

GEO

W I S S E N



Tauchfahrt zu den Quellen des Lebens

OZEAN UND TIEFSEE



BERMUDA-DREIECK
Das Ende des
Mysteriums

GEOLOGIE
Wie das Wasser
auf die Erde kam

POTTWALE
Auf Weltreise mit
Moby Dick

**ZWEI
POSTER
Lebensraum
Tiefsee**



GEO-Explorer: www.geo.de



Urlaub haben macht Spaß. Urlaub **buchen** ab sofort auch.

Bei Ihrem nächsten Urlaub können Sie sich schon auf die Buchung freuen. Bei Travel Channel, Ihrem Reisebüro im Internet. Hier finden Sie die schönsten Ziele, die schnellsten Routen, die besten Preise. Und alles, was Sie über Land und Leute wissen wollen, erfahren Sie von GEO SAISON, DER FEINSCHMECKER und POLYGLOTT. Gute Reise mit www.travelchannel.de

klick und weg.
www.travelchannel.de





Liebe Leserin, lieber Leser

Keine Sprache umschreibt die Ambivalenz, mit der wir Landbewohner dem Meere begegnen, besser als die portugiesische. „Saudade“ heißt das eigentlich unübersetzbare Wort, das soviel bedeutet wie eine Mischung aus Trübsal und Fernweh, Traurigkeit und Hoffnung. Und Saudade meint auch jenen wohligen Schauer, der einen Menschen überkommt, wenn er, einsam auf einer Klippe sitzend, auf das weite, weite Wasser blickt.

Es ist eine Art Haßliebe, die uns mit der hohen See und dem tiefen Ozean verbindet, uns einerseits allsummerlich zu wahren Völkerwanderungen an die Gestade aufbrechen läßt und uns andererseits Furcht und Schrecken einjagt. So, als lebten

wir noch zur Zeit des Vasco da Gama, da der Atlantik als „unpassierbares Meer der Finsternis“ und der nördliche Wendekreis als Schlund des Verderbens galt, der jeden Seemann zu verschlingen drohte.

Nicht zuletzt dieses Gefühlsgemenge hat auch uns GEO-Leute bei der Arbeit an diesem GEO WISSEN angespornt, den Geheimnissen der Meere und der Faszination der Finsternis im

wahrsten Sinne jener Wörter auf den Grund zu gehen: Die amerikanische Journalistin Kathy Sawyer etwa glitt für dieses Heft in dem Tauchboot „Alvin“ bis zu den Schwefelquellen der Tiefsee, einem Biotop, aus dem alles Leben auf der Erde entspringen sein könnte (Seite 54).

Womöglich war das irdische Wasser aber auch nicht nur Hort der biologischen Evolution (Seite 24), vielleicht entstammen am Ende wir Menschen selbst dem aquatischen Element. So jedenfalls lautet eine etwas skurril anmutende, aber durchaus belegbare Theorie (Seite 100). Und selbst wenn unsere affischen Vorfahren denn doch festen Boden unter den Füßen hatten – wovon die Mehrheit der Anthropologen nach wie vor ausgeht –, ist eines sicher: Dieser Boden war mit sehr großer Wahrscheinlichkeit einmal Meeresgrund (Seite 134).

Herzlich Ihr

Reiner Klingholz
Reiner Klingholz

PS: Falls Ihnen auf der Titelseite eine kleine Veränderung aufgefallen sein sollte: Von diesem GEO WISSEN an trägt jede Ausgabe eine fortlaufende Nummer. Rückwirkend betrachtet, gilt deshalb die Ausgabe „Gehirn • Gefühl • Gedanken“ aus dem Jahr 1987 als die Nummer 1, und mit diesem Heft „Ozean und Tiefsee“ sind wir bei Nr. 24 angelangt.



