur Photosynthese können diese Pflanzen aus Wasser und Kohlendioxid organische Substanz aufbauen, die den





#### WINZLINGE, DIE KREIDEFELSEN FORMTEN

Diese Algen sind durch Plättchen aus Kalk geschützt. Jeder Liter Meerwasser enthält bis zu zehn Millionen Exemplare. Aus den fossilen Überresten solcher »Coccolithophoriden« bestehen die Kreidefelsen von Rügen



#### EINZELLER MIT GEISSELANTRIEB

Dank beweglicher Ruten kommen die Panzergeißler im Wasser voran. Einige dieser Einzeller betreiben Photosynthese, andere fressen Bakterien oder sind Parasiten. Manche Arten bilden starke Gifte

Tieren als Nahrung dient. Das Sonnenlicht ist also der Motor des Lebens im Meer – genau wie auf dem Land.

Die Photosynthese kann allerdings nur in der oberen, lichtdurchfluteten Schicht der Ozeane stattfinden. Selbst in den klarsten Gebieten reicht sie kaum tiefer als 200 Meter.

Forscher haben ausgerechnet, dass die Energie, die das Phytoplankton pro Jahr aus dem Sonnenlicht gewinnt und chemisch speichert, 552 Billionen Kilowattstunden entspricht – etwa dem Fünffachen des menschlichen Energiebedarfs (2002). Die Biomasse an pflanzlichem

Plankton wird auf zwei bis vier Milliarden Tonnen Kohlenstoff geschätzt.

Von diesen **Produzenten** und der in ihnen chemisch gespeicherten Energie profitieren die anderen Meeresorganismen – die **Konsumenten**.

Denn in komplexen **Nahrungsnetzen** werden die pflanzlichen Einzeller nun von tierischen Einzellern gefressen, die ihrerseits unter anderem winzigen Krebsen und Fischlarven zum Opfer fallen.

Kleine Fische, etwa Heringe, fressen die Larven und Krebse und werden selbst von Seevögeln und kleinen Raubfischen, wie Makrelen, gejagt. Die wiederum sind die Beute großer Räuber: Thun- und Schwertfischen sowie Haien.

Zudem zersetzen Bakterien verklumptes organisches Material, bestehend aus abgestorbenen Zellen und Resten von Panzerhüllen. Das meiste davon wird in den oberen Wasserschichten vom Plankton wiederverwertet. Nur etwa zehn Prozent des Materials rieseln in die Abgründe der Tiefsee und versorgen die dortigen Bewohner (siehe Seite 110).

**DOCH DIESE LANGE NAHRUNGSKETTE** ist nicht die einzige in dem Geflecht komplizierter Beziehungen im offenen Ozean. Kürzer geht es, wenn besonders große Beutetiere sehr kleine Lebewesen verschlucken: Wenn etwa Mantarochen, Wal- und Riesenhaie sowie Wale mit ihren riesigen Mäulern winziges Plankton aus dem Wasser seihen.

Immer aber geht es ums Fressen und Gefressen werden. Auch da erfordert der Ozean spezielle Anpassungen.

Weil es zum Beispiel in den endlosen Weiten des Meeres keine Verstecke gibt, müssen dessen Bewohner andere Strategien verfolgen. Für fast alle gerichtet schwimmenden Organismen ist Geschwindigkeit überlebenswichtig, und so gibt es im offenen Ozean die schnellsten Fische, etwa den Fächerfisch, der kurzfristig eine Spitzengeschwindigkeit von 109 km/h erreichen soll.

Einen besonders raffinierten Trick wenden jene Fische an, die auf der Flucht die Wasseroberfläche durchstoßen, durch Schläge der verlängerten Schwanzflosse voranschnellen und auf ihren stark vergrößerten Brustflossen durch die Luft gleiten – teilweise mehr

als 100 Meter weit. 67 Arten solcher fliegenden Fische sind bekannt.

Neben der Geschwindigkeit helfen im Überlebenskampf Tarnfarben, weshalb viele Ozeanbewohner unauffällig grau bis silbergrau aussehen. Dabei ist die Unterseite heller, um von unten gegen den lichten Himmel weniger gut sichtbar zu sein, und die Oberseite dunkler – als optische Anpassung gegenüber der Finsternis in der Tiefe. Auch der Zusammenschluss zu Schwärmen ist oft von Vorteil (siehe Seite 42). Lebewesen, die nicht auf Geschwindigkeit setzen können, wie die Quallen, sind meist durchsichtig.

Andere Organismen ziehen sich in den Schutz der Dunkelheit zurück. So verharren viele der tierischen Planktonwesen tagsüber in rund 150 Meter Tiefe und steigen nur nachts an die Oberfläche auf, um dort im Schutz der Finsternis pflanzliches Plankton zu vertilgen.

Größere Planktontiere wie Garnelen und andere Krebse oder kleine Fische ziehen sich tagsüber sogar in eine Region zwischen 200 und 600 Meter Tiefe zurück. Dort sind sie sicher vor Fischen,

## Nacht für Nacht

## findet im Meer

## die größte

## Völkerwanderung

## der Erde statt

die bei der Jagd auf ihr Augenlicht angewiesen sind (aber nicht vor Kalmaren).

Alles in allem findet Nacht für Nacht eine Wanderung von Zigmillionen Wesen statt. Es ist nicht nur die größte Völkerwanderung auf unserem Planeten, sondern auch die einzige, die ausschließlich in vertikaler Richtung erfolgt.

**DIE ZUSAMMENSETZUNG** des Planktons schwankt also im Tagesrhythmus. Doch weshalb schwankt sie zudem von Ort





#### DIE GROSSEN UNTER DEN KLEINEN

Neben den Einzellern gehören zum Plankton auch Vielzeller wie kleine Krebse, Quallen, Schnecken, Larven von Tintenfischen und Fischen. Ökologisch wichtig sind die Ruderfußkrebse, von denen es 9500 Arten gibt. Manche, wie die bis zu drei Millimeter großen *Corycaeus*-Arten (ganz oben), sind Räuber, die etwa Larven erbeuten, andere wie die der *Calanoida*-Gruppe (darunter) fressen Einzeller

zu Ort – und von Jahreszeit zu Jahreszeit? Was macht das Meer an manchen Orten fruchtbar, an anderen öde?

Das Geheimnis liegt im Wachstum des Phytoplanktons. Auf der Photosynthese der winzigen Algen basiert ja das Leben im Meer, sie erzeugen 95 Prozent der Biomasse in den Ozeanen. Damit die Einzeller gedeihen können, benötigen sie zum einen Sonnenlicht, zum anderen Nährstoffe – darunter Nitrat und Phosphat sowie Spurenelemente wie Eisen, Mangan, Kupfer oder Silizium.

Licht ist in den tropischen und subtropischen Meeresgebieten zwar reichlich

vorhanden, doch fehlt es hier meist an Nährstoffen. In den gemäßigten Zonen wiederum ist Licht in den Wintermonaten knapp, während bei ausreichendem Nährstoffangebot in den Frühjahrs- und Herbstmonaten wahre Planktonblüten auftreten. Sie trüben das Wasser grün oder braun ein und verheißen ein üppiges Nahrungsangebot für alle Meeresbewohner – so zum Beispiel im Sommer vor Norwegens Küste.

Doch weshalb sind die Nährstoffe so unterschiedlich verteilt?

Bevorzugt sind zum einen die flachen Küstenmeere. Da organische Partikel hier nur maximal 200 Meter tief sinken und dank der Wasserdurchmischung nach Stürmen relativ schnell wieder an die Oberfläche gelangen, ist die Versorgung reichhaltiger als im offenen Ozean. Zudem spülen Flüsse viele Nährstoffe ins Meer. Deshalb produzieren die Küstenmeere rund 25 Prozent der gesamten **Biomasse** im Ozean, obwohl sie weniger als acht Prozent seiner Fläche einnehmen.

In den offenen Meeren hingegen liegen mehrere Kilometer zwischen der Oberfläche und dem Tiefseeboden. Hier bedarf es besonderer Umstände, damit Nährstoffe, die in die Abgründe gesunken sind, wieder nach oben gelangen.

Dies geschieht innerhalb eines gigantischen Transportbandes aus Oberflächen- und Tiefenströmungen, das über

#### memo | fruchtbarer ozean

» **WINZIGE EINZELLIGE PFLANZEN**, das Phytoplankton, liefern die Grundlage für das Leben im Meer.

» **IM FRÜHJAHR** wächst das Phytoplankton bei reichem Nährstoffangebot explosionsartig.

» **OASEN DER FRUCHTBARKEIT** finden sich dort, wo kaltes, nährstoffreiches Wasser aus der Tiefe aufsteigt.

» **BLAU IST DIE WÜSTENFARBE** der Meere – sie zeigt karge Regionen an.

komplexe Vorgänge angetrieben wird. Es befördert an manchen Stellen kaltes, nährstoffreiches Wasser aus der Tiefe bis an die Meeresoberfläche. Eine solche Region wird durch den Humboldtstrom vor der Küste Perus markiert, der dieses Auftriebsgebiet zu einer der fruchtbaren Zonen der Meere macht.

Manchmal aber wird diese Oase zur Wüste. Dann heizt dort die Klima-Anomalie „El Niño“ das Oberflächenwasser auf, und die Passatwinde flauen ab. Deshalb können sie die warme Schicht nicht von der Küste wegtreiben, das kühle, nährstoffreiche Tiefenwasser vermag nicht nach oben zu steigen.

Aus diesem Grund nimmt in jener Region das Planktonwachstum ab: Die Nahrungsgrundlage aller Meeresbewohner bricht zusammen. 1997/1998 verhungerten durch „El Niño“ vor Perus Küste 85 Prozent der Seevögel, und den Fischern gingen 80 Prozent weniger Sardellen und Sardinen in die Netze.

Weitere solcher Auftriebsgebiete finden sich vor den Westküsten Afrikas, im Einfluss des Labradorstroms sowie des Oya-shio nordöstlich von Japan.

In Äquatornähe treten dagegen kaum kalte, nährstoffreiche Strömungen an die Oberfläche (Ausnahmen: der Humboldtstrom vor Südamerika und der Benguelastrom vor Westafrika). Dieser Mangel sowie die fehlende Durchmischung des Wassers erklärt die niedrige Fruchtbarkeit der tropischen Hochseazonen.

Auch an vielen Inseln im offenen Ozean und an untermeerischen Bergen wird kaltes, nährstoffreiches Tiefenwasser an die Oberfläche gelenkt, sodass sich dort Oasen der Fruchtbarkeit finden.

Der Galápagos-Archipel, knapp 1000 Kilometer vor dem südamerikanischen Kontinent gelegen, ist eine solche Oase. Im Westen der Inselgruppe fällt jenes hoch ragende unterseeische Plateau, von dem die Eilande aufsteigen, bis in mehr als 3000 Meter Tiefe steil ab. Nährstoffreiches Wasser eines kalten Unterstroms wird hier aus etwa 300 Meter Tiefe an die Oberfläche gelenkt.

So erklärt sich nicht nur die ungeheure Fülle an Meeresbewohnern rund um die Inseln, sondern auch die Erkenntnis von Biologen, dass hier Vertreter einer Vogelordnung vorkommen, die sonst nur in den kalten Gefilden im tiefen Süden des Planeten zu finden sind.

Pinguine. □

Der Mikrofotograf, Wissenschaftler und Künstler **Manfred Kage**, 71, gilt als Pionier der farbigen Aufnahmen im Raster-Elektronenmikroskop. Fachliche Beratung: **Prof. Ulrich Sommer**, Leibniz-Institut für Meereswissenschaften – IFM-GEOMAR, Kiel.



Jetzt im Handel



Wenn sie sich im Meer spiegeln, sind sie doppelt so schön: **Italiens Küsten.**

Weitere Themen

**Spanien**

In diesen Casas ist der Gast König.

**Elbe**

Im verwunschenen Auenland.

**Plus Extra-Heft**

Lust auf Österreich.

**GEOSAISON**  
DAS REISEMAGAZIN www.geo-saison.de

**Romantisches  
Italien** Die schönsten Küsten



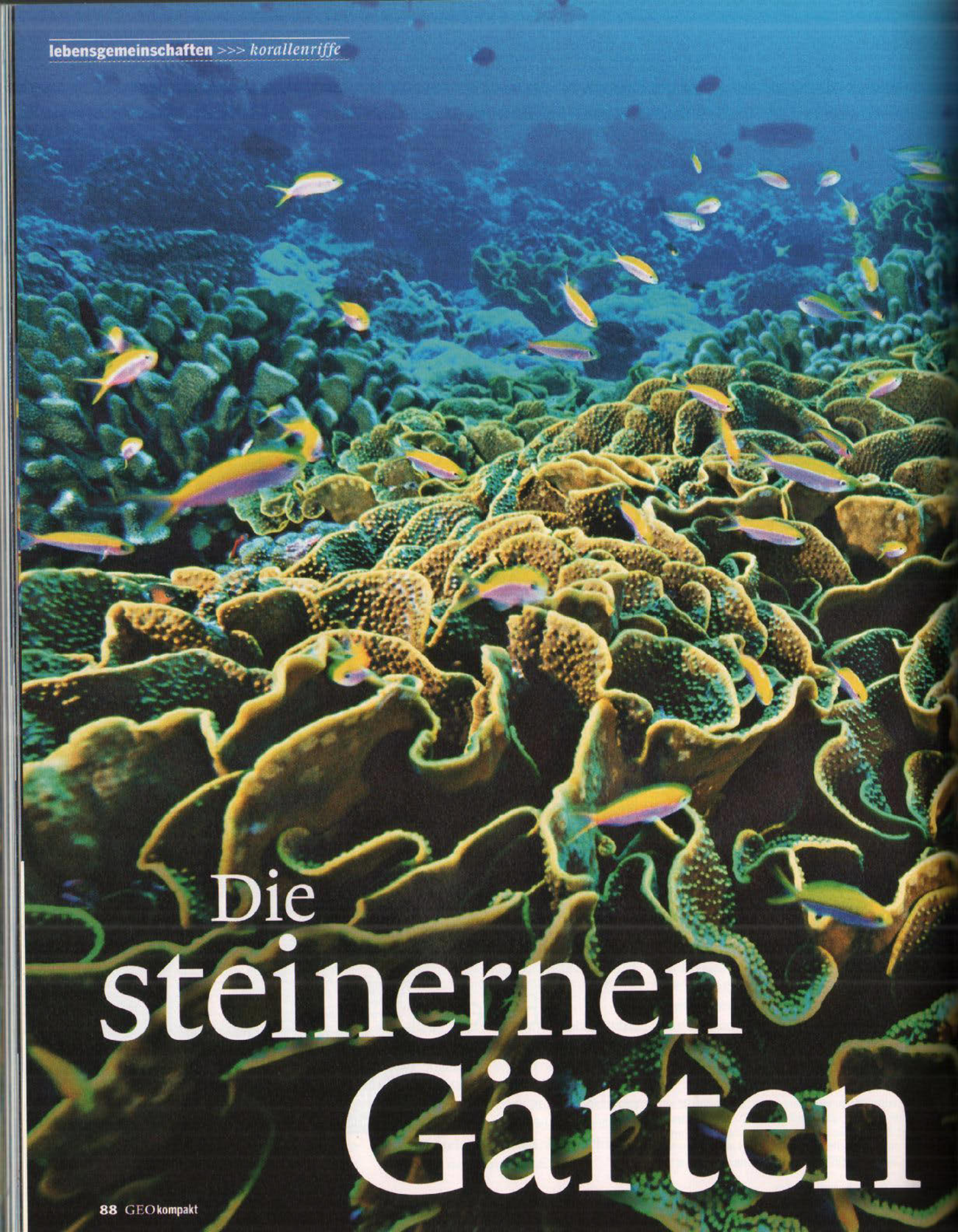
7 traumhafte  
Landhotels in  
**SPANIEN**

**BHUTAN**  
Die Geheimnisse  
des Himalaya

**ELBTALAUEN**  
Grandiose Natur  
mitten in Deutschland

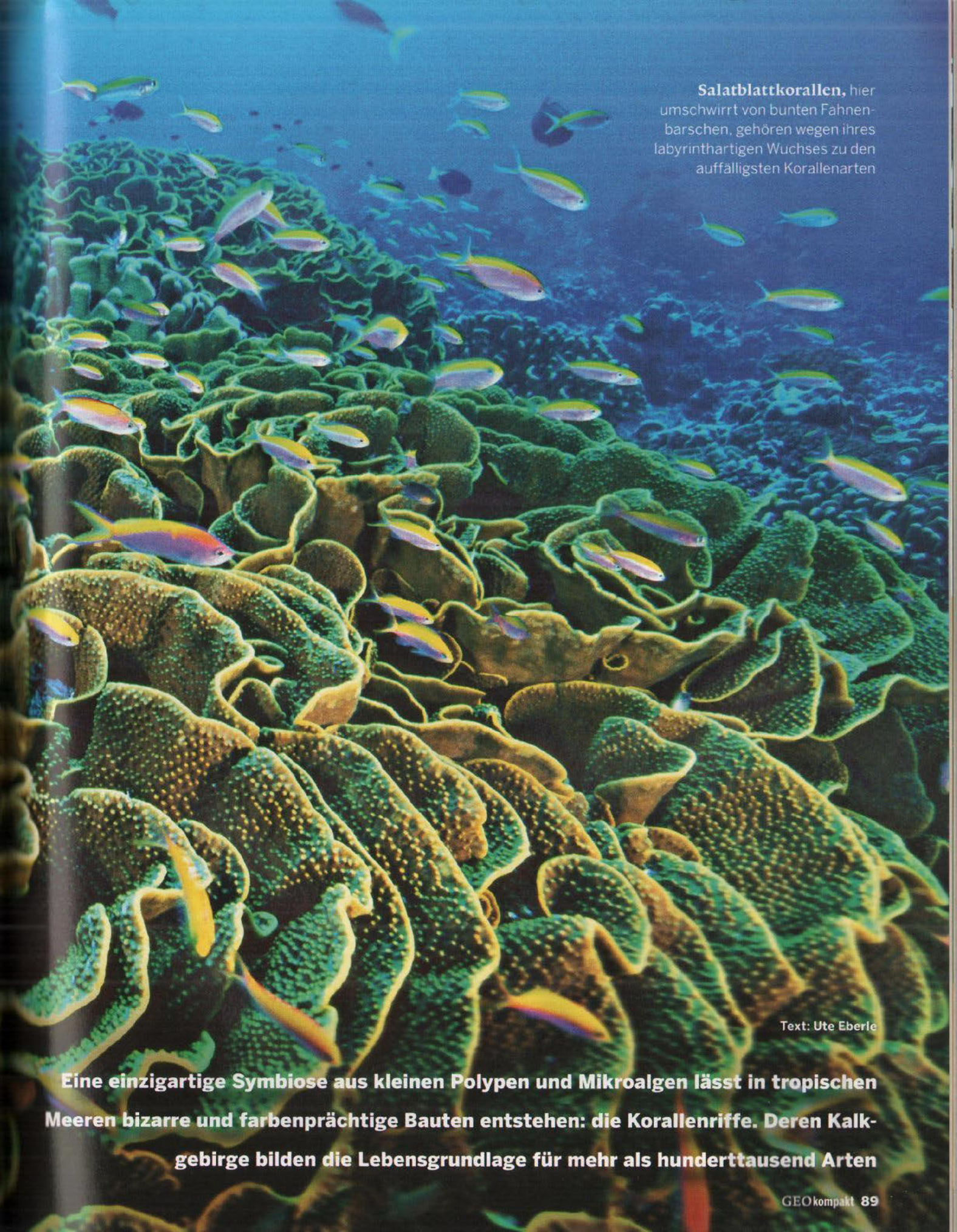
Medizin-Tourismus:  
**OPERATION URLAUB**





# Die steinernen Gärten





**Salatblattkorallen**, hier umschwirrt von bunten Fahnenbarschen, gehören wegen ihres labyrinthartigen Wuchses zu den auffälligsten Korallenarten

Text: Ute Eberle

**Eine einzigartige Symbiose aus kleinen Polypen und Mikroalgen lässt in tropischen Meeren bizarre und farbenprächige Bauten entstehen: die Korallenriffe. Deren Kalkgebirge bilden die Lebensgrundlage für mehr als hunderttausend Arten**



**D**ie größten Bauwerke auf Erden haben nicht etwa menschliche Architekten konstruiert, sondern winzige Lebewesen ohne Gehirn: Korallenpolypen. Sie sind um den Faktor 100 bis 1000 kleiner als der Mensch und dennoch die Hauptbaumeister gigantischer Riffe – das Große Barriereriff erstreckt sich über mehr als 2000 Kilometer an der Nordostküste Australiens. Doch selbst vergleichsweise kleine Riffe stellen marine Großstädte dar, komplett mit Infrastruktur und differenziertem Sozialgefüge.

Solche Riffe bilden auch das **Atoll** Cocos-Keeling, 1000 Kilometer südwestlich von Java gelegen: ein winziger Punkt in der Weite des Indischen Ozeans. Wie die Mauern einer mittelalterlichen Stadt ragt das Riff bis an die Wasseroberfläche empor. Es umschließt an drei Seiten eine runde, 16 Kilometer durchmessende, flache **Lagune**. Schon in deren Wasser tummeln sich die verschiedensten Organismen – von Garnelen, die mit bloßem Auge kaum zu erkennen sind, bis zu riesigen Rochen.

Noch weitaus bunter schillert das Leben in den verschiedenen Zonen des sich anschließenden Riffs: Schlanke Würmer bewegen sich hier, räuberische Schnecken, stachelige Seeigel, gepanzerte Krebse, vielarmige Kraken, kissenförmige Seesterne, zentnerschwere Riesenmuscheln, grazile Blumentiere und Fische in allen Formen und Farben.

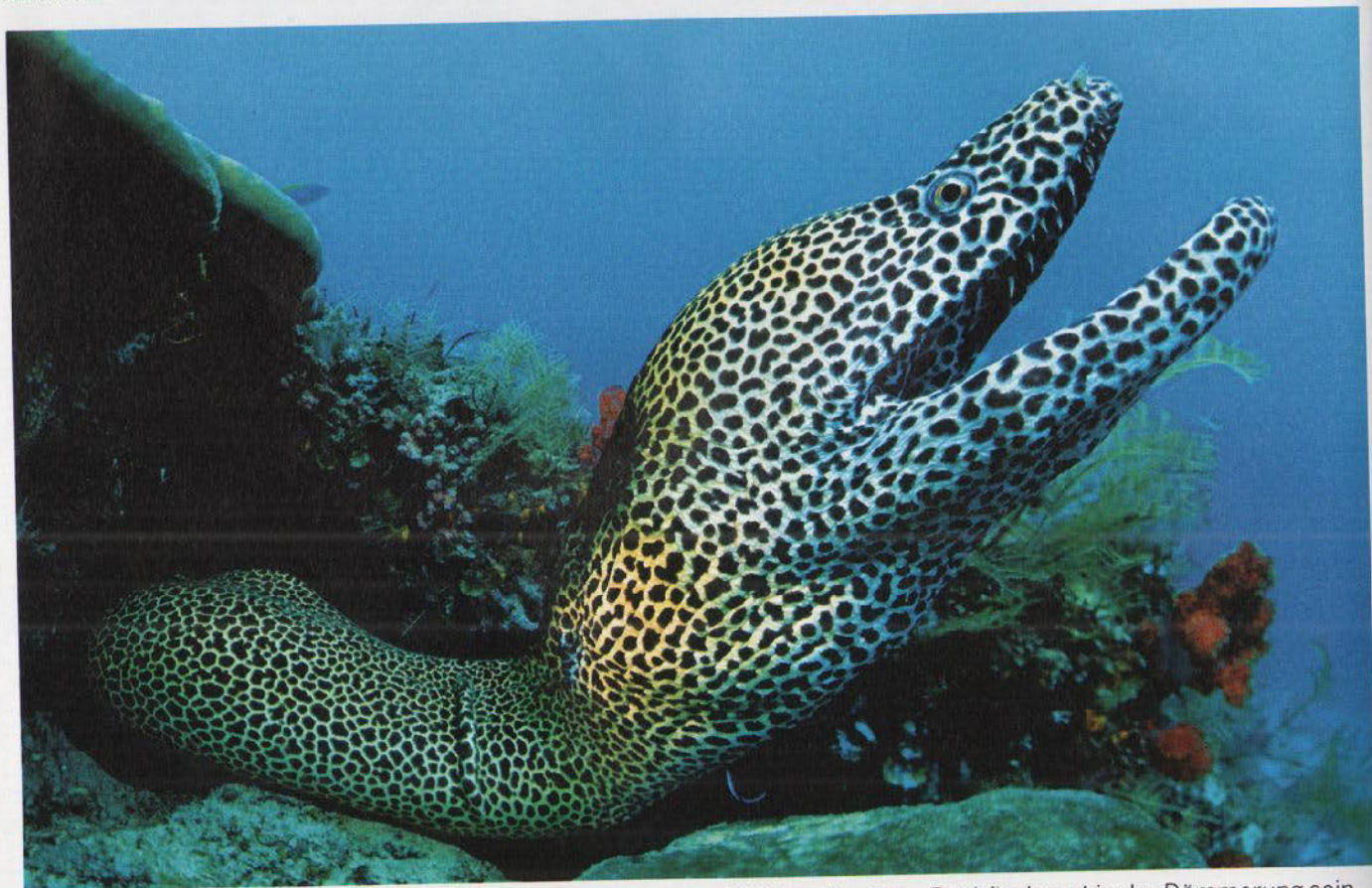
Haie und Mantas gleiten durch das Wasser. Kleine Fische sammeln sich in nervösen Schwärmen oder suchen Schutz zwi-

schen den Verästelungen der Korallen, die in überwältigender Vielfalt wachsen – manche breit wie Tische, andere zartblättrig wie Salat oder kugelrund.

Dazwischen sitzen die Schwämme: Vertreter einer Gruppe von Organismen, die sich seit 800 Millionen Jahren so gut wie nicht verändert haben und ihren Stammpflicht im Riff mithilfe chemischer Kampfstoffe behaupten. Sie beziehen ihre Lebensenergie, indem sie Bakterien und einzellige Algen aus dem Wasser filtern.

Auch wenn sich im tropischen Regenwald noch mehr Arten finden: Nirgendwo auf Erden gibt es eine so große Zahl an grundlegend unterschiedlichen Körperformen wie im Korallenriff – von Stachelhäutern wie dem Seestern bis zu Krustentieren wie der Gespensterkrabbe, von Weichtieren wie der Nacktschnecke bis zu Wirbeltieren wie der Muräne. Und was die Üppigkeit dieser Meereshabitate noch erstaunlicher macht: Es sind die Riffbewohner selbst, die diese Oasen des Lebens in vielen hundert Jahren auf einem kargen Felsboden erschaffen haben.

**WO HEUTE COCOS-KEELING LIEGT**, sprühte vor mehreren Millionen Jahren vermutlich ein Vulkan Lava ins Meer. Nachdem er erloschen war, siedelten sich an seinen Flanken, in den lichtdurchfluteten oberen Wasserschichten, Vorfahren der heutigen Steinkorallen an. Im Verlauf von Jahrhunderttausenden verklebten Kalkalgen die Schalen von Weichtieren mit Bruchstücken abgestorbener Korallen, die von der Brandung zu Sand



**Die Große Netzmuräne** kann bis zu drei Meter lang werden. Meist verlässt der Raubfisch erst in der Dämmerung sein Versteck im Korallenfelsen – tagsüber sind die Tiere träge und schauen nur mit dem Kopf aus ihrer Höhle

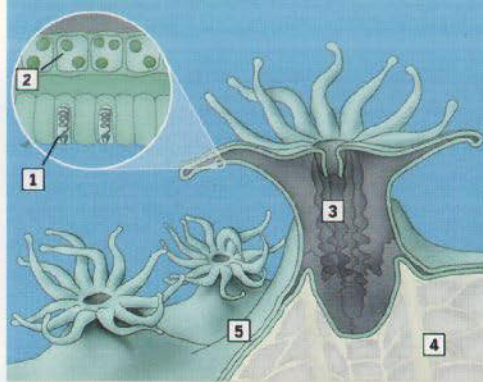


zermahlen worden waren. Auf diese Weise bildete sich um den Vulkankegel allmählich ein Ring aus felsenhartem Kalkstein.

Über weitere Jahrmillionen versank der Vulkan aufgrund von Verschiebungen der Erdkruste und hinterließ als Relikt seiner Existenz den von Korallen erbauten Riffring. Zudem hoben und senkten Eiszeiten den Meeresspiegel: Vor 20 000 Jahren lag er 130 Meter tiefer als heute. In diesem Wechselspiel fielen Teile des Riffs immer wieder trocken – und die Korallenpolypen starben. Waren die Bedingungen günstig, siedelten sich neue an.

Die ersten Korallen des heutigen Riffs begannen vor rund 7000 Jahren zu wachsen. Im Verlauf des folgenden Jahrtausends stieg der Meeresspiegel, und die Korallenpolypen folgten ihm – bis sie ihn vor etwa 4000 Jahren erreichten. Von da an wuchs das Riff nach außen und verbreiterte sich.

In der Mitte des Rings sammelte sich Abrieb und bildete eine seichte Lagune. Stürme und Strömungen schoben Sandbänke zusammen, auf denen Samen von Landpflanzen angeschwemmt oder von Vögeln abgesetzt wurden – Inseln entstanden und Vegetation.



### Kolonie der Hohltiere

Die Haut jedes Korallenpolypen besteht aus zwei Zellschichten: Die äußere enthält Nesselzellen (1), die innere Mikroalgen (2). Hautfalten im »Magen« (3) stabilisieren den Körper. Viele Korallen bilden Kalkskelette (4). Die sind mit einem Gewebe (5) überzogen, das alle Tiere einer Kolonie miteinander verbindet.

**ÄHNLICH WIE** in einer menschlichen Metropole ist es im Riff kurz vor der Morgendämmerung am ruhigsten. Die Geschöpfe der Nacht haben sich bereits verkrochen, und noch hat kein Lichtstrahl die tagaktiven Tiere herausgelockt. Mit der aufgehenden Sonne nun beginnen sich die Fahnenbarsche aus den Korallenstöcken zu lösen. In Schwärmen ziehen sie ins Meer, um Plankton zu suchen. Jagdfische nutzen die Gelegenheit, sprengen einzelne Tiere heraus und attackieren sie.

Nach und nach zeigen sich auch die anderen tagaktiven Bewohner. Manche haben feste Territorien – wie der Clownfisch, der in **Symbiose** mit einer Anemone lebt. Der schlechte Schwimmer ist durch das Gift des Nesseltiers

gegen Feinde geschützt und verteidigt als Gegenleistung die Anemone gegen Eindringlinge. Ein Schleimüberzug schützt ihn vor dem Toxin der Anemone (siehe Seite 6).

Andere Meeresbewohner streifen großräumig umher, so die Sträflings-Doktorfische, die sich zu Banden zusammenschließen, um die flaumig den Riffkalk überziehenden Algen abzuweiden. Sesshaft dagegen sind die Röhrenaale, die größere Sandflächen am Fuß des Riffs bewohnen. Mit dem



**Im dicht besiedelten** Riff bilden sich zahlreiche Allianzen – wie jene zwischen der Korallenkrabbe und der Pocillopora-Koralle: Das Tier lebt gut geschützt in den Zweigen der Koralle und säubert diese, indem es Schwebeteilchen aufpickt





**Eine Gruppe Süßlippen** über einer Steinkorallenart, die flache Platten bildet. Die Polypen wachsen nebeneinander auf der Oberfläche, und so können ihre Partner – die Mikroalgen – mehr lebensnotwendiges Sonnenlicht einfangen

Körper halb in ihrer Wohnröhre steckend, ragen sie aus dem Boden wie Gräser (siehe Seite 8).

**WIE JEDE GROSSSTADT** zerfällt ein Riff in Nachbarschaften mit eigenen Kulturen. Biologen unterscheiden mehrere Zonen:

- In der weitgehend deckungsarmen Lagune – jenem flachen Meeresbereich, der vom ringförmigen Riff eines Atolls umschlossen ist – siedeln einige der größten Versteckkünstler. Perfekt getarnte Seezungen schmiegen sich in den Sand. Fleischfressende Olivenschnecken kriechen durch den lockeren Untergrund und stecken ihr Atemrohr wie ein Periskop aus dem Boden. So nehmen sie auch die Witterung ihrer Beute auf und können direkt neben ihr aus dem Sand emporkommen.

## Erst das Zusammenspiel von **Tier und Pflanze** lässt die Korallenstöcke wachsen

- An die Lagune schließt sich in Richtung Ozean das plateauartige Riffdach an, der seichteste Bereich des Atolls. Hier leben kaum Korallen, da sie bei Ebbe der Trockenheit ausgesetzt wären. Stattdessen findet man oft einen ausgeprägten Algenstreifen. Dort, wo sich das Riffdach über die Wasserlinie erhebt und zu Inseln aufragt, wo der Boden bei Ebbe bloß liegt, Tümpel zu Salzsolen verdunsten und der von Wind und Wel-

len gepeitschte Sand wie Schmirgelpapier scheuert, überleben nur wenige, meist gut gepanzerte Tiere wie die Felsenkrabben.

- Zur offenen See hin folgt nun die Riffkante. In dieser lichtdurchfluteten Zone ist das Korallenwachstum am stärksten. Hier siedeln besonders robuste Korallen, denn die Brandung hämmert selbst bei milder Dünung mit mehreren Tonnen pro Quadratmeter gegen die Kalkkonstruktionen. Auch kräftige Schwimmer werden oft meterweit hin und her geschleudert.

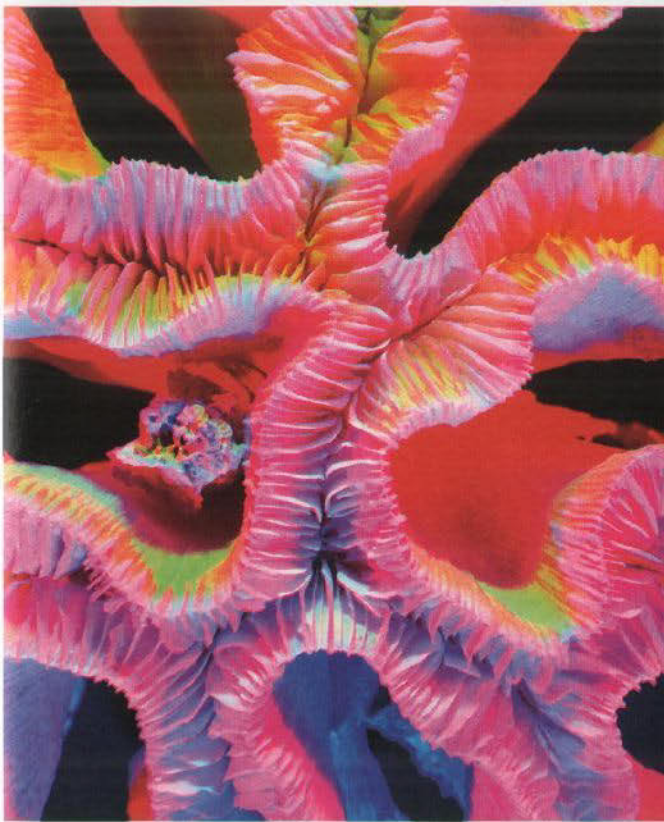
- Das vielfältigste Leben entfaltet sich am Riffhang bis in etwa 30 Meter Tiefe. Hier siedeln Tisch- und Geweihkorallen, die fein ziselierten fächerartigen Hornkorallen und besonders viele Fische, Röhrenwürmer, Stachelhäuter und Weichtiere. Denn noch reicht das Licht aus, Nischen bieten Unterschlupf, und die Strömung trägt Sauerstoff und Plankton heran.

- Weiter unten am Riff wird es düsterer. Dort dominieren die Schwämme, Seescheiden und Seefächer. Sie filtern winzige Planktonwesen aus dem Wasser. Die darin enthaltenen Nährstoffe, etwa Ammonium und Phosphat, geben Schwämme in einer Form wieder ins Wasser ab, die Korallen und Algen leicht aufnehmen können. Ein fußballgroßer Schwamm strudelt täglich bis zu 100 000 Liter durch seinen Körper.

Dieses Dickicht aus neben-, über- und untereinander wuchernden Korallen, engen Spalten und geräumigen Höhlen, Überhängen und Kanälen, Brandung und stillem Wasser, Licht und Schatten bildet die Grundlage für den enormen Artenreichtum der Riffe. Jede **ökologische Nische** bietet Raum für eigene Spezialisten.

Die räumliche Vielfalt, die unterschiedlichen Tagesrhythmen der Riffbewohner sowie die Nutzung verschiedener Nah-





**Die Windungen** dieser Hirnkoralle bestehen aus Kalk, der von winzigen Nesseltieren ausgeschieden wird

rungsquellen ermöglichen einer ungeheuren Zahl von Arten ein Leben in unmittelbarer Nähe zueinander. Obwohl alle Riffe weltweit insgesamt nur eine vergleichsweise kleine Fläche bedecken, leben auf und in ihnen schätzungsweise mindestens 500 000 Arten, womöglich sogar mehr als zwei Millionen. Beschrieben sind davon bislang allerdings erst rund 100 000.

**DIE BASIS FÜR DIESE VIELFALT** liefert eine der erstaunlichsten Symbiosen der Natur: die zwischen Korallenpolypen und winzigen Algen. Betrachtet man einen Korallenstock näher, ist ein Kalkskelett zu sehen, das von einem nur millimeterdünnen Häutchen überzogen ist, das die einzelnen Polypen einer Korallenkolonie miteinander verbindet.

Das Einzeltier ist meist nur wenige Millimeter groß und simpel gebaut. Sein Körper besteht aus einem Gewebeschlauch, dem „Magen“, sowie einem tentakelgesäumten Mund, der die Nahrungsreste wieder ausscheidet. Mit den nesselnden Tentakeln fängt der Polyp in erster Linie Plankton ein.

Auch wenn die Einzeltiere winzig sind, kann die Gesamtkolonie einen Durchmesser von mehreren Metern erreichen, über tausend Jahre alt werden und aus Abertausenden von Polypen bestehen, die durch Knospung aus einem Tier hervorgegangen und deshalb genetisch identisch sind.

In der Magenwand der fast durchsichtigen Polypen leben winzige einzellige Algen – bis zu zehn Millionen pro Quadratzentimeter. Diese **Zooxanthellen** ernähren sich von den Stoffwechselprodukten ihrer Wirtstiere, etwa Ammonium und Kohlendioxid. Zudem schützt die Koralle die Algen durch fluoreszierende Pigmente vor schädlicher UV-Strahlung.



**Prachtkorallen** wie diese bilden kein Kalkskelett. Für die Stabilität ihrer Kolonie sorgt allein der innere Wasserdruck

Im Gegenzug liefern die Einzeller den Polypen zur Ernährung energiereiche Zucker und Aminosäuren (welche die Algen mittels **Photosynthese** aufbauen). Vor allem aber erleichtern die einzelligen Untermieter den Polypen die Produktion von Kalk, indem sie die innere Chemie der Riffbauer verändern.

Von ihren pflanzlichen Mitbewohnern auf diese Weise versorgt, bilden die Korallenpolypen Kalk, den sie über ihre Fußscheibe ausscheiden. So bauen sie einen Sockel, der seine Erzeuger an Größe und Masse schnell um das Vielfache übertrifft. Der Korallenstock wächst in alle Richtungen, bis ungünstige Lichtverhältnisse oder das Erreichen der Wasseroberfläche das Wachstum bremsen und schließlich zum Stoppen bringen.

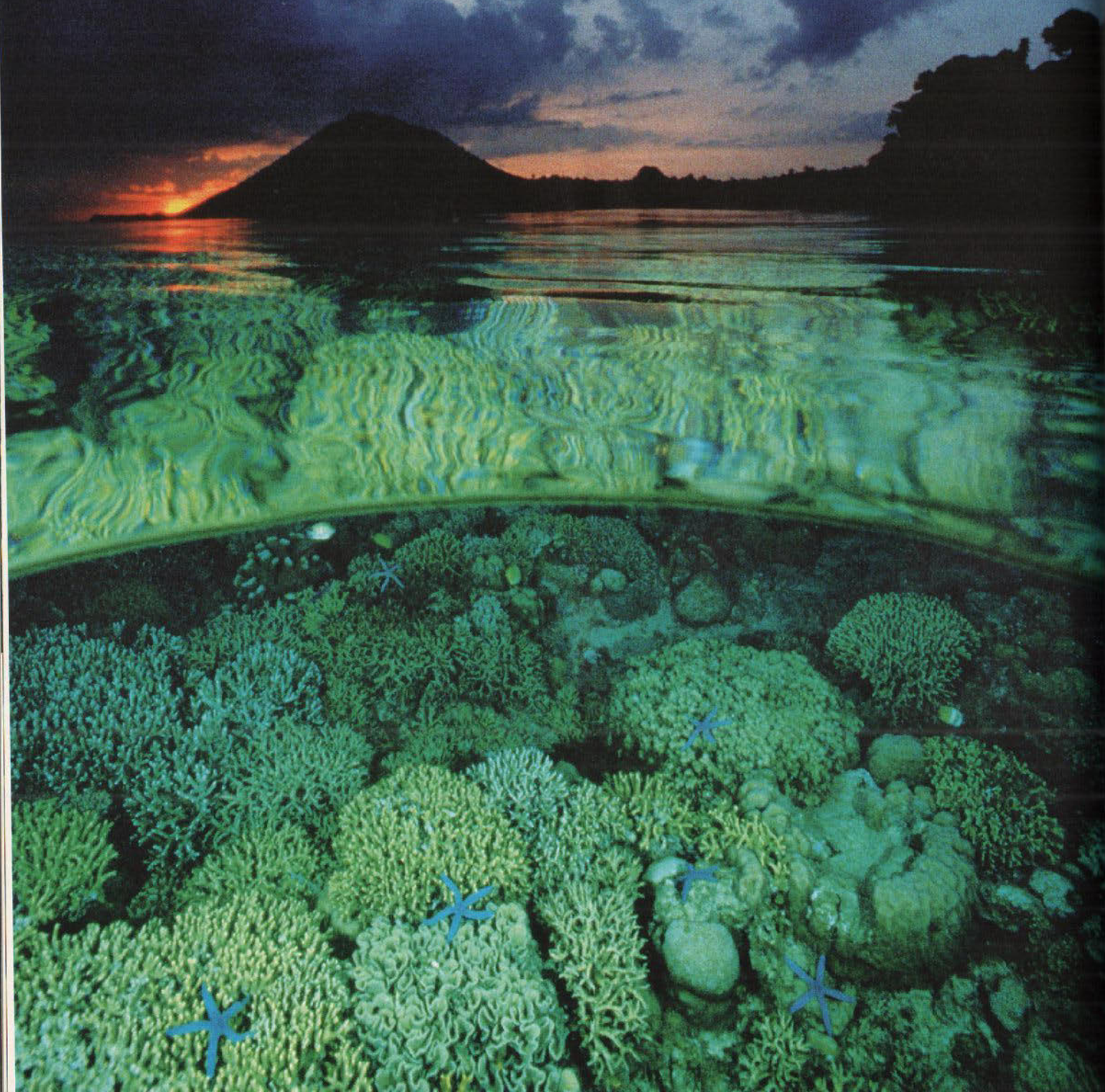
Alljährlich produzieren die Riffe der Welt schätzungsweise 2,5 Milliarden Tonnen Kalk. Je nach Standortbedingungen legt jede Koralle ihr Skelett dabei anders an, etwa kompakt und rund bei den Hirnkorallen, filigran verästelt im Falle der Geweihkorallen oder plattenartig bei vielen Tiefwasserspezialisten. Biologen unterscheiden mehr als 800 riffbildende Arten.

Auch algenlose Korallen können Kalk erzeugen, freilich sehr viel langsamer (einen halben bis einen Zentimeter pro Jahr – dagegen bis zu 15 Zentimeter bei tropischen Korallen). Riffe wachsen deshalb vor allem dort, wo gute Bedingungen für beide Partner herrschen: fester Boden, klares Wasser mit stabilem Salzgehalt und genug Sonnenlicht sowie Wassertemperaturen, die 20 Grad Celsius nicht unterschreiten.

**FRESSEN UND GEFRESSEN WERDEN** ist der wichtigste Tagesordnungspunkt dieser vermeintlichen Paradiese. Den scharfen Zähnen und Fangtricks der Jäger setzt die Beute Panzer,



Die indonesische Insel Bunaken liegt inmitten von Korallengärten. Hier existieren einige hundert riffbildende Arten





Giftstachel und oft beeindruckende Tarnkünste entgegen. Das evolutionäre Wettrüsten hat in beiden Lagern raffinierte Strategien hervorgebracht. Am Kopf der Krötenfische etwa sitzt ein Hautfortsatz, der, je nach Art, einer Garnele oder einem Wurm ähnelt. Wie einen Köder stellt ihn das Tier zur Schau – bis ihm ein Jungfisch direkt vors Maul schwimmt.

Ein Meister der Verwirrung ist auch der Mirakelfisch. Fühlt sich dieser gepunktete Barsch von Feinden bedroht, verschwindet er mit seiner vorderen Körperhälfte blitzschnell in einer Spalte und verbiegt sein Hinterteil dabei so, dass es dem Kopf einer gefährlichen Netzmuräne ähnelt; ein strategisch angebrachter „Augenfleck“ vervollständigt die Illusion. Und der Igelfisch saugt bei Gefahr Wasser in eine seitliche Magenkammer, bläht sich kugelrund auf und spreizt dabei stachelartige Schuppen ab – so kann ihn der Feind nicht verschlucken.

## Unter den **Bewohnern** der bunten Paradiese tobt ein unaufhörlicher Kampf

Doch wenn Auffallen derart gefährlich ist, weshalb haben dann so viele Rifftiere farbenprächtige Gewänder ausgebildet? Farben erfüllen im Korallenriff viele Funktionen. Rotfeuerfische mit Giftdrüsen in den Rückenflossenstrahlen signalisieren durch aggressive Muster, dass man sie besser nicht fressen sollte. Ähnliches gilt für die auffällig gefärbten und zum Teil giftigen Nacktschnecken (siehe Seite 70). Strichelseegurken ahmen diese Warnfarben nach: Obwohl harmlos, zeigen ihre Jungtiere die schrille Färbung der Weichtiere, um sich zu schützen.

Bestimmte Fische nutzen auffällige Muster, um Artgenossen sowie deren soziale Stellung schnell zu erkennen. Und auch zur Kommunikation. So lassen die paarungsbereiten Männchen mancher Zwerglippfische für Sekunden blaue Streifen über Körper und ausgebreiteten Flossen tanzen. Das wirkt offenbar erregend auf die Weibchen, die nun Eier absondern.

Allerdings: Fische sehen das Riff nicht wie der Mensch. Ihre Augen funktionieren anders, und manches, was uns grell erscheint, dient tatsächlich der Tarnung. Die Gelb- und Blautöne vieler Riffbarsche passen perfekt in das allgemeine Farbgemenge des Riffs. Und die breiten Bänder der Wimpelfische mögen zwar plakativ wirken, doch wenn ein Schwarm beisammensteht, fällt es einem Jäger schwer, die Konturen eines Individuums herauszufiltern und es anzugreifen. Die Sehkraft vieler Riffbewohner ist weitaus besser als beim Menschen. Während unser Auge drei Rezeptoren für Wellenlängen besitzt, hat der Fangschreckenkrebs 16; er kann selbst ultraviolette und Muster polarisierten Lichtes wahrnehmen. Viele Fische sehen sogar im UV-Bereich – für sie hebt sich Plankton schwarz im Wasser ab.

**AUCH DIE KORALLEN** sind vor Fressfeinden nicht gefeit. Manche Schnecken saugen mit einem Rüssel das Gewebe der Steinkorallen ab. Der Dornenkronenseestern verflüssigt die Poly-

pen mit seinen Verdauungsfermenten und schlürft sie dann auf. Papageifische beißen mit ihrem schnabelartigen Gebiss gleich ganze Zweige ab. Den unverdaulichen Kalk scheiden sie im Kot wieder aus. Der dabei entstehende Sand ist jenes strahlend weiße Produkt, das für Ferienreisende den Reiz eines Südseestrandes ausmacht.

Darüber hinaus bohren Muscheln, Schwämme und Würmer den Kalksockel der Korallen an, um sich eigene Lebensräume zu schaffen. Derart perforiert, brechen diese bei Stürmen oft ab und werden zermalmt. So ist das Gesamtsystem Riff ständig im Wandel, ein dynamisches System von Werden und Vergehen.

**WER AN EINEM RIFF WIE COCOS-KEELING** taucht, kann häufig ein seltsames Spektakel beobachten. Verschiedene Meerestiere warten vor einem zierlichen Lippfisch, der auffällig wippend umherschwimmt, sich dann auf den Leib eines Fisches stürzt, über ihn gleitet und im aufgesperrten Maul verschwindet. Kurz darauf schießt er wieder heraus.

Diese **Putzsymbiose** ist eine von vielen Allianzen, die sich im Riff entwickelt haben. Der Putzerfisch ernährt sich von Parasiten, toten Schuppen und Pilzen, die er von der Haut anderer Schwimmer zupft. Um zu signalisieren, dass sie für den Reinigungsdienst bereit sind, nehmen Räuber bisweilen eine betont unbedrohliche Haltung ein, verharren etwa reglos.

Die riesigen Mantas erhalten besonderen Service: Mit einer Rückenflosse, die sich in eine Saugscheibe umgewandelt hat, heftet sich der Schiffshalterfisch an ihre Unterseite. So geht er auch bei schnellem Schwimmen nicht verloren und kann bei ruhigem Dahingleiten unverzüglich das Putzen fortsetzen.

Vorteilhaft für alle Beteiligten ist auch die Gemeinschaft von Pistolenkrebs und Wächtergrundel. Der Scherenträger wohnt in höhlenartigen Röhren und ist blind – ein Manko, wenn der Krebs Sand aus dem Bau schaffen muss. Deshalb hält die Grundel für das Krustentier gewissermaßen Wache, indem sie sich so im trichterförmigen Eingang zur Höhle positioniert, dass der Krebs mit einer Antenne Kontakt zu ihr halten kann. Droht Gefahr, sucht die Grundel, die in der Umgebung der Behausung jagt, Zuflucht in der Höhle – und mit ihr der durch ihre Bewegung alarmierte Krebs.

Doch nicht alle Bündnisse sind harmonisch. Es wimmelt auch von Schmarotzern und Parasiten, etwa dem bis zu 15



**Die Partnergarnele** lebt ausschließlich auf Blasenkorallen. Die giftigen Tentakel des Nesseltieres bieten ihr Schutz





## Die Wuchsformen der Steinkorallen

Das spärlich besiedelte Riffdach (1) fällt bei Ebbe oft trocken. Sein Abrieb bedeckt den Boden der Lagune (2). An der Riffkante (3) siedeln besonders robuste Formen, etwa Hirschgeweihkorallen, die der Brandung standhalten. Am oberen Riffhang (4) leben vielfältige Formen von Salatblatt-, Hirn- und Himbeerkorallen, weiter unten (5) dominieren die flachen Tischkorallen. Schließlich folgen Schwämme, Seescheiden und Seefächer (6)

Zentimeter langen Eingeweidefisch *Encheliophis gracilis*, der im Körper von Seegurken lebt und deren Keimdrüsen frisst. Auch unter den Krebsen gibt es zahlreiche Parasiten, die sich beispielsweise an den Kiemen von Fischen festsetzen, um den Blutkreislauf ihres Wirts anzuzapfen (siehe Seite 50).

**MIT SINKENDER SONNE** ziehen sich die Tagfische in Korallenstöcke und Felsritzen zurück. Manche – wie der Königspapageifisch – verbergen sich dort unter einem Schleimkokon, den sie Abend für Abend neu absondern: ein Geruchsschild, der vor Parasitenbefall und dem Angriff eines Räubers schützen soll. Eine Viertelstunde erscheint das Riff wie ausgestorben.

Dann kommen die Tiere der Nacht aus ihren Verstecken: sich ruckartig bewegend Soldatenfische, die mit ihren großen Augen selbst nachts Beute entdecken; Muränen, die sich über den Fels schlängeln und mithilfe ihres Geruchssinns schlafende Fische aufstöbern; Weißspitzenriffhaie, die im Dunkeln jagen, da sie die elektrischen Impulse sich bewegend Fische wahrnehmen.

Haarsterne wandern zu höher gelegenen Standorten, und die Korallen, die am Tage ihre Tentakel zum Schutz vor Falterfischen verborgen halten, entfalten sich, indem sie diese nun zum Beutefang ausstrecken: Denn in den dunklen Stunden steigt aus der Tiefe das begehrte **Zooplankton** auf, das tagsüber jenen Räubern ausweicht, die auf Licht angewiesen sind.

Während der Nacht findet auch eines der bemerkenswertesten Riffschauspiele überhaupt statt: das Massenlaichen der Korallen, wenn Abertausende von ihnen gleichzeitig ihre Ei- und Samenzellen ins Wasser freisetzen. Denn die Riffbauer können sich nicht nur ungeschlechtlich durch Knospung vermehren und dadurch die Kolonie entstehen lassen, sondern auch sexuell fortpflanzen – was wiederum für die Verbreitung der verschiedenen Arten notwendig ist.

Styroporkügelchen gleich steigen die fettreichen Ei- und Samenbündel an die Wasseroberfläche und werden durch Strömungen zu dichten rosafarbenen Bändern zusammengetrieben. Finden Samenzellen Eier der gleichen Art, so befruchten sie diese, und es entstehen kleine Wimperlarven, die einige Tage im Plankton treiben.

Wohl kaum ein Aspekt des Lebens demonstriert die Vielfalt am Riff so eindrucksvoll wie die Fortpflanzung. Mono-

game Verbindung oder Harem, Kurzzeitliaison oder Bund fürs Leben: Im Korallenbau kommen alle Varianten zum Einsatz.

Blaukopfflippfische etwa paaren sich einmal täglich, und die Weibchen suchen sich ihre Partner immer wieder neu aus. Viele Seepferdchen dagegen bleiben sich ein Leben lang treu und erneuern ihren Bund jeden Morgen mit einem „Tanz“, bei dem die Tiere ihre Schwänze verwirbeln und minutenlang umeinander wirbeln.

Auch das Geschlecht ist variabel. Drachenköpfe, Brassen, Schnapper, Seebarsche und Anemonenfische etwa beginnen ihr Leben als Männchen und wandeln sich bei Bedarf – wenn es an Weibchen mangelt – ins andere Geschlecht um.

Lippfische, Papageifische, Zackenbarsche, Kaiserfische und einige Grundeln werden dagegen als Weibchen geboren und entwickeln sich zu Männchen. Entfernt man die stattlichsten Männchen der Blaukopfflippfische vom Riff, balgen die größten Weibchen schon nach Minuten um ihren Platz. Innerhalb weniger Stunden haben sie ihr Geschlecht dann so weit gewandelt, dass sie sich als Männchen mit Weibchen paaren können. Dank dieser Flexibilität ist stets für eine ausreichend große Zahl von Partnern gesorgt.

Manche Riffbewohner übernehmen gleich beide Geschlechterrollen. Sie sind Zwitter – eine Variante, die sich speziell für sesshafte Wirbellose wie Schwämme, Korallen und Riesenschnecken anbietet. Andere vermehren sich asexuell, wie der

Seestern *Linckia multifora*, der seinen fünften Arm abwirft, aus dem ein neues Tier heranwächst.

Besondere Hingabe an den Nachwuchs ist die Ausnahme. Zwar bauen größere Druckerfische Nester, „brüten“ das Kardinalfischmännchen die Eier im Maul aus. Doch viele Riffbewohner halten es wie die Korallen und geben Tausende von Eiern und Samen einfach ins offene Wasser ab – in der Hoffnung, dass wenigstens einige befruchtet werden und überleben.

Die Larven der Korallen treiben Tage oder sogar Wochen mit der Strömung. Die meisten sterben, werden gefressen oder finden nie ein geeignetes Habitat. Ein kleiner Rest aber lässt sich schließlich sinken und trifft mit etwas Glück auf einen passenden Untergrund, um dort sesshaft zu werden.

Der Grundstein für ein neues Riff. □

**Ute Eberle**, 35, ist Wissenschaftsautorin in Leiden/Niederlande. Fachliche Beratung: **Dr. Claudio Richter**, Zentrum für Marine Tropenökologie, Bremen.

### memo | korallen

» **ALLE KORALLENRIFFE** zusammen bedecken etwa die halbe Fläche Frankreichs.

» **MIKROALGEN** in den Polypen erleichtern diesen Nesseltieren, Kalk abzuscheiden für den Bau des Riffs.

» **WENN EIN KORALLENRIFF** den Meeresspiegel erreicht, wächst es in die Breite.

» **KEIN ÖKOSYSTEM** zeigt eine größere Vielfalt an unterschiedlichen Tierstämmen.





Jetzt im Handel

# Schöne Tage bei Michel, Heidi und Pippi: Reisen mit Kindern.

In dieser Ausgabe

## Nord- & Ostsee

Auf die Dünen, fertig, los!

## Mallorca

Warum Kinder die Insel so lieben.

## Ferienhäuser

Die besten Adressen im Süden.

### GEOSAISONExtra

#### REISEN MIT KINDERN 2007

Perfekter Urlaub an Nord- und Ostsee

Spielplatz Mallorca

Ferienhäuser im Süden

Kurztrips: Museen, die Spaß machen



GEOSAISONExtra

Tirol | Rom | Schweden | Neuseeland

Zu gewinnen:  
3 x Familienurlaub



# Wissen sammeln!



## GEOkompakt Heft 11

**Im Reich der Insekten:**  
Weshalb die bizarren Sechsheiner so erfolgreich sind.



## GEOkompakt Heft 12

**Die Wüsten der Erde:**  
Wie Mensch, Tier und Pflanze den Extremen trotzen.





# Dankeschön gratis!

**Sparen Sie mehr als 9% und sichern Sie sich Ihr Geschenk!**



## **GEOkompakt-Sammelbox + Erstausgabe**

Diese praktische Sammelbox schützt Ihre wertvolle Sammlung vor Staub und gibt bis zu 7 Hefen einen sicheren Stand. **Zusätzlich erhalten Sie die Erstausgabe von GEOkompakt gratis dazu.**

## **Bergmann-Uhr »1928«**

Ein glänzendes Schmuckstück mit Zifferblatt im Sonnenschiff und braunem Echtleder-Armband. Qualitätsquarzwerk, gewölbtes Mineralglas und Einzelnummerierung. Maße: ca. 28 x 36 mm.

**Gleich Karte ausfüllen und abschicken!**

### **Tauchen Sie ein in die Grundlagen des Wissens**

GEOkompakt präsentiert die großen Themen der Allgemeinbildung in außergewöhnlicher visueller Opulenz, mit anschaulichen, leicht verständlichen Texten und Erklärungen. Alle GEOkompakt-Ausgaben ergänzen sich zu einer **Bibliothek des Wissens**.

### **Ihre GEOkompakt-Vorteile**

- Sie sparen mehr als 9% gegenüber dem Einzelkauf!
- Sie erhalten ein Dankeschön Ihrer Wahl gratis!
- Kein Risiko: nach 4 Ausgaben jederzeit kündbar!
- Geld-zurück-Garantie für bezahlte, aber nicht gelieferte Hefte!
- Nachbestellrecht: Frühere Ausgaben sind für Sie reserviert!

**Die Grundlagen des Wissens**





# Autoreifen und der Karibische Pfandflaschenhai

*Die Vereinten Nationen haben herausgefunden, dass dreimal so viel Müll in die Ozeane gelangt, wie Meeresfische gefangen werden. Muss das der Evolution nicht zu denken geben?*

Einer der wichtigsten, wenn nicht der wichtigste Bestandteil des modernen Meeres kommt in diesem Heft überhaupt nicht vor: die Plastikflasche.

Die Plastikflasche, der Weinkorken, die Zigarettenkippe, der Autoreifen und, nicht zu vergessen, die gebrauchte Babywindel prägen, meiner Ansicht nach, den Lebensraum Meer heutzutage sehr viel stärker als zum Beispiel Thunfisch, Koralle oder Pistolenkrebs.

2006 hat das Umweltprogramm der Vereinten Nationen, UNEP, eine Studie veröffentlicht, nach der in jedem Jahr dreimal so viel Müll in das Meer hineingelangt, wie Fisch aus dem Meer herausgefangen wird.

Mit anderen Worten: Der Fisch wird als auffälligste Erscheinung im Lebensraum Meer nach und nach durch den Abfall ersetzt. Kabeljau wird Jahr für Jahr weniger, Bierflaschen werden mehr. Ähnliches gilt für das Verhältnis zwischen Krustentieren und Autoreifen.

Der größte Teil dieses Abfalls besteht aus Plastik. Wenn es also eines Tages mit der Fischerei nichts mehr ist, dann könnten die ehemaligen Fischer eben mit ihren Schleppnetzen im Wasser Plastik sammeln, das ist ja durchaus ein wertvoller Rohstoff, der aus Öl gemacht wird, und sicher gehen auch zahlreiche Pfandflaschen ins Netz.

Ich darf mir ein gewisses Maß an Sarkasmus erlauben, denn ich bin sozusagen eine menschliche Plastikflasche, die von der Redaktion in das gesunde Ökosystem dieses Heftes hineingeworfen wurde. Ich bin kein Wissenschaftler, sondern Laie, ich bin nicht objektiv, sondern subjektiv und soll als Außenstehender eine Art Heftkritik abliefern. Mein erster und

wichtigster Kritikpunkt: Wo ist der große Beitrag über die Plastikflasche? Muss etwa ich den schreiben?

Das Wort „Plastik“ ist eine populäre, nicht ganz präzise Umschreibung des Begriffs „Kunststoff“. Kunststoffe bestehen aus langen Molekülen und sind genauso



vielgestaltig wie all die anderen Bewohner des Meeres, sie können Fasern, Farben, Formteile und Röhren bilden, Klebstoffe, Reifen oder Bodenbeläge, ach, man könnte ewig aufzählen.

Von den Entdeckern und Pionieren, denen die Verwandlung des Meeres in den wahrscheinlich größten Aufbewahrungsort für Kunststoffe innerhalb des Universums zu verdanken ist, wäre

aus deutschsprachiger Sicht zuerst Bartholomäus Schobinger zu nennen, ein Kaufmann, dem 1530 die Verwandlung von Ziegenkäse in durchsichtiges Kunsthorn gelang.

Wenn es im Meer keine essbaren Fische mehr gibt, stattdessen nur noch ungenießbares Plastik, sollten wir uns an das geistige Erbe von Bartholomäus Schobinger erinnern. Nach den Gesetzen der Logik müsste es nämlich auch umgekehrt gehen, dann können wir also die frisch gefangenen Autoreifen und Babywindeln noch in den Häfen in schmackhaften Ziegenkäse verwandeln.

Entscheidender für die Entwicklung der Plastikflasche aber war zweifellos der

Beitrag des Amerikaners Charles Goodyear, der 1839 herausfand, dass Kautschuk elastisch wird, wenn ihm Schwefel hinzugefügt wird. Dieser Vorgang heißt „vulkanisieren“.

Goodyear, der keinen besonderen Bezug zum Meer hatte, starb verarmt – unter anderem deshalb, weil er ein miserabler Geschäftsmann war.

Bei der Weltausstellung in London, 1851, stellte er sogar Möbel aus Gummi vor. Als Werbeaktion. Gummimöbel aber wollte keiner haben. Bei Plastikflaschen



dagegen sieht die Nachfrage, wie wir heute wissen, ganz anders aus.

**Unter den Kunststoffen**, die für den Lebensraum Meer von Belang sind, gibt es drei Großfamilien. Thermoplaste sind beweglich und – wenn erwärmt – leicht verformbar. Daraus werden nicht nur Flaschen gemacht, sondern auch die Plastiktüten, die heute in praktisch allen Weltmeeren und an sämtlichen Stränden zu Hause sind – nebenbei bemerkt: auch in den Binnengewässern.

**Im Gegensatz dazu** sind die Duroplaste hart, aus ihnen bestehen unter anderem die Kunststoffboote, welche die Oberfläche der Meere bevölkern. Elastomere, die dritte Familie, zeichnen sich durch Elastizität aus, wie sie bei Gummibändern oder Keilriemen wünschenswert ist. Ohne Elastomere wäre etwa in der Seefahrt vieles schwieriger.

**Auf einen Quadratkilometer** Meer kommen, laut einer Sprecherin der Weltnaturschutzorganisation IUCN, im Durchschnitt 18 000 Teile Plastik. Bei einer wissenschaftlichen Untersuchung in der Nähe der Hawaii-Inseln wurde im Meer sechsmal so viel Plastik gefunden wie Plankton.

**Zwischen Hawaii** und den USA soll es bereits eine Art schwimmende, strudelartige Mülldeponie geben, die so groß ist wie Zentraleuropa und im Tempo von etwa 4000 Kilometern pro Jahr im Kreis schwimmt. Ein Strudel aus sehr vielen Plastikflaschen und ihren Freunden.

**Deswegen bezweifle ich**, ob wirklich die Korallenriffe die größten Bauwerke der Erde sind. Es ist nur eine Frage der Definition. Gilt eine schwimmende Mülldeponie als „Bauwerk“, als „Ökosystem“ oder als „Wasserfahrzeug“?

**Natürlich sinkt viel** von dem Zeug irgendwann zu Boden und wird, während des Sinkens oder danach, von der Strömung weggeschwemmt. Angeblich werden einige der tiefen Rinnen tief unten in der Tiefsee allmählich mit Plastik gefüllt, und wenn in einigen Jahren die Tiefseeforscher endlich dort unten ankommen, auf der Suche nach den letzten Geheimnissen der Erde, müssen

sie womöglich feststellen, dass ihr Lieblingsjoghurtbecher und ihr Shampoo-Fläschchen schon längst da sind.

**Ich bin kein Katastrophenprediger.** Die Natur passt sich neuen Verhältnissen an. Das ist seit Millionen von Jahren immer so gewesen. Arten verschwinden, Arten entstehen. Dinge ändern sich radikal. Die Tatsache, dass vor 20 000 Jahren – erdhistorisch gesehen einer relativ kurzen Zeit – mancherorts der Wasserpegel um 130 Meter tiefer lag, hätte ich beinahe überlesen.

**Zurzeit sterben ziemlich viele Tiere**, weil sie aus Versehen Plastik verschlucken oder sich verheddern, und wenn ein großer Fisch gefangen wird, etwa ein Hai,

»Vielleicht gibt es  
irgendwann neue Arten,  
die all den Kunststoff  
im Meer fressen. Der  
Gemeine Plastikkrebs.  
Die Tiefsee-Schraub-  
verschlusschnecke«

dann wird in seinem Magen fast immer irgendwas aus Plastik gefunden. Aber es würde mich nicht wundern, wenn im Laufe der nächsten Jahrtausende im Meer neue Arten entstünden, Arten, die Plastikflaschen fressen und sich bewusst davon ernähren.

**Der Gemeine Plastikkrebs.** Der Karibische Pfandflaschenhai. Die Tiefsee-Schraubverschlusschnecke. Gleichzei-

tig benutzen viele der heute bereits vorhandenen Lebewesen das Plastik als eine Art Floß, sie setzen sich drauf, klammern sich dran fest, und ab geht die Reise. Das heißt, die Durchmischung der Arten und die Veränderung der Lebensräume werden durch die Plastikflaschen vermutlich beschleunigt.

**Der Plastikmüll am Strand** kommt den meisten von uns hässlich vor – ich glaube, zum Beweis dieser These muss man nicht extra eine Umfrage veranstalten. Wir Menschen produzieren massenhaft Plastikflaschen, füllen das Meer damit, sorgen dafür, dass auch am Strand der entlegendsten Eilande eine Flasche Pepsi oder Budweiser zu finden ist: Wir tun also dies, und dann erklären wir auch noch, es sei hässlich.

**Wir sind wahrscheinlich** die einzigen Lebewesen, die sich vor sich selbst ekeln! Sogar der Eingeweidefisch, der im Inneren der Seegurke sitzt und dort in aller Ruhe deren Geschlechtszellen frisst, steht zu dem, was er tut. Menschliches Verhalten ist schizophren. Aber es gibt eine Lösung.

**Das Kunststoffzeug verrottet** extrem langsam – was im Meer drin ist, bleibt erst mal drin. Allerdings wird das Plastik im Laufe der Jahrzehnte porös und zerbröselt in kleine Stücke. Das heißt, es werden, auf lange Sicht, überall auf der Erde Strände aus kleinen Plastik-Kugeln entstehen, so, wie es jetzt schon Strände gibt, die aus dem zerbröselten Kot des Papageifisches bestehen.

**Das sind, wie ich gelernt habe**, die weißen Traumstrände der Karibik. Die Leute zahlen viel Geld dafür, um sich in Fischkot zu wälzen. Die zukünftigen Plastikstrände werden bunt sein und in der Sonne schimmern. Auf Plastik zu liegen, das ist doch gar keine so unangenehme Vorstellung, der Strand wird wie eine einzige große Luftmatratze sein.

**Wie Sie sicher bemerken**, versuche ich mit allen Kräften, die Zukunft positiv zu sehen. □

Harald Martenstein, 53, ist Schriftsteller und Kolumnist in Berlin.





**Pottwale**, hier vor Neuseeland, gehören zu den Zahnwalen, die mit ihrem Gebiss einzelne Beutetiere ergreifen. Eine andere Jagdtaktik verfolgen die Bartenwale, die zweite große Gruppe: Sie fischen mit ihren Barten riesige Mengen an kleinen Lebewesen aus dem Wasser





# Im Reich der grauen Riesen

Text: Ute Kehse; Fotos: Flip Nicklin

**Ihre Vorfahren besaßen vermutlich ein Fell und lebten an Land. Auf dem Weg zurück ins Meer lernten die Wale, Salzwasser zu trinken, kilometertief zu tauchen und ohne einen Atemzug stundenlang unter Wasser zu bleiben. Woher nehmen sie den nötigen Sauerstoff? Und wie ertragen sie den gewaltigen Druck, der in der Tiefe auf ihnen lastet?**





**Wale sind lernfähig.** Ein Jahr lang ist das Buckelwal-Kalb mit seiner Mutter unterwegs. Gemeinsam schwimmen sie die amerikanische Pazifikküste entlang, von Mexiko bis zu den Futtergründen im Norden. Später wird der junge Wal den Weg ohne die Hilfe der Mutter finden



**N**och einmal taucht der dunkelgraue, kastenförmige Schädel vor der Küste von Nordnorwegen aus den Wellen. Der Pottwal atmet aus: Eine mehrere Meter hohe Nebelwolke fährt aus dem Blasloch. Dann holt der Wal tief Luft und taucht kopfüber in die Tiefe. Die dreieckige Fluke ist das Letzte, was von dem 40-Tonnen-Koloss zu sehen ist.

Fast eine Stunde lang bleibt der Pottwal verschwunden. Dann durchstößt sein massiger Körper erneut die Wasseroberfläche. Während der folgenden zehn Minuten treibt er fast regungslos im Wasser und füllt mit rund vier Atemzügen pro Minute seine Sauerstoffvorräte auf.

Anschließend bricht er zum nächsten Beutezug in sein dunkles Jagdrevier auf. 40 bis 50 Minuten dauert ein Tauchgang im Durchschnitt, im Extremfall kann ein Pottwal 3000 Meter tief tauchen und mehr als zwei Stunden unter Wasser bleiben. Eine bemerkenswerte Leistung für ein Tier, das als Lungenatmer Luftsauerstoff zum Atmen braucht.

Andere Wale sind nicht minder versierte Taucher. Alle Mitglieder der Säugetierordnung Cetacea – vom maximal 33 Meter langen Blauwal bis zum lediglich 1,50 Meter messenden Kalifornischen Schweinswal – sind optimal an das nasse Element angepasst. Den Walen ist neben einigen anderen Meeressäugern das Kunststück gelungen, einen für Säugetiere feindlichen Lebensraum zu erobern, und manche von ihnen gehören sogar zu den beherrschenden Räubern des Ökosystems.

**DIE URSACHEN IHRES ERFOLGS** sind vielfältig: Wale waren mit den Seekühen die ersten Säuger, die zurück ins Wasser gingen; sie sind soziale Tiere, die sich gegenseitig helfen und voneinander lernen. Ihr Stoffwechsel ist äußerst effizient. Bei der Jagd kommt kaum ein anderes Meerestier an sie heran, Konkurrenz machen sie sich vor allem gegenseitig.

Erst seit wenigen Jahren können Biologen ihr Leben mit speziellen Tauchrekordern im Detail verfolgen. Geräte, die an der Woods Hole Oceanographic Institution im US-Bundesstaat Massachusetts entwickelt wurden, registrieren zum Beispiel, wie schnell und wie tief ein Wal taucht, welche Töne er ausstößt und welche Geräusche er hört. Die Rekorder werden mit Saugnäpfen an der Walhaut befestigt und lösen sich nach einigen Stunden automatisch ab.

Ihre Aufnahmen belegen, welche erstaunlichen Leistungen manche Wal-Arten auf der Suche nach Nahrung vollbringen.

Die bislang wenig erforschten Schnabelwale etwa stehen den Pottwalen in ihrem Tauchvermögen kaum nach. Die Cuvier-Schnabelwale tauchen bis zu 1900 Meter tief und halten sich im Schnitt 58 Minuten unter Wasser auf. Die mittlere Tauchtiefe dieser Wale liegt bei rund 1000 Metern, wo sie pro Tauchgang etwa 30 Tintenfische erbeuten. Damit halten sie sich regelmäßig in größeren Tiefen auf als fast alle anderen Säugetiere: Selbst Pottwale tauchen meist nur 600 bis 1000 Meter tief.

Amerikanische und kanadische Forscher haben die Jagdtaktik von Finnwalen untersucht. Die bis zu 27 Meter langen Tiere verfügen über einen stark dehnbaren Kehlsack. Biologen hatten sich lange gewundert, weshalb die Kolosse bei der Jagd nur wenige Minuten unter Wasser bleiben, obwohl ihre Sauerstoffvorräte für rund eine halbe Stunde reichen müssten.

Die Aufzeichnungen der Wissenschaftler zeigen nun, dass sich Finnwale bei der Jagd in mehr als 100 Meter Tiefe mit weit geöffnetem Maul auf Krillschwärme stürzen. Mit dem aufgeblähten Kehlsack umschließen sie etwa 30 Kubikmeter Wasser inklusive Beute. Sie schließen ihr Maul und pressen anschließend das Wasser durch die Barten wieder heraus. Während einer solchen Attacke müssen die Wale ihren Körper kräftig bewegen, um den Wasserwiderstand zu überwinden – und das wiederum zehrt an den Sauerstoffvorräten.

Bereits nach sieben bis acht Hapen sind die Tiere deshalb so erschöpft, dass sie zum Luftholen nach oben kommen müssen. Doch der Aufwand lohnt sich: Manche Finnwale verschlingen pro Tag mehr als zwei Tonnen der etwa daumenlangen Krebse, die mit ihnen eng verwandten Blauwale bringen es sogar auf vier Tonnen.

Die Anpassung der Wale an ihre neue Umgebung ist so weit gediehen, dass die Biologen lange darüber rätselten, mit wel-



**In dem großen Schädel** des Pottwals befindet sich das leistungsfähigste Sonar der Welt: Hier erzeugen die Tiere niederfrequente Klicklaute. Mithilfe der aufgefangenen Echos orientieren sich die Wale im Raum und orten ihre Beute

## *Die nächsten Verwandten der Wale sind Kühe, Schweine, Kamele und Flusspferde*

chen Landbewohnern sie am ehesten verwandt sein könnten. Inzwischen sind die Verhältnisse geklärt. Zu den nächsten Verwandten der Wale zählen Kühe, Schweine, Kamele und Flusspferde – allesamt Vertreter der Ordnung der Paarhufer.