Klaus Bachmann, Chemiker und Journalist mit langjähriger GEO-WISSEN-Erfahrung, hält sich eher für ein terrestrisches Wesen. Um so mehr faszinieren den Redakteur des vorliegenden Heftes die an extreme Lebensräume angepaßten Tiefsee-Wesen

Lehnt Ihre Krankenversicherung Naturheilverfahren ab?
Die Securvita ist anders. Bei uns bekommen Sie individuelle Versicherungslösungen auch für die sanfte Seite der Medizin – zu überraschend günstigen Beiträgen.



Voll und ganz für Ihre Gesundheit!

Unsere Krankenversicherungen geben Freiheit: Sie erstatten Naturheilkunde genauso wie Schulmedizin – egal ob Sie gesetzlich oder privat versichert sind.

Mehr Informationen – gebührenfrei:

0130/742 744

und im Internet: www.securvita.de

securvita
DAS BESTE AUS ZWEI WELTEN

Securvita Vertriebsgesellschaft
Große Elbstraße 39 • 22767 Hamburg
Fax 040/38 60 80 90
e-mail: info@securvita.de



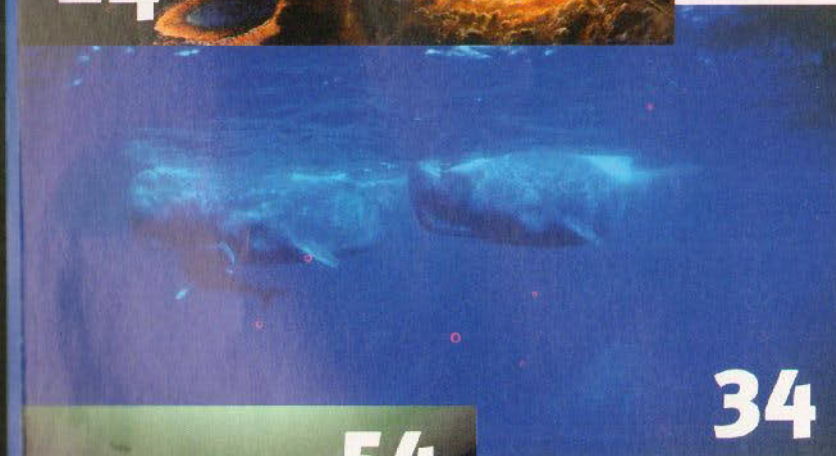
8



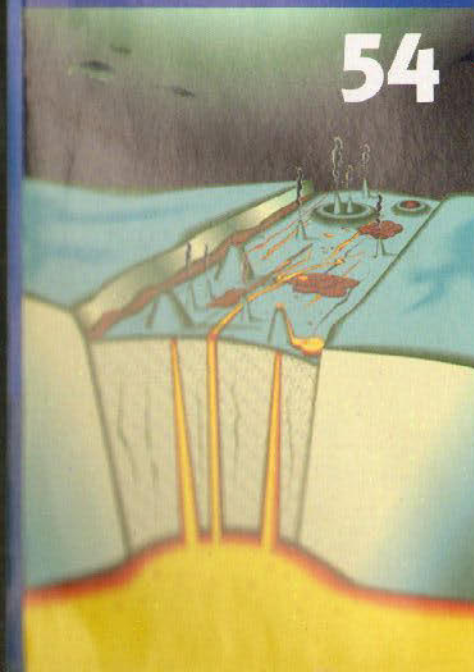
72



24



34



54



MEERESBIOLOGIE

BILDESSAY	8
Stationen einer Tauchfahrt	
POTTWALE	34
Unterwegs mit Moby Dick	
EXPEDITION	54
Im U-Boot zu den Schwarzen Rauchern	
RIESENKALMARE	66
EVOLUTION	90
Wie die Tiefsee die bizarrsten Kreaturen schuf	
MEERES-AQUARIEN	160
Blaue Wunder hinter Glas	

GEOLOGIE

WIE DAS WASSER AUF DIE ERDE KAM	24
PLATTENTEKTONIK	134
Aus Meeresgrund wird weites Land	