Analysen unter anderem des Erbguts hatten das schon länger vermuten lassen. 2001 wurden endlich auch passende Fos-



silien vorgestellt. Die Knochen des Urwals Pakicetus zeigen, dass die Cetacea vor rund 50 Millionen Jahren noch Landbewohner waren (siehe GEOkompakt „Die Urzeit“). Sie lebten in einer heißen, trockenen Gegend, die sich heute im Norden Pakistans befindet und damals an den Ufern des tropischen Urozeans Tethys lag.

Pakicetus war ein Allesfresser von der Größe eines Wolfs. Er konnte schnell laufen, besaß wahrscheinlich ein Fell, ein kräftiges Gebiss und einen länglichen, hundeartigen Kopf.

## Die Knochen der warmblütigen Meeressäuger bestehen zu 60 Prozent aus Fett

Nur einige besonders geformte Knochen im Ohr lassen erkennen, dass Pakicetus ein Urahn der Wale ist. Paläontologen nehmen an, dass das Tier auf der Suche nach Nahrung durch Flüsse watete.

Offenbar war diese Strategie erfolgreich, denn innerhalb von wenigen Millionen Jahren wurden die Nachfahren von Pakicetus zu Meerestieren, die keinen Fuß mehr aufs Trockene setzten – ja nicht einmal mehr Füße besaßen.

Konkurrenz hatten die Urwale kaum: Nach dem Aussterben der Meeressäurier vor 65 Millionen Jahren war die **ökologische Nische** der großen Raubtiere in den Ozeanen verwaist.

Rund eine Million Jahre nach Pakicetus lebten die Urwale bereits amphibisch. Ambulocetus, ein 300 Kilogramm schweres Raubtier, lauerte ähnlich wie ein Krokodil in küstennahen Gewässern auf Beute. Im Wasser bewegte es sich mit den Hinterbeinen paddelnd fort. Dessen Nachfolger Rodhocetus lebte vor etwa 47 Millionen Jahren bereits überwiegend im Meer.

Dieser Urwal hatte einen stromlinienförmigen Körper und stark zurückgebildete Hinterbeine. Seine Kreuzbeinwirbel waren nicht mehr miteinander verbunden, sodass er zum Antrieb kräftige Bewegungen mit dem Schwanz vollführen konnte. An Land bewegte er sich recht plump, ähnlich wie heute die Seehunde.

Der bis zu 20 Meter lange Basilosaurus, der vor etwa 40 Millionen Jahren auftauchte, hatte den Sprung ins Wasser bereits komplett vollzogen. Die Vorderbeine waren zu Flossen umgebaut, die Hinterbeine zu Stummeln verkümmert. An Land hätten sie den schweren Leib nicht mehr tragen können.

Nicht nur Beine und Wirbelsäule – der gesamte Körper passete sich an das Leben im Wasser an. Die Walfigur wurde stromlinienförmig: Fell, Ohrmuscheln und Nacken verschwanden, die Fortpflanzungsorgane versteckten sich unter Hautfalten. Anstelle von Haaren schützte eine dicke Fettschicht die warm-



**Im Verlauf der Evolution** haben die Wale die Fähigkeit verloren, Farben zu sehen. Stattdessen entwickelten sie ein besonders feines Gehör: Anstelle eines Trommelfells empfängt ein Fettpolster im Unterkiefer den Schall aus dem Wasser und leitet ihn an das Mittelohr weiter





**Ein Buckelwal wirbt** um das unter ihm schwimmende Weibchen, nachdem er sich gegen mehrere Rivalen durchgesetzt hat. Wie sich Buckelwale paaren, hat aber noch niemand beobachtet. Alle zwei bis drei Jahre bringen die Weibchen nach elf Monaten Tragezeit ein Junges zur Welt

blütigen Säuger vor Wärmeverlust. Die Knochen wurden leichter, um das spezifische Gewicht zu verringern und ihre Elastizität zu erhöhen; heute bestehen sie zu 60 Prozent aus Fett.

Statt Süßwasser begannen die Wale Salzwasser zu trinken oder Flüssigkeit über ihre neue Nahrung – etwa Fisch – zu sich zu nehmen. Ihre Nieren mussten enorm leistungsfähig werden, um das mit dem Meerwasser aufgenommene Salz wieder abzuführen.

Auch die Sinnesorgane veränderten sich. In den trüben Küstengewässern, in denen sich die ersten Wale aufhielten, waren die Augen nicht sehr nützlich. So verloren sie die Fähigkeit, Farben zu sehen. Der Geruchssinn verkümmerte ebenfalls.

Stattdessen gewann das Gehör an Bedeutung. Die Ohren mussten nun allerdings Schall empfangen, der in einem dichteren Medium unterwegs war als zuvor und sich hier gut viermal schneller ausbreitete. Das unter Wasser nutzlose Trommelfell – bei Landbewohnern empfängt es den Schall aus der Luft und überträgt die Schwingungen auf die Gehörknöchelchen – wurde dick und hart und verknöcherte bei einigen Arten, das Außenohr verlor seine Funktion.

Als Ersatz bildete sich im Unterkiefer ein Fettpolster, das den Schall zum Mittelohr leitete. Das Gleichgewichtsorgan verkleinerte sich und wurde dadurch weniger empfindlich;

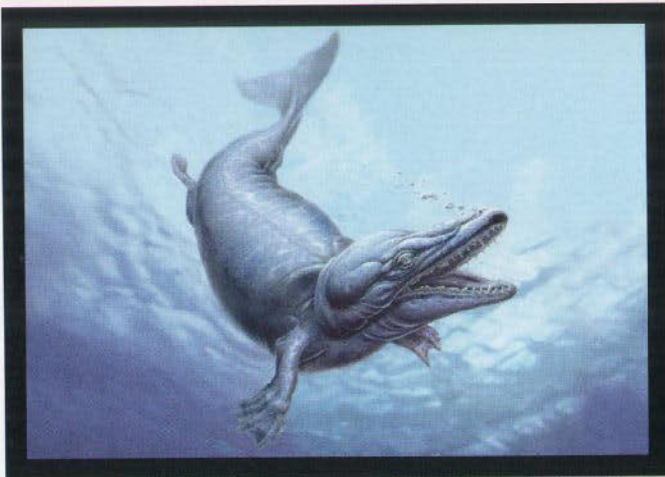
das ermöglichte es den Walen, sich im Wasser um alle Körperachsen zu drehen, ohne dass ihnen schwindelig wurde (was bei einer Überstimulierung geschieht).

**VOR ETWA 30 MILLIONEN JAHREN** entwickelten sich die modernen Wale mit ihren zwei Unterordnungen, den Zahn- und den Bartenwalen. Damals ordneten sich die Meeresströmungen neu, in vielen Schelfgebieten quoll kaltes, nährstoffreiches Tiefenwasser an die Oberfläche.

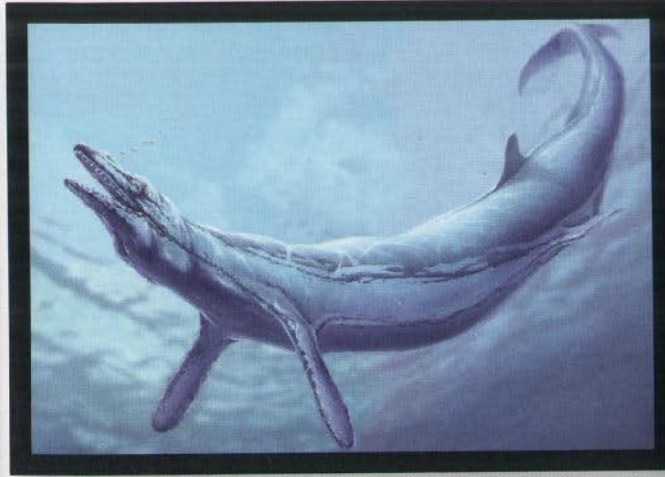
Die modernen Wale passten sich mit neuen Ernährungsstrategien an die Veränderungen an und verdrängten ihre eigenen, primitiveren Vorfahren. Die Bartenwale erschlossen sich den plötzlich reichlich vorhandenen Krill als Futterquelle. Und die Zahnwale entwickelten eine wirkungsvolle neue Jagdmethode: die Echo-Ortung.

Meister dieser Technik ist der Pottwal. In seinem mächtigen Schädel, der bis zu einem Drittel der Körperlänge einnehmen kann, befindet sich das leistungsfähigste Sonar der Welt. In dem Komplex aus Muskeln, riesigen Fettpolstern, Luftsäcken und den Nasengängen erzeugen die Pottwale einige Tausendstelsekunden lange Laute mit niedriger Frequenz, so genannte Klicks. Einen Teil des Schalls sendet der Pottwal in alle Raumrichtungen, um sich zu orientieren. Das eigentliche Signal ist





**Rodhocetus, ein Vorfahr** heutiger Wale, lebte vor etwa 47 Millionen Jahren bereits überwiegend im Meer. Die Hinterläufe hatten sich zurückgebildet, sodass sich das Tier an Land nur plump bewegte



**Etwa sieben Millionen** nach Rodhocetus tauchte Basilosaurus in der Ahnenreihe der Wale auf. Er konnte das Wasser nicht mehr verlassen: Seine Vorderbeine waren zu Flossen geworden

ein ohrenbetäubender Knall, dessen Intensität etwa der eines Gewehrschusses im Abstand von einem Meter entspricht.

Es wird zunächst nach hinten in den Schädel geleitet, dort reflektiert und schließlich durch die akustische Linse im Kopf als enger Strahl direkt nach vorn gebündelt. Mithilfe des Echos können Pottwale ihre Beute bereits aus einer Entfernung von mehreren hundert Metern vor sich aufspüren.

**DIESE FÄHIGKEIT** macht die Pottwale bei der Jagd äußerst effizient: Sie verschwenden kaum Zeit damit, in der Tiefe lange herumzusuchen. Nähert sich ein Pottwal seinem Opfer, beschleunigt er die Klicks zu einem Brummen. Möglicherweise findet er so heraus, welches Beutetier er vor sich hat und wie schnell es sich bewegt. Die Vermutung, mit dem enormen Knall des Schalls würden die Jäger ihre Beutetiere sogar betäuben, ließ sich bislang allerdings nicht bestätigen. Fast zwei Tonnen Kopffüßer und Fische fängt ein ausgewachsener Pottwal-Bulle am Tag.

Die schwimmenden Riesen haben nahezu alle Körperfunktionen optimal auf den neuen Lebensraum eingestellt. Die Atmung ihrer Vorfahren indes haben sie beibehalten: Wie alle Säugetiere müssen sie regelmäßig Luft holen.

Diese vermeintliche Einschränkung ist aber ein Vorteil, denn Meerwasser enthält zu wenig Sauerstoff, um den hohen Stoffwechsel eines Warmblüters aufrechtzuerhalten – vom großen Wal-Gehirn ganz zu schweigen. Nur die Luftatmung ermöglicht also physiologische Leistungen, die über die vieler anderer Meeresbewohner weit hinausgehen.

Dennoch waren zahlreiche Anpassungen erforderlich, damit die Wale zu Extremtauchern werden konnten. Um minuten- oder gar stundenlang nicht zu atmen, pumpen Wale Sauerstoff in die Muskeln und ins Blut. Dort wird er an die Proteine Myoglobin und Hämoglobin gebunden. In Ansammlungen aus fein verästelten Blutgefäßen, den „Wundernetzen“, wird das

sauerstoffreiche Blut während des Tauchens zwischengelagert. Ihre schweren Körper bringen den Walen ebenfalls Vorteile: Große Tiere können pro Kilo Körpergewicht mehr Sauerstoff speichern und brauchen im Verhältnis weniger Energie als kleinere Spezies.

Beim Tauchen gehen die Wale äußerst wirtschaftlich mit dem Sauerstoff um und sparen Energie, wo es nur möglich ist. Sie drosseln die Blutzufuhr zu weniger wichtigen Organen, verlangsamen den Herzschlag, senken die Körpertemperatur.

Viele Arten lassen sich nach einigen anfänglichen Flukenschlägen bewegungslos in die Tiefe sinken, andere nutzen den Auftrieb ihres Körpers, um ohne Kraftaufwand nach oben zurückzukehren. Ein günstiges Verhältnis von Oberfläche zu Volumen, die dicke Fettschicht und ein ausgeklügelter Wärmetausch-Mechanismus zwischen den Blutgefäßen verhindern, dass es den Walen im Wasser kalt wird.

Sind die Sauerstoffvorräte aufgebraucht, können Wale für eine Weile zur **anaeroben Atmung** übergehen, bei der ein bestimmter Zucker in den Muskeln zu Milchsäure verarbeitet wird. Um mit höheren Säurekonzentrationen fertig zu werden, hat ihr Muskelgewebe eine

größere Pufferkapazität als das von Landsäugetern.

Das heißt: Sie können den Säuregrad konstant halten, auch wenn sich saure Stoffwechselprodukte anreichern. Die Milchsäure muss aber wieder abgebaut werden, wofür längere Aufenthalte an der Oberfläche erforderlich sind. Wahrscheinlich überschreiten die meisten Meeressäuger die Tauchgrenze jenseits der **aeroben Atmung** daher nur im Notfall.

Eine Ausnahme sind die Schnabelwale: Sie tauchen bei der Jagd etwa doppelt so lange, wie es ihr Sauerstoffvorrat eigentlich erlaubt. Um die Milchsäure abzubauen, müssen sie zwischen zwei Tieftauchgängen Pausen von ein bis zwei Stunden einlegen. In dieser Zeit tauchen sie mehrfach einige hundert Meter tief, ohne zu jagen – möglicherweise, um durch die Be-



**Der Urwal Ambulocetus** war ein Vierbeiner, lebte amphibisch und lauerte in Küstengewässern auf Beute



wegung den Milchsäureabbau zu unterstützen. Oder um in dieser Tiefe vor Orkas sicher zu sein, die sich bevorzugt in den oberen 20 Metern tummeln und selten tiefer tauchen.

An der Oberfläche können Wale ihre Sauerstoffvorräte rasch auffüllen. Sie tauschen pro Atemzug bis zu 90 Prozent ihres Lungenvolumens aus, der Mensch nur zehn bis 20 Prozent. Ein ausgewachsener Blauwal braucht lediglich zwei Sekunden, um seine 1500 Liter fassende Lunge zu leeren und wieder zu füllen. Die Atemwege sind bis in die kleinsten Verzweigungen mit Knorpel verstärkt, damit sie diesem enormen Sog standhalten und sich beim Auftauchen wieder öffnen. Der Brustkorb hingegen ist sehr flexibel und kann sich dem unterschiedlichen Lungenvolumen anpassen.

All das hilft den Walen, mit der anderen Herausforderung beim Tauchen fertig zu werden: dem Druck. Auf einem Quadratmeter Pottwal lasten in 1000 Meter Tiefe etwa 1000 Tonnen Gewicht. Mit Gas gefüllte Körperhöhlen werden in der Tiefe stark zusammengequetscht.

Deshalb atmen die Tiere vor dem Tauchgang aus, um möglichst wenig Luft mit hinabzunehmen. Zudem legen sie während des Abstiegs ihre Lunge still. Die feinen Lungenbläschen fallen in einer Tiefe zwischen 50 und 100 Metern in sich zusammen. Die wenige verbleibende Luft wird in die verstärkten Bronchien zurückgedrängt.

Eine weitere Gefahr beim Extremtauchen ist die Dekompressionskrankheit. Stickstoff in der Atemluft löst sich unter erhöhtem Druck im Blut und Gewebe. Beim schnellen Aufstieg bilden sich Gasblasen, die den Blutfluss blockieren können und verhindern, dass das Gewebe mit Sauerstoff versorgt wird. Beim Menschen treten Gelenkschmerzen, Schwindel und Lähmungserscheinungen auf. Langfristig kann Gewebe absterben.

Trotz ihrer enormen Tauchtiefen leiden Wale in der Regel nicht unter dieser Krankheit. Da die Lunge der Tiere in

der Tiefe stillgelegt ist, kann sich kein zusätzliches Gas im Blut lösen. Dennoch scheinen offenbar selbst Wale gegen die Taucherkrankheit nicht immun zu sein. Die Rippenknochen älterer Pottwale zeigen Gewebestörungen und Narben, was Forscher als Folge dieser chronischen Erkrankung deuten.

Ihrem evolutionären Erfolg tut dies jedoch keinen Abbruch: Pottwale existieren bereits seit mehr als 25 Millionen Jahren; sie sind die älteste der modernen Walfamilien und haben sich seit zehn Millionen Jahren kaum verändert. In allen Weltmeeren stehen sie an der Spitze der Nahrungskette.

**DIE BEISPIELLOSE** Erfolgsgeschichte der Ordnung Cetacea hat alle Ozeane verändert. Eine der artenreichsten Lebensgemeinschaften der Tiefsee verdankt ihre Existenz sogar einzig und allein den Walen – vor allem deren Ableben.

Nach dem Tod eines Wals sinkt der Kadaver auf den Grund und bietet Tiefseebewohnern für rund 100 Jahre ein reiches Mahl. Aasfresser wie Krabben, Schleimaale und Schlafhaie vertilgen das

Fleisch. Dann fallen Schnecken, Krebse, Borstenwürmer und schließlich Bakterien über das Skelett her.

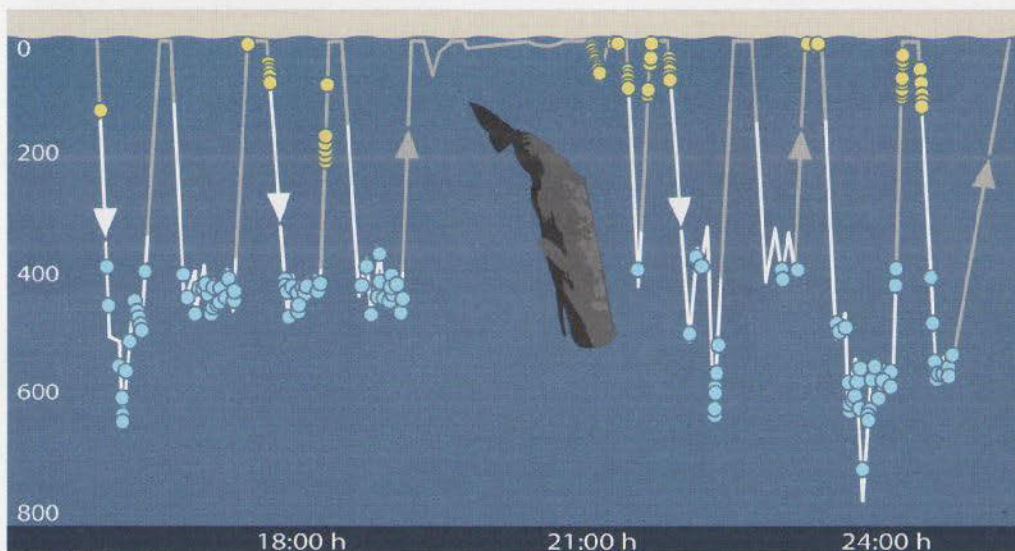
Der skurrilste Bewohner der Kadaver ist *Osedax frankpressi*, ein entfernter Verwandter des Wattwurms. Die Weibchen ernähren sich mithilfe von Bakterien von den Walknochen. Die Männchen sind mikroskopisch klein und verbringen ihr Leben in einem larvenähnlichen Zustand. Genanalysen zeigen, dass sich die Art vor etwa 42 Millionen Jahren entwickelt hat.

Ungefähr zu jener Zeit also, als *Basilosaurus* ins offene Meer vordrang, der erste große Wal. □

**Ute Kehse**, 38, ist Wissenschaftsautorin in Delmenhorst. Der US-Fotograf **Flip Nicklin**, 58, widmet sich vor allem Haien und Walen. Fachliche Beratung: **Dr. Harald Benke**, Deutsches Meeresmuseum, Stralsund; **Dr. Oliver Hampe**, Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität, Berlin.

memo	wale
» VOR RUND 50 MILLIONEN	Jahren lebten die Urwale noch an Land.
» IN 1000 METER	Tiefe lasten auf einem Quadratmeter Walhaut rund 1000 Tonnen Gewicht.
» ZWEI SEKUNDEN	benötigt ein ausgewachsener Blauwal, um seine 1500 Liter fassende Lunge zu leeren und wieder zu füllen.
» EIN BLAUWAL	verschlingt pro Tag etwa vier Tonnen Krill.

**Pottwale setzen** für ihre Zwecke unterschiedliche Laute ein. Das entdeckten Forscher, die ein Tier über mehrere Stunden mit einem kleinen Tauchrekorder ausgestattet hatten. Durch rhythmisch ausgestoßene Klicklaute (gelbe Punkte) kommunizieren die Wale untereinander. Beim Ab- und Auftauchen dienen regelmäßige Klicks (weiße Linien) der Orientierung per Biosonar. Bei der Jagd ab etwa 400 Meter Wassertiefe gehen diese Klicks zur präzisen Ortung der Beute in ein Brummen über (blaue Punkte)





**CROSSOTA MILLSAE** ist eine kleine Qualle mit rot gefärbten Keimdrüsen, die ihre Nachkommen unter dem Schirm erbrütet. Sie lebt etwa vor Kalifornien in 2500 Meter Tiefe



Text: Martin Paetsch

Fische, die fast nur aus einem Maul bestehen. Leuchtende Seegurken. Riesige Amöben. Ein Panoptikum sonderbarer Wesen bevölkert im ewigen Dunkel der Tiefsee einen Lebensraum, der größer ist als alle Kontinente zusammen

# DIE GESCHÖPFE DER FINSTERNIS





**WIE SPOREN**  
unbekannter  
Pflanzen schei-  
nen diese beiden  
Organismen im  
Wasser zu schwe-  
ben. Es sind  
wahrscheinlich  
Larven von Herz-  
seeigeln, die als  
erwachsene Tiere  
meist im Meeres-  
boden siedeln

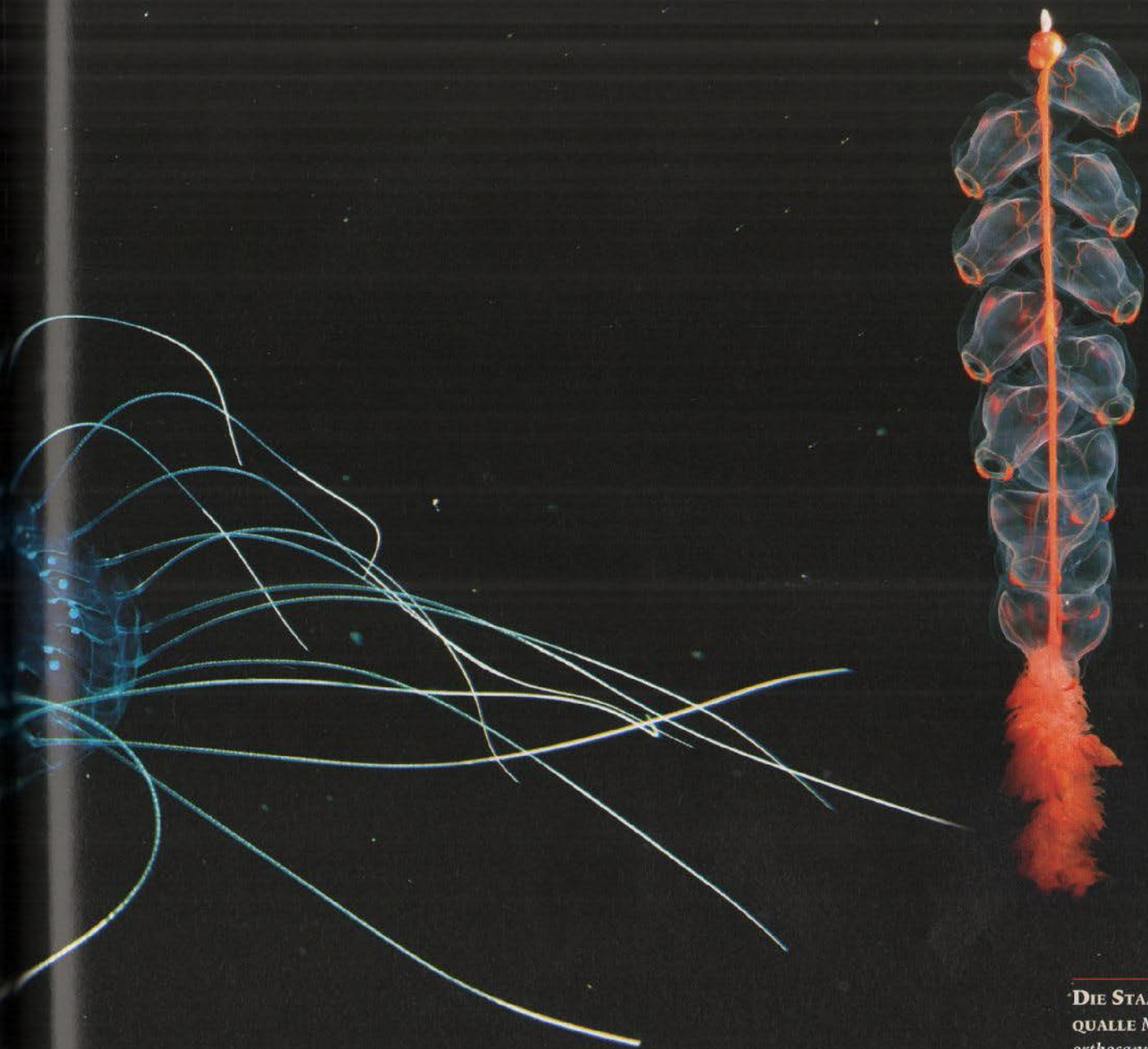


**DIESE TELLER-**  
**QUALLE** lebt  
im Pazifik vor  
Kalifornien. Sie  
ernährt sich  
hauptsächlich  
von Rippenqual-  
len, die sie mit  
ihren Tentakeln  
betäubt und  
fängt



**MANTELTIERE**  
siedeln auf  
felsigem Meeres-  
grund in bis  
zu 3800 Meter  
Tiefe und filtern  
Plankton. *Mega-*  
*lodicopia hians*  
fängt zudem in  
seinem Schlund  
Kleinkrebse

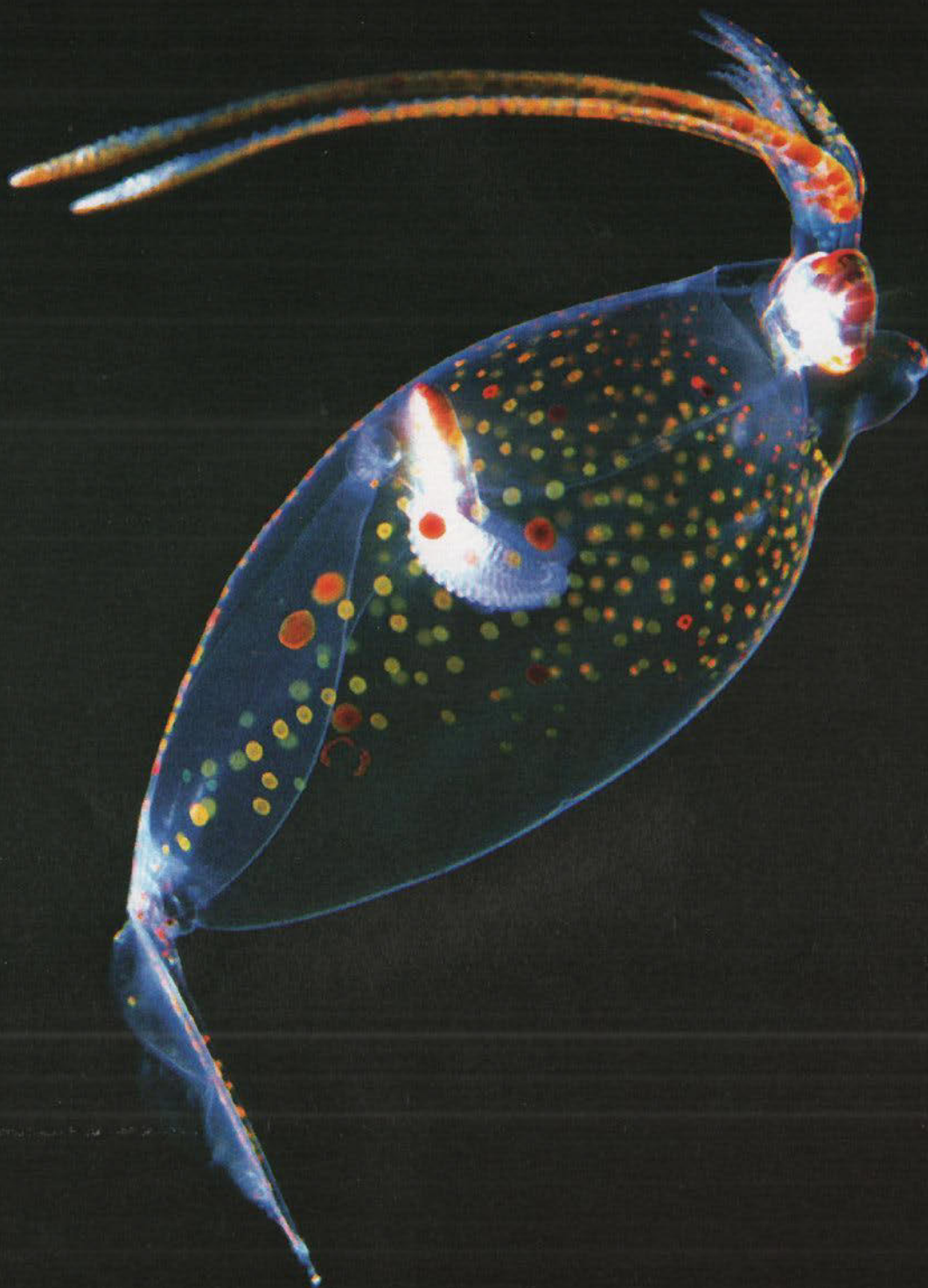




**DIE STAATS-**  
**QUALLE** *Marrus*  
*orthocanna* ist  
eine Kolonie aus  
vielen speziali-  
sierten Indivi-  
duen, die unter-  
schiedlichste  
Aufgaben zur  
Bewegung,  
Ernährung oder  
Fortpflanzung  
übernehmen



**DER KAKADU-**  
**KALMAR** *Gali-*  
*teuthis phyllura*  
wird fast drei  
Meter lang. Nur  
die Augen sind  
bei diesem Tier,  
das in 300 bis  
1000 Meter  
Tiefe lebt, nicht  
transparent







**RINGELWÜRMER**  
der Gattung  
Tomopteris fin-  
den sich in bis  
zu 4000 Meter  
Tiefe. Sie verän-  
dern ihre Farbe  
mit der Nah-  
rung. Die bis zu  
40 Zentimeter  
langen Tiere  
sondern zudem  
bei Erregung  
eine gelbliche  
Leuchtflüssig-  
keit ab



**D**urch das Halbdunkel schwebt ein Wesen wie aus einer anderen Welt. Zwei transparente Schwimglocken gleiten pulsierend voran. In ihrem Schlepp folgt eine über zehn Meter lange Prozession aus leuchtenden Körpergliedern, von denen jedes mit einem langen Tentakel versehen ist. Die herabhängenden Nesselschnüre formen unter der Kreatur einen zwei Meter hohen, im Scheinwerferlicht bläulich strahlenden Vorhang. Während sich das Geschöpf dahinschlängelt, schwingt er hin und her wie ein vom Wind bewegter Schleier.

Die ätherische Erscheinung mit dem lateinischen Namen *Praya dubia* wirkt in einer Meerestiefe von 300 Metern, wo die Lungen eines Menschen unter dem

umrissene Aufgabe. Manche sind für das Fressen zuständig, andere für den Auftrieb oder die Fortpflanzung. Allein könnten sie nicht überleben.

Das fragile Äußere dieser kolossalen Kollektive trägt: Mit ihren giftigen Tentakeln, die sie wie Fangnetze durch das Wasser ziehen, gehören Staatsqualen zu den erfolgreichsten Jägern der Ozeane. Neben Fischen und Krustentieren zählen häufig auch andere Quallen zu ihrer Beute. *Praya dubia* allerdings fängt hauptsächlich Krill.

Der transparente Fallensteller pa-trouilliert in der Übergangszone zu einem noch weitgehend unbekannten Schattenreich. Es beginnt in etwa 200 Meter Tiefe – unterhalb jener licht-durchfluteten Deckschicht, in der Algen

**Photosynthese** betreiben. Von dort erstreckt sich zunächst die Restlichtzone, die tagsüber in diffuses Blau getaucht ist, bis in maximal 1000 Meter Tiefe.

In die Dunkelzone darunter, die **Tiefsee**, dringt niemals ein Sonnenstrahl.

**M**it mehr als einer Milliarde Kubik-kilometern sind diese mehr oder weniger finsternen Wassermassen der größte zusammenhängende Lebens-raum der Erde – und zugleich aus mensch-licher Sicht einer der unwirtschaftlichsten.

Der Druck ist enorm. Nahrung ist knapp, und in manchen Wasserschichten gibt es kaum Sauerstoff. Die Temperatu-ren liegen meist nur wenige Grad Celsius über dem Gefrierpunkt, doch an manchen unterseeischen Quellen ist das Wasser heiß wie flüssiges Blei und voll von gifti-gen chemischen Verbindungen.

Dennoch ist diese scheinbar lebens-feindliche Welt keineswegs unbewohnt. Die Tiefe birgt bizarre Organismen, die geprägt sind von den Zumutungen der Umgebung. Noch in tiefster Dunkel-heit und unter ungeheurer Belastung bilden sich ungewöhnliche Tiergemein-

## STAATSQLALEN MACHEN DEM BLAUWAL BEI DER KRILLJAGD KONKURRENZ

Wasserdruck bis auf drei Prozent ihres Volumens zusammengepresst würden, seltsam deplatziert. Sie gehört zu den Staatsqualen, deren bekanntester Ver-treter die hochgiftige Portugiesische Galeere ist. Doch während die dank einer gasgefüllten Schwimglocke an der Oberfläche treibt, leben die meisten ihrer Verwandten in großen Tiefen von bis zu 6500 Metern. Und weil sie keine gasgefüllten Hohlräume besitzen, macht ihnen der enorme Druck nichts aus.

*Praya dubia* ist mit bis zu 40 Metern womöglich das längste Tier der Welt. Solche Ausmaße erreicht sie durch Knos-pung: Wie andere Staatsqualen ist das geleeartige Geschöpf eine Kolonie aus zahlreichen Einzel-Lebewesen, die sich nicht geschlechtlich vermehren. Jedes Individuum der Kolonie hat eine fest

**ANGLERFISCH-WEIBCHEN** tragen eine Rute mit einem Leuchtorgan, das Beute anlocken soll. Unten am Bauch hängt das winzige Männ-chen als Parasit





schaften. Diese einzigartige Fauna der Finsternis ist bislang kaum erforscht: In den Abgründen der Ozeane existieren Schätzungen zufolge weit mehr als eine Million unentdeckter Spezies, darunter besonders viele kleine Arten, die im Meeresboden leben.

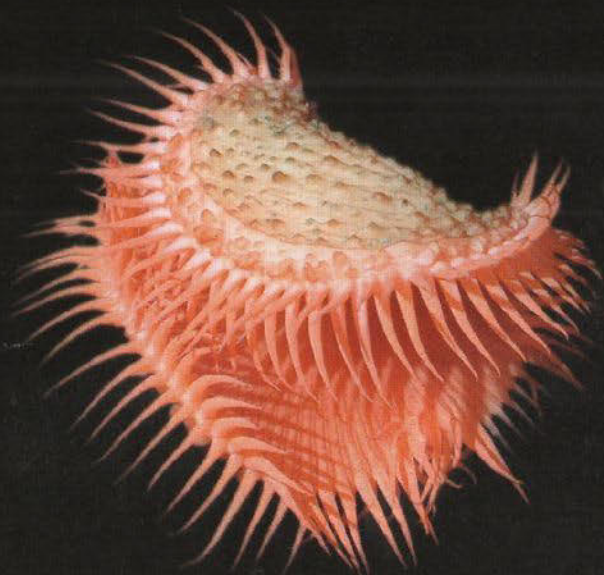
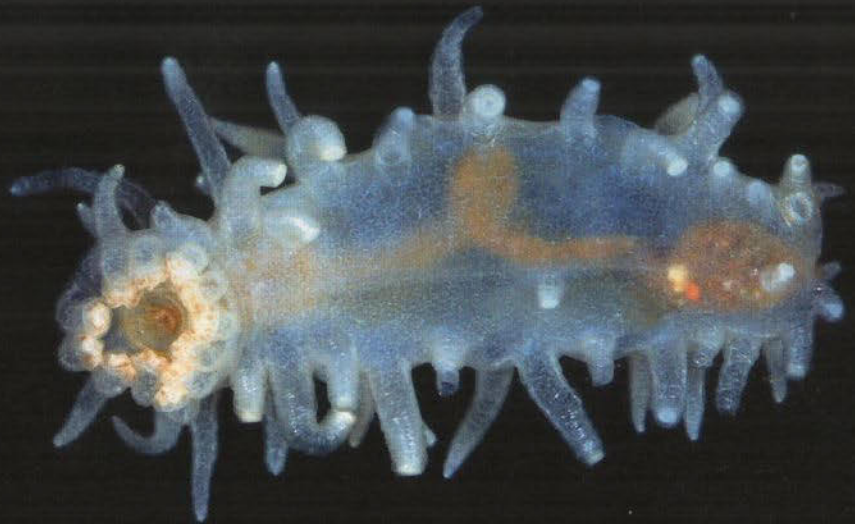
Die Anpassung an die harschen Bedingungen beginnt bereits dort, wo die Photosynthese aufhört. Selbst in den klarsten tropischen Gewässern ist die Energie der Sonne ab einer Tiefe von knapp 200 Metern meist zu schwach für diesen Prozess. Die tiefste bislang gefundene Meerespflanze, eine Rotalge, wuchs vor den Bahamas etwa 270 Meter unter der Wasseroberfläche.