MENSCHEN

ROBERT BALLARD – DER EXPLORATOR	44
ISABELLE AUTISSIER – DIE EXTREM-SEGLERIN	70
HANS FRICKE	102
Der Herr der Quastenflosser	
ELISABETH MANN BORGESE – DIE ANWÄLTIN	126
NAWAZIR – DER SEEMANN	150

POSTER 1

VIelfalt unter HOCHDRUCK

Erstmals präsentiert:
der Lebensraum
Tiefsee auf einen Blick

OZEANOGRAPHIE

GOLFSTROM 46

Europas Fernheizung droht zu erkalten

DAS VERMESSENE MEER 152

Die Dynamik der Ozeane – erforscht mit Satelliten und Robotern

MYTHEN

ANTHROPOLOGIE 100

Kommt der Mensch aus dem Meer?

BERMUDA-DREIECK 110

Eine Legende auf dem Prüfstand

HISTORIE

TECHNIK-PIONIERE 72

Die dramatische Verlegung des ersten Transatlantik-Kabels

DIE GESCHICHTE DER TIEFSEE-FORSCHUNG 128

UMWELT

BODENSCHÄTZE 82

Welche Reichtümer der Meeresgrund birgt

MÜLLKIPPE OZEAN 120

RUBRIKEN

EDITORIAL 3

SUPERNOVA 170

Neues aus Wissenschaft und Technik

LITERATUR 177

BILDNACHWEIS 178

IMPRESSUM 180

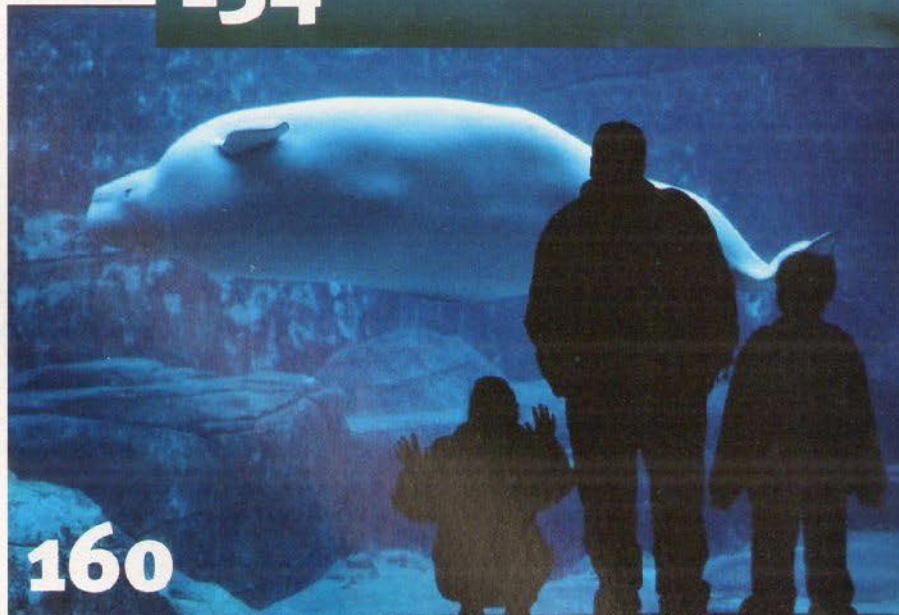
TITELFOTO

von Jeff Rotman: eine Schule von Adlerrochen
Redaktionsschluß: 6. August 1999

GEO IM INTERNET

Wissenswerte Adressen zum Thema Ozean und Tiefsee finden Sie im GEO-Explorer unter www.geo.de