Während Pflanzen fast überall auf der Erde die Grundversorgung der Tierwelt übernehmen, gilt dies für die Tiefseefauna nur eingeschränkt. Schon die Bewohner der Restlichtzone sind auf andere Methoden der Futterbeschaffung angewiesen: Manche steigen nachts in höhere Schichten auf, um Nahrung zu suchen. Andere wiederum fressen das, was von oben herabrieselt – entweder in Form von einzelnen Partikeln oder von größeren Flocken, dem **Meeresschnee**.

Denn stellenweise sinken von der Ozeanoberfläche organische Flocken herab, bestehend aus einer klebrigen Masse von kleinsten toten Organismen und deren Resten. Von diesen Partikeln, die im Wasser tatsächlich aussehen wie umherwirbelnde Schneeflocken, zehren in der Tiefe ganze Lebensgemeinschaften.

Zum nahrhaften Niederschlag tragen auch Lebewesen der Restlichtzone bei: Die so genannten Appendikularien, die zu den Manteltieren gehören und in ihrem Aussehen an Larven erinnern, sehen winzige Nahrungspartikel aus dem Wasser. Dazu spannen sie um sich herum mehrschichtige Schleimhüllen auf, in de-

**SEEGURKEN** (oben) bevölkern als Sedimentfresser die Tiefseeböden aller Ozeane; die fleischfressende Venusfallen-Anemone (Mitte) lebt auf unterseeischen Bergen vor Kalifornien. Der zu den Borstenwürmern gehörende Schuppenwurm (unten) ist auf eine Existenz an heißen Quellen in 2500 Meter Tiefe spezialisiert







**DER ALBINO-KREBS** *Kiwa hirsuta* wurde wegen seiner Behaarung »Yeti-Krabbe« getauft. Er lebt im Südpazifik in Tiefen um 2300 Meter und ist blind

nen sich fressbare Teilchen wie in einem Filter fangen. Bei der größten Art kann die Außenhülle einen Durchmesser von mehr als einem Meter erreichen.

Mit rudelnden Schwanzbewegungen pumpt das Tier kontinuierlich Wasser durch dieses schleimige Sieb. Sind dessen Poren nach etwa 24 Stunden verstopft, verlässt der Bewohner seine nun unbrauchbare Sekretbehaltung und fertigt eine neue an.

Die ausgedienten Gehäuse sinken samt dem noch darin enthaltenen Fang-

gut zum Meeresgrund – und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Ernährung tiefer lebender Arten.

Wer nicht herabrieselnde Partikel frisst, stellt stattdessen anderen Tieren nach. Tarnung ist deshalb auch im Dämmerlicht der Zwischenzone von großer Bedeutung. Im Scheinwerferkegel eines Tauchroboters erscheint beispielsweise die Scharlachgarnele tiefrot gefärbt. Licht dieser Wellenlänge ist am energieärmsten und dringt nicht tiefer als maximal 100 Meter unter die Oberfläche: Ihren Feinden erscheinen die Garnelen daher schwarz.

Die meisten Tiere der Restlichtzone setzen jedoch auf Transparenz; im Halbdunkel, wo die Konturen verschwimmen, sind durchscheinende Organismen kaum zu erkennen. Es gibt Tintenfische, die

fast völlig lichtdurchlässig sind. Durchsichtige Pfeilwürmer rollen sich bei Gefahr zusammen, bis sie einer schwer verdaulichen Qualle gleichen.

Deshalb verfügen viele Jäger über spezielle Augen, um ihre Beute im Dämmerlicht aufzuspüren. Die Sehorgane räuberischer Fische sind häufig zweigeteilt: Die größere Hälfte ist wie ein Fernrohr nach oben gerichtet – sie hilft vermutlich, die Umrisse anderer Tiere vor dem helleren Oberflächenlicht auszumachen.

Der untere Augenteil ähnelt einem Weitwinkelobjektiv mit niedriger Auflösung und dient wohl zur Wahrnehmung von Lichtblitzen, die aus der düsteren Umgebung dringen.

Beim Tintenfisch *Histioteuthis* übernehmen zwei ungleiche Augen diese Aufgaben: Ein großes, teleskopartiges



Sinnesorgan blickt nach oben, während das andere, kleinere die Unterwelt im Blick behält.

**S**pätestens 1000 Meter unter dem Meeresspiegel geht das Dämmerlicht in die Dunkelzone über. Die Temperatur, die bis hierhin kontinuierlich abgenommen hat, nähert sich in dieser Tiefe konstanter Kälte von vier bis zwei Grad Celsius an.

Auch der Wasserdruck erreicht einen enormen Wert: Alle zehn Tiefenmeter erhöht er sich um ein **Bar**, was etwa einem Kilogramm Druck pro Quadratzentimeter entspricht. Einen Kilometer unter der Oberfläche lasten auf jedem Quadratzentimeter folglich bereits mehr als 100 Kilo – ein Druck, dem die meisten U-Boote nicht standhalten würden.

Außerhalb einer tiefschwebtauglichen Tauchkapsel könnte kein Mensch einen solchen Wasserdruck überleben. Das Problem sind die luftgefüllten Hohlräume im Körper: Unter der enormen Belastung würde das Gas auf einen Bruchteil seines Volumens zusammengepresst, mit tödlichen Folgen. Tiefseetiere aber besitzen meist keine gasgefüllten Organe.

Die Bewohner dieser Meereszone widerstehen dem enormen Druck nicht nur – sie sind zum Teil sogar darauf angewiesen. Die Embryonen von Seeigeln etwa, die in Tiefen von bis zu 2500 Metern leben, brauchen den hohen Wasserdruck für ihre Entwicklung; in nur 500 Meter tiefem Wasser würden sie eingehen, da bestimmte Prozesse bei der Zellteilung dann nicht funktionieren.

Die Anpassung reicht bis hinab auf die molekulare Ebene. So sind Enzyme, die den Stoffwechsel regeln und normalerweise empfindlich auf Druck reagieren, bei Tiefseefischen besonders widerstandsfähig.

Dennoch lässt in den unteren Meeresregionen die Körperaktivität zahlreicher Arten nach. Ab 800 Meter Tiefe ist der Stoffwechsel vieler Fische, Krustentiere und Kopffüßer etwa 15-mal langsamer als bei vergleichbaren Spezies in Oberflächengewässern. Trotz ihres monströsen Aussehens haben die Tiefseebewohner schwache Muskeln und werden oft nur wenige Zentimeter groß. Meist brauchen die Geschöpfe am Grund der Ozeane

deutlich mehr Zeit zum Heranwachsen und leben länger.

Übermäßige Aktivität verbietet sich in der ewigen Dunkelheit ohnehin: Zum einen ist Energie besonders kostbar in einer Umgebung mit spärlichem Nahrungsangebot. Zum anderen glimmen bei jedem Reiz Bakterien im Meeresschnee auf – ein sich bewegendes Tier macht deshalb sofort durch eine Leuchtspur auf sich aufmerksam und lockt womöglich Jäger an.

Die Räuber sind dazu verdammt, die in der Finsternis ab und zu vorbeis-

sel über den Blutkreislauf mit Nahrung, während der Schmarotzer im Gegenzug seinen Samen liefert. Mitunter heften sich bis zu acht solcher „Parasiten“ an ein einziges Weibchen.

Während diese parasitisch lebenden Männchen ausgesorgt haben, müssen die weiblichen Wirte weiterhin Nahrung suchen. Dabei bedienen sie sich einer besonderen Jagdstrategie: Sie machen Licht. Bei den Tiefseanglerfischen haben sich einige Flossenstrahlen der Rückenflosse zu einem rutenförmigen Fortsatz umgewandelt, der in einer leuchtenden Knos-

## ETWA 90 PROZENT DER LEBEWESSEN IN DER TIEFSEE ERZEUGEN EIGENES LICHT

schwimmenden Tiere zu fangen – und das möglichst, ohne sich vom Fleck zu rühren. Der Pelikanaal treibt dies bis an die Grenzen: Dieser bizarre Tiefseefisch ist kaum mehr als ein Maul mit Schwanz. Dank seiner Kiefer, die durch eine elastische Membran miteinander verbunden sind, kann er Opfer verschlingen, die größer sind als er selbst.

**A**uch die Partnersuche wird in der nachtschwarzen Weite der Dunkelzone zum Problem. Durch die erschwerte Fortpflanzung haben sich die Geschlechter zum Teil extrem auseinander entwickelt – etwa bei manchen Tiefseanglerfischen. Deren Männchen sind im Laufe der Evolution zu winzigen Befruchtungsorganen geschrumpft: Einige werden nicht größer als sechs Millimeter und gehören damit zu den kleinsten Wirbeltieren der Welt.

Die einzige Aufgabe dieser Miniatur-Männchen ist es, eines der bis zu 60-mal längeren und eine halbe Million Mal schwereren Weibchen aufzuspüren. Dazu besitzen die Winzlinge oft grotesk vergrößerte Geruchsorgane. Hat das Männchen sein Ziel erschnuppert, verbeißt es sich in den Unterleib der Gigantin und verwächst mit ihr. Fortan versorgt das weibliche Tier sein Anhäng-

pe endet – verantwortlich für diese **Biolumineszenz** sind Bakterien, die mit dem Tier in Symbiose leben. Der Schein lockt die Beute vor das Maul des Anglerfisches, der nur noch zuzuschnappen braucht.

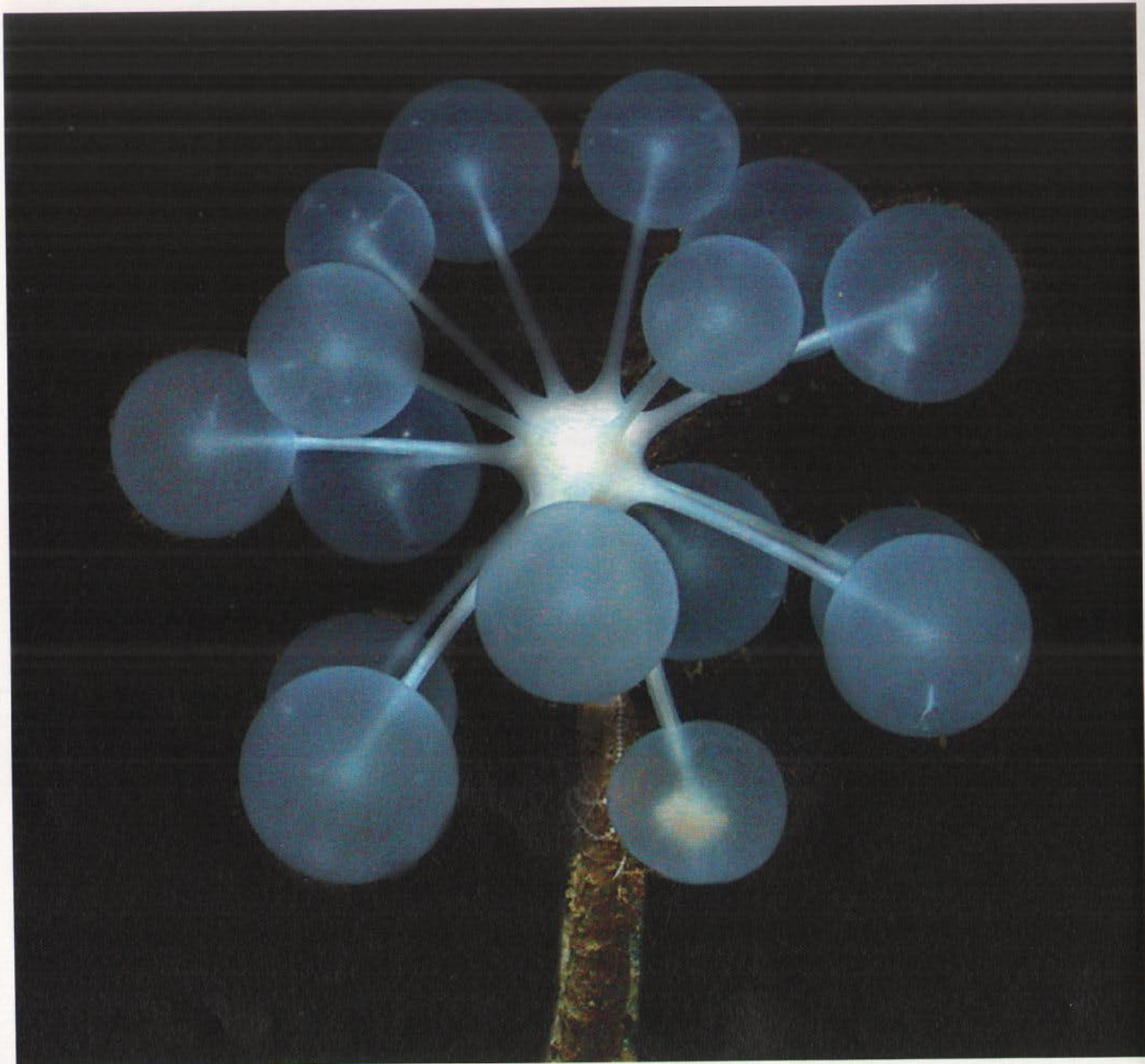
Wie diese Rutengänger erzeugen schätzungsweise 90 Prozent aller Lebewesen der Tiefsee eigenes Licht: In manchen Zonen leuchten Messungen zufolge in jeder Minute bis zu 160 Blitze auf.

Die meisten dieser Signale sind blau, doch einige Fische können auch rotes Licht produzieren – und nutzen es als eine Art Nachtsichtgerät. Weil andere Spezies diese Wellenlänge nicht wahrnehmen, können die Rotlichtjäger ihre potenziellen Opfer anstrahlen, ohne dass diese es merken.

Oft aber dient das biochemisch erzeugte Licht der Verteidigung. Für Besuche in der Restlichtzone ist der Unterleib vieler Arten mit Strahlern bestückt: Von unten betrachtet, löst die Tarnbeleuchtung die Körperumrisse optisch auf und verhindert, dass sich die Silhouette deutlich vom helleren Oberlicht abhebt.

Manche Organismen setzen dagegen eher auf Abschreckung und inszenieren im Falle eines Angriffs eine regelrechte Lightshow – zu diesen Abwehrkünstlern zählt der bis in 1200 Meter Tiefe vorkommende Vampirtintenfisch.





**DER BAUMSCHWAMM** *Chondrocladia lampadiglobus* ist ein Fleischfresser: Tiere, die sich auf ihm niederlassen, werden mit kleinen Haken festgehalten und von Fresszellen verdaut

Dieser archaische Kopffüßer besitzt verschiedene Leuchtorgane, unter anderem an den Spitzen seiner acht Arme. Wird er attackiert, stößt der Vampirtintenfisch an den Armspitzen eine klebrige Flüssigkeit aus, die strahlende Partikel enthält. Zugleich nimmt er seine Abwehrstellung ein, bei der er die innen mit dornenförmigen Fortsätzen bestückten Tentakel so über seinen Körper stülpt, dass diese nach außen weisen.

Dabei wird das Weichtier, das nun an einen stacheligen Ball erinnert, von der abgesonderten Leuchtwolke besonders wirkungsvoll beschienen.

Ähnlich raffiniert setzt sich die Seegurke *Enypniastes eximia* zur Wehr: Ihre Haut reagiert auf jede Berührung mit Leuchtalarm. Bei stärkerem Druck löst sie sich ganz ab und bleibt am Angreifer kleben – der so markierte Räuber strahlt im Dunkeln und wird nun selbst zur leichten Beute für andere Jäger. Die verlorene Haut des Stachelhäuters wächst dagegen in wenigen Tagen nach.

Im Unterschied zu vielen anderen Seegurken verbringt die leuchtende *Enypniastes eximia* die meiste Zeit schwimmend im Meer. Wenn sie fressen will, lässt sie

sich einfach fallen – und landet auf dem größten Weidegrund der Welt.

Der Tiefsee-Ebene.

**D**er Ozeanboden in durchschnittlich vier Kilometer Tiefe macht etwa die Hälfte der Erdoberfläche aus. Die unterseeische Ebene ist von tonartigem Schlack oder siliziumhaltigem Schlamm bedeckt und wirkt wie eine fremdartige Wüste. Gelegentlich wird die ozeanische Einöde von Dünenfeldern durchbrochen, und manchmal ragen Felsen oder ganze Gebirgskzüge auf.

Fast überall, so zeigen Fotos und Filmaufnahmen, ziehen sich jedoch seltsame Spuren durch das Tiefseesediment. Sie zeigen, dass die Unterwasserwüste kei-



neswegs unbewohnt ist. Am Grund der Meere lebt eine Vielzahl von Lebewesen.

Über den Schlack laufen Fische, die ihre Bauchflossen wie Stelzen benutzen. Es gibt Schwämme, die wegen der Nahrungsknappheit zu Fleischfressern geworden sind. Und sogar in 6000 Meter Tiefe wachsen noch Korallen, die sich anders als ihre tropischen Verwandten mit Wassertemperaturen von zwei Grad Celsius begnügen.

Die vorherrschende Tiergruppe am Tiefseeboden sind jedoch Stachelhäuter wie Schlangensterne, Seeigel und vor allem Seegurken. Sie kriechen als lebende Staubsauger über den Sedimentteppich und ernähren sich von organischen Resten.

In manchen Regionen machen ihnen freilich riesenhafte, bis zu 25 Zentimeter große Einzeller die Herrschaft über den Meeresgrund streitig: Teilweise drängen sich auf einem Quadratmeter mehr als 20 dieser gigantischen Amöben und fressen die abgesunkenen organischen Partikel.

Zu den Oasen am Grund der Tiefsee gehören die **hydrothermalen Quellen**. Auf den ersten Blick scheinen diese unterseeischen Schlote, an denen bis zu 407 Grad Celsius heißes, mit giftigem Schwefelwasserstoff angereichertes Wasser austritt, als Lebensraum denkbar ungeeignet. Dennoch drängen sich blinde Garnelen und weiße Schlotkrabben dicht an dicht am Rand der manchmal kirchturm hohen Kamine.

#### memo | tiefsee

» **SONNENLICHT** für das Algenwachstum dringt maximal 200 Meter tief. Unterhalb davon können Algen nicht mehr existieren.

» **IN DER RESTLICHTZONE** und der Tiefsee leben viele transparente Arten.

» **TIEFSEETIERE** besitzen meist keine mit Gas gefüllten Organe.

» **DIE BEWOHNER** der Tiefe ernähren sich unter anderem von den Resten toter Organismen, die von oben herabsinken.

Die wohl merkwürdigsten Bewohner dieser heißen Quellen sind Bartwürmer, die in Röhren leben und das Fressen eingestellt haben: Sie besitzen weder Mund noch Magen – sondern gedeihen mithilfe von Bakterien, die über die Haut der Wurmlarven eingedrungen sind und

sie nun mit Nahrung versorgen. In nur einem Jahr können diese Würmer über einen Meter lang werden und zählen damit zu den am schnellsten wachsenden wirbellosen Tieren der Welt.

Während andere Lebensgemeinschaften der Tiefsee zumindest indirekt von dem zehren, was aus der sonnenbeschienenen Meereszone herabfällt, kommen diese Ökosysteme fast völlig ohne Energie von oben aus.

Möglich machen dies Mikroben, die die chemische Energie von Schwefelwasserstoff aus den Quellen nutzen, um aus Kohlendioxid und Wasser organische Verbindungen herzustellen – ähnlich

Auch an diesen Gasquellen siedeln spezialisierte Bakterien, die wiederum Muscheln, häufig auch Schwämme und Korallen ernähren. Wie an den heißen Schloten wurzeln am Quellenrand Bartwürmer, die sich jedoch anders als ihre wärmeliebenden Verwandten beim Wachsen deutlich mehr Zeit lassen: Sie benötigen bis zu 250 Jahre, um eine Länge von zwei Metern zu erreichen.

**S**o erstaunlich eine derartige Zähigkeit erscheinen mag – anderswo finden sich noch härtere Bedingungen: Am Grund des Vityastiefs im pazifischen Marianengraben, der tiefsten Region

## AM MEERESGRUND LEBEN AMÖBEN.

### SIE SIND BIS ZU 25 ZENTIMETER GROSS

wie Algen, die dazu aber die Lichtenergie nutzen.

Auf diesem Prozess, der so genannten **Chemosynthese**, beruht das gesamte Ökosystem der Hydrothermalquellen: Manche Arten ernähren sich von den Schwefelbakterien, andere – so etwa die Bartwürmer – schließen mit ihnen ein symbiotisches Bündnis.

Doch nicht alle Bakterien an den unterseeischen Schloten nutzen allein die Energie von Schwefelwasserstoff. Manche betreiben sogar Photosynthese – und das mehrere Kilometer unterhalb der lichtdurchfluteten Oberflächenschicht.

Diese Schwefelbakterien fangen das extrem schwache Leuchten auf, das von den heißen Quellen ausgeht und vermutlich durch chemische Reaktionen hervorgerufen wird. In einer ähnlichen Umgebung könnte einst das erste irdische Leben entstanden sein – und mit ihm die Fähigkeit zur Photosynthese.

Um solch artenreiche Ökosysteme in Gang zu halten, ist nicht einmal Hitze nötig. Sie entstehen genauso an kalten Sickerquellen, wo Methan oder Schwefelwasserstoff aus unterirdischen Vorkommen strömt – die tiefste davon liegt etwa 7400 Meter unter dem Meeresspiegel.

des Ozeans, herrscht ein unvorstellbarer Druck von mehr als einer Tonne pro Quadratzentimeter.

Doch selbst in dieser Rekordtiefe gibt es Lebewesen. Viel ist über sie nicht bekannt; zu den gesichteten oder in Fallen gefangenen Arten zählen etwa kleine bleiche Krebstiere. Und im tief gelegenen Schlack der Erde existieren Bakterien, die auf die gewaltige Belastung sogar angewiesen sind: Nimmt der Druck so weit ab, dass er einer Meerestiefe von weniger als 5000 Metern entspricht, stellen die Extremisten jedes Wachstum ein.

Die Druck liebenden Mikroben sind die Außenposten jenes unterirdischen Reiches, das sich von der Oberfläche des Meeresgrundes aus in die Tiefe erstreckt. Im Sediment der Weltmeere verbergen sich bakterielle Hungerkünstler, die auch 400 Meter unter dem Boden noch bestehen können. In ewiger Finsternis, ohne Sauerstoff und sogar abgeschnitten von der spärlichen Nahrungszufuhr der Tiefsee, haben sich die lebendig begraben Bakterien andere Energiequellen erschlossen: Möglicherweise nutzen sie die Radioaktivität der Erdkruste. □

Wissenschaftliche Beratung: Prof. Hjalmar Thiel, Hamburg.



# Expedition in den Hades des Meeres

*An einem stürmischen Januartag 1960 brechen zwei Männer zu einem riskanten Abenteuer auf: Sie wollen den tiefsten Punkt der Ozeane erreichen und herausfinden, ob es dort Leben gibt. Niemand kann garantieren, dass ihr Tauchboot zur Oberfläche zurückkehrt. Doch selbst als Wasser in die Kabine zu tröpfeln beginnt, setzen sie ihre Höllenfahrt fort*

Text: Till Hein

**E**s ist der 23. Januar 1960, kurz nach sieben Uhr früh. Sturm hat den Pazifik aufgewühlt, sieben Meter hoch rollt die Dünung. In einem Schlauchboot kämpft sich Jacques Piccard von einem Hochseeschlepper zum Tauchboot „Trieste“ hinüber; kurz darauf wagt sich sein Kollege Don Walsh auf das Wasser. Direkt unter ihnen, rund 1800 Kilometer östlich der Philippinen, klappt das Challengertief:

eine sieben Kilometer lange und zwei Kilometer breite Spalte fast elf Kilometer unter dem Meeresspiegel, die zum Marianengraben gehört, der tiefsten Region weltweit. Auf ihren Grund wollen die zwei Männer vordringen.

Jacques Piccard reizt nicht nur der Weltrekord – er will auch die Frage klären, ob es dort unten bei absoluter Dunkelheit und einem Wasserdruck von mehr als einer Tonne pro Quadratmeter Leben gibt. Der Schweizer hat die Trieste gemeinsam mit seinem Vater Auguste konstruiert, einem legendären Ballonfahrer.

Das Prinzip des Tauchboots ist einfach und genial: Eine kugelförmige Stahlgondel von zwei Meter Durchmesser hängt unter einem 15 Meter langen, tonnenförmigen Schwimmkörper. Er ist zum großen Teil mit Benzin gefüllt und damit leichter als Wasser. Soll das Gefährt in die Tiefe sinken, müssen Wassertanks und der Eingangsschacht zur Gondel geflutet werden.

Für zusätzlichen Abtrieb sorgen zwei Ballastsilos – gefüllt mit 16 Tonnen Eisenschrot. Elektromagnete verhindern, dass der Schrotballast aus

den Trichteröffnungen an der Unterseite der Silos herausfällt. Zum Auftauchen oder zum Verlangsamen der Sink-Geschwindigkeit müssen die Insassen die Magnete

nur für einige Sekunden ausschalten: Dann rieseln die Schrotkugeln ins Meer – und das U-Boot wird leichter. Ermöglicht hat den Bau des Tauchboots die US-Regierung; die Navy stellt den jungen U-Boot-Offizier Don Walsh als Beifahrer.

Piccard und Walsh klettern in die Gondel hinab. Ihre Verpflegung: 15 Tafeln Schokolade. Es ist eng und kühl; die Kabine ist voller Messinstrumente. Per Unterwasser-telefon halten die Männer über Schallwellen, die durch das Wasser übertragen werden, Kontakt zum Schlepper.

8.15 Uhr: Wasser füllt den Eingangsschacht. Das U-Boot beginnt kurz darauf zu sinken.

305 Meter: Die Trieste bewegt sich mit fast einem Meter pro Sekunde abwärts, etwa im Tempo eines Fahrstuhls. Von oben ist noch leichter Lichtschimmer zu erkennen.

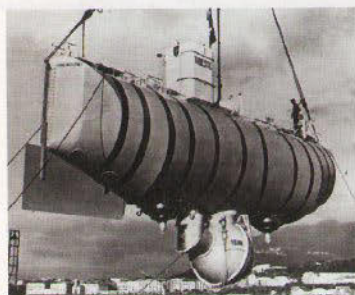
450 Meter: Draußen wird es finster.

Einen ersten Versuch, die Tiefe des Pazifiks zu ergründen, machte der Portugiese Ferdinand Magellan 1521, als er ein mehr als 700 Meter langes Seil, an dessen Ende eine Kanonenkugel befestigt war, ins Meer hinabließ. Die Kugel erreichte den Grund nicht. Die See muss also unendlich tief sein, folgerte Magellan.

1690 meldete der Engländer Edmond Halley das Patent für eine Taucherglocke an, die es erlaubte, anderthalb Stunden in bis zu 20 Meter Wassertiefe zu verbringen. 1776 konstruierte der amerikanische Erfinder David Bushnell das erste Ein-Mann-Unterseeboot. Doch erst im 20. Jahrhundert gelang es Forschern, in Taucherglocken oder U-Booten bis zum Meeresgrund zu reisen – doch nie in solche Tiefen, wie die Trieste sie jetzt erreichen soll.

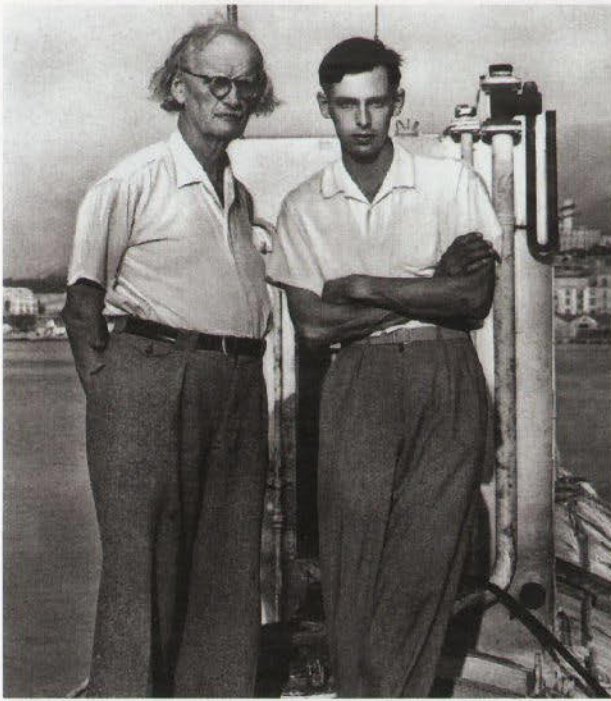
9.29 Uhr, 1280 Meter: Meerwasser tröpfelt in die Kabine. Piccard und Walsh bleiben gelassen. Schon bei einem früheren Tauchgang rieselte vorübergehend Wasser in die Kugel. Das Wachs, das zur Versiegelung der Kabeldurchführungen verwendet wurde, ist vermutlich nicht in alle Ritzen gedrungen. Nach einer Weile schließt sich das winzige Leck in der zwölf Zentimeter dicken Kugelwand; offenbar hat es der steigende Druck zugepresst.

6000 Meter: Die Trieste dringt in das Hadal ein, wie Meeresforscher die Tiefsee unterhalb von 6000 Metern nennen – abgeleitet von Hades, dem Totenreich der grie-



Beim Tauchboot »Trieste« dient ein 15 Meter langer Benzintank als Auftriebskörper, unter dem eine druckfeste, kugelförmige Kabine aus zwölf Zentimeter dickem Stahl hängt. Mit dem Gefährt gelangten Jacques Piccard und Don Walsh in die tiefste Region der Ozeane – den Marianengraben im Pazifik





**Vater und Sohn Piccard** gelangen gegensätzliche Rekorde: Auguste Piccard (1884–1962) stieg 1931 in einem Gasballon 15 780 Meter hoch auf. Seine Erfahrungen halfen beim Bau des Tauchboots »Trieste«, in dem Jacques, Jahrgang 1922, den Meeresgrund in 10 916 Meter Tiefe erreichte

chischen Mythologie. Tatsächlich haben sich Piccard und Walsh auf eine Höllenfahrt eingelassen. Denn jederzeit kann die Trieste eine Felswand streifen und leckschlagen.

11.30 Uhr, 8230 Meter: Piccard hat bereits sechs Tonnen Eisenschrot abgeworfen. Er will verhindern, dass sein Tauchboot zu schnell sinkt.

Knapp 9000 Meter: Das Tempo wird auf etwa 30 Zentimeter pro Sekunde gedrosselt.

12.06 Uhr, 9875 Meter: Plötzlich ein Krachen wie bei einer Explosion. Die Eisenkugel erzittert. Ist die Trieste gegen einen Felsvorsprung geprallt? Sollte der Schwimmkörper beschädigt sein und Benzin in größeren Mengen austreten, hätten sie keine Chance, aus der Tiefe aufzusteigen. Doch das Tauchboot scheint in Ordnung zu sein.

10 360 Meter: Noch immer kein Boden.

12.56 Uhr: Plötzlich sind auf dem Echolot schwarze Marken zu sehen. Einige Minuten später können die beiden Forscher im Licht des Außerscheinwerfers den Meeresboden erkennen.

13.06: Angekommen! 11 278 Meter zeigt das Manometer an. Walsh sendet über das Unterwassertelefon vier Summtöne zum Mutterschiff hinauf: Ziel erreicht! Weltrekord! (Dass die Tauchtiefe später auf 10 916 Meter korrigiert werden muss, weil der Druckmesser in Süßwasser geeicht worden war, schmälert den Triumph nicht.)

Kurz vor Erreichen des Meeresgrunds hat Jacques Piccard durch die winzige Sichtluke einen Plattfisch erkannt, der an eine Seeszunge erinnert: rund 30 Zentimeter lang und 15 Zentimeter breit. Es gibt hier unten also Leben.

Mit minimaler Geschwindigkeit nähert sich die Trieste dem Boden. Ein mitgeführtes Schleppseil berührt den festen Grund und wirbelt etwas Schlamm auf. Die Sink-Geschwindigkeit fällt auf null – die Trieste schwebt unmittelbar über dem Meeresboden. Nachdem sich die Trübung des Wassers gelegt hat, entdecken die Forscher eine rote

Garnele und eine Qualle. Der Meeresgrund ist nahezu eben. Im Scheinwerferlicht wirkt er wie heller Zimt.

Als Walsh durch die hintere Luke blickt, entdeckt er, was die Erschütterung ausgelöst hat: Der äußere Plexiglas-Lukendeckel zum Einstiegsschacht ist gesprungen und von Rissen durchzogen. Eine unmittelbare Gefahr besteht nicht, doch an der Meeresoberfläche kann die ramponierte Scheibe eine Katastrophe auslösen. Denn zum Aussteigen müssen die Forscher das Wasser mit Pressluft aus dem Schacht blasen. Was, wenn der Deckel nicht hält?

13.26: Piccard wirft 363 Kilo Eisenschrot ab. Langsam erhebt sich die Trieste vom Meeresboden.

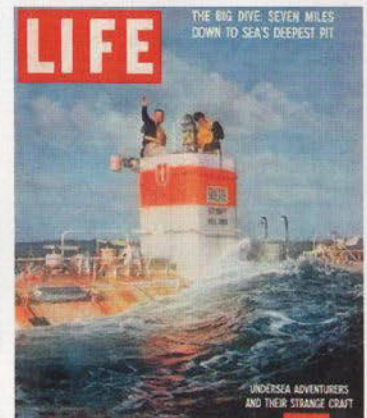
16.56: Das Boot taucht auf. Begeistert warten die Männer vom Mutterschiff auf die beiden Forscher. Aber mehr als zehn Minuten tut sich nichts. Ist die Kabine doch voll gelaufen, liegen drinnen zwei Leichen? Dann endlich schlüpfen Piccard und Walsh aus der Luke. Behutsam haben die beiden Druckluft in den Einstiegsschacht gepumpt, damit die gesprungene Scheibe nicht bricht. So konnten sie die Wassermassen verdrängen, die ihnen den Weg nach oben versperrt hätten.

Die Rekordfahrt motiviert andere Ingenieure zur Entwicklung neuer Tauchboote mit Steuerpropellern, Sensoren und Greifarmen. Doch in Tiefen unter 6000 Meter werden später meist nur noch Roboter geschickt.

Don Walsh lebt heute in Oregon. Wenn der 75-Jährige nicht gerade auf einer Vortragsreise ist, fliegt er mit seinem Doppeldecker über das Gelände seiner Ranch. Jacques Piccard, 84, lebt in der Schweiz und setzt sich für den Schutz der Meere ein.

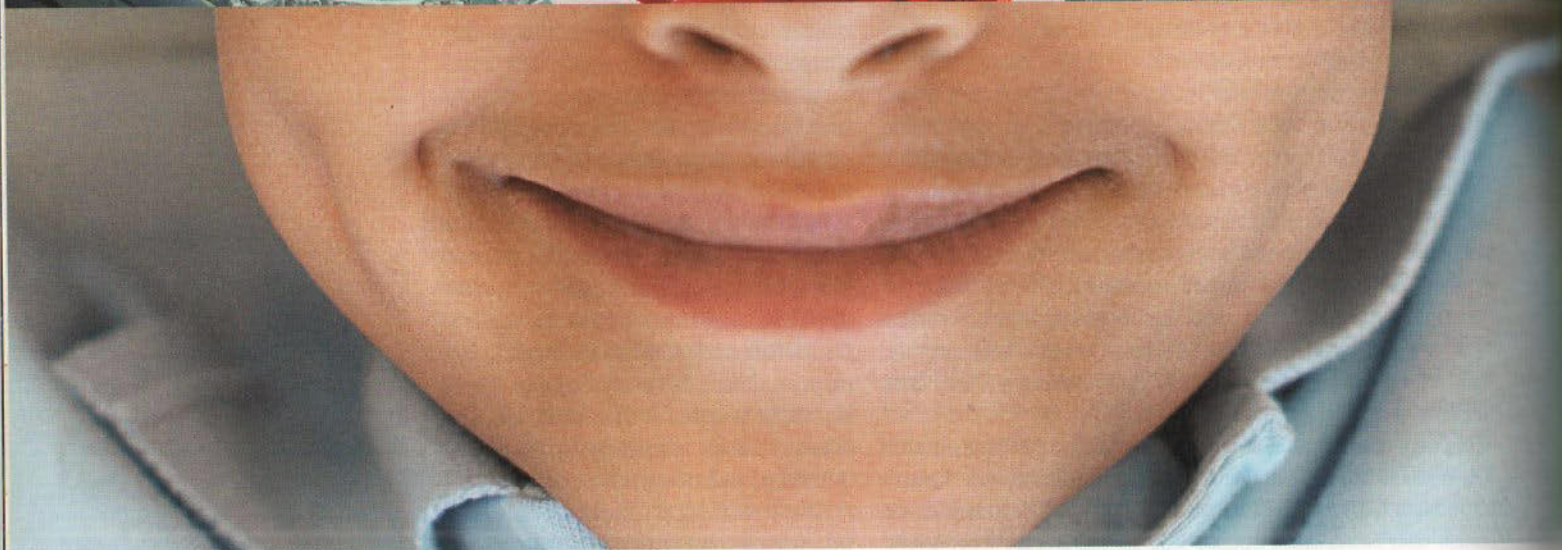
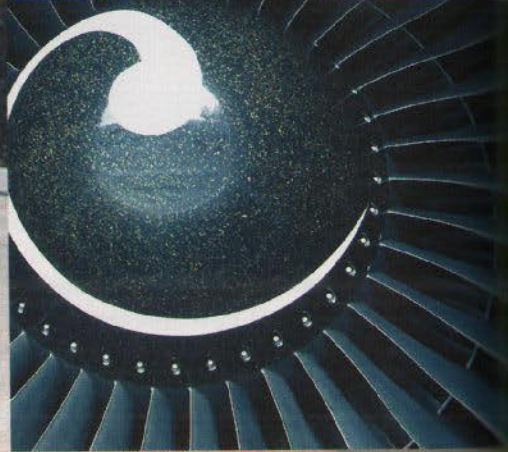
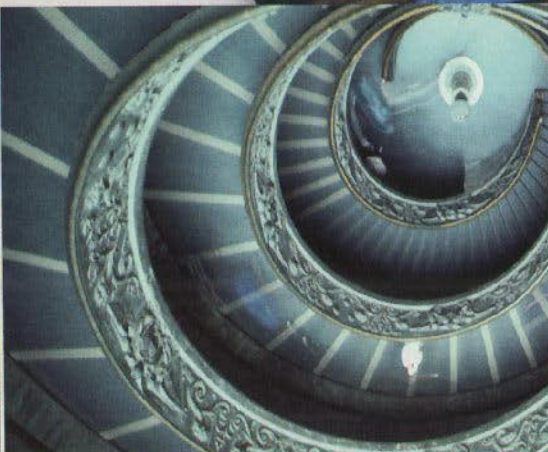
Ihr Weltrekord wird wohl ewig Bestand haben. □

Till Hein, 37, ist Autor in Berlin.



**Es war ein Triumph**, als Piccard und Walsh gesund aus dem Marianengraben auftauchten und berichteten, in elf Kilometer Tiefe einen Plattfisch, eine Garnele und eine Qualle gesichtet zu haben. Das epochale Ereignis war der legendären US-Zeitschrift »Life« am 15. Februar 1960 eine Titelgeschichte wert





# Zeigen Sie Ihren Kindern

Diesen Monat wieder neu: GEOlino – das Magazin für junge Entdecker. Und für alle, die noch mehr erleben



Das große  
Extra-Heft von  
GEOlino.



GEOlino. Wissen macht Spaß

# die Gesichter der Welt.

wollen, gibt es außerdem GEOlino extra. In der neuen Ausgabe: So funktioniert der menschliche Körper.



**SEEWESPE**

*Chironex fleckeri*

**LEBENSRAUM:** tropischer und subtropischer Indopazifik, Küstengewässer Nord- und Ostaustraliens


**GIFTART:** komplexes Gemisch aus giftigen Proteinen

**NUTZUNG:** zum Beutefang

**WIRKUNG:** greift Haut, Herz, und Nerven an: Schock, Herz- und Atemstillstand

Die gefährlichsten Gifte  
gibt es im Meer. Hier tobt  
ein unerbittlicher Kampf ums  
Überleben, bei dem sich  
scheinbar wehrlose Tiere mit  
chemischen Keulen gegen  
Verfolger wappnen – und  
langsame Jäger schnelle  
Beute ergattern

Text: Alexandra Rigos



# Das Arsenal der Schwachen



**W**er in den Weiten der Weltmeere lebt, ist seinen Feinden ohne Versteck ausgeliefert. Doch auch dort, wo natürliche Strukturen Schutz bieten, tobt ein heftiger Überlebenskampf – etwa vor Felsenküsten, in Algenwäldern oder Korallenriffen. Hier tummeln sich unzählige Geschöpfe neben- und übereinander, konkurrieren um Platz und Nahrung, jagen und verteidigen sich. Mit allen Tricks und Finessen wird um die Existenz gerungen, und häufig kommt dabei eine besonders effiziente Waffe zum Einsatz: Gift.

Vor allem im Korallenriff scheint die chemische Kriegsführung eher die Regel als die Ausnahme zu sein. Gifte finden sich dort in fast allen Tiergruppen, bei Fischen und Seeigeln, bei Schnecken und Schwämmen. Auch die Korallen sind bewehrt, etwa die Feuerkoralle *Millepora*, die beim Menschen schmerzende Hautreizungen verursacht.

Wie bei Landtieren dienen auch im Ozean Chemiewaffen der Selbstverteidigung oder der Jagd. Einige Meeresbewohner übertreffen sogar die gefährlichsten Gifttiere der Kontinente. So ist das Toxin der Krustenanemone *Palythoa*

13-mal tödlicher als das des australischen Taipan, der giftigsten Schlange der Erde.

Zum Glück ist die Krustenanemone ein ausgesprochen friedlicher Organismus, der sich lediglich vor Fressfeinden schützen will. Damit hat sie allerdings nur bedingt Erfolg, denn einige Fische und Krabben knabbern die an Flechten erinnernden Kolonien ungerührt an: Sie haben im Zuge des evolutionären Wettrennens Resistenzen gegen das Supertoxin entwickelt. Wie sie das bewerkstelligen, ist allerdings noch kaum erforscht.

Giftige Fische setzen ihre Sekrete nur zur Selbstverteidigung ein. Manche Biologen schätzen, dass mindestens 1200 Arten über Toxine verfügen. Meist sind sie keine flinken Schwimmer und müssen sich deshalb anders zu helfen wissen.

Sie sind entweder kunterbunt und auffällig gemustert und signalisieren mit ihrer Maskerade, dass Räuber ihnen lieber nicht zu nahe kommen sollten. Oder es handelt sich um plumpe, unscheinbare Geschöpfe, die sich – wie das Petermännchen, einer der wenigen Giftfische Deutschlands – zur Tarnung im Sand vergraben oder sich an den kieseligen Untergrund schmiegen. Sie besitzen meist Dornen oder spitze Flossen-

stacheln auf dem Rücken, die Badenden zum Verhängnis werden können.

Je nach Art lösen Giftfische beim Menschen Symptome von starken Schmerzen und Ödemen über Übelkeit, Herzrasen und Atemnot bis hin zu Kreislaufkollaps aus und können in seltenen Fällen auch zum Tod führen. Als besonders gefährlich gelten die im Indopazifik verbreiteten Steinfische; sie sind zum Teil mit Algen bewachsen und dadurch besonders gut getarnt, wenn sie am Grund zwischen Korallenfelsen sitzen.

**Der Stich der** auffällig gemusterten Kegelschnecken kann Menschen ebenfalls das Leben kosten. Diese Weichtiere besitzen überaus wirksame Nervengifte, die sie aktiv zur Jagd einsetzen – und Fische damit innerhalb weniger Sekunden zur Strecke bringen.

Erst kürzlich haben Wissenschaftler mithilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera dokumentiert, wie Schnecken der Gattung *Conus* Beutetiere erlegen können, die viel schneller sind als sie selbst: Aus ihrem rüsselartigen Schlundrohr schießen die Weichtiere blitzschnell – einer Harpune gleich – einen Giftpfeil ab, der sich durch die Haut des Opfers bohrt

## IGELFISCH

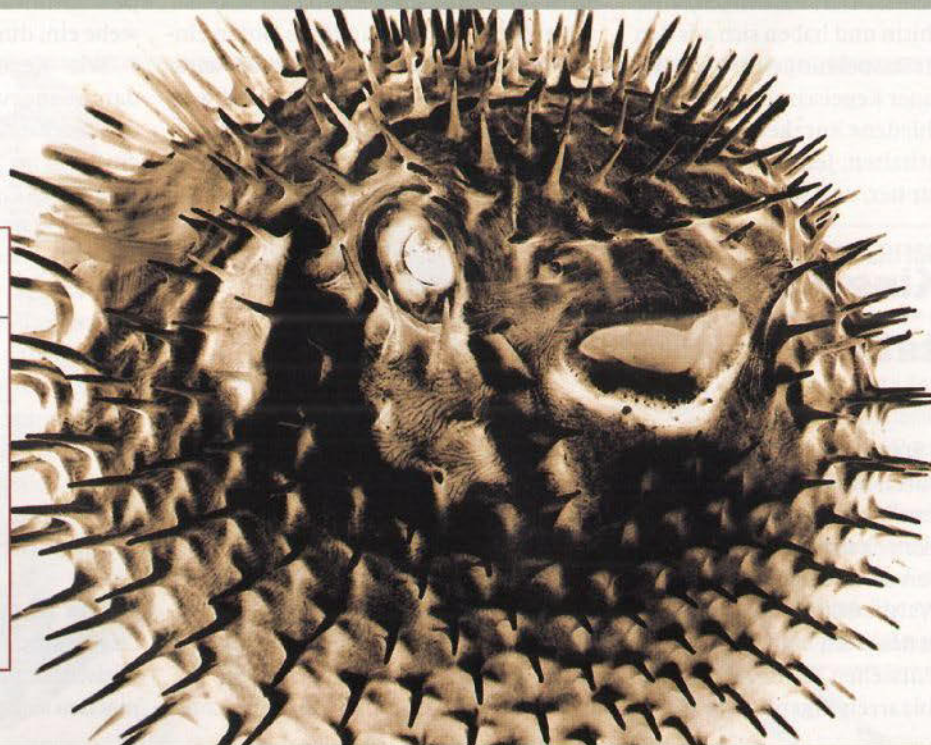
*Diodon sp.*

**LEBENSRAUM:** warme und tropische Meere; meist Küstennähe oder Korallenriffe

**GIFTART:** Tetrodotoxin (von Bakterien hergestellt)

**NUTZUNG:** zur Feindabwehr

**WIRKUNG:** starkes Nervengift, führt zu Atemlähmung (wird als Schmerzmittel genutzt)





## BLAUGERINGELTER OKTOPUS

*Hapalochlaena maculosa*

**LEBENSRAUM:** Küstengewässer (Süd-)Australiens

**GIFTART:** Tetrodotoxin und Hapalotoxin (von symbiotischen Bakterien erzeugt)

**NUTZUNG:** erlegt seine Beute durch Giftbiss mit seinem Schnabel, der dem eines Papageien ähnelt

**WIRKUNG:** blockiert Nervenimpulse, lähmt Muskulatur



und ein Nervengift injiziert. Kaum eine Drittelsekunde nach dem Ertasten der Beute ist diese schon gelähmt.

Nun kann die Schnecke ihre Mahlzeit in die Mundhöhle ziehen und gemächlich mit der Verdauung beginnen. Die **Conotoxine** enthaltenden Giftpfeile bestehen aus Chitin und haben sich aus den Zähnnchen der Raspelzunge entwickelt.

Das Gift einer Kegelschnecke kann bis zu 200 verschiedene kurzkettige Eiweißmoleküle enthalten. Jede Art stellt ihre eigene Mixtur her, und selbst bei Tieren

von Wissenschaftlern „King Kong“ genanntes Gift etwa bewirkt bei tödlich getroffenen Schnecken anderer Gattungen derart heftige Muskelkrämpfe, dass sie regelrecht aus ihrem Haus geschleudert werden und von der Verwandtschaft mühelos verschlungen werden können.

Bei Menschen in winzigen Dosen eingesetzt, haben sich Conotoxine als wirksame Schmerzmittel erwiesen und werden bereits zur Therapie chronischer Schmerzzustände verwendet – ein Beispiel für das pharmazeutische Potenzial

bestückt sind. Werden diese durch Berührung gereizt, öffnen sich die Nesselkapseln blitzartig, ein Dorn tritt aus, durchbohrt die Haut des Opfers und wird durch Widerhaken fixiert. Zugleich dringt ein sich handschuhartig ausstülpende dünner Schlauch tief in das Gewebe ein, durch den das Gift einströmt.

Wie Kegelschnecken sind Quallen darauf angewiesen, ihre Beute in Sekundenbruchteilen außer Gefecht zu setzen – ein Fisch im Todeskampf würde die empfindlichen Gallertgebilde zerreißen.

So erklärt es sich, dass unter den Medusen das wohl gefährlichste aller Gifttiere zu finden ist: Eine ausgewachsene Seewespe der Art *Chironex fleckeri* hält in ihren mehr als 200 Millionen Nesselkapseln einen Cocktail von Wirkstoffen bereit, der unter anderem Membranen von Zellen schädigt, Blutkörperchen und Gewebe zersetzt und zum Herzstillstand führen kann – insgesamt genug Gift, um 250 Menschen zu töten.

**Toxine zu synthetisieren** kostet einen Organismus viel Energie. Nicht alle Meister der chemischen Kriegsführung machen sich deshalb die Mühe, ihre Waf-

## Das »King Kong«-Toxin schleudert vergiftete Schnecken aus ihrem Haus

der gleichen Spezies treten unterschiedliche Rezepturen auf. Da die hierfür zuständigen Gene leicht mutieren, bringen Kegelschnecken zahlreiche Varianten ihrer Gifte hervor. So bleiben sie im evolutionären Wettbewerb mit ihrer Beute stets auf dem neuesten Stand.

Zugleich entstehen Toxine mit immer neuen, teils bizarren Eigenschaften. Ein

der Unterwasser-Giftküche. **Bioprospektoren** untersuchen daher inzwischen das chemische Arsenal der Ozeanbewohner auf seinen medizinischen Nutzen hin.

Auch Quallen verwenden ihr Gift als Jagdwaffe und injizieren es mithilfe raffinierter Geschosse. Ihre Nesselkapseln reifen in speziellen Zellen heran, die an ihrer Oberfläche mit Sinneshaaren



fen selbst herzustellen. Denn die lassen sich auch durch das Verspeisen giftiger Kreaturen oder durch Symbiose beschaffen – eine weit verbreitete Taktik.

So stammt das tödliche Gift jener Kugelfische, die in japanischen Restaurants als „Fugu“ auf den Tisch kommen, höchstwahrscheinlich von Bakterien. Um welche Einzeller es sich dabei handelt, ist noch nicht genau bekannt, doch muss sich der Kugelfisch offenbar mit ihnen infizieren, um giftig zu werden.

Fortan leben Flossenträger und Bakterium in einer Art Giftgemeinschaft. Vermutlich wird das Bakterium mit Nährstoffen versorgt und der Fisch vor Fressfeinden geschützt.

Das von den Bakterien produzierte Nervengift Tetrodotoxin findet sich auch in etlichen weiteren Meerestieren, darunter Papageifischen, einigen Schnecken, Krabben sowie einem Strudelwurm – und sogar an Land bei bestimmten Molchen und Kröten.

Zudem ist es das Elixier, mit dem das wohl schönste Gifttier der Ozeane tötet: der Blauringelte Oktopus, ein kaum 20 Zentimeter großer, juwelengleich blau-gelb schimmernder Krake.

Schon wenige Minuten nach einem Krakenbiss stellen sich beim Menschen Benommenheit und Schwächegefühl ein, dann folgen Lähmungserscheinungen und schließlich Tod durch Atemstill-

stand. Ein Gegengift gibt es nicht, Rettung verspricht allein die sofortige Einlieferung ins Krankenhaus und künstliche Beatmung.

**Auch Muschelvergiftungen** werden durch artfremde Toxine ausgelöst, die sich in den Meeresfrüchten anreichern. Die Verursacher sind einzellige Panzergeißler (**Dinoflagellaten**) – planktonische Lebewesen, von denen einige Spezies zu

#### memo | gifttiere

» **FISCHE** verwenden Toxine, um Fressfeinde abzuschrecken.

» **QUALLEN UND KEGELSCHNECKEN** lähmen und fangen mithilfe ihrer Gifte Beutetiere, die zu schnell für sie wären.

» **MANCHE MEERESTIERE** sind vor Feinden geschützt, weil symbiotisch in ihnen lebende Bakterien Gifte herstellen.

» **MIT WINZIGEN GESCHOSSEN**, den Nesselkapseln, werden Gifte injiziert.

bestimmten Jahreszeiten massenhaft auftreten und das Wasser rot verfärben.

Wissenschaftler kennen längst nicht alle giftigen Substanzen, die das Reich der Einzeller und mikroskopisch kleinen Algen zu bieten hat. Rätselhafter Vergiftungsepidemien raffen immer wieder Dutzende Menschen dahin – denn viele Toxine sind hitzebeständig und überstehen das Kochen oder Braten der Fische.

So starben 1993 in Madagaskar mehr als 60 Menschen nach dem Genuss von Haifleisch. Durch Analysen ließen sich zwei bis dahin unbekannte Substanzen aufspüren – deren Herkunft aber konnte nicht geklärt werden.

Wenig erforscht ist auch, ob manche Muscheln oder Fische die Toxine anderer Organismen eher zufällig speichern oder ob sie dadurch einen Überlebensvorteil haben (denn häufig werden auch sie von giftresistenten Räubern verspeist). Der Kugelfisch immerhin scheint Feinde wirksam abzuschrecken, indem er bei Gefahr winzige Mengen des geborgten Giftes ausscheidet.

Eine besonders raffinierte Art der Waffennutzung haben bestimmte im Korallenriff lebende Nacktschnecken entwickelt: Sie fressen Polypen und Quallen und schaffen es, deren Nesselkapseln – also winzige, schussbereite Giftbehälter – unbeschädigt durch den Verdauungstrakt zu schleusen und in die eigene Haut einzulagern. Anschließend ist ihre Oberfläche gespickt mit winzigen Toxin-Abschussrampen (siehe Seite 70).

Durch den Giftraub werden selbst diese sonst so wehrlos erscheinenden Kreaturen zu gefährlichen Gegnern im Überlebenskampf. □

**Alexandra Rigos**, 39, ist Autorin in Berlin. Wissenschaftliche Beratung: **Prof. Dietrich Mebs**, Zentrum für Rechtsmedizin, Universität Frankfurt/Main.



#### ROTFEUERFISCH

*Pterois volitans*

**LEBENSRAUM:** tropische bis temperierte Zonen des Indischen Ozeans und des westlichen Pazifiks

**GIFTART:** Gemisch aus Proteinen, Acetylcholin und weiteren Komponenten

**NUTZUNG:** zur Feindabwehr

**WIRKUNG:** Blutdruckschwankungen, Krämpfe, Atemnot



# LEBEN AM GEFRIERPUNKT





Text: Erwin Lausch

**FROSTGEFAHR UND IM WINTER WOCHENLANGE DUNKELHEIT MACHEN DEN OZEAN UM DIE ANTARKTIS ZU EINER DER UNWIRTLICHSTEN REGIONEN ÜBERHAUPT. SEINE BEWOHNER HABEN SICH DENNOCH ANGEPAST. ETWA MIT GEFRIERSCHUTZMITTELN IM BLUT, LANGSAMEM STOFFWECHSEL UND SPEZIELLEN PHOTOPIGMENTEN. MANCHE LEBEWESEN WERDEN ERSTAUNLICH ALT**

**Eis in seinen vielfältigen Formen** prägt die Oberfläche des Südozeans. Im Meer treibende Eisberge können durch Schmelzvorgänge bizarre Formen annehmen. Pinguinen bieten sie eine Plattform, um sich – vor Seeleoparden und Schwertwalen geschützt – auszuruhen



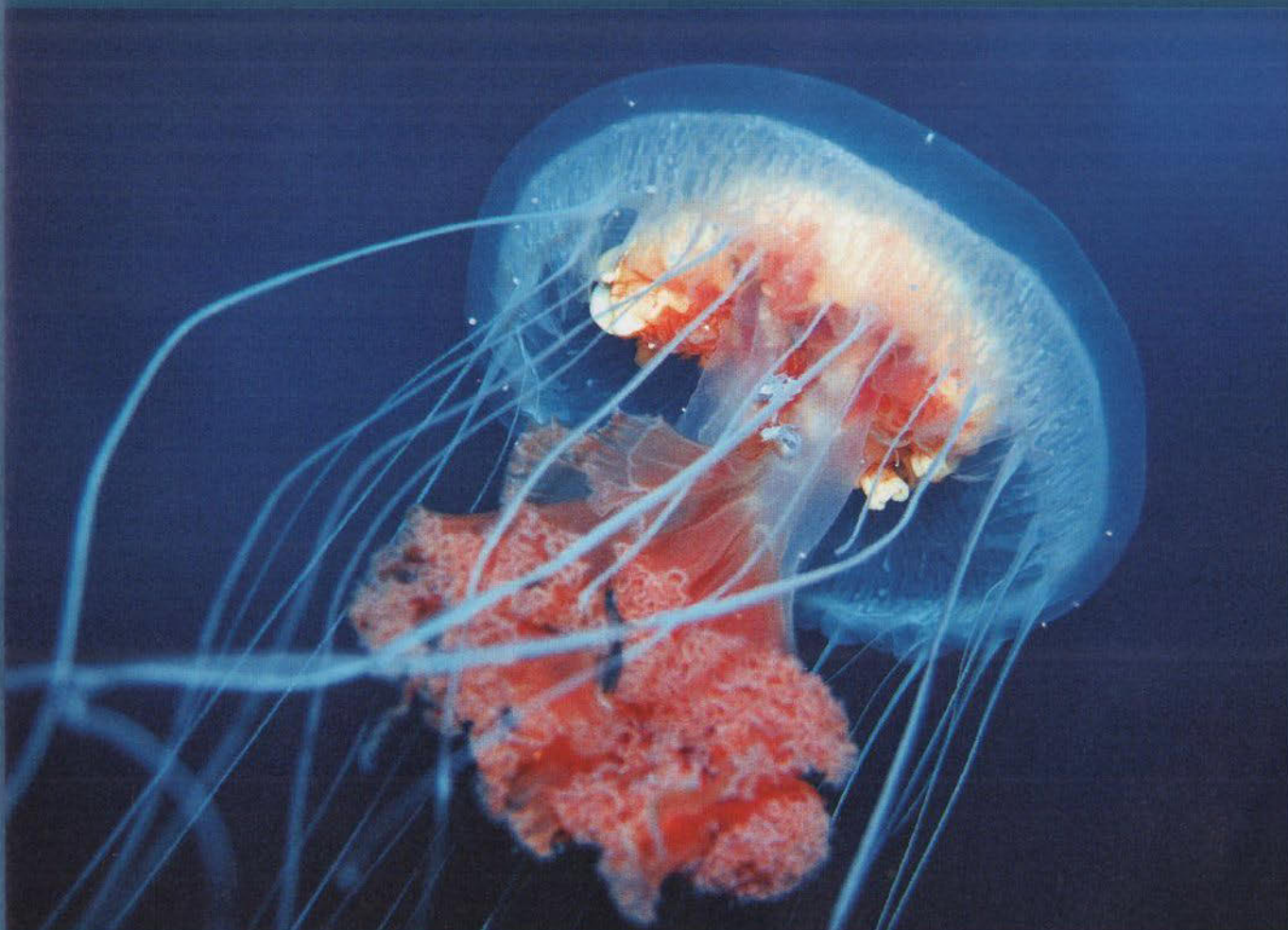


Der antarktische Krill ist fast durchsichtig und färbt sich unter Stress rötlich. Die Leuchtgarnelen fressen Phytoplankton und sind selbst Nahrung für Fische, Kraken, Robben, Wale und Vögel

**N**ach zehntägiger rauer Fahrt von Kapstadt südwärts durch die notorisch stürmischen Breiten, die „Roaring Forties“ und „Furious Fifties“, hörte die „Polarstern“ fast schlagartig auf zu schaukeln. Eisschollen polterten gegen die Bordwand. Das deutsche Forschungsschiff, ein eigens für die Wissenschaft konstruierter Eisbrecher, hatte sein Einsatzgebiet erreicht: die weiße Landschaft des Weddellmeeres.

Kurz nachdem das Schiff begonnen hatte, durch das Meereis zu pflügen, meterdicke Schollen beiseite zu schieben und dabei einige zum Kentern zu bringen, gab es für die Biologen an Bord bereits eine Riesenüberraschung: Das Eis war an der unteren Seite dunkelbraun. Dazu kam, dass auf der gekenterten Scholle Hunderte von kleinen Krebsen heftig zappelnd versuchten, wieder ins Wasser zu springen.





Die Meduse *Diplulmaris antarctica* fängt mit ihren nesselbewehrten Tentakeln Flügelschnecken. Auf der Qualle reisen Flohkrebse mit, die dort Schutz finden



Auf der Unterseite des Meereises wachsen grün schimmernde, einzellige Algen, die vom Krill abgeweidet werden

Die Untersuchung eines Eisbrockens deckte die Ursache der Färbung auf: In der Probe wimmelte es von Kiesel- und anderen einzelligen Algen, von denen die Forscher angenommen hatten, dass sie als pflanzliches Plankton ausschließlich im Wasser treiben. Doch nicht nur die Unterseite des Meereises war besiedelt. Auch die zahlreichen Hohlräume im Eis erwiesen sich als Heimstätten für einzellige Algen.

So viel war damals, 1984, bald klar: Die unwirtliche weiße Wüste, in die sich das Meer im tiefen Süden der Erde im Winter verwandelt, ist dicht unter der Ober-





fläche voller Leben. Mehr noch: Wenn das Eis einen großen Teil des Jahres das pflanzliche Plankton (**Phytoplankton**) und in seinem Gefolge Krebse – den so genannten **Krill** – beherbergt, der im offenen Wasser riesige Schwärme bildet, muss es für das Ökosystem eine höchst bedeutsame Rolle spielen.

**D**ie südlichsten Regionen des Pazifischen, des Atlantischen und des Indischen Ozeans, die einen Ring von 20 Millionen Quadratkilometern um die Antarktis bilden, werden heute „Südozean“ genannt. Im Gegensatz zum Nordpolarmeer, das ständig großflächig von Eis bedeckt ist, wird

der größte Teil des Südozeans alljährlich für ein paar Monate eisfrei; dabei schrumpft die eisbedeckte Fläche um mehr als 80 Prozent.

Der Südozean ist, sollte man meinen, ein höchst problematischer Lebensraum. Denn:

- Er liegt in weiten Teilen und für lange Zeit unter meterdickem Eis;
- die Wassertemperaturen betragen in der Regel etwa null Grad Celsius und können bis auf den Gefrierpunkt des Meerwassers von etwa minus 1,9 Grad absinken;
- die Lichtverhältnisse wechseln je nach Jahreszeit – von wochenlanger Nacht im antarktischen Winter bis zu dauerhafter Helligkeit im Sommer.

Dennoch stießen Biologen im Wasser, im Eis und auf dem Boden des Südozeans auf eine verblüffende Vielfalt von Arten.

Wie in den anderen Ozeanen ist das pflanzliche Plankton die wichtigste Nahrungsgrundlage der Meerestiere – entweder direkt, wie etwa für den Krill. Oder indirekt, wie für Pinguine, Robben und Wale, die den Krill verschlingen. Die einzelligen Algen des Phytoplanktons stehen am Anfang mannigfacher und meist längerer Nahrungsketten, in denen größere Tiere kleinere fressen.

Sie alle profitieren von der Photosynthese – jener Fähigkeit der Algen, Sonnenenergie für das Leben nutz-





**Kaiserpinguine** schießen mit 3,4 Metern pro Sekunde durch das Wasser und können mehr als 400 Meter tief tauchen. Die bis zu 40 Kilo schweren Vögel jagen nach Krill, Fischen und Tintenfischen

einer geschlossenen Eisdecke zusammen. Wind und Wasserbewegungen reißen das Eis auf, zerren Schollen auseinander und schieben andere übereinander, sodass große Hohlräume entstehen.

Die feinen Poren und Kanäle im Eis bilden sich beim Gefrieren des Meerwassers. Dabei wird das Salz abgeschieden. Die Lösung, die sich zwischen den Kristallen aus Süßwasser sammelt, kann mehr als viermal so viel Salz wie das Meerwasser enthalten. In diesen mit Sole gefüllten Räumen vermehren sich die gefangenen Plankton-Algen zunächst rasant – bis schließlich wichtige Mineralstoffe knapp werden.

**E**rst im Frühjahr nimmt das Algenwachstum wieder zu. Denn wenn die Temperaturen steigen und das Eis aufweicht, weiten sich die Poren und kleinen Kanäle. Frisches nährstoffreiches Meerwasser, das bis dahin nur die Unterseite der Schollen erreicht hat, dringt nun tief in das Eis ein. Das Wachstum der Algen erreicht seinen Höhepunkt. Ein Liter Eis enthält jetzt bis zu 200-mal mehr **Biomasse** als ein Liter Meerwasser im Sommer.

inzwischen auf die Spur gekommen. So schützen sich die Algen vor dem starken Salzgehalt des Wassers durch eine **Aminosäure** namens Prolin sowie durch schwefelhaltige Verbindungen. Diese Substanzen erhöhen den **osmotischen Druck** in den Zellen und verhindern dadurch, dass die Sole Wasser aus den Algen herauszieht und die Zellen auf diese Weise austrocknen.

Auch gegen das Gefrieren erzeugen viele Arten hohe Konzentrationen organischer Substanzen. Manche Meereis-Algen können selbst bei minus 5,5 Grad noch wachsen.

Um das dämmerige Licht besser nutzen zu können, produzieren bestimmte Spezies deutlich höhere Konzentrationen an Chlorophyll und anderen Pigmenten, die Licht zur Photosynthese einfangen, als ihre Artgenossen im umliegenden freien Ozean.

Einige Arten unter den begeißelten Algen (**Dinoflagellaten**) bilden gegen die unwirtlichen Verhältnisse im Eis sogar dickwandige Zysten, aus denen sich nach dem Schmelzen des Eises wieder normale Zellen entwickeln.

Am besten gedeihen die Algen an der Unterseite des Eises. Zwar fällt das Licht dort am spärlichsten ein, doch

## EINZELLIGE ALGEN BILDEN DIE NAHRUNGS- GRUNDLAGE, VON DER LETZTLICH ALLE LEBEWESEN IM SÜDOZEAN EXISTIEREN

bar zu binden, indem sie mithilfe des Sonnenlichts aus Wasser und Kohlendioxid energiereiche Kohlenhydrate produzieren.

Wenn im Südherbst kalte Winde vom Kontinent wehen und die Meeresoberfläche abkühlen, geraten die Plankton-Algen des Südozeans zwangsläufig ins Eis. Im Wasser bilden sich winzige Eiskristalle, die bei Wellengang in die Tiefe gedrückt werden und sich mit Plankton vermischen.

Da Eis leichter ist als Wasser, treiben die Kristalle immer wieder an die Oberfläche und reißen zwischen ihnen verfangenes Plankton mit sich. Nach und nach frieren die Kristalle zu tellerförmigen Gebilden, dann zu

Im Eis ist es kalt und ziemlich dunkel, die winzigen Seen in den Poren sind sehr salzig und verarmen bald an Nährstoffen. Dennoch haben Wissenschaftler über 100 Arten von Kieselalgen und anderen einzelligen Algen entdeckt, die neben zahlreichen Bakterien sowie etwas tierischem Plankton – Kleinkrebsen und Würmern sowie deren Larven – den Winter im antarktischen Eis überdauern.

Es bedarf allerdings besonderer Tricks, um in der weißen Wüste zu überleben. Einigen sind die Forscher

das Wasser bringt ständig Nährstoffe heran und führt das Salz fort. Dieses etwas düstere Leben ist freilich riskant: Dort unten sammelt sich auch der Krill, der die Eisalgen verspeist, wenn im Wasser nicht mehr genug Plankton-Nahrung zu finden ist.

**U**nter Krill verstehen Biologen vor allem einige Arten von Leuchtgarnelen – mit Leuchtorganen ausgestatteten Kleinkrebsen –, die in großen Schwärmen vorkommen und deshalb für Wale interessant sind. Meist





**Seeleoparden jagen mit Vorliebe** andere Robbenarten und Pinguine, doch ein Großteil ihrer Beute besteht aus Krill

ist jedoch die antarktische Art *Euphausia superba* gemeint. Die bis zu sechs Zentimeter langen, weitgehend durchsichtigen Krebse, die sich unter Stress rötlich färben, nehmen im Ökosystem des Südozeans eine Schlüsselposition ein.

Vom Krill leben viele: Fische und Kraken, Robben und Wale, Pinguine und andere Vogelarten. Im offenen Wasser sammelt sich der antarktische Krill zu ungeheuren Schwärmen. Verbürgt ist eine Zusammenballung von 20 Kilometer Länge. Insgesamt bildet allein die Art *Euphausia superba* nach Experten-Schätzungen eine Biomasse von rund 170 Millionen Tonnen.

Die Jagd der größeren Meeresbewohner auf den Krill beginnt, sobald im südlichen Frühling und Sommer das Packeis aufbricht. Nicht nur als Beute für diese kommt dem Krill eine wichtige Rolle zu. Da in der Antarktis die großen Fischschwärme fehlen, ist es hier der Krill, der die kleinen Planktonlebewesen wegfrisst.

Nur relativ wenige Fischarten haben es geschafft, sich an das Leben im extrem kalten Wasser des Südozeans anzupassen. Als wechselwarme Tiere können sie ihre Körpertemperatur nicht konstant hoch halten wie etwa Pinguine, Robben und Wale, die sich zudem durch eine dicke Fettschicht vor dem Auskühlen schützen.

der Regel bei minus 0,9 Grad, dem Gefrierpunkt ihrer Körperflüssigkeiten. Bei Wassertemperaturen bis minus 1,9 Grad im Südozean besteht jedoch auch für sie die Gefahr, dass das Blut gefriert.

Dennoch sind manche Fische imstande, die kritische Temperatur zu unterschreiten – sie produzieren spe-

## BIS ZU ZWEI METER HOHE SCHWÄMME BESIEDELN DEN BODEN – DAZU MOOSTIER- CHEN, SEESCHIEDEN UND HORNKORALLEN

Die Körpertemperatur der Fische passt sich der Temperatur der Umgebung an. Sie kann ohne Schaden für den Organismus absinken – doch nicht zu tief. Die Grenze liegt für Fische in

zielle Eiweißstoffe, die vor dem Gefrieren schützen.

Diese Gefrierschutzproteine sind zur Stelle, sobald sich im Blut winzige Eiskristalle zu bilden beginnen. Sie la-



gern sich an die Kristalle an und hemmen deren weiteres Wachstum.

Allerdings können sie nicht verhindern, dass ständig neue Eiskristalle entstehen. Die Komplexe aus Eis und Protein müssen daher laufend beseitigt werden. Wie dies dem Organismus gelingt, ist den Wissenschaftlern bislang noch unklar.

**D**as Risiko, im kalten Meerwasser zu gefrieren, besteht für die meisten wirbellosen Tiere nicht. Denn bei vielen dieser einfachen Organismen ohne Wirbelsäule – zu denen mehr als 90 Prozent aller bekannten marinen Tierarten gehören – ist die Salzkonzentration im Körper ebenso hoch wie die im Meerwasser. Die Körperflüssigkeiten haben daher den gleichen Gefrierpunkt wie die See: Solange die nicht gefriert, besteht also keine Gefahr.

Zu den größten Wirbellosen zählen Kraken. Meeresbiologen sind sich

sicher, dass diese achtarmigen Tintenfische im Ökosystem des Südozeans eine bedeutende Position einnehmen – als Jäger wie als Gejagte: Antarktische Kraken fressen hauptsächlich wirbellose Tiere und fallen ihrerseits größeren Fischen und Robben zum Opfer.

Wie viel es jedoch über Kraken in der Antarktis noch zu entdecken gibt, zeigte sich 2002 auf einer Expedition mit der Polarstern in die Gewässer um die Antarktische Halbinsel, als die Forscher auf eine unerwartet große Anzahl von Krakenarten stießen: neben sieben bekannten Spezies mindestens sieben noch unbekannte.

Am erstaunlichsten aber ist, was sich Wissenschaftlern offenbarte, die den Boden des Südozeans mit Unterwasserkameras und unbemannten Tauchfahrzeugen untersuchten. Sie stießen auf Lebensgemeinschaften, so der Meeresbiologe Thomas Brey, „die

in ihrer Artenvielfalt fast an tropische Korallenriffe heranreichen“.

Bis in 600 Meter Tiefe ist der Meeresboden stellenweise völlig von vielerlei Tierarten bedeckt. Julian Gutt, Meeresbiologe am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven, hat in seinem Buch „Eiskalte Entdeckungen“ ein solches antarktisches Lebensbild geschildert.

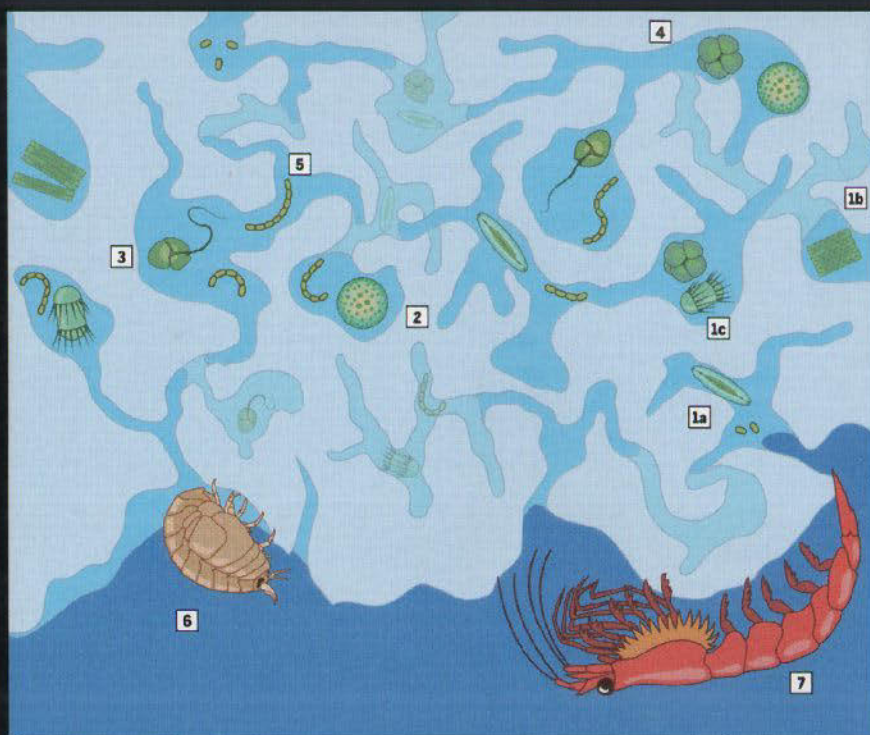
Da ragen tonnen- oder vasenförmige Schwämme bis zu zwei Meter Höhe auf, andere Schwammarten erinnern an Kohlköpfe oder Kartoffeln. Bizarr verästelte Moostierchen besiedeln den Meeresboden in dichten Polstern. Peitschenförmige Hornkorallen und Seefedern wiegen sich in der bodennahen Meeresströmung. Seescheiden – Geschöpfe, die zu den Manteltieren zählen und ihre Nahrung aus dem Wasser filtern – bilden Kolonien auf dem Grund des Meeres.