134



160



90



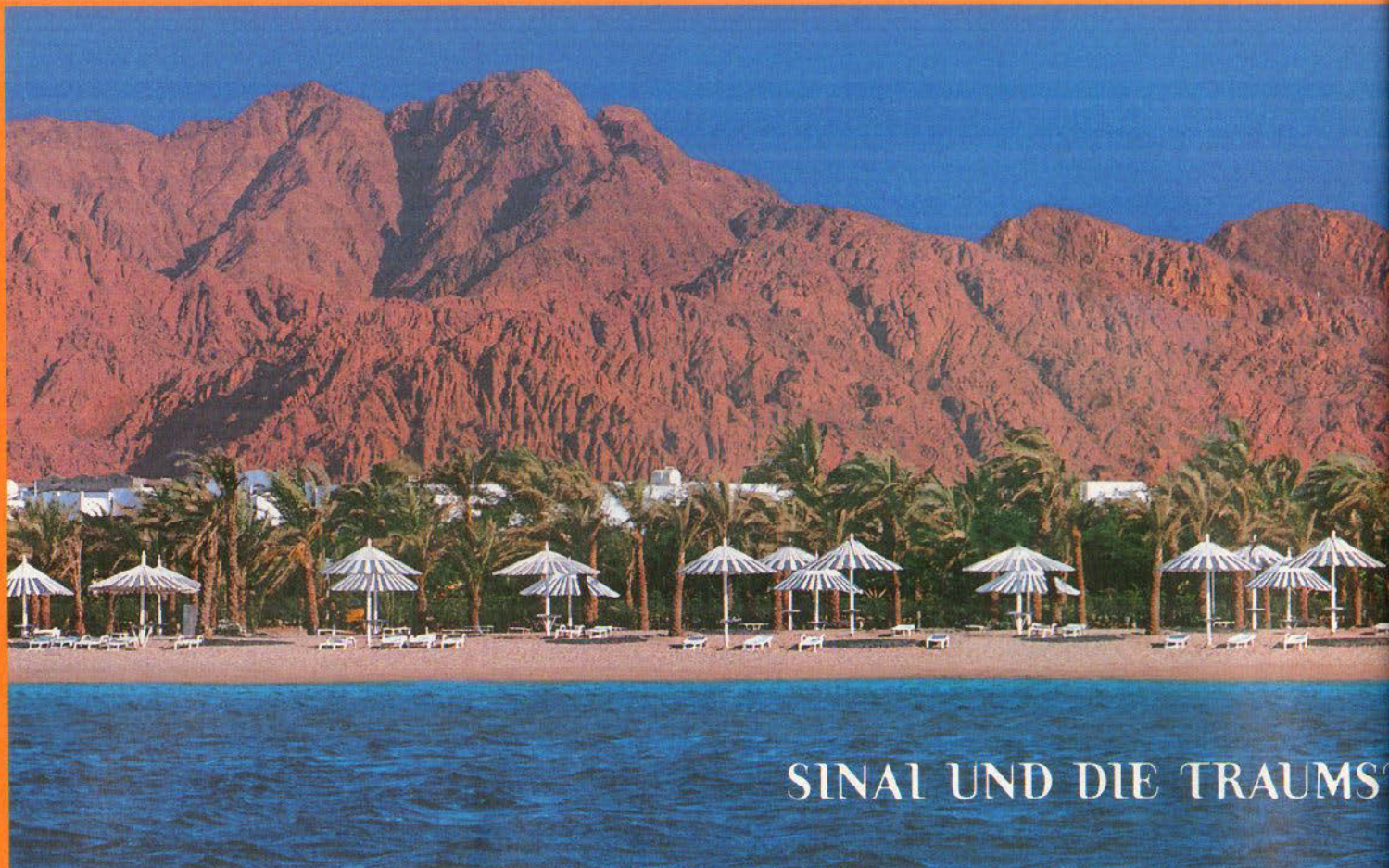
152



POSTER 2

SEEKABEL VERBINDEN DIE WELT

Moderne Glasfasertechnik revolutioniert die Telekommunikation



SINAI UND DIE TRAUMS



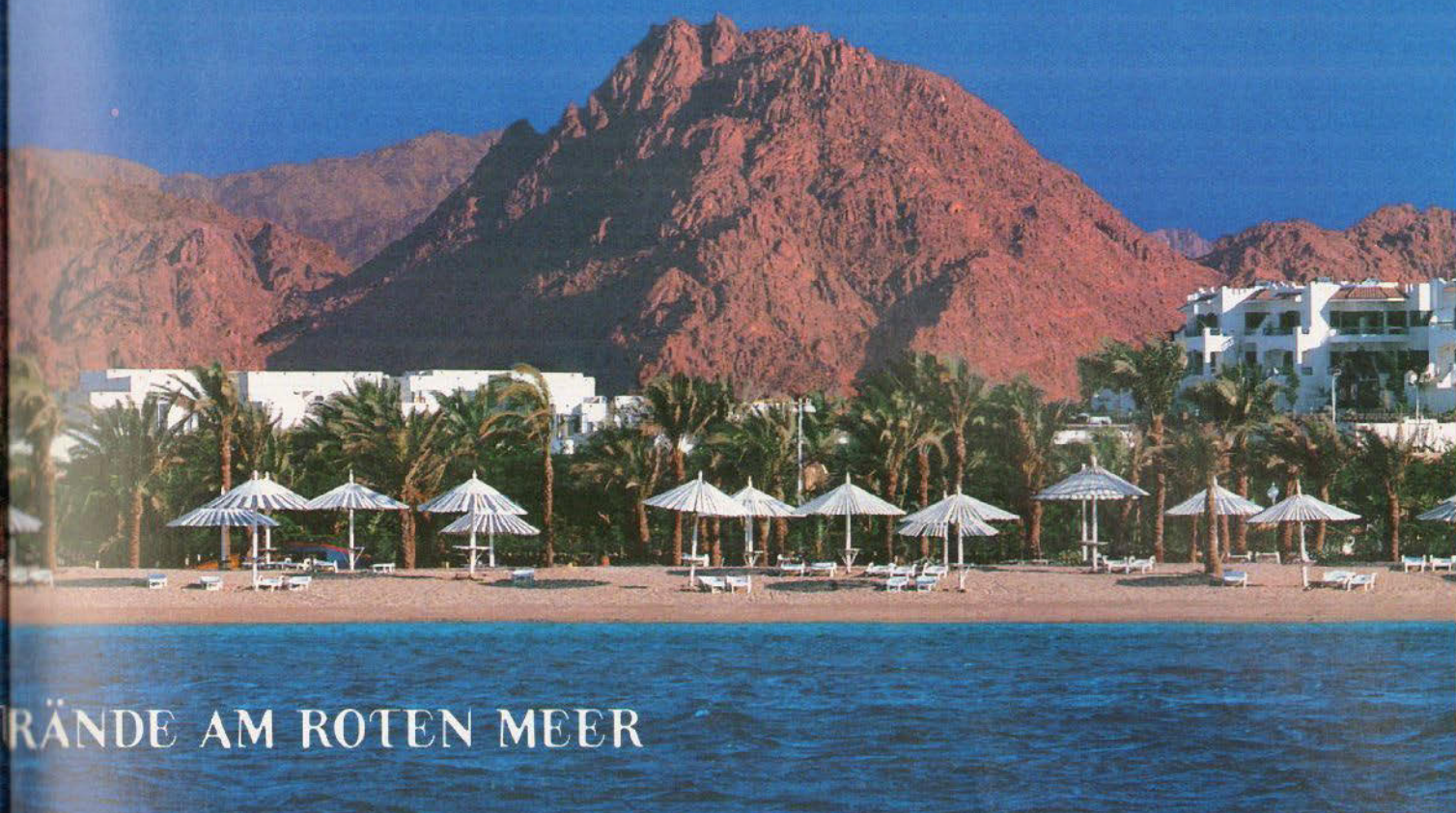
VIEL VERGNÜGEN IN DER SONNE! WANN IMMER SIE NACH ÄGYPTEN REISEN

Einen wunderschönen Platz an der Sonne, 365 Tage im Jahr, das bieten Ihnen die Urlaubsgebiete am Roten Meer. Und außer Sonne, Strand und Meer gibt es noch unendlich viel zu erleben und entdecken.

Jedem Geschmack und jeder Erwartung wird bestens Rechnung getragen. Zum Beispiel im mondänen Mekka für Sonnenanbeter Sharm-el Sheikh oder Hurghada, wo zu jeder Jahreszeit der Sonnengott lächelt.

Wunderbare, naturbelassene Strände und kristallklares Wasser mit unberührten Korallenbänken machen das Tauchen und Schnorcheln zu einem unvergleichlichen Erlebnis. Die Championship-Golfplätze sind Weltklasse, die Einkaufsmöglichkeiten paradiesisch, und die Hotels verwöhnen Sie mit bis zu 5-Sterne-Luxus.

Wenn die Sonne im Meer versinkt, erwarten Sie erstklassige Gourmet-Restaurants, Feste unter den Sternen im Beduinestil oder auch fetzige Rhythmen im Hard Rock Café.



RÄNDE AM ROTEN MEER



Danach lockt der lebhafteste Boulevard zu einem Bummel mit seinen gemütlichen Cafés, dem Casino und den vielen Bars und Nachtclubs. Hier pulsiert das Leben.

Ihnen steht der Sinn nach Abenteuer? Die Wüste ruft! Erfahren Sie die endlose Weite auf einer Wüstensafari oder beim Besuch des St. Katherinenklosters auf dem Berg, wo Moses die Zehn Gebote empfing. Sie können Ihren Urlaub auch auf zwei Resorts aufteilen, eine Nilkreuzfahrt unternehmen, das Tal der Könige erkunden, die Pyramiden bewundern und Kairo erleben – die Möglichkeiten sind unerschöpflich.

Ägypten, das Land voller Wunder und magischer Schönheit steht vor seinem Siebten Millennium. Seit sieben Jahrtausenden scheint der Sonnengott Ra über dieses Land und macht dadurch jede Jahreszeit zur besten Zeit, den Sinai und die Resorts am Roten Meer zu besuchen.

Ihr Reisebüro berät Sie gern über unsere attraktiven Angebote.





WASSER-WELTEN

DER KOSMOS UNTER NULL

Finster sind sie, die Tiefen der Ozeane, und nicht gerade das natürliche Milieu des *Homo sapiens*. So hat es denn auch lange gedauert, bis der Mensch sich ernsthaft für dieses Universum interessierte. Was er dann aber dort mit seinen Robotern und Tauchbooten entdeckt hat, ist alles andere als eine submarine Wüste

Aus ungewohnter Perspektive blickt der Fotograf auf die Brandungswellen, die vor dem maledivischen Ari-Atoll tosend über ihm zusammenbrechen. So gewaltig entfalten sich die Meereskräfte nur am Außenriff des

-1 METER

Atolls, im Inneren herrscht Ruhe. Weshalb sich außen die Surfer und innen die Taucher tummeln