Darüber hinaus wird diese von sesshaften Tieren geprägte Unterwasser-



**Am Boden einer Eishöhle**, unter zwei Atemlöchern von Weddellrobben, suchen zahlreiche Seesterne und andere Bodenbewohner ihre Nahrung. Zwar lässt das Eis nur wenig Licht durch, sodass es hier kaum Pflanzen gibt, doch profitieren die Tiere vom Kot der Robben





### Gemeinschaft in der Salzlake

In den salzreichen, bis etwa ein Millimeter großen Kanälen des Meereises leben unter anderem zahlreiche Formen von Kieselalgen (1a–c), Goldalgen (2) und Panzergeißler (3). Alle drei Gruppen gehören zu den einzelligen Pflanzen und vermehren sich vor allem im Frühjahr rasant. Von diesen Algen ernähren sich einzellige Tiere wie etwa Kammerlinge (4). Bakterien (5) nehmen organische Stoffe abgestorbener Organismen auf. Größere Tiere wie Flohkrebse (6) oder Krill (7) weiden die Algen an der Eisunterseite ab (Abbildung nicht maßstabsgetreu).

landschaft durch umherschweifende Arten belebt. Seegurken und Borsenwürmer winden sich wie Baumschlangen durch ein Gerüst von Moostierchen oder Hornkorallen in Form von Flaschenbürsten. Schlangensterne strecken ihre Arme in die Höhe, um Plankton zu fangen. Haarsterne schweben vorüber, ihre filigran gefiederten Arme wellenförmig schwingend.

**F**lohkrebse, die eine Fülle verschiedener Lebensformen mit unterschiedlicher Ernährung entwickelt haben, sind auf der Jagd nach Beute. Einige nisten sich auf Schwämmen ein und filtrieren dort das Wasser. Andere knabbern an den kalkigen Ästen der Moostierchen und haben es dabei auf die winzigen Zooide abgesehen, die Individuen einer Moostierchenkolonie.

Ein Leben aus der Fülle, so scheint es. Tatsächlich aber ist es eine Gemein-

schaft des Mangels. Denn die Nahrung für die Tiere am Boden stammt vor allem aus den vom Phytoplankton und dessen **Konsumenten** bevölkerten Wasserscheiden nahe der Oberfläche.

#### memo südozean

» **DIE Wassertemperatur** an der Oberfläche des Südozeans kann bis auf minus 1,9 Grad Celsius sinken.

» **KRILL, KRAKEN** und andere Wirbellose spielen eine wichtige ökologische Rolle rund um die Antarktis.

» **NUR WENIGE FISCHARTEN** haben sich an die Kälte anpassen können.

» **MANCHE SEEIGEL-ARTEN** benötigen 70 Jahre, um sieben Zentimeter groß zu werden.

Auf Hochtouren wird dort Biomasse aber nur im kurzen Polarsommer produziert, wenn die Sonne lange scheint und ihre Energie durch kein Eis re-

flektiert wird. Geht die eisfreie Zeit zu Ende, wird bald immer kärglicher, was an Fressbarem herabsinkt.

Da heißt es sparsam leben. Untersuchungen an etlichen Arten von Wirbellosen am Boden des Südozeans haben zu eindeutigen Ergebnissen geführt: Der Stoffwechsel ist gegenüber vergleichbaren Spezies, die andernorts leben, herabgesetzt und der Energieverbrauch geringer. Die antarktischen Arten wachsen langsamer, werden dafür aber ungewöhnlich alt.

So legt eine Kolonie des antarktischen Moostierchens *Cellaria incula* pro Jahr etwa acht Millimeter an Größe zu und kann 14 Jahre alt werden; eine nah verwandte Art aus dem Ärmelkanal wächst dagegen fünfmal so schnell, existiert aber nur etwa zwei Jahre.

Zwei antarktische Seeigel-Arten brauchen 40 beziehungsweise 70 Jahre, um sieben Zentimeter groß zu werden, während Verwandte in gemäßigten Breiten nur fünf bis zehn Jahre alt werden. Ähnlich eine antarktische Garnele: Sie ist erst mit sieben Jahren ausgewachsen – da hätten Garnelen aus unseren Breiten ihre Lebensspanne von drei Jahren längst überschritten. Einige antarktische Arten, etwa bestimmte Schwämme, können vermutlich sogar weit über 100 Jahre alt werden.

Bei dem langsamen, aber lange anhaltenden Wachstum werden manche Tiere im Südozean sogar etwas größer als die meisten Arten ihrer fernen Verwandten – so die Garnele. Auch einige andere Krebstiere sowie manche Stachelhäuter erreichen in der Antarktis eine ungewöhnliche Größe.

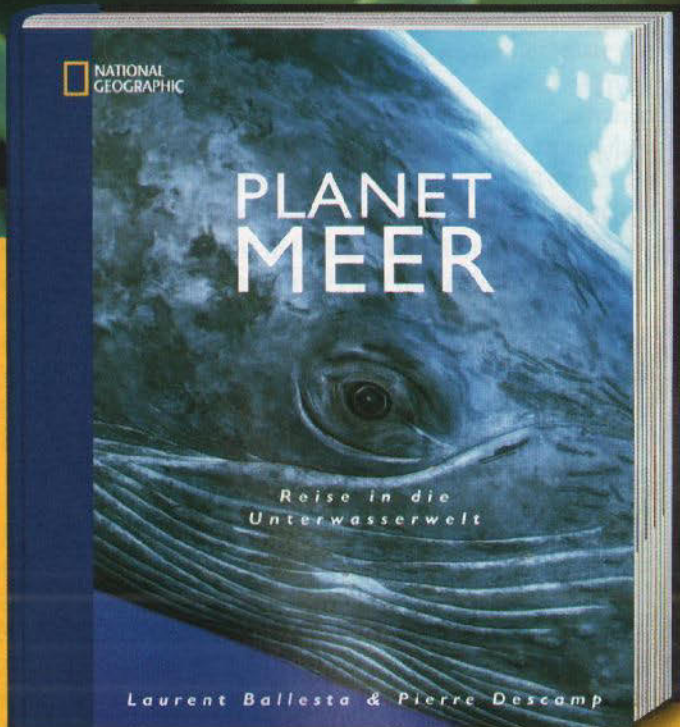
Trotz der aus menschlicher Sicht extrem und unwirtlich wirkenden Umgebung ist die Vielfalt und Fülle des Lebens im Südozean also enorm – im Gegensatz zum antarktischen Festland, wo die Temperaturen stellenweise unter minus 80 Grad Celsius sinken können.

Und wo deshalb kaum Leben gedeiht. □

**Dr. Erwin Lausch**, 77, war viele Jahre GEO-Redakteur und schreibt regelmäßig für GEOkompakt.



# MEER SEHEN, MEER SPÜREN, MEER ERLEBEN



Der opulente NATIONAL GEOGRAPHIC-Bildband „Planet Meer“ führt Sie an einen der faszinierendsten Orte unserer Erde: tief unter die Oberfläche des Meeres. Lassen Sie sich verzaubern von beeindruckenden Pflanzen und Tieren – in Formen und Farben von märchenhaft-schön bis monströs-hässlich. Berausende Bilder verbinden sich mit wissenswerten Sachinhalten zu einer außergewöhnlich einnehmenden Dokumentation der Meere.

**Planet Meer**, Bildband, Hardcover, 384 Seiten, 420 Fotos, Format: 28 x 33 cm, ISBN 978-3-937606-89-7, € 49,95



# Kahlschlag unter Wasser

Text: Claus Peter Simon

**W**eshalb eigentlich wird der blaue Planet „Erde“ genannt und nicht „Ozean“? Schließlich sind mehr als zwei Drittel seiner Oberfläche von Wasser bedeckt. Diese Substanz des Lebens bestimmt die Geschichte des Planeten, seit sich einst aus der dampfgesättigten Atmosphäre über der Ur-Erde ein nicht enden wollender Regenschwall zu Boden ergoss und der Ur-Ozean entstand.

Später bildete sich in dessen Tiefen aus einfachen chemischen Verbindungen das vermutlich erste Leben. Noch heute sind die Ozeane Kinderstube für unzählige Tier- und viele Pflanzenarten. Hunderte Millionen Menschen leben von den Erzeugnissen des Meeres. Gleichwohl sind die Ozeane in weiten Teilen immer noch unerforscht.

Das soll sich nun ändern. Um den Geheimnissen der Weltmeere auf den Grund zu gehen, haben sich Wissenschaftler auf eine Art Volkszählung begeben. Gut 2000 Forscher aus 80 Staaten beteiligen sich bis 2010 am „Census of Marine Life“. Auf drei zentrale Fragen suchen die Experten Antworten: Welche Lebewesen haben früher in den Ozeanen existiert, welche tummeln sich dort heute, welche wird es in ferner Zukunft geben?

Dazu setzen die Forscher Tauchroboter ein, erfassen Fischschwärme mit Schallwellen, rüsten Haie mit Sendern aus, verfolgen Thunfische per Satellit. Zu den bislang bekannten 230 000 marinen Spezies sind nun mehrere tausend unbekannte Arten hinzugekommen. Bei den Osterinseln stießen die Wissenschaftler auf eine eigentümliche Krabbe, die einen Pelz trägt. Unter 700 Meter dickem Eis der Antarktis schwamm eine nie zuvor gesehene Quallenart mit erhobenen Tentakeln. Und drei Kilometer tief im Atlantik fand sich eine mehr als 400 Grad Celsius heiße Thermalquelle mit Garnelen.

Es geht um die Zukunft der Meere. Aus den Daten wollen die Forscher unter anderem Computersimulationen entwickeln, um vorhersagen zu können: Wie wird sich die zunehmende Verschmutzung auf die Ökosysteme der Tiefe auswirken? Welche Rolle könnte die Klimaerwärmung spielen? Welche Folgen hat die Ausbeutung von Ölvorkommen?

Denn der Mensch, der von den Ozeanen lebt, bedroht sie zugleich. Mehr als vier Millionen Fangschiffe jagen die marine Fauna, doppelt so viele wie 1970. Fischschwärme werden mit Echolot, Satellitenbildern und Sonar aufgespürt. Hubschrauber lotsen die Flotten direkt zur Beute. Deren Netze

haben mitunter eine Öffnungsfläche von mehreren hundert Quadratmetern, können bis zu 100 Tonnen Fisch fangen und reichen zum Teil bis in die Tiefsee, wo Arten abgefischt werden, die sich nur langsam fortpflanzen. Langleinen mit Tausenden Haken treiben über Dutzende von Kilometern.

Als ökologisch verheerend gilt vor allem die Grundschieppnetzfisherei auf Krebse, Shrimps und auch Schollen. Große, mit Ketten und Rollen beschwerte Netze durchwühlen den Meeresboden; so genannte Baumkurren durchpflügen ihn bis in eine Tiefe von 15 Zentimetern: ein Kahlschlag unter Wasser, dem weltweit jährlich eine Fläche zum Opfer fällt, die 150-mal größer ist als die aller Waldrodungen zusammen.

Die für Jungfische wichtige Bodenstruktur wird zerstört; Korallen, Muscheln, Krebse und Schwämme werden vernichtet. Zudem geht in der Garnelen- und Krabbenfisherei bis zu 80 Prozent Beifang ins Netz. Das sind Meereslebewesen, die ungenutzt wieder ins Wasser gekippt werden und von denen ein Großteil verendet. In Fangstatistiken tauchen die weltweit auf rund 30 Millionen Tonnen geschätzten Beifänge jedoch nicht auf.

Kein Land hält sich im Meer so schadlos wie China; auf die Flotte des Landes entfallen etwa 17 Millionen der weltweit rund 90 Millionen Tonnen Wildfänge. Danach folgen Peru, die USA, Indonesien und Japan. Die Europäische Union kommt zusammen auf etwa sechs Millionen Tonnen und verfügt über eine immer noch gewaltige Flotte von etwa 90 000 Schiffen, davon 2000 unter deutscher Flagge.

**T**rotz der beispiellosen Aufrüstung ist der weltweite Ertrag seit den 1980er Jahren zurückgegangen. Gleichwohl beschließen die EU-Minister seit Jahren Fangmengen, die weit über den Empfehlungen von Wissenschaftlern liegen. Und wenn vor den eigenen Küsten nicht mehr genug zu fischen ist, kauft die EU Fangrechte von afrikanischen Staaten auf oder von Insel-Staaten im Pazifik. Dort werden dann die wertvollsten Arten abgeerntet, während bei den einheimischen Fischern die Netze oftmals leer bleiben.

Inzwischen wird das Ausmaß der Überfischung zunehmend deutlicher. Nach Erkenntnissen der Welternährungsorganisation FAO sind derzeit 25 Prozent der Bestände fast erschöpft oder werden so stark übernutzt, dass sie künftig womöglich nicht mehr befischt werden können. 52 Prozent der Bestände werden bereits bis ans Limit ausgeschöpft, die Fang-

Bis zum  
Jahr 2010 wollen  
Forscher *alle*  
*Spezies* im Meer  
erfasst haben



## In einer Art »Volkszählung« haben Forscher in den vergangenen Jahren Tausende neuer Arten in den Weltmeeren entdeckt. Doch diese Vielfalt ist durch die Eingriffe des Menschen bedroht

mengen lassen sich nicht mehr erhöhen. Und nur 23 Prozent könnten langfristig noch mehr Ertrag liefern.

Seit 1974 hat die Zahl der gefährdeten Bestände stetig zugenommen. Sieben der ertragreichsten Arten sind heute ausgeschöpft oder übernutzt, darunter Sardellen und der Alaska-Seelachs. Die großen Raubfischbestände, wie Thun, Marlin und Schwertfisch, sind durch die industrielle Fischerei in den vergangenen 50 Jahren um 90 Prozent reduziert worden.

Der Kabeljau (oder Dorsch) ist das wohl bekannteste Beispiel für eine überfischte Art. Noch vor 30 Jahren galt er als die wichtigste kommerzielle Fischart, doch um 1990 ging die Fangmenge dramatisch zurück. Meeresökologen raten, hier die Fischerei eine Zeit lang ganz auszusetzen. Zu mehr als einer geringen Reduzierung der Fangtage konnten sich die zuständigen Minister aber nicht durchringen.

Die Folgen einer solchen Haltung zeigt das Beispiel der peruanischen Sardellenfischerei. Die Gewässer vor der Küste des südamerikanischen Staates boten jahrzehntelang reichlich Fisch für die Küstenfischer und die Millionen von Kormoranen und Pelikanen. 1957 begann die industrielle Ausbeutung. 1970 war Peru mit einer Fangmenge von 12,3 Millionen Tonnen die bedeutendste Fischerei-Nation der Erde.

Doch ab Mitte der 1980er Jahre wurde immer weniger gefangen, 1984, nach einem El-Niño-Ereignis, waren es gerade noch 0,1 Millionen Tonnen. Seither ist der Ertrag zwar wieder gestiegen, hat aber nicht annähernd die Menge der 1970er Jahre erreicht. Ähnlich erging es in den 1940er Jahren der kalifornischen Sardinenfischerei.

Vor kurzem erstellten Meeresökologen von der Dalhousie-Universität in Kanada eine alarmierende Prognose. Die Forscher werteten Ergebnisse von 32 Studien aus begrenzten Meeresgebieten aus, in denen bereits heute nur noch wenige Arten leben. Der Verlust der Vielfalt könnte demnach die Ökosysteme massiv destabilisieren und deren Produktivität senken. Den Wissenschaftlern zufolge wird im schlimmsten Fall bereits in 40 Jahren die Zahl sämtlicher kommerziell ausgebeuteter Arten so stark zurückgegangen sein, dass sie wirtschaftlich nicht mehr nutzbar sein werden, vom Kabeljau über den Thun bis zum Heilbutt.

Doch nicht nur moderne Fangmethoden und eine steigende Nachfrage nach Proteinen aus dem Meer sind Ursache der heutigen Krise. Stetig befeuert wird sie auch durch die weitgehende Gesetzlosigkeit auf den Ozeanen. Die macht es Staaten und

internationalen Organisationen unmöglich, im größeren Maßstab regulierend oder gar sanktionierend einzugreifen.

So hat es 20 Jahre gedauert, das Internationale Seerecht neu zu formulieren und es in Kraft zu setzen; seither unterliegt die Ausbeutung der küstennahen Bestände allein den Anrainerstaaten – was die Bewirtschaftung und Kontrolle zumindest erleichtert. Meist erfolgen Fischereikontrollen aber nur punktuell, Fangmeldungen werden immer wieder gefälscht.

Das internationale Seerecht gilt freilich nur für einen 200 Seemeilen breiten Streifen entlang der Küsten. Die Regionen auf hoher See dagegen sind die am wenigsten regulierten, kontrollierten und geschützten der Welt.

Dort spielt sich das ab, was Fachleute die „tragedy of the commons“ nennen, die Tragik des Gemeineigentums.

**D**abei ist die Fischerei nur ein Beispiel für die oft verheerenden Eingriffe des Menschen in die marinen Ökosysteme.

Die Verschmutzung mit Abwässern etwa ist so alt wie die Zivilisation selbst. Seit jeher landeten die Überreste menschlicher Siedlungen in den Flüssen und schließlich im Meer. Durch das Bevölkerungswachstum hat sich die Belastung potenziert. Allein 24 Megacities mit mehr als acht Millionen Einwohnern liegen am Meer, zum Beispiel Lagos, Shanghai und Mumbai (Bombay); in vielen Fällen laufen deren Abwässer noch ungeklärt ein.

Lange Zeit haben die jeweiligen Stadtverwaltungen auf das „Prinzip Verdünnung“ gesetzt. Doch in einigen Küstengebieten und vor allem an den Mündungszonen der großen Flüsse funktioniert das längst nicht mehr; die Strände dort gleichen mitunter Müllhalden, das Wasser ist oft nicht mehr zum Baden geeignet.

Weltweit sind bereits rund 200 so genannte Todeszonen entstanden, aus denen die Meeresbewohner fliehen, etwa im Golf von Mexiko: Unmengen organischen Materials haben den Lebewesen dort den Sauerstoff genommen. Giftstoffe wie etwa Dioxine oder Pestizide verbreiten sich noch viel weiter, reichern sich in der Nahrungskette an und sind bei Seevögeln, Walen und Eisbären nachweisbar.

Auf den Inseln des Indischen Ozeans gilt der Strandmüll inzwischen als Umweltproblem Nummer eins. Den Jungschildkröten versperrt er den Weg zum Wasser, in den Mägen von Fischen und Vögeln finden sich millimeterfeines Rohgranulat und Styroporkügelchen, leere Plastikgefäße werden zu Brut-

Mehr als vier  
Millionen *Fang-*  
*schiffe* jagen  
heutzutage der  
Beute hinterher



# Kahlschlag unter Wasser

stätten für Malaria-Mücken. Zwischen Kalifornien und Hawaii hat sich in den vergangenen Jahren sogar ein rund drei Millionen Tonnen schwerer Teppich aus Plastikabfällen gebildet, verursacht durch Strömungen von Wind und Wasser. Er ist so groß wie ganz Mitteleuropa.

Es gibt auch Hinweise, dass die weltweit beobachtete Korallenbleiche durch eine verschmutzungsbedingte Abwehrschwäche gefördert worden ist. Für die tropischen Regionen hat der Verlust von Korallenriffen, die vielen Jungfischen Schutz und Nahrung bieten, große ökologische Folgen. Ein Fünftel der Korallenriffe weltweit sind zwar offiziell geschützt, aber 40 Prozent der Schutzgebiete umfassen lediglich ein bis zwei Quadratkilometer, sind also winzig.

Durch die Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre wird zudem seit einigen Jahren mehr Kohlendioxid als früher im Meerwasser gelöst, was die Ozeane versauern lässt. Die Bildung von Kalk wird dadurch behindert, und viele Lebewesen wie etwa planktonische Einzeller, Korallen und Muscheln werden zukünftig nur noch stark deformierte Skelette und Schalen bilden können – mit schwerwiegenden Folgen.

Der Energiehunger der Menschheit macht den Meeren ebenfalls zu schaffen. Bereits ein bis zwei Milligramm Öl genügen, um in einem Liter Meerwasser die Hälfte aller Kleinlebewesen zu töten. Und noch immer sind Hunderte alte Tanker ohne Doppelhülle unterwegs, die erst bis 2015 aus dem Verkehr gezogen werden sollen.

Spektakuläre Tankerunfälle aber sind nicht einmal die größte Gefahr – die lokal betroffene Umwelt erholt sich oftmals innerhalb weniger Jahre. Sehr viel dramatischer in ihren Folgen für das jeweilige Ökosystem sind die Ölförderung auf offener See, der Ölverlust beim alltäglichen Schiffsverkehr sowie Ölreste, die über Flüsse ins Meer gelangen.

In der Nordsee etwa sind die Bohrinseln für ein Drittel der gesamten Belastung mit Öl verantwortlich; bis zu 8000 Quadratkilometer Meeresboden sollen verschmutzt sein. Auf hoher See reinigen die Besatzungen von Tankern und Frachtschiffen häufig unbeobachtet ihre Tanks oder lassen Brennstoffrückstände ab.

Unsichtbar ist hingegen der Eintrag von Radioaktivität. Der bei Fischen gemessene Gehalt an Cäsium ist zwar weit niedriger als noch in den 1960er Jahren (als es nach Atombombenversuchen zu besonders hohen Werten kam), doch nach wie vor leiten etwa die beiden europäischen Wieder-

aufarbeitungsanlagen in La Hague und Sellafield radioaktive Abfälle ins Meer.

Messungen der Umweltschutzorganisation „Greenpeace“ haben Ende der 1990er Jahre ergeben, dass der Meeresboden in der Umgebung der Ausleitungsrohre derart mit Plutonium belastet ist, dass die Proben nach deutschem Recht als Kernbrennstoff einzustufen wären. Bis 2020 erst sollen alle radioaktiven Einleitungen in die Nordsee gestoppt sein.

Als Zeitbombe gelten den Experten die unzähligen Fässer mit Atommüll auf dem Meeresgrund – allein 250 000 im Atlantik. Hinzu kommen 17 U-Boot- und Schiffsreaktoren, die Russland östlich der Insel Nowaja Semlja versenkt hat; auch einige russische und amerikanische Atom-U-Boote, die im regulären Betrieb gesunken sind, liegen am Grund. Und im Gebiet um die russische Stadt Murmansk am Nordpolarmeer sind noch immer Uralt-U-Boote aus den 1950er und 1960er Jahren samt ihren Atomreaktoren am Ufer vertäut. Im Jahr 2005 hat die russische Regierung zudem angekündigt, schwimmende Atomkraftwerke bauen zu wollen.

**D**och trotz aller Eingriffe des Menschen: Noch ist das Meer nicht verloren, die Zeit zum Handeln nicht abgelaufen. Den politischen Willen vorausgesetzt, ließe sich der zunehmenden Verschmutzung mit Verboten und neuer Entsorgungstechnik durchaus Einhalt gebieten. Und in der

Fischerei bedeutet selbst ein Zusammenbrechen eines Bestandes nicht, dass die Art am Rande der Ausrottung steht. Sie ist nur nicht mehr wirtschaftlich produktiv auszubeuten.

Ohnehin ist es kaum vorstellbar, dass eine Fischart allein aufgrund menschlichen Tuns zugrunde geht. Seelebewesen finden sich in der Roten Liste der ausgestorbenen Arten bislang selten, und kein Fisch ist darunter: Den Eintrag EX für „extinct“ tragen die Stellersche Seekuh, der Seenerz, der Riesenalk und die Labradorenten. Erst seit der Umstellung der Systematik im Jahr 2003 finden sich auch Fischarten unter den stark gefährdeten Spezies, so mehrere Hai- und Rochen-

arten sowie der Kalifornische Schweinswal.

Helfen könnten ein strikteres Fischerei-Management und Schutzgebiete. Das haben die Wissenschaftler von der Dalhousie-Universität anhand von 48 geschützten Arealen nachgewiesen. Im Durchschnitt nahm aufgrund der Schutzverordnungen die Artenvielfalt dort um fast ein Viertel zu, in der Umgebung der Schutzgebiete stieg der Fangertag um

In 40 Jahren  
wird womöglich  
keine **Fischart**  
mehr kommer-  
ziell nutzbar sein



das Vierfache. Selbst Bestände, die auf weniger als zehn Prozent der ursprünglichen Menge gesunken waren, konnten sich regenerieren.

Artenschützer empfehlen, 20 bis 50 Prozent der Meeresflächen zu ganzjährigen Null-Nutzungszonen zu erklären; saisonale Schließungen haben sich dagegen nicht bewährt. Mosaikartig sollten sich die Gebiete intensiven Fischfangs mit Erholungszonen abwechseln.

Wichtig sei vor allem der Schutz so genannter „Hotspots der Biodiversität“; das sind Gebiete, in denen sich unter anderem viele der großen Raubfische aufhalten. Die meisten liegen in mittleren Breiten, etwa östlich von Florida, südlich von Hawaii oder an der Ostküste Australiens.

Bislang entsprechen die Meeres- und Küstenschutzgebiete weniger als einem Prozent der Meeresfläche – 4000 sind es an der Zahl, gegenüber 100 000 Land- und Süßwasserschutzgebieten. Der Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung in Johannesburg hat zwar bereits 2002 beschlossen, dass bis zum Jahr 2012 ein Netzwerk von repräsentativen Meeresschutzgebieten etabliert werden soll. Das aber ist nach wie vor nicht mehr als eine Absichtserklärung.

Ob Aquakulturen, also die Aufzucht in Gehegen, zu einer Lösung beitragen können oder eher ein Teil des Problems sind, ist umstritten.

Während für die Landwirtschaft seit Tausenden von Jahren ertragreiche Pflanzensorten und spezielle Tierrassen gezüchtet werden, sind gezüchtete Lachse und Garnelen genetisch noch weitgehend Wildtiere. Das macht die Aufzucht aufwendig.

Zum Teil müssen Jungfische mühsam einzeln gegen Krankheiten geimpft werden. Außerdem sind viele dieser Kulturen von Fischmehl als Futtermittel abhängig. So muss für ein Kilogramm Lachs ein Mehrfaches an Fischmehl eingesetzt werden.

Dennoch stammt schon heute fast ein Drittel der weltweit erwirtschafteten Fischmenge von 133 Millionen Tonnen aus Aquakulturen; deren Bedeutung hat in den vergangenen Jahren stark zugenommen. Dazu zählen riesige Unterwasser-gehege, in denen in norwegischen Fjorden Lachse gehalten werden, Thunfisch-Maststationen vor der spanischen Küste sowie Wasserfarmen vor allem in China, Indien, Bangladesch und Kambodscha, in denen Muscheln, Krebse und Großalgen herangezogen werden.

Auch das Verhalten der Konsumenten kann zum Wohl der Meere beitragen. So hat der Verzicht auf mit herkömmlicher

Methode gefangenen Thunfisch dazu geführt, dass der Beifang an Delfinen drastisch zurückgegangen ist.

**E**xperten der deutschen Bundesforschungsanstalt für Fischerei fordern inzwischen jedoch zum generellen Boykott von Thunfischprodukten auf; der Bestand des Raubfisches sei im Atlantik und Mittelmeer besorgniserregend zurückgegangen. Greenpeace rät insbesondere von Arten ab, die mit Grundschleppnetzen gefangen werden, wie Scholle und Garnelen. Für jedes Kilo Scholle auf den Tellern seien bis zu neun Kilo anderer Tiere umgekommen. Derzeit, so Greenpeace, seien nur drei Arten mit gutem Gewissen zu essen: Makrele, Hering und Seelachs.

Immerhin existiert seit 1997 ein vom WWF und dem Unternehmen Unilever entwickeltes Konzept zur Zertifizierung von Tieren aus nachhaltig befischten Beständen, das Marine Stewardship Council (MSC). Es ist heute ein weltweit anerkanntes Markenzeichen, ähnlich dem Forest Stewardship Council (FSC) für Holzprodukte.

Die Belastung der Meere durch den Menschen wird in den kommenden Jahren nicht abnehmen. Die Weltbevölkerung wächst weiter, der Wohlstand ebenfalls und damit auch der Proteinbedarf und der Müllberg.

Nach Schätzungen der Welternährungsorganisation FAO wird die Nachfrage bis 2015 um 50 Millionen Tonnen Fisch steigen, auf dann 183 Millionen Tonnen. Wie dieser Bedarf gedeckt werden soll, kann heute noch niemand sagen. Die FAO sieht die Gefahr, dass weitere Bestände überfischt werden und sich eine schon zu beobachtende Tendenz verstärkt: das „fishing down the food chain“, der Fang von in der Nahrungskette immer tiefer stehenden Spezies, bis hin zum Krill – kleinen Krebsen. Mit nachhaltiger Fischerei hat das dann nichts mehr zu tun.

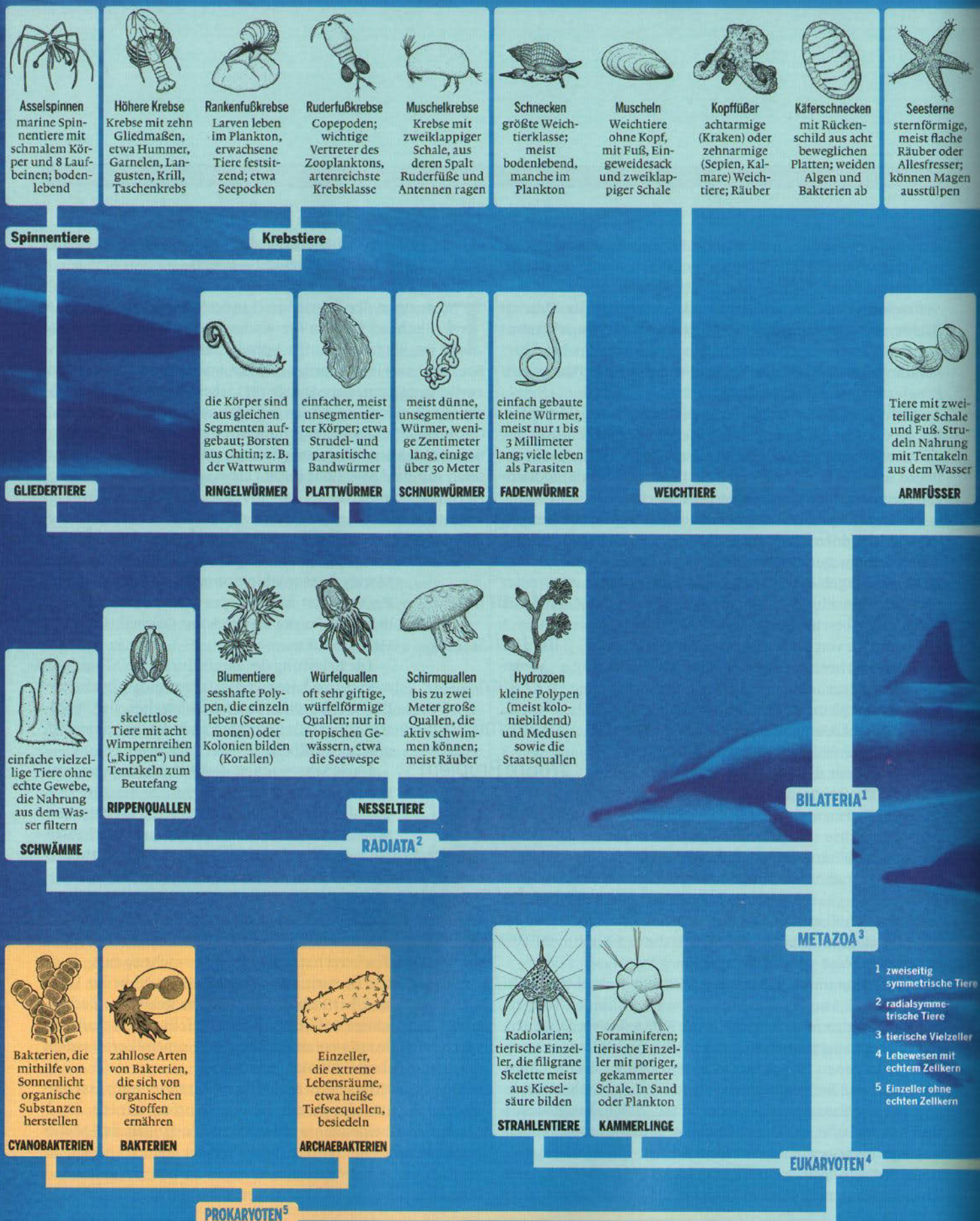
Die Industrie ist nach Ansicht der FAO kaum in der Lage, dieser Art von Überfischung Einhalt zu gebieten. Zudem sind Schutzgebiete auf kurze Sicht zweifellos wirtschaftlich kostspielig, sie müssen eingerichtet und kontrolliert werden, die Fischer haben einen Verdienstausschlag.

Doch je länger die Menschheit wartet, desto radikaler muss später das Ruder herumgeworfen werden. Und umso einschneidender werden dann die Folgen des Nichthandelns sein. □

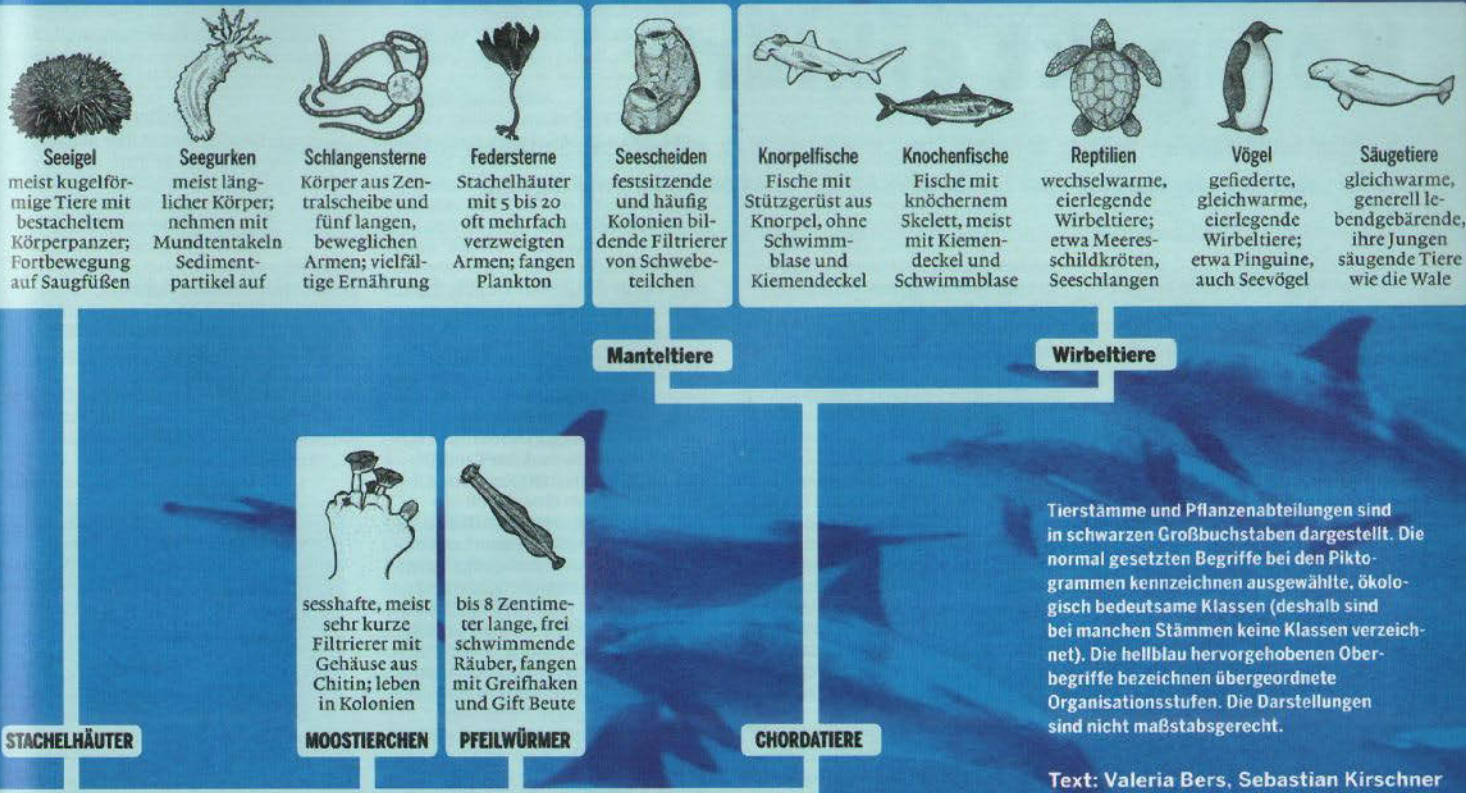
Claus Peter Simon, 45, ist Geschäftsführender Redakteur von GEOkompakt.

## Auf den Inseln im Indischen Ozean ist Strandmüll das größte Problem









Tierstämme und Pflanzenabteilungen sind in schwarzen Großbuchstaben dargestellt. Die normal gesetzten Begriffe bei den Piktogrammen kennzeichnen ausgewählte, ökologisch bedeutsame Klassen (deshalb sind bei manchen Stämmen keine Klassen verzeichnet). Die hellblau hervorgehobenen Oberbegriffe bezeichnen übergeordnete Organisationsstufen. Die Darstellungen sind nicht maßstabsgerecht.

Text: Valeria Bers, Sebastian Kirschner  
Illustration: Eric Tscherné

# DIE BEWOHNER DER MEERE

Nirgendwo ist das Leben so bunt, bizarr und vielgestaltig wie in den Ozeanen. Mikroskopisch kleine Algen, welche die Energie des Sonnenlichts einfangen, existieren neben 160 Tonnen schweren und bis zu 33 Meter langen Walen, pfeilschnelle Schwimmer treffen auf festsitzende Tiere, etwa Seepocken. Zahlreiche Wurmformen kommen vor, aber auch Organismen mit kugelförmigem Körperbau und solche mit Kopf und Schwanz. Von 26 Tierstämmen – also Lebewesen mit gleichem Grundbauplan – sind 25 im Meer vertreten. Dieser Stammbaum zeigt die wichtigsten Stämme und Klassen mit ihren (deutlich vereinfachten) Verwandtschaftsbeziehungen



\* Aufgrund neuer Erkenntnisse rechnen viele Systematiker diese Algen heute zu den so genannten »Protoctistena«: einer Sammelgruppe für derzeit nicht eindeutig zu klassifizierende Lebewesen (siehe GEOkompakt Nr. 5 »Geheimnis Natura«). Für die meisten Meeresforscher und Ökologen zählen sie jedoch weiterhin zu den Pflanzen, da sie Photosynthese betreiben. Auch in diesem Heft werden alle Algen aus pragmatischen Gründen als Pflanzen bezeichnet.



# Kompakt erklärt

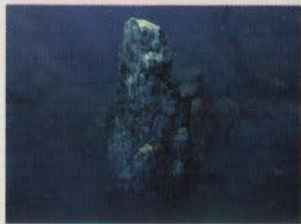
Wichtige Fachbegriffe – präzise definiert. Die Zahlen geben an, auf welchen Seiten sie vorkommen und wo sie (**blau hervorgehoben**) zum Verständnis eines Textes besonders wichtig sind

## Aerobe Atmung

Stoffwechseltyp, bei dem Lebewesen Sauerstoff zur Gewinnung chemischer Energie aus Traubenzucker oder anderen organischen Substanzen nutzen. (108)

## Aminosäuren

Organische Moleküle mit mindestens einer Aminogruppe ( $-NH_2$ )



## Seamounts

Seamounts sind steile Berge, die mehr als 1000 Meter vom Meeresgrund aufragen, die Wasseroberfläche aber nicht erreichen. Ihr Ursprung ist meist vulkanisch. Vereinzelt oder zu Gebirgszügen vereint, kommen sie in allen Ozeanen vor; ihre Zahl wird auf mehr als 30 000 geschätzt.

Die Unterwasserberge sind besonders artenreich, weil Tiefenströmungen sie üppig mit Nährstoffen versorgen und sich über ihnen Fischlarven und andere Plankton-Organismen sammeln, die wiederum Futter für zahlreiche größere Tiere sind, darunter viele wandernde Fische. Darüber hinaus sind Seamounts aufgrund ihrer Abgeschiedenheit auch Heimat für viele Arten, die ausschließlich hier leben.

und mindestens einer Carboxylgruppe ( $-COOH$ ); Bausteine der Eiweiße. (93, 135)

## Anaerobe Atmung

Alle Wirbeltiere und die meisten Wirbellosen nehmen Sauerstoff auf, den sie für ihren Stoffwechsel benötigen. Ihre Lebensweise bezeichnet man als aerob. Einige Gewebe jedoch können für eine gewisse Zeit die Atmung ohne Sauerstoff fortführen. Bei diesem so genannten anaeroben Stoffwechsel werden Nahrungsmoleküle zu Milchsäure umgebaut. Diese wiederum wird abgebaut, wenn der Sauerstoff wieder in ausreichender Menge vorhanden ist. Die anaerobe Atmung liefert jedoch deutlich weniger Energie als die **aerobe Atmung**. (108)

## Atoll

Ringförmiges Korallenriff, das eine flache **Lagune** umschließt. Man findet Atolle vor allem im Pazifik und im Indischen Ozean. Sie entstehen durch Steinkorallen, die sich an den Flanken eines Vulkans ansiedeln, der im Laufe der Zeit versinkt. Die Korallen wachsen bis unter den Meeresspiegel empor. (90, 92)

## Bar

Veraltete, aber noch gebräuchliche Einheit für den Druck. Der Druck bezeichnet die Kraft, die auf eine bestimmte Fläche wirkt. Der mittlere Luftdruck auf Meereshöhe beträgt ungefähr ein Bar. Im Meer nimmt der Druck der Wassersäule rasch zu, und zwar pro zehn Meter Wassertiefe um ein Bar. In der Tiefsee herrscht folglich, je nach Wassertiefe, ein

Druck von 100 bis mehr als 1100 Bar und damit der größte Druck, der in der belebten Umwelt auftritt. (30, 119)

## Biolumineszenz

Biologische Lichterzeugung durch lebende Organismen. Sie ist im Meer weit verbreitet, etwa bei Tiefseeeorganismen, und das Produkt einer biochemischen Reaktion: Es handelt sich um eine durch ein bestimmtes Enzym vermittelte chemische Reaktion eines Leuchtstoffes (meist Luziferin), der dabei in einen energiereichen Zustand versetzt wird. Anschließend kehrt das Leuchtstoffmolekül in seinen Grundzustand zurück. Als Folge dieser Reaktion werden 80 bis 95 Prozent der entstehenden chemischen Energie in Form von Licht freigesetzt. (84, 119)

## Biomasse

Das Gewicht lebenden Materials einer Lebensstätte – als Maß pro Flächeneinheit Land oder pro Volumen Wasser verwendet. Sie wird unter anderem als Trocken- oder Frischmasse angegeben. (39, 61, 83, 85, 86, 135, 136, 138)

## Bioprospektoren

Forscher, die neue Wirkstoffe meist aus Meeresorganismen wie etwa Schwämmen, Seescheiden, Schnecken und Algen isolieren. Denn viele Meeresbewohner bilden antibakterielle Stoffe oder Gifte, die heute in der Medizin Verwendung finden können, zum Beispiel als Schmerzmittel oder in der Krebstherapie. (128)

## Biotop

griech. *bios* = Leben; *topos* = Ort. Räumlich abgrenzbare Einheit eines **Ökosystems**. Dieser Lebensraum (Habitat) wird maßgeblich durch typische Umweltbedingungen wie Temperatur, Nahrung und Sauerstoff geprägt. (28, 38, 41, 59, 60)



## Mangroven

In den flachen Gezeitenzonen vieler warmer Meere, häufig in Flussmündungen, gedeihen Mangrovenbäume: immergrüne Gewächse, die mit langen Stelzwurzeln im flachen Wasser stehen und über Atemporen in den Wurzeln Luftsauerstoff aufnehmen. Die Mangrovenbäume sind an den Salzgehalt des Wassers angepasst – etwa indem sie das aufgenommene Wasser entsalzen oder das Salz über spezielle Drüsen an den Blättern ausscheiden. Das Dickicht der im Meeresboden verankerten Wurzeln stabilisiert den Boden und bietet vielen Tieren Lebensraum: etwa kleinen Fischen, Krebsen, Muscheln oder Schnecken. Weltweit bedecken Mangroven eine Fläche von rund 14,6 Millionen Hektar; knapp die Hälfte davon liegt in Süd- und Südostasien.

## Zeitleiste Die wichtigsten Daten aus der Geschichte der Meeresforschung

900–700 v. Chr. Die altgriechischen Dichter Homer und Hesiod nennen den die Erdscheibe umfließenden Weltstrom nach einem der griechischen Meeresgötter „oceanós“. Daraus entwickelt sich die Bezeichnung „Ozean“.

um 440 v. Chr. Der Grieche Herodot von Halikarnassos erwähnt den Atlantik. Die Bezeichnung „Atlantikon pélagos“ bedeutet „Meer des Atlas“.

384–322 v. Chr. Der griechische Philosoph und Naturforscher Aristoteles beschreibt in seinem Werk „Historia Animalium“ Dutzende

Arten von Meerestieren, darunter Krebse, Weichtiere, Stachelhäuter und Fische. Er ordnet Delfine den Säugetieren zu, und wenn er vom „Schaum des Meeres“ spricht, meint er wahrscheinlich das Plankton.

1553 Der französische Arzt Pierre Belon veröffentlicht ein Sammelwerk über Wassertiere. Er unterscheidet Fische von anderen im oder am Wasser lebenden Tieren, stellt sie in naturgetreuen Abbildungen dar und beschreibt 110 Fischarten.

1799–1804 Alexander von Humboldt erkundet auf einer mehr-

jährigen Forschungsreise Süd- und Mittelamerika. Dabei untersucht er auch das Meer und schlägt vor, Schiffe speziell für solche Zwecke auszurüsten.

1812 Georges Cuvier, Professor für vergleichende Anatomie in Paris, teilt das Tierreich ein in Gliedertiere, Strahltiere, Wirbeltiere und Weichtiere.

1818 Mit einem Greifarm holt der englische Polarforscher Sir John Ross die ersten Sedimentproben aus der Tiefsee. Zudem fördert er verschiedene Würmer und einen Schlangenstein aus 1800 Meter Tiefe zutage. Doch die



Georges Cuvier

Idee, in so großer Meerestiefe könnte Leben existieren, erscheint zu jener Zeit derart unglaubwürdig, dass sein Fund in Vergessenheit gerät.

1825 Der englische Erfinder William James konstru-

iert den ersten funktionsfähigen „Self-contained Underwater Breathing Apparatus“ (SCUBA). Taucher können damit komprimierte Luft für einen siebenminütigen Tauchgang mit sich führen.

1828 Der irische Arzt und Hobby-Naturforscher John Vaughan Thompson sammelt Plankton vor der irischen Küste und beschreibt es zum ersten Mal systematisch.

1831 Charles Darwin (1809–1882) beginnt seine fünf Jahre dauernde Weltreise an Bord der „Beagle“. Auf der Expedition sammelt er nicht nur Beobachtun-

gen und Fakten, die ihn später zu seiner Evolutionstheorie anregen, sondern gewinnt auch Erkenntnisse über den Aufbau von Korallenriffen und die Entstehung von Atollen.

1843 Der englische Naturforscher Edward Forbes stellt fest, dass die Artenzahl mit der Meerestiefe abnimmt. Andere Wissenschaftler schließen daraus, das Meer unterhalb von 600 Metern sei eine leblose Wüste. 17 Jahre später erweist sich dies als falsch: Für Reparaturarbeiten holen Techniker im Mittelmeer ein Überseekabel aus



## Biozönose

Lebensgemeinschaft; räumlich und zeitlich zusammenlebende Arten. (41)

## Chemosynthese

Aufbau von organischen Verbindungen durch bestimmte Bakterien, die etwa giftigen Schwefelwasserstoff oder Methan abbauen und die dabei frei werdende Energie nutzen können. Dieser Prozess ist vergleichbar mit der **Photosynthese**, wobei im Fall der Chemosynthese nicht das Sonnenlicht, sondern chemische Substanzen die Energie liefern. (121)

## Conotoxine

Gifte der Kegelschnecken. Es handelt sich um relativ kleine Peptide (kurze Aminosäureketten), die vermutlich aufgrund ihrer geringen Größe extrem schnell im Beuteorganismus verteilt werden und daher sehr schnell wirken. Sie führen zu Krämpfen und Lähmungserscheinungen. Die Gifte werden mit einem pfeilähnlichen Zahn der Schnecke in die Beute injiziert. Man unterteilt Conotoxine nach nerven- und muskelschädigender Wirkung. Das Gift einer jeden Kegelschnecken-Art verfügt über ein typisches Set von bis zu 200 individuellen Conotoxinen. (128)

## Cyanobakterien

Blau-grüne Bakterien, die **Photosynthese** betreiben können. Im Meer kommen sie sowohl im freien Wasser als auch auf sandigem und felsigem Untergrund vor, in tropischen Meeren tragen sie einen beträchtlichen Teil zur **Primärproduktion** bei. (31, 61, 82, 83, 144)

## Diatomeen

Kieselalgen; einzellige Algen mit einer schachtelförmigen Zellohülle aus Silikat. Die Schalen sind charakteristisch strukturiert. Aufgrund der Schalenform unterscheidet man rundliche und längliche Formen. Rundliche Diatomeen leben vor allem im **Plankton**, während längliche am Boden leben.

Letztere können mithilfe einer Öffnung, aus der sie Schleim absondern, über den Boden kriechen. (38, 83)

## Dinoflagellaten

Panzergeißler; wichtige Einzellergruppe des **Planktons**, die sich mit ein oder mehreren Geißeln (Flagellen) fortbewegen. Einige ihrer Vertreter zählen zum **Phytoplankton**, andere zum **Zooplankton**. (61, 83, 84, 129, 135, 145)

## Epiphyten

griech. *epi* = auf; *phyton* = Gewächs. Aufsitzerpflanzen, gehören einer Reihe völlig unterschiedlicher Pflanzengruppen an. Ihnen allen aber ist gemein, dass sie nicht auf dem Boden, sondern auf anderen lebenden Organismen wachsen – zumeist, ohne diese zu schädigen. (59)

## Eulitoral

Gezeitenzone, der Bereich zwischen dem mittleren höchsten und tiefsten gezeitenbedingten Wasserstand. Die dort lebenden Organismen sind an das periodische Trockenfallen angepasst. Daher ist der Artenreichtum hier wesentlich größer als im **Supralitoral**. (30)

## Fronten

Gebiete im Meer, an denen Wassermassen etwa von unterschiedlichem Salzgehalt oder Temperatur aufeinander treffen. Sie bilden sich überall dort, wo Flüsse ins Meer münden oder verschiedene Meeresströmungen aufeinander treffen. Fronten zeichnen sich oft durch ein hohes Nahrungsangebot aus und dienen vielen Meeresbewohnern zur Orientierung, beispielsweise bei den großräumigen Laichzügen mancher Fische oder der Wanderung von jungen Schildkröten. (47)

## Gezeiten

Die hauptsächlich durch die Anziehung des Mondes bewirkte, periodische Wasserstandsschwankung in den Meeren der Erde, also der Zyklus von ablaufendem und auflaufendem Wasser. (30, 31, 38, 39)

## Baupläne der Meerestiere

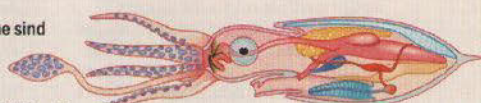
**KNOCHENFISCHE:** Besitzen meist eine Schwimmblase (blau), haben einen Verdauungstrakt ähnlich wie Landwirbeltiere (rosafarben) sowie einen geschlossenen Blutkreislauf mit Hauptschlagader (rot). Ihr Körper wird von Knochen stabilisiert.



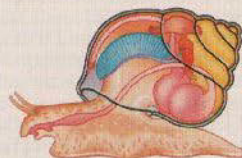
**KREBSE:** Gegliederter, mit Chitinpantzer umhüllter Körper (violett = Verdauungstrakt; blau = Verdauungsdrüse). Der Kreislauf (rot) ist offen; Blut, hier Hämolymphe, fließt bei größeren Arten durch den Körper zum Herzen zurück. Das Nervensystem (grün) besteht aus Knoten.



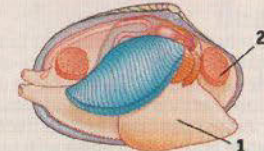
**KOPFFÜSSER:** Acht oder zehn Arme sind um eine Mundöffnung angeordnet, durch die Nahrung in den Verdauungstrakt (rosafarben) befördert wird. Der Darm mündet in die Mantelhöhle, die auch die Kiemen (blau) enthält. Das Kreislaufsystem (rot) ist sehr leistungsfähig. Nur wenige Arten haben noch ein Gehäuse; oft gibt es nur eine innere, dünne Rückenplatte (weißlich).



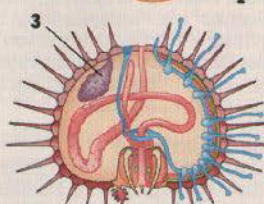
**SCHNECKEN:** Die Weichtiere sind in Kopf, kräftigen Fuß und Eingeweidesack gegliedert, der meist von einem Gehäuse geschützt wird. Darin liegen Kiemen (blau), Verdauungstrakt (rosafarben) und Kreislaufsystem (rot).



**MUSCHELN:** Sind von einer zweiklappigen Schale umhüllt, leben meist sesshaft und filtern Schwebstoffe. Diese Weichtiere haben keinen Kopf, sondern nur einen Fuß (1) und einen Eingeweidesack, der Kiemen (blau) und Verdauungsorgane (rosafarben) enthält. Starke Muskeln (2) können die Schalen verschließen.



**SEEIGEL:** Mit dem Mund (unten) aufnehmen Nahrung passiert den Verdauungstrakt (rosafarben) und wird oben ausgeschieden. Mit Füßchen (blau) und Stacheln bewegen sich die Tiere fort. Zur Fortpflanzung geben sie aus Keimdrüsen (3) Spermien oder Eizellen ab.



**SCHWÄMME:** Diese primitiven Tiere haben spezialisierte Zellen, aber keine Organe. Durch Poren (blau) einer äußeren Zellschicht (rot) strömt das Wasser mit der Nahrung, befördert von begeißelten Zellen (violett), und verlässt das Tier durch eine Öffnung (links).



2000 Meter Tiefe, an dem Muscheln, Schnecken und Weichkorallen festgewachsen sind.

1847 Der englische Botaniker Joseph Dalton Hooker erkennt, dass Diatomeen (Kieselalgen) zu den Pflanzen gehören.



Edward Forbes

1855 Der amerikanische Forscher Matthew Fontaine Maury veröffentlicht „The Physical Geography of the Sea“, das erste umfassende Werk über moderne Ozeanographie. Darin beschreibt er etwa den Einfluss des Golfstroms auf das Klima der nördlichen Erdhalbkugel.

1859 Die weltweit erste permanente biologische Meeresstation wird in Concarneau an der französischen Atlantikküste gegründet.

1862 Ernst Haeckel, Professor für Zoologie, veröffentlicht seine „Monographie

der Radiolarien“ (Strahlentierchen). Er verfasst weitere Monographien etwa über Kalkschwämme (1872) und Medusen (1879–1881).

1865 Mit einer ins Wasser hinabgelassenen Scheibe misst der italienische Astrophysiker Pietro Angelo Secchi die Wassertrübung. Die „Secchi-Scheibe“ wird noch heute zur schnellen Bestimmung der Sicht im Wasser verwendet.

1872–1876 Charles Wyville Thomson, Professor für Naturgeschichte in Edinburgh, leitet die erste weltumrundende ozeanogra-



Joseph D. Hooker

phische Forschungsreise an Bord der „H.M.S. Challenger“. Die Challenger bereist alle Ozeane, über deren tiefere Schichten zu jener Zeit so gut wie nichts bekannt ist – 4717 Meerestierarten werden zum ersten Mal beschrieben. Thomsons Assistent John Murray veröffentlicht später die

Ergebnisse der Expedition in 50 Bänden. Diese „Challenger Reports“ legen den Grundstein der modernen Ozeanographie.

1877 Der Zoologe Karl August Möbius beschreibt in seinem Buch „Die Auster und die Austerwirtschaft“ die wechselseitige Abhängigkeit zwischen allen Lebewesen einer Austerbank in der Nordsee und prägt dabei den Begriff der Lebensgemeinschaft oder „Biozönose“.

1878 Der französische Physiologieprofessor Paul Bert erkennt die Ursache für die Taucherkrankheit: Bei

zu schnellem Aufsteigen bilden sich Stickstoffgasbläschen in verschiedenen Geweben, etwa Blutgefäßen, Gelenken und dem Nervensystem.

1885 Der französische Physiologe Raphaël Dubois erforscht die Biolumineszenz. Er experimentiert mit dem Leuchtschnellkäfer Pyrophorus und vermutet ein Zweikomponenten-System hinter dessen Leuchtmechanismus. 1887 entdeckt er in zwei unterschiedlich behandelten Zellenextrakten aus der Steinbohrmuschel die beiden Komponenten, die für die Biolumineszenz vonnöten sind. Die eine nennt er



## Haarsinneszellen

Außergewöhnlich empfindliche Sinneszellen, die für die Umwandlung von mechanischen Reizen in elektrische Signale verantwortlich sind. Man findet sie im **Seitenlinienorgan** der Fische und Amphibien, wo sie Wasserbewegungen registrieren, aber auch in den Hörorganen und Gleichgewichtsorganen anderer Wirbeltiere. (67)

## Hydrothermale Quellen

Bis zu 407 Grad Celsius heiße, mineralreiche Quellen am Meeresboden, die dort liegen, wo ozeanische Erdkrustenplatten auseinander driften oder sich übereinander schieben. Entlang schmaler Spalten im rissigen Gestein steigt heißes Magma bis nahe an den Meeresboden und erhitzt das dort einsickernde Meerwasser. Dieses wird zudem stark mit hochgiftigem Schwefelwasserstoff sowie Mineralien angereichert und tritt als so genannter Black Smoker am Meeresboden hervor. Der Schwefelwasserstoff wird von speziellen Bakterien genutzt, die mittels **Chemosynthese** organische Verbindungen aufbauen. (121)

## Krill

Krebse aus der Familie der Leuchtgarnelen. Am bekanntesten ist der antarktische Krill, der in den Sommermonaten im Südozean riesige Schwärme in Oberflächennähe bildet. Er ernährt sich im Sommer von **Phytoplankton**, im Winter weidet er Eisalgen von der Unterseite des Packeises ab. (55, 102, 107, 109, 116, 132, 133, 134, 135, 136, 138, 143, 144)

## Konsumenten

Alle Lebewesen, die Energie in Form von organischen Stoffen aufnehmen müssen, um ihre Lebensfunktionen zu erhalten. Es gibt verschiedene Abstufungen: Pflanzenfresser stehen in der Nahrungskette der Konsumenten an erster Stelle. Sie sind es, welche „pflanzliche“ Energie, die bei der **Primärproduktion** gebildet wird, aufnehmen. Pflanzenfresser wie-



## Sargassosee

Die Sargassosee ist ein Meer im Meer. Ein linsenförmiger, sich langsam im Uhrzeigersinn drehender Wasserwirbel im subtropischen Atlantik nahe Bermuda. Mit einer Fläche von rund vier Millionen Quadratkilometern ist er etwa halb so groß wie Australien. Der mehr als 20 Grad Celsius warme Wirbel, der stellenweise 1000 Meter tief reicht, unterscheidet sich deutlich vom umgebenden Ozean.

Die Sargassum-Blasentange, die dieser Region den Namen gegeben haben, treiben dort in riesigen, dichten Matten, die bis in 50 Meter Tiefe reichen können. Sie bieten vielen ungewöhnlichen Tieren eine Heimat: etwa der Sargassumkrabbe sowie einer winzigen Nachtschnecke, die die Form des Tangs nachahmt. Der bis zu 15 Zentimeter lange Sargassofisch nutzt seine Brustflossen, um sich wie mit zwei Greifhänden durch das dichte Tang-Gestrüpp zu hangeln.

Alle Europäischen Flusssaale schlüpfen in der Sargassosee. Als erwachsene Tiere kehren sie dorthin zurück, um zu laichen – und dann dort zu sterben.

derum stehen auf den Speisezetteln der Fleischfresser. Es gibt auch Organismen, die sich von abgestorbenem Material, dem so genannten Detritus, ernähren. (85, 138)

## Kontinentalschelf

Küstennaher Meeresboden, etwa bis 200 Meter Tiefe. Der Schelf ist Bestandteil der Festlandmasse, er besteht somit aus kontinentaler Kruste. Je nach Neigung des Meeresbodens kann der Schelf ein schmaler Saum oder ein brei-

ter Gürtel sein. Landwärts wird der Schelf durch den Küstensaum begrenzt; seewärts ist es die **Schelfkante**, die den Schelfbereich abschließt. Dahinter folgt der Kontinentallhang, der den Übergang zur Tiefsee bildet. (46)

## Lagune

Ein vom offenen Meer etwa durch Korallenriffe abgetrenntes seichtes Wasserbecken. (90, 91, 92, 96)

## Lorenzinische Ampullen

Sinnesorgane bei Haien und Rochen, mit denen sie elektrische Ströme wahrnehmen, die durch Bewegungen im gut leitenden Meerwasser unter dem Einfluss des Erdmagnetfeldes entstehen. Sie bestehen aus röhrenförmigen Kanälen mit einem offenen und einem kugelförmig aufgeblähten Ende und befinden sich im Kopfbereich. (67)

## Meeresleuchten

Bestimmte **Dinoflagellaten** erzeugen mithilfe ihrer **Biolumineszenz** das seit dem Altertum bekannte Meeresleuchten. Manche Spezies reagiert mit Lichtblitzen auf mechanische Reize wie Wellen oder Schwimmbewegungen. (84)

## Meeresschnee

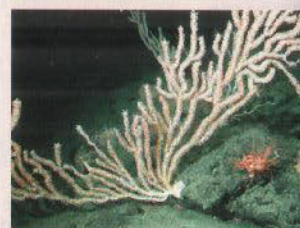
Entsteht im freien Wasser durch das Zusammenhaften von Kotballen, **Phytoplankton** und leeren Gehäusehüllen mariner Organismen, wird während des Absinkens von Bakterien und Kieselalgen besiedelt. Durch bakterielle Abbauprozesse werden organische Nährstoffe an das umgebende Meerwasser abgegeben. Meeresschnee ist daher wichtig für den Stofftransport in tiefere Wasserschichten. (117, 119)

## Nahrungsnetz

Das komplexe Gefüge der Nahrungsbeziehungen in einem Lebensraum, etwa dem Korallenriff. (61, 39, 85)

## Newton

Einheit der Kraft. Ein Newton (N) beschreibt die Kraft, die benötigt



## Korallen der Finsternis

Korallenriffe wachsen nicht nur in den warmen Gewässern der Tropen, sondern auch in den kalten Tiefen der Ozeane: an Kontinentallhängen und unterseischen Bergen. Da die Kaltwasser-Korallenpolypen – anders als ihre tropischen Verwandten – nicht in Symbiose mit Algen leben (siehe Seite 88) und daher nicht auf Licht angewiesen sind, können sie in 100 bis 1500 Meter Wassertiefe leben. Weil ihnen die Algen fehlen, verläuft ihre Kalkabscheidung extrem langsam: Sie wachsen im Schnitt lediglich 0,1 Zentimeter pro Jahr, werden jedoch mehrere hundert Jahre alt.

Kaltwasser-Korallen leben mehr als 1300 Tierarten einen Lebensraum – darunter Schwämme, Haarsterne, Muscheln, Seeigeln, Grenadier- und Sägebauchfische sowie vielen Jungfische. Das größte bekannte Kaltwasserriff der Welt ist mit 40 Kilometer Länge und einer Fläche von 100 Quadratkilometern das vor der norwegischen Küste gelegene Rost Riff.

wird, einen Körper mit der Masse von einem Kilogramm in einer Sekunde auf die Geschwindigkeit von einem Meter pro Sekunde zu beschleunigen. Benannt nach dem englischen Physiker, Mathematiker und Astronom Sir Isaac Newton (1643–1727). (34, 54)

## Ökologische Nische

Gesamtheit aller wesentlichen Umweltmerkmale, die Individuen einer Art benötigen, um überleben, wachsen und sich fortpflanzen zu können. (92, 106)

Luziferin, die andere Luziferase (lat. *luzifer* = Lichtbringer). Erst wenn diese miteinander reagieren, entsteht Licht.

1887

Der Kieler Physiologieprofessor Victor Hensen prägt den Begriff „Plankton“ (griech. „das Dahintreibende“) und wird zum Begründer der Biologischen Ozeanographie. Anhand der Menge an Nährstoffen und Plankton in einem Gebiet kann laut Hensen der Ertrag an Fischen ermittelt werden.

1893

Der norwegische Polarforscher Fridtjof Nansen findet bei einer Expedition zum Nordpol heraus,



Victor Hensen

dass unterhalb der arktischen Eisdecke ein 2000 bis 3000 Meter tiefes Becken liegt.

31. Juli 1898 – 1. Mai 1899 Der Zoologe Carl Chun leitet die erste groß angelegte deutsche Expedition zur Erforschung der Tiefsee. Sein umgebaute Linienampfer „Valdivia“

verfügt über ein Netz, das in festgelegten Tiefen geöffnet und geschlossen werden kann. Ergebnis der Fanganalyse: „Das Leben passt sich jeder Meeres Tiefe an!“ Während der Exkursion erkunden die Forscher erstmals die Tiefen des Südozeans, indem sie Gewichte an Leinen bis zum Grund lassen.

1902

In Kopenhagen wird das „International Council for the Exploration of the Sea“ von acht europäischen Staaten gegründet. Ziel des ICES ist in den Anfangsjahren die wissenschaftliche Arbeit an allen praktischen Problemen der Fischerei.

Heute ist der ICES eine moderne zwischenstaatliche Organisation, die sich vorwiegend mit Meeresforschung im Nordatlantik beschäftigt.

1925–1927

Die deutsche „Meteor“-Expedition widmet sich der Untersuchung des Meeresbodens. Dabei verwendet sie vor allem das erste Echolot, das 1912 von dem deutschen Physiker Alexander Behm entwickelt worden ist.

1934

Die amerikanischen Zoologen William Beebe und Otis Barton sind die ersten Menschen, die Lebensgemeinschaften der Tiefsee

beobachten. Ihre Tauchfahrt an Bord einer „Bathysphere“ (Druckkammer in Form einer hohlen Stahlkugel, die an einem Seil hinabgelassen wird) erreicht eine Tiefe von 923 Metern.

1942–43

Der französische Marineoffizier Jacques-Yves



Fridtjof Nansen

Cousteau und der Gasingenieur Emile Gagnan konzipieren einen Lungenautomaten. Durch die einfache Konstruktion wird er zum erschwinglichen Massenartikel für wissenschaftliches und kommerzielles Tauchen.

1946

Die Internationale Walfang-Kommission (IWC) wird gegründet. Die ersten Jahrzehnte der IWC sind eher von der Ausbeutung der Walfbestände als von Schutzgedanken geleitet. 1982 aber beschließt die IWC ein Verbot des kommerziellen Walfangs für die am stärksten bedrohten Arten, das 1986 in



## Ökosystem

griech. *oikos* = Haus, Haushaltung. Wirkungsgefüge, das die Gesamtheit der Lebewesen (**Biozönose**) und ihren Lebensraum (**Biotop**) in ihren Wechselbeziehungen umfasst. (22, 36, 39, 41, 60, 61, 96, 100, 101, 105, 121, 134, 136, 137, 140, 141, 142)

## Osmotischer Druck

Kommt immer dann zustande, wenn zum Beispiel wässrige Flüssigkeiten mit einer unterschiedlichen Ionenkonzentration durch eine selektiv durchlässige Membran (etwa Zellmembranen bei Pflanzen und Tieren) voneinander getrennt sind. Diese lässt das Lösungsmittel Wasser vollständig, die gelöste Substanz jedoch nicht oder nur unvollständig passieren. Das durch die Membran einströmende Lösungsmittel übt so einen Druck auf die Zellmembranen aus. (135)

## Plankton

griech. = das Dahintreibende. Die Gesamtheit der Lebewesen in Gewässern, deren Fähigkeit zur Eigenbewegung nicht ausreicht, um gegen die Strömung anzuschwimmen, die also verdriftet werden. Man unterscheidet hierbei fünf Gruppen: heterotrophe Bakterien, Viren, Pilze, **Phytoplankton** und **Zooplankton**. (17, 22, 33, 47, 53, 55, 81, 82, 83–86, 91–93, 95, 96, 101, 112, 133–135, 138, 144, 145)

## Photosynthese

Aufbau von organischen Kohlenstoffverbindungen wie Traubenzucker unter Nutzung von Lichtenergie, wobei Sauerstoff frei wird. Im Meer betreiben ein- und mehrzellige Algen, **Cyanobakterien** sowie Seegräser Photosynthese. (58, 59–61, 82–86, 93, 116, 117, 121, 134, 135, 145)

## Phytoplankton

Treibende Organismen des freien Wassers – wie einzellige Algen und **Cyanobakterien** –, die **Photosynthese**

betreiben. Sie sind die hauptsächlichen **Primärproduzenten** der Ozeane. (47, 61, 83, 84, 85, 86, 132, 134, 138, 145)

## Primärproduktion

Aufbau von Biomasse aus anorganischen Substanzen durch die **Photo-** oder **Chemosynthese** der Pflanzen und Bakterien. (61)

## Produzenten

Sammelbegriff für alle Lebewesen, die in der Lage sind, anorganische Grundstoffe mithilfe von Licht in organische Kohlenstoffverbindungen umzuwandeln. Dies erfolgt durch die Prozesse der **Photosynthese** bei Pflanzen und einigen Bakterien oder durch **Chemosynthese** bei Bakterien etwa an **hydrothermalen Quellen**. Die Produzenten bilden im Ökosystem die Grundlage, von der alle anderen Organismen leben. (85)

## Putzsymbiose

Partnerschaft, bei der beispielsweise Fische oder Garnelen andere Meeresbewohner von Parasiten, abgestorbenen Hautstücken und Nahrungsresten befreien, meist an räumlich begrenzten Putzstationen. Um von ihren „Kunden“ nicht gefressen zu werden, zeigen sie ihre Putzbereitschaft durch bestimmte Signale an. Im Gegenzug halten die „Kunden“ still, sperren Maul und Kiemendeckel weit auf; einige wechseln sogar ihre Farbe. (95)

## Schelfkante

Schmale Zone am Übergang vom **Kontinentalschelf** zum Kontinentalfallhang, an dem sich die Neigung des Meeresbodens deutlich verstärkt. (47)

## Schweresteine

Kalkige Strukturen in Einzellern und in den Sinnesorganen vieler höherer Lebewesen. Verändern sie ihre Lage, stimulieren sie spezielle Rezeptoren und ermöglichen so dem Organismus, Beschleunigungen sowie die Schwerkraft wahrzunehmen. Sie sind Teil des Lage- bzw. Gleichgewichtssinns

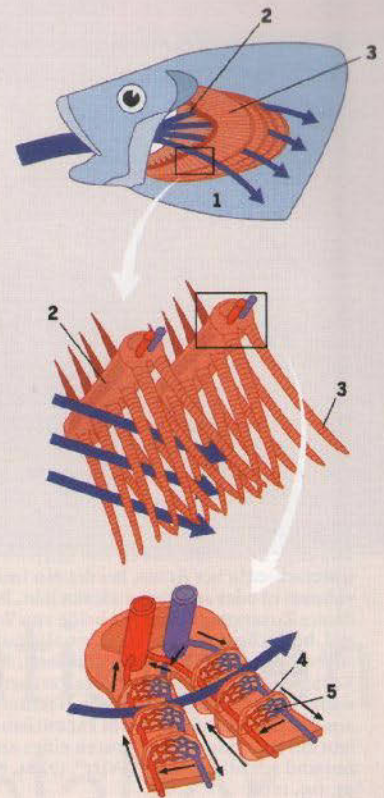
## Kiemenatmung

Mit den Kiemen nehmen Fische gelösten Sauerstoff aus dem Wasser auf und transportieren ihn mit dem Blut zu ihren Körperzellen, um dort organische Moleküle zu verbrennen und chemische Energie zu gewinnen. Gleichzeitig geben sie das bei der Verbrennung entstandene Kohlendioxid nach außen ab.

Kiemen dienen dem gleichen Zweck wie die Lungen der Säugetiere; allerdings nutzen sie als Medium Wasser und nicht Luft. Zudem strömt das Wasser an den Kiemen kontinuierlich vorbei (1), während Lungen bei jedem Atemzug stoßweise mit Luft gefüllt und anschließend wieder entleert werden.

Kiemen sind aus Kiemenbögen (2) aufgebaut, von denen zahlreiche kleine Kiemenfilamente (3) abzweigen. In den Kiemenbögen verlaufen größere Blutgefäße, von denen kleinere abgehen und in die Kiemenfilamente führen. Auf Letzteren sitzen die Kiemenlamellen (4). In ihnen verästeln sich feinste Blutgefäße zu so genannten „Wundernetzen“ (5). Hier gibt das verbrauchte Blut (blau) das Kohlendioxid ans Wasser ab, nimmt gleichzeitig Sauerstoff auf und wird so zu sauerstoffreichem Blut (rot).

Wasser und Blut strömen in entgegengesetzte Richtungen, sodass ein optimaler Austausch möglich ist.



und werden zudem bei Fischen und Kopffüßern zur Altersbestimmung verwendet, da bei ihnen Wachstumsringe erkennbar sind, ähnlich den Jahresringen bei Bäumen. (78)

## Schwimmbase

Gasgefüllte Blase für den Auftrieb bei den meisten Knochenfischen. Sie wird aus einer Ausstülpung des Vorderarms gebildet. Die Blasenwand ist reißfest und dehnungsfähig. Bei einigen Fischen, etwa dem Aal, ist die Schwimmbase über einen Kanal zum Schlund mit der Außenwelt verbunden. Bei anderen Fischen, wie dem Dorsch, ist der Verbindungskanal verschwunden,

und Gas gelangt nur noch über das Blut in die Schwimmbase. Die Blase kann etwa mit Sauerstoff und Kohlendioxid gefüllt sein. (27, 47, 48, 67, 145)

## Seitenlinienorgan

Sinnesorgan, das es Fischen und Amphibien ermöglicht, Druckreize im Wasser und damit die Bewegungen des Wassers und anderer Meeresbewohner zu registrieren. Es besteht aus einer Aneinanderreihung von **Haarsinneszellen**, die entlang des Kopfes und des Körpers verlaufen. Bei vielen Fischen kann man das Seitenlinienorgan als eine Linie meist entlang

Kraft tritt, sowie 1994 die Einrichtung des Walschutzgebietes im Südozean.

1960 Der Schweizer Ingenieur Jacques Piccard und der amerikanische Marineoffizier Don Walsh tauchen am 23. Januar mit dem Tauchboot „Trieste“ in die tiefste Region der Ozeane, den Marianengraben. Sie erreichen den Grund bei 10 916 Meter Tiefe. Ihr Rekord ist bis heute ungebrochen.

1972 Die Schriftstellerin Elisabeth Mann Borgese gründet das International Ocean Institute (IOI) mit Sitz in Malta. Sie



Jacques-Yves Cousteau

setzt sich für eine Erneuerung des Internationalen Seerechts durch die UN ein, um der Überfischung der Weltmeere Grenzen zu setzen. Das neue Seerecht, seit 1993 in Kraft, gesteht den Küstennationen eine 200 Seemeilen breite Einflusszone zu.

1977 Das US-amerikanische Tiefsee-Tauchboot „Alvin“ stößt nahe der Galápagos-Inseln in knapp 2500 Meter Tiefe auf Hydrothermalquellen und bis dahin unbekannte Lebensgemeinschaften.

1978 Das satellitengestützte System „Argos“ nimmt seinen Betrieb auf. Bewegliche Objekte können mit einem Sender ausgestattet werden, der neben der Position diverse Messdaten zum Anwender funkt. Argos wird heute auch von Biologen benutzt, um die Wanderrouten von Walen, Delfinen oder Meeresschildkröten zu verfolgen.

1990 Die US-Navy stellt nach Beendigung des Kalten Krieges der zivilen Forschung bis dahin geheime Militärtechnik zur Verfügung. Nun können Forscher dank eines weltweiten Netzes hochempfindlicher Unterwassermikrofone Wale belauschen und die Ausbrüche unterseeischer Vulkane verfolgen.

2000 Wissenschaftler aus 70 Ländern schließen sich zu dem globalen Forschungsnetzwerk „Census of Marine Life“ zusammen. In dieser auf zehn Jahre angelegten Initiative soll das Leben aller Weltozeane in seiner Vielfalt und

Verbreitung systematisch studiert und seine Veränderungen über die Zeit erklärt werden. Ziel dieser Volkszählung ist es, mehr Verständnis für die komplexen Systeme in den Meeren zu gewinnen.

2002 Norwegische Meereswissenschaftler entde-



Tauchboot »Alvin«

cken vor den Lofoten im Nordatlantik den größten zusammenhängenden Rifffkomplex aus Kaltwasserkorallen. Das Riff ist mehr als 100 Quadratkilometer groß. Geschätztes Alter: 8500 Jahre.

2004 Am 30. September gelingt es dem Japaner Tsunemi Kubodera vom Nationalen Wissenschaftsmuseum in Tokyo und seinem Partner Kyoichi Mori von einer Walbeobachtungsstation auf der Insel Chichijima, in 900 Meter Tiefe die ersten Bilder eines lebenden Riesenkalmars aufzunehmen. □



der Rumpfmittle erkennen, daher der Name. (27, 48)

### Sublitoral

Küstenzone, die immer von Wasser bedeckt ist. Sie reicht vom durchschnittlichen Niedrigwasserstand seewärts bis zur Verbreitungsgrenze von Seegräsern, Großalgen oder riffbildenden Korallen. (30)

### Supralitoral

Jener Bereich der Spritzwasserzone, der über dem Mittel des höchsten gezeitenbedingten Wasserstandes liegt. Hier herrschen äußerst unwirtliche Bedingungen durch extreme Temperaturschwankungen, Austrocknung, starke Salzgehaltsschwankungen durch Niederschlag und verdunstendes Meerwasser sowie Fraßdruck durch landlebende Tiere. Nur wenige Organismen haben sich diesen Bedingungen angepasst. (30)

### Symbiose

Das enge Zusammenleben von Individuen unterschiedlicher Arten, bei der ein Individuum in oder auf dem anderen lebt. Ist dieses Zusammenleben für beide von Vorteil, bezeichnet man es als Mutualismus (siehe **Zooxanthellen**, **Putzsymbiose**). Beim Kommensalismus ziehen beide Partner weder einen Vorteil noch einen Nachteil aus der Gemeinschaft. Beim Parasitismus lebt ein Individuum auf Kosten eines anderen und schädigt seinen „Wirt“. (7, 84, 91, 93, 119, 129)

### Tiefsee

Meeresraum unterhalb von 1000 Meter Wassertiefe, der gekennzeichnet ist von Lichtlosigkeit, hohem hydrostatischen Druck, nahezu gleichbleibend niedriger Temperatur (Ausnahme **hydrothermale Quellen**) sowie Nahrungsarmut. (47, 58, 55, 78, 85, 101, 109, 116, 119, 121, 122, 140, 152)

### Watt

Flächen, die im Rhythmus der Gezeiten überflutet werden und bei Ebbe teilweise bis vollständig trockenfallen. (38, 39)

### Zooplankton

Treibende, tierische Lebewesen des freien Wassers. Die zum Zooplankton zählenden Organismen reichen von wenigen Millimeter großen Ruderfußkrebsen bis zu Quallen mit mehreren Meter langen Tentakeln. Neben Tieren wie etwa Flügel-schnecken, die ihr gesamtes Leben im **Plankton** verbringen, gibt es andere, die nur vorübergehend dort leben, etwa die Larven von Weichtieren, Stachelhäutern oder Fischen. (47, 81, 83, 84, 96, 144)

### Zooxanthellen

Einzelzellige Algen, die in der Magenwand von Korallenpolypen leben. Es handelt sich dabei um Panzergeißler (**Dinoflagellaten**), die ihre Geißeln verloren haben. Der Korallenpolyp nimmt diese Algen auf, verdaut sie jedoch nicht, sondern baut sie in seine eigenen Zellen ein. Beide Partner profitieren von dieser Lebensgemeinschaft (**Symbiose**) durch den Austausch von Nährstoffen und Stoffwechselprodukten. Sie begünstigt zudem die Kalkabscheidung der Korallen und ist damit die Grundlage der Riffbildung. (93)

**Autoren:** Dr. Valeria Bers; Fanni Aspetsberger, Jürgen Bischoff, Sebastian Kirschner, Caroline Kühns

## GEOkompakt

Gruener + Jahr AG & Co KG, Druck- und Verlagshaus,  
Am Baumwall 11, 20459 Hamburg, Postanschrift  
für Verlag und Redaktion: 20444 Hamburg,  
Telefon 040/37 03 00, Telefax 040/37 03 56 47, Telek 2195 20,  
Internet: www.GEOkompakt.de

**HERAUSGEBER**  
Peter-Matthias Gaede  
**CHEFREDAKTEUR**  
Michael Schaper  
**GESCHÄFTSFÜHRENDE REDAKTEURE**  
Martin Meister, Claus Peter Simon  
**CHEFS VOM DIENST**  
Dirk Krömer,  
Rainer Droste (Technik)  
**TEXTREDAKTION**  
Dr. Henning Engeln (Hefkonzept),  
Jörn Auf dem Kamppe, Jürgen Bischoff  
**ART DIRECTOR**  
Torsten Laaker  
**BILDEREDAKTION**  
Roman Rahmschager,  
Freie Mitarbeit: Tatjana Stapelfeldt  
**VERIFIKATION**  
Susanne Gilges, Bettina Süßemilch;  
Freie Mitarbeit: Dr. Eva Danulat, Friederike Eggers, Johannes Kückens  
**WISSENSCHAFTLICHE BERATUNG**  
Dr. Valeria Bers  
**TEXT-MITARBEIT**  
Lars Abromeit; Freie Mitarbeit: Fanni Aspetsberger, Ute Eberle,  
Bleike General, Till Hein, Malte Henk, Insa Holst, Ute Kesch,  
Sebastian Kirschner, Caroline Kühns, Dr. Erwin Lausch,  
Dr. Martin Lindner, Harald Martenstein, Martin Paetsch,  
Alexandra Rigos, Bertram Weiß  
**ILLUSTRATION**  
Freie Mitarbeit: Jochen Stuhmann, Tim Wehrmann,  
Rainer Harf, Eric Tschernie  
**SCHLUSSREDAKTION**  
Ralf Schulte  
Assistenz: Hannelore Kochl  
**REDAKTIONSASSISTENZ:** Ursula Arens  
**HONORARE:** Angelika Gyröffy  
**BILDARCHIV:** Bettina Behrens, Bernd Dinkel  
Gudrun Lüdeman, Peter Müller  
**REDAKTIONSBURO NEW YORK:** Brigitte Barkley,  
Nadia Masri (Leitung), Tina Ahrens, Ann Marie Binlor (Sekretariat);  
535 Fifth Avenue, 29th floor, New York, NY 10017, Tel. 001-646-884-7120,  
Fax 001-646-884-7111, E-Mail: geo@geo-ny.com  
Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:  
Michael Schaper  
**VERLAGSLEITUNG:** Dr. Gerd Brüne, Ove Saffe  
**ANZEIGENLEITUNG:** Anke Wiegand  
**VERTRIEBSLEITUNG:** Ulrike Klemmer, DPV Deutscher Pressevertrieb  
**MARKETING:** Julia Duden (Litg.), Anja Stalp  
**HERSTELLUNG:** Oliver Fehling  
**ANZEIGENABTEILUNG:** Anzeigenverkauf: Ute Wangermann,  
Tel. 040/37 03 29 33, Fax: 040/37 03 57 73; Anzeigenabteilung:  
Carola Kirschmann, Tel. 040/37 03 23 93, Fax: 040/37 03 56 04  
Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 3/2007  
Der Export der Zeitschrift GEOkompakt und deren Vertrieb im Ausland  
sind nur mit Genehmigung des Verlages statthaft. GEOkompakt darf nur  
mit Genehmigung des Verlages in Leserkreisen geführt werden.  
Bankverbindung: Deutsche Bank AG Hamburg.  
Konto 0322800, BLZ 200 700 00  
Heft-Preis: 8,00 Euro • ISBN-Nr. 978-3-570-19742-4  
© 2007 Gruener + Jahr Hamburg  
ISSN 1614-6913  
Litho: 4mat Media, Hamburg  
Druck: Mohn Media Mohndruck GmbH, Gütersloh  
Printed in Germany

### GEO-LESERSERVICE

#### FRAGEN AN DIE REDAKTION

Telefon: 040/37 03 20 73, Telefax: 040/37 03 56 48  
E-Mail: [brieft@geo.de](mailto:brieft@geo.de)

#### ABONNEMENT- UND EINZELHEFTBESTELLUNG

ABONNEMENT DEUTSCHLAND	Jahres-Abonnement: 29 €
<b>BESTELLUNGEN:</b> DPV Deutscher Pressevertrieb GEO-Kundenservice 20080 Hamburg Telefon: 01805/7861 80 03* (*14 Cent / Min.)	<b>KUNDENSERVICE ALLGEMEIN:</b> (pers. erreichbar) Mo-Fr 7.30 bis 20.00 Uhr Sa 9.00 bis 14.00 Uhr Telefon: 01805/7861 80 03* Telefax: 01805/7861 80 02* E-Mail: <a href="mailto:geo-service@guj.de">geo-service@guj.de</a>

24-Std.-Online-Kundenservice: [www.MeinAbo.de/service](http://www.MeinAbo.de/service)

ABONNEMENT ÖSTERREICH	ABONNEMENT SCHWEIZ
GEO-Kundenservice Postfach 5, 6960 Wolfurt Telefon: 0820/00 10 85 Telefax: 0820/00 10 86 E-Mail: <a href="mailto:geo@abo-service.at">geo@abo-service.at</a>	GEO-Kundenservice Postfach, 6002 Luzern Telefon: 041/329 22 20 Telefax: 041/329 22 04 E-Mail: <a href="mailto:geo@leserservice.ch">geo@leserservice.ch</a>

**ABONNEMENT ÜBERGIES AUSLAND**  
GEO-Kundenservice, Postfach, CH-6002 Luzern;  
Telefon: 0041-41/329 22 20, Telefax: 0041-41/329 22 04  
E-Mail: [geo@leserservice.ch](mailto:geo@leserservice.ch)

#### BESTELLENDE FÜR GEO-BÜCHER, GEO-KALENDER, SCHUBER ETC.

DEUTSCHLAND	SCHWEIZ
GEO-Versand-Service Werner-Haas-Straße 5 74172 Neckarsulm Telefon: 01805/06 20 00 (14 Cent/Min.) Telefax: 01805/08 20 00 (14 Cent/Min.) E-Mail: <a href="mailto:service@guj.com">service@guj.com</a>	GEO-Versand-Service 50/001 Postfach 1002 CH-1240 Genf 42
	<b>ÖSTERREICH</b> GEO-Versand-Service 50/001 Postfach 5000 A-1150 Wien

#### BESTELLUNGEN PER TELEFON UND FAX FÜR ALLE LÄNDER

Telefon: 0049-1805/06 20 00, Telefax: 0049-1805/08 20 00  
E-Mail: [service@guj.com](mailto:service@guj.com)

## Bildnachweis/Copyright-Vermerke

Anordnung im Layout: l. = links, r. = rechts, o. = oben,  
m. = Mitte, u. = unten

**Titel:** Laurent Ballesta

**Editorial:** Werner Bartsch: 3 o.r.; Bernd Dinkel: 31

**Inhalt:** Laurent Ballesta: 4 o.l.; Paul Nicklen/NGS Images: 4 o.r.;  
Tim Wehrmann für GEOkompakt: 4 u.l.; Philippe Plisson: 4 u.m.;  
Manfred und Christina Kage/Kage-Mikro fotografie: 4 u.r.; Reinhard  
Dirscherl/WaterFrame: 5 o.l.; Solvin Zankl: 5 o.r.; Jochen Stuhmann  
für GEOkompakt: 5 u.l.; AFP/Getty Images: 5 u.m.; Flip Nicklin/Minden  
Pictures: 5 u.r.

**Die Kunst zu überleben:** Laurent Ballesta: 6-19; Jean Georges  
Harmelin: 20-21

**Die Welten im Meer:** Jochen Stuhmann für GEOkompakt: 24-25

**Fürs Wasser gebaut:** Tim Wehrmann für GEOkompakt: 26-27

**Der härteste Lebensraum der Welt:** Philippe Plisson: 28-29;  
Brandon Cole/Marine Photography/Alamy: 30; Jeremy Thomson: 31;  
Dennis Frates/Alamy: 32; Ross Hoddinott/Nature Picture Library: 33;  
GEO-Gratik: 30 o., 33 o., 34 o.

**Ein Kubikmeter Watt:** Jochen Stuhmann für GEOkompakt: 36-37;  
NASA/Landsat: 38

**Die Auster als soziales Wesen:** SHLB/Schleswig-Holsteinische  
Landesbibliothek, Kiel: 40, 41 l., 41 r.

**Im Schutz der großen Zahl:** Chris Newbert/Minden Pictures:  
42-43; Manu San Felix: 44-45; Image Bank/Getty Images: 46; Robert  
Yurkovich: 49

**Das Prinzip Panzer:** Tim Wehrmann für GEOkompakt: 50-51;  
Illustrationen: aus: Kästner „Lehrbuch der speziellen Zoologie, 1993  
© Elsevier GmbH, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg: 52 l.;  
Eugene H. Kaplan, „The Sensitive Seas“ (Tales of a Marine Biologist),  
Princeton University Press 2006: 52 r.; 53 l.; 53 m.; 53 r.; aus: Storch/  
Welsch, „Kurzes Lehrbuch der Zoologie“, 1994 © Elsevier GmbH, Spek-  
trum Akademischer Verlag, Heidelberg: 54 l.; 54 m.; 54 r.

**Der Wald unter Wasser:** Marinethemes/Mark Conlin: 56-57;  
SPL/Agentur-Focus: 58, 59 u.; Rainer Harf für GEOkompakt: 59 o.;  
Flip Nicklin/Minden Pictures: 60, 61 o.; Gary Bell: 61

**Auf der Spur der großen Jäger:** Jeff Rotman/NPL: 62-63; Seapics:  
64; Reinhard Dirscherl/WaterFrame: 65; Brandon Cole: 66; Rainer Harf  
für GEOkompakt: 67; Jeff Rotman: 68 o/u.

**Die Nackten und die Schönen:** Solvin Zankl: 70-77

**Der Gigant aus der Tiefe:** AP/HQ/National Science Museum Japan:  
78; EPA/Frank Robichon/dpa: 79 o.; AFP/The National Science  
Museum Japan: 79 u.

**Ein Meer von Winzlingen:** Manfred und Christina Kage/Kage-  
Mikro fotografie: 80-81, 83, 84, 85 o.; 86 u.; NASA, created by Jesse  
Allen, Earth Observatory, SeaWiFS Project: 82; SPL/Agentur-Focus:  
85 o.; 85 u.

**Die steinernen Gärten:** Paul Nicklen/NGS Image Collection: 88-89;  
Laurent Ballesta: 90, 91 u.; Rainer Harf für GEOkompakt: 91 o.; 96 o.;  
Georgette Douvrou/Getty Images: 92; Martin Bond/SPL/Agentur-  
Focus: 93 l.; Bluegreenpictures: 93 r.; Fred Bavendamm/Minden Pic-  
tures: 94; Matthew Oldfield/SPL/Agentur-Focus: 95;

**Autoreifen und der Karibische Pfandflaschenhai:** aus: Barks  
Library 5, erschienen im Egmont Ehapa Verlag, © Disney

**Im Reich der grauen Riesen:** Flip Nicklin/Minden Pictures: 102-103;  
104; 106; 107; Denis Scott/Corbis: 105; Mark Heine: 108 l.; 108 r.; NAS/  
Richard Elks/Okapia: 108 u.; Rainer Harf für GEOkompakt: 109

**Die Geschöpfe der Finsternis:** Kevin Raskoff: 110; Steven Haddock  
2001: 111; David Wrobel: 112; Marsh Youngbluth/Harbour  
Branch Oceanographic Institution: 112-113; Kevin Raskoff: 113;  
Rob Sherlock/Monterey Bay Aquarium Research Institute: 114;  
K.J. Osborn/2004MBARI: 115; E. Widder: 116; Peter Batson/  
DeepSeaphotography.com: 117 o., 117 u.; 2002 NOAA/MBARI: 117 m.;  
AP Photo/Wremer, A. Fitts: 118 o.; 2003 MBARI: 120

**Expedition in den Hades des Moores:** AFP/Getty Images: 122 o.;  
GEO-Gratik: 122 u.; AFP/Getty Images: 123 o.

**Das Arsenal der Schwachen:** Keith Gilett/Animals Animals: 126;  
Jeffrey L. Rotman/Peter Arnold Inc.: 127; Jeff Rotman: 128; Corbis: 129;

**Leben am Gekriepunkt:** B&C Alexander/NHPA: 130-131; Jean Paul  
Ferreiro/Auscape/Minden Pictures: 132; Norbert Wu/Minden Pictures:  
133 o.; Flip Nicklin/Minden Pictures: 133 u.; Norbert Wu: 134; Paul  
Nicklen/National Geographic Image Collection: 136; Norbert Wu/  
Minden Pictures: 137; Rainer Harf für GEOkompakt: 138

**Die Bewohner der Meere:** Eric Tschernie für GEOkompakt: 144-145

**Glossar:** Alg-Images: 146 u.; Jochen Stuhmann für GEOkompakt:  
146 o.l.; Norbert Wu/Minden Pictures: 146 o.r.; SPL/Agentur-Focus:  
147 u.l.; Natural History Museum: 147 u.r.; DK-Images: 147 o.; SHLB/  
Schleswig-Holsteinische Landesbibliothek: 148 u.l.; SPL/Agentur-  
Focus: 148 u.r.; 2002 NOAA/MBARI: 148 o.; David Shale/NPL/Minden  
Pictures: 148 o.l.; Keystone/Getty Images: 149 l.; Bettmann/  
CORBIS: 149 u.r.; Rainer Harf für GEOkompakt: 149 r.

**Der Unterseechor der Dreißigtonner:** aus: Barks Library 12,  
erschieden im Egmont Ehapa Verlag, © Disney

**Vorschau:** Jef Meul/Foto Natura/Minden Pictures: 162 o.; The  
Granger Collection, New York: 162 u.; Christian Ziegler: 163 o.; Ingo  
Arndt: 163 l.; Eye of Science: 163 r.; m.; Gilles Mermel: 163

Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Fotos  
übernehmen Verlag und Redaktion keine Haftung.

© GEO 2007, Verlag Gruener + Jahr, Hamburg,  
für sämtliche Beiträge

Einem Teil dieser Auflage liegen folgende Beilagen bei:  
Spektrum der Wissenschaft: GEO, GEOkompakt, Gruener + Jahr  
AG & Co KG



Jetzt im Handel



# Woher kumen wir diutischen? Deutschland im Mittelalter.

Kalle Rebbec

Nr. 25  
**GEO EPOCHE**  
DAS MAGAZIN FÜR GESCHICHTE  
**KAISER·RITTER·HANSE**

**Sonder-Edition**  
Heft + DVD für 14,95\*

**GEO EPOCHE**  
Europa im Mittelalter  
DVD

Deutschland im Mittelalter

\*Im gut sortierten Buch- und Zeitschriftenhandel

Nr. 25  
**GEO EPOCHE**  
DAS MAGAZIN FÜR GESCHICHTE  
**KAISER·RITTER·HANSE**

Deutschland im Mittelalter

Geschichte erleben mit GEO





# Der Unterseechor der Dreißigtonner

*Jedes Jahr treffen sich vor der Küste Hawaiis Buckelwale und geben Konzerte mit einer Zuverlässigkeit, Pünktlichkeit und Professionalität, zu der viele sich ewig verspätende Rockgruppen nicht imstande sind*

Jedes Kind weiß, dass Hunde ungefähr 15 Jahre alt werden, dass es Katzen von 18 Jahren gibt, die Mundgeruch und Haarausfall haben, und so weiter. Von der Lebenserwartung der Meeresbewohner dagegen hatte ich bisher nicht die geringste Vorstellung.

Nun habe ich gelernt, dass eine Miesmuschel es auf Erden erstaunlicherweise zehn Jahre lang schafft, dass ein Moos-

Im Leben einer Miesmuschel oder eines Schwammes scheint doch nicht das Geringste zu passieren, außer vielleicht mal ein Seebeben.

Die Eintagsfliege dagegen sieht ein bisschen was, sie kommt herum, schnuppert an Blumen oder an Schmutz und paart sich häufig, so ein Leben könnte ruhig ein paar Wochen länger dauern, aber nein, die muntere Fliege stirbt – und die langweilige Muschel lebt weiter.

Schwämme und Muscheln können froh sein, dass sie nicht intelligent sind, auf diese Weise wird ihnen die Eintönigkeit ihrer unendlich sich hinziehenden Existenz nicht bewusst.

Außerdem verblüfft mich die Tatsache, dass es im Meer schneit. Sie erinnern sich, diese organischen Partikelchen, die als weiße Flocken in die Tiefsee rieseln. Wir alle wissen um die Klimakatastrophe, oben an Land schneit es bekanntlich immer weniger.

Im Meer dagegen scheint die weltweite Erwärmung bisher nicht zu einem Rückgang des Schneefalls geführt zu haben – meiner Ansicht nach wird eher das Gegenteil passieren. Denn bisher wird der Schnee des Meeres von den Meeresbewohnern weggefressen. Der Fisch ist so etwas wie das Tauwetter des Meeres.

Aber die Meere stehen bekanntlich im Begriff, leergefischt zu werden – das heißt, der Schnee wird immer weniger gefressen, weil es immer weniger Fische gibt, mit anderen Worten, unter Wasser wird in den kommenden Jahrzehnten der Schneefall immer dichter. Auch unter Wasser droht eine Klimakatastrophe, nur genau umgekehrt wie an Land.

Pausenloses Schneetreiben auch im Hochsommer, schneebedeckte Unter-

wassergebirge, Muscheln und Schwämme mit weißen Müttchen: Wer in Zukunft seinen Kindern zeigen möchte, wie Schnee aussieht, muss entweder hinauf in 6000 Meter Höhe oder in eine gekühlte Skihalle oder eine Reise im Unterseeboot buchen.

Sie denken, ich spinne? Vor 30 Jahren galt jemand als Spinner, der prophezeite, dass an den Polen das Eis schmilzt, die Malediven versinken und die Schweden Wein anbauen werden.

Fressen und gefressen werden – klar, darum geht es in der Natur. Nie zuvor ist mir allerdings so klar geworden, dass es in der Natur eine Art Wettrüsten gibt und dass die Waffen der Menschen, auch die besonders ekligen, fast alle eine Entsprechung in der Natur haben.

Im Meer gibt es die Artillerie (der Pistolenkrebis schießt mit einem Wasserstrahl), die biologische Kriegsführung (die Wurzelkrebislarven sterilisieren das Krustentier, in das sie sich einnisten), chemische Waffen (jede Menge Gift), es gibt Minen (der Seewolf reißt den Krebsen ihre Beine weg), es gibt List und Täuschung (dieses Biest von Assel, das so tut, als sei es die Zunge eines Fisches), und es gibt Festungen, nämlich die Korallenriffe, die pro Jahr so viel Kalk produzieren, dass es der Masse von 400 Cheopspyramiden entspricht. Oder, für Liebhaber britischer Sportwagen: dem Gewicht von 1988 862 370 Exemplaren des Aston Martin DB4 GT, Baujahr 1963. Das ist zweifellos ziemlich viel Kalk.

Auch ein längerer Artikel über Wale ist in diesem Heft enthalten. Fazit: Wale sind die besten Taucher der Welt. Der Artikel behandelt leider nur auf indirekte Weise jenes Phänomen, das vielen Deutschen als Erstes einfällt, wenn sie das Wort „Wal“ hören. Der Wal singt. Und zwar singt er professionell. Er ist im Meer der einzige echte Popstar.

Ich glaube, es war in den späten 1970er Jahren, als die Ökobewegung stärker wurde und die Menschen damit anfin-

»Schwämme und Muscheln können froh sein, dass sie nicht intelligent sind. So wird ihnen die Eintönigkeit ihrer Existenz nicht bewusst«

tierchen etwa so alt wird wie eine Katze, ein Seeigel mit 70 Jahren fast so alt wie der Mensch – und dass Schwämme mit 100 Jahren und mehr in der gleichen Liga spielen wie Schildkröte und Papagei. Es gibt Schwämme, die Kaiser Wilhelm noch gekannt haben könnten, und Seeigel, in die vielleicht einst Konrad Adenauer hineingetreten ist.

Manche Meereswesen sind, ähnlich wie Fahrräder, einfach gebaut, aber langlebig. Aber was haben sie davon?



gen, in größerer Zahl Kassetten oder Schallplatten mit dem Gesang der Wale zu kaufen. Fast alle großen Popbands jener Jahre haben sich inzwischen aufgelöst, nur die Wale nicht.

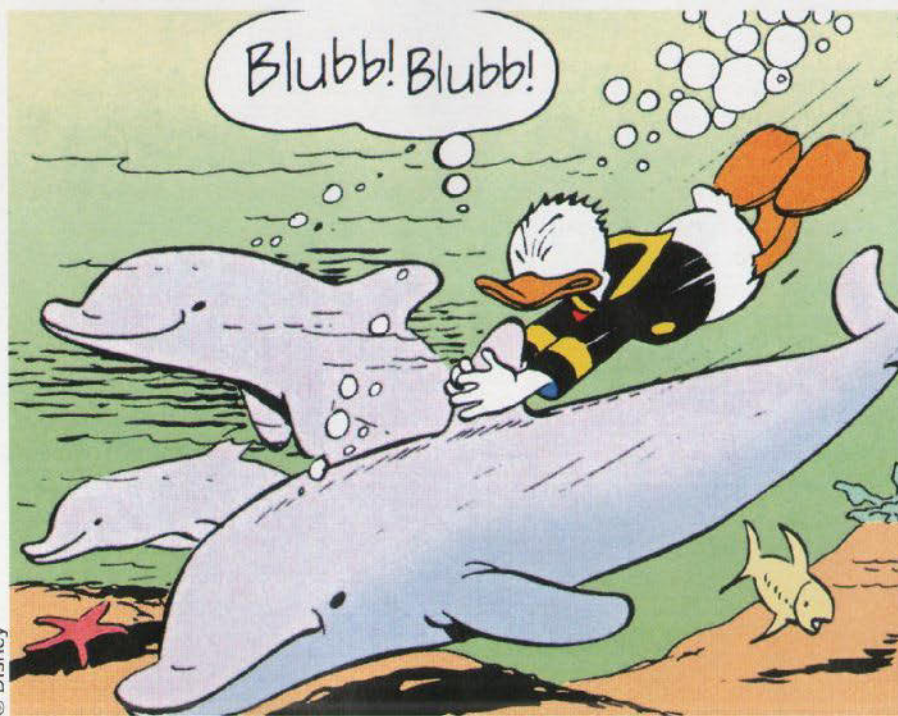
**Im Internet**, bei Whalesong Deutschland, wird täglich rund um die Uhr ein Live-Konzert übertragen, das ein Chor von Buckelwalen vor der Küste der Insel Maui gibt, das liegt in Hawaii.

**Diese Konzerte** werden von den Buckelwalen seit ewigen Zeiten mit einer Zuverlässigkeit, Professionalität und Pünktlichkeit abgeliefert, zu der viele Rockgruppen, beispielsweise die sich

Katze – oder an Motorsägen mit Startproblemen.

**Der Gesang** des Grindwals hingegen gleicht dem schwachen Zirpen eines, möglicherweise ebenfalls kranken, Vögelchens. Der Pottwal macht rhythmisch pochende Baustellengeräusche wie ein polnischer Polier. Blauwale bringen etwas hervor, bei dem sich bei unsereins sofort die Assoziation „schnarchende Großmutter“ einstellt.

**Der Maler** Friedensreich Hundertwasser hat versucht, diese Geräusche in all ihrem Facettenreichtum künstlerisch in ein anderes Medium zu übersetzen, deswegen hat er eine Kaffeetasse entworfen, die „Gesang der Wale“ heißt. Sie ist bunt.



© Disney

ständig verspätenden Rolling Stones, nicht imstande sind. Gelegentlich gibt es Funkstörungen, aber daran sind sicher nicht die Buckelwale schuld.

**Jede Wal-Art** singt anders. Überprüfen Sie es, die sind alle im Internet zu hören. Der Gesang des Schwertwals erinnert an das Miauen einer sehr kranken

**Weshalb** gibt ein Wal Geräusche von sich? Es könnte mit der Orientierung zu tun haben, Orientierungslosigkeit ist in der Kunst ja immer Thema gewesen, oder mit der Suche nach Nahrung. „Die Kunst geht nach Brot“ lautet ein altes Sprichwort. Die Geräusche werden als Echo zurückgeworfen, mithilfe des Echos findet der Wal sich im Wasser besser zurecht.

**Doch warum** singen sie? Als besonders einleuchtend gilt die Theorie, dass

für die Wale, ähnlich wie für uns Menschen, Musik eine erotische Komponente besitzt. Bei den Buckelwalen schwimmen die Männchen während der Paarungszeit nahe an die Weibchen heran, dann singen sie mit voller Kraft los wie ein venezianischer Gondoliere.

**Es ist aber** bis heute nicht zweifelsfrei geklärt, ob der Buckelwal mit seinem Gesang seine Partnerin bezirzen oder ob er Rivalen vertreiben will. Das heißt, es ist nicht einmal klar, ob die Wale ihren eigenen Gesang angenehm oder fürchterlich finden. Möglicherweise liegen überall auf der Welt Umweltschützer und Naturfreunde verträumt auf ihren Diwanen und lauschen einem Gesang, den sie für die spirituelle Stimme der Natur halten, während die Wale selbst es als nervenzerfetzenden Lärm empfinden.

**Oh, nun** ist das Heft bald zu Ende. Trotzdem sind für mich immer noch Fragen offen. Zum Beispiel: Warum rauscht das Meer? Weshalb verhält es sich nicht so schweigsam wie das Land?

**Offenbar** entsteht das Meeresrauschen durch Milliarden von kleinen Luftbläschen, die in der Brandung durch den Druck des Wassers verformt und zum Schwingen gebracht werden oder zerplatzen. Wie aber gelangen diese Milliarden von Luftbläschen in das Wasser hinein? Durch das Zusammenrollen, Brechen oder turbulente Zerschellen der Wellen.

**Das heißt**, Meeresbrandung ist eine Art ewiger Kreislauf, bei dem Luft, ohne Geräusch, in das Wasser hineinkommt und anschließend auf geräuschvolle Weise wieder in die Umgebung hinausgelassen wird. Bei der menschlichen Verdauung gibt es bekanntlich ähnliche Vorgänge.

**Bitte halten Sie** mich nicht für geschmacklos. Es gibt dieses rauschende Geräusch, genau wie den Gesang der Wale, immerhin sogar auf CD. □





**WASSTROPFEN** sind für Marienkäfer wie von einer Haut überzogen – um zu trinken, durchstoßen sie diese mit den Mundwerkzeugen und beginnen zu saugen

GEO kompakt Nr. 11 erscheint am 13. Juni 2007

# DIE WELT DER INSEKTEN

Sie können Jahre in trockener Starre überdauern, regelrecht einfrieren und doch wieder auferstehen: Kerbtiere sind gewappnet für ein Leben in Extremen – und haben so fast alle Lebensräume der Erde besiedelt

**V**or mehr als 400 Millionen Jahren entwickelte sich ein geniales Bauprinzip der Evolution. Damals entstanden – vermutlich aus Krebsen – kleine, gepanzerte Landlebewesen: die Insekten.

Sie trugen ihre Organe gut geschützt im Inneren eines beweglichen Außenskeletts, dessen Material leicht, fest und höchst variabel war. Diese vielseitige Hülle war eine Grundlage dafür, dass die Insekten heute mit rund einer Million Spezies die erfolgreichste Klasse im Tierreich stellen.

So vielfältig sind ihre Körperformen, so raffiniert ihre Überlebensstrategien, so variantenreich ihre Sinnesleistungen, dass Wissenschaftler über die

Fähigkeiten der Sechsheiner immer wieder staunen.

Wie etwa gelingt es den fast blinden Termiten, eine meterhohe Wohnburg mit Klimaanlage zu bauen? Wie vermögen Millionen Zikaden mehr oder minder gleichzeitig zu schlüpfen, nachdem sie 17 Jahre als Nymphen im Erdboden gelebt haben?

Auf welche Weise messen Bienen mit ihren Augen das Tempo im Flug, wie können Heuschrecken mit den Beinen hören, Fliegen mit den Füßen schmecken? Weshalb finden Wüstenameisen stets den kürzesten Weg zurück

in ihr Nest – und fotografieren die Landschaft wie mit einer 360-Grad-Kamera?

Wodurch spüren Schaben den Atem eines Räubers? Weshalb strahlen Leuchtkäfer effizienter als jede Glühbirne? Weshalb können Falter in völliger Finsternis eine angreifende Fledermaus orten? Und wie mixt der Bombardierkäfer eine explosive Mischung in einer Reaktorkammer seines Hinterleibs zusammen?

Die ungewöhnliche Erfolgsgeschichte und das bizarre Leben der Insekten: im neuen GEOkompakt. □



**Henry Walter Bates** (1825–1892) erkannte, weshalb sich manch harmloses Insekt als giftiges Tier tarnt





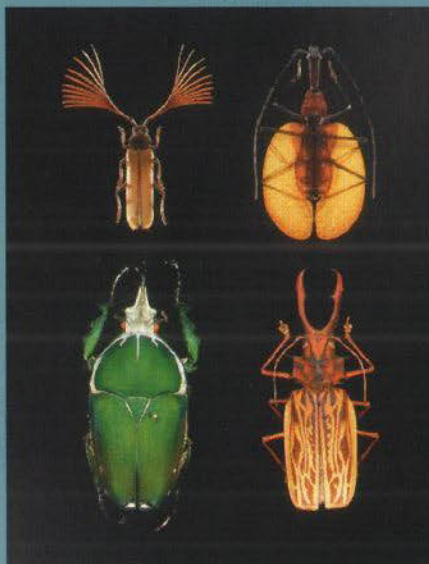
**IHRE DICHTEN BORSTEN** am Rücken schützen diese Raupe vor Angriffen. Auch die gelben und schwarzen Streifen warnen Fressfeinde vor dem Verzehr



**MIT FANGKIEFERN** packt der keine zwei Zentimeter große Tigerlaufkäfer seine Beute



**EI-GELEGE** auf einer Himbeere: Der Wanzen-Nachwuchs ist bereits geschlüpft



**KÄFER** stellen mit ihrer Vielfalt an Formen die artenreichste Gruppe unter den Insekten

### Weitere Themen:

- » KOMMUNIKATION:** Mit welch komplexen Tänzen sich Bienen verständigen.
- » STAATEN:** Warum Ameisen im Kollektiv leben, Kriege führen und Sklaven halten.
- » CHITIN:** Was Forscher vom vielseitigen Baustoff der Insekten lernen.
- » SINNESLEISTUNGEN:** Weshalb Falter über Tausende von Kilometern zu navigieren vermögen.
- » WUNDERSAME WANDLUNG:** Wie Insekten ihre Körper radikal umbauen.

### bisher erschienen:



#### » DIE GEBURT DER ERDE

Als aus einer glühenden Kugel der Blaue Planet wurde



#### » DAS WUNDER MENSCH

Auf welche Weise der Körper sich entwickelt und wie er funktioniert



#### » DAS ABENTEUER TECHNIK

Vom Nanoroboter bis zum Megajet, vom Fusionsreaktor bis zum denkenden Haus



#### » DIE EVOLUTION DES MENSCHEN

Woher *Homo sapiens* kam – und weshalb er zum Denker wurde



#### » GEHEIMNIS NATUR

Sexualität, Wachstum, Kommunikation – wie Tier und Pflanze überleben



#### » DAS UNIVERSUM

Vom Drama des Urknalls bis zur Suche nach Leben im All



#### » DER MENSCH UND SEINE GENE

Wie das Erbgut Verhalten und Körper des Menschen steuert



#### » DIE URZEIT

Als auf der Erde Panzertiere, Riesenechsen und Terrorvögel lebten



#### » KLIMA UND WETTER

Wie unser Wetter entsteht und warum sich das Klima enorm verändert

### Die folgende Ausgabe:

**WÜSTEN** Mit welchen eindrucksvollen Anpassungen Menschen, Tiere und Pflanzen ihr Überleben in den trockensten und lebensfeindlichsten Zonen der Erde meistern



# MEHR SEHEN ALS ANDERE.

3CCD-TECHNOLOGIE UND HIGH DEFINITION: FÜR BRILLANTE FARBEN UND DETAILS.



## DIE NEUEN 3CCD-CAMCORDER HDC-SD1 UND HDC-DX1.

Erleben Sie mit der präzisen 3CCD-Technologie  
brillante Farben in HD-Auflösung.  
Zusammen mit dem optischen Bildstabilisator  
DIS und den Leica Objektiven sind optimale  
Filme garantiert. Ob auf SD Karte oder DVD:  
In High Definition werden Sie Ihre Erlebnisse  
neu entdecken.

Noch mehr Details entdecken unter:  
[www.panasonic.de](http://www.panasonic.de)



**Panasonic**  
ideas for life