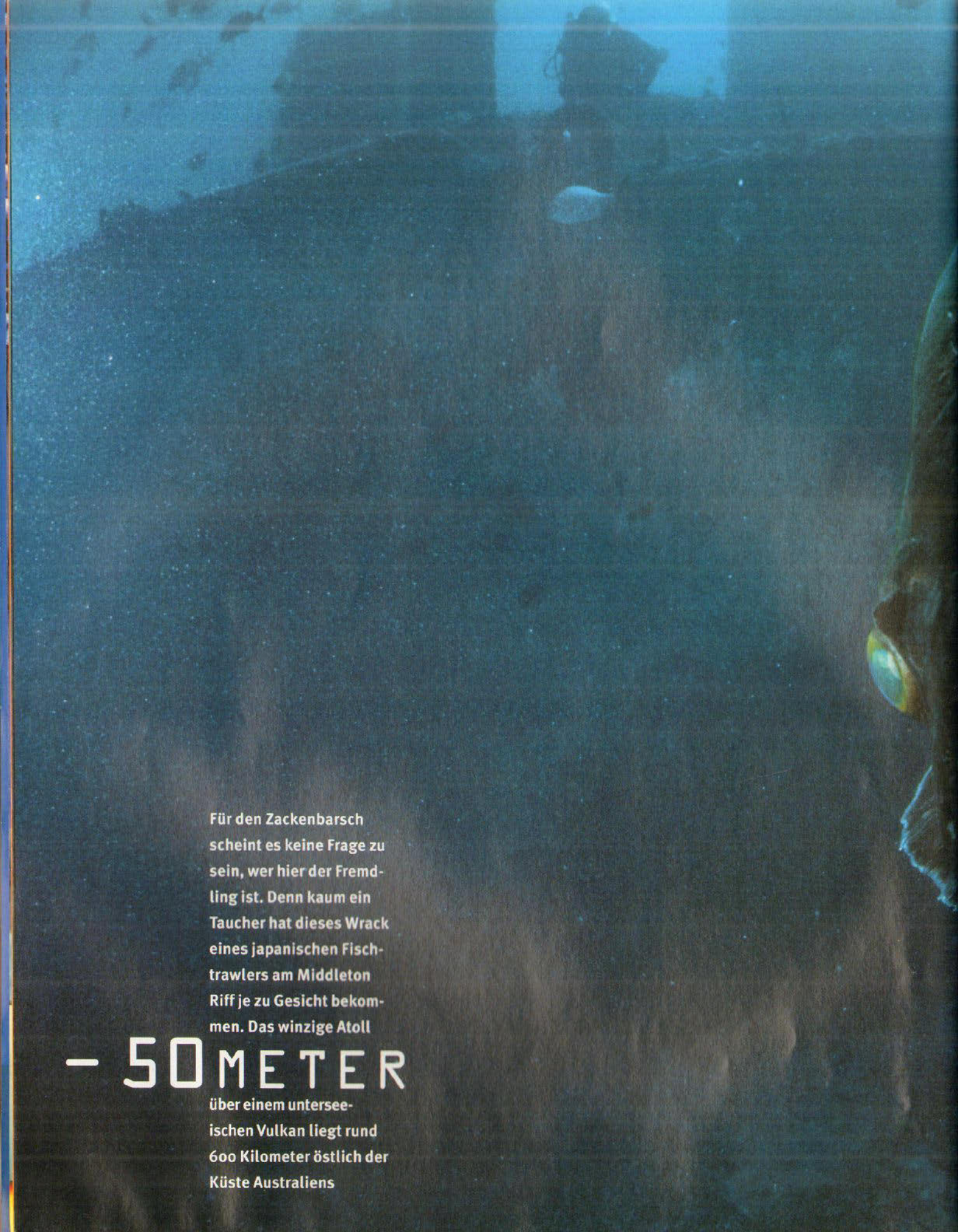
An underwater photograph showing a deep-sea environment. In the upper right, two divers are visible against the blue water. The foreground is dominated by large, dark, rounded rock formations covered in coral and other marine life. A prominent, bright orange-red coral structure is visible on one of the rocks. The lighting is dim, with a strong blue tint from the water, and the overall atmosphere is mysterious and deep.

Bis zu den Schwämmen
und Korallen vor den kari-
bischen Cayman-Inseln
dringt noch das Tages-
licht. Das Leben in dieser
Tiefe hängt direkt ab von
der Photosynthese. Die-
ser Prozeß der Umwand-
lung von Sonnenlicht
in Biomasse, vor Urzeiten
von Cyanobakterien in

-20 METER

den Meeren entwickelt,
hat sich viel später
auch an Land als Erfolgs-
modell erwiesen




A dark, blue-toned underwater photograph. In the upper center, a diver is visible, their silhouette and equipment faint against the dim light. On the right side, the head and eye of a large shark are partially visible, looking towards the center. The water is murky and deep, with some light rays filtering through from above.

Für den Zackenbarsch
scheint es keine Frage zu
sein, wer hier der Fremd-
ling ist. Denn kaum ein
Taucher hat dieses Wrack
eines japanischen Fisch-
trawlers am Middleton
Riff je zu Gesicht bekom-
men. Das winzige Atoll

- 50 METER

über einem untersee-
ischen Vulkan liegt rund
600 Kilometer östlich der
Küste Australiens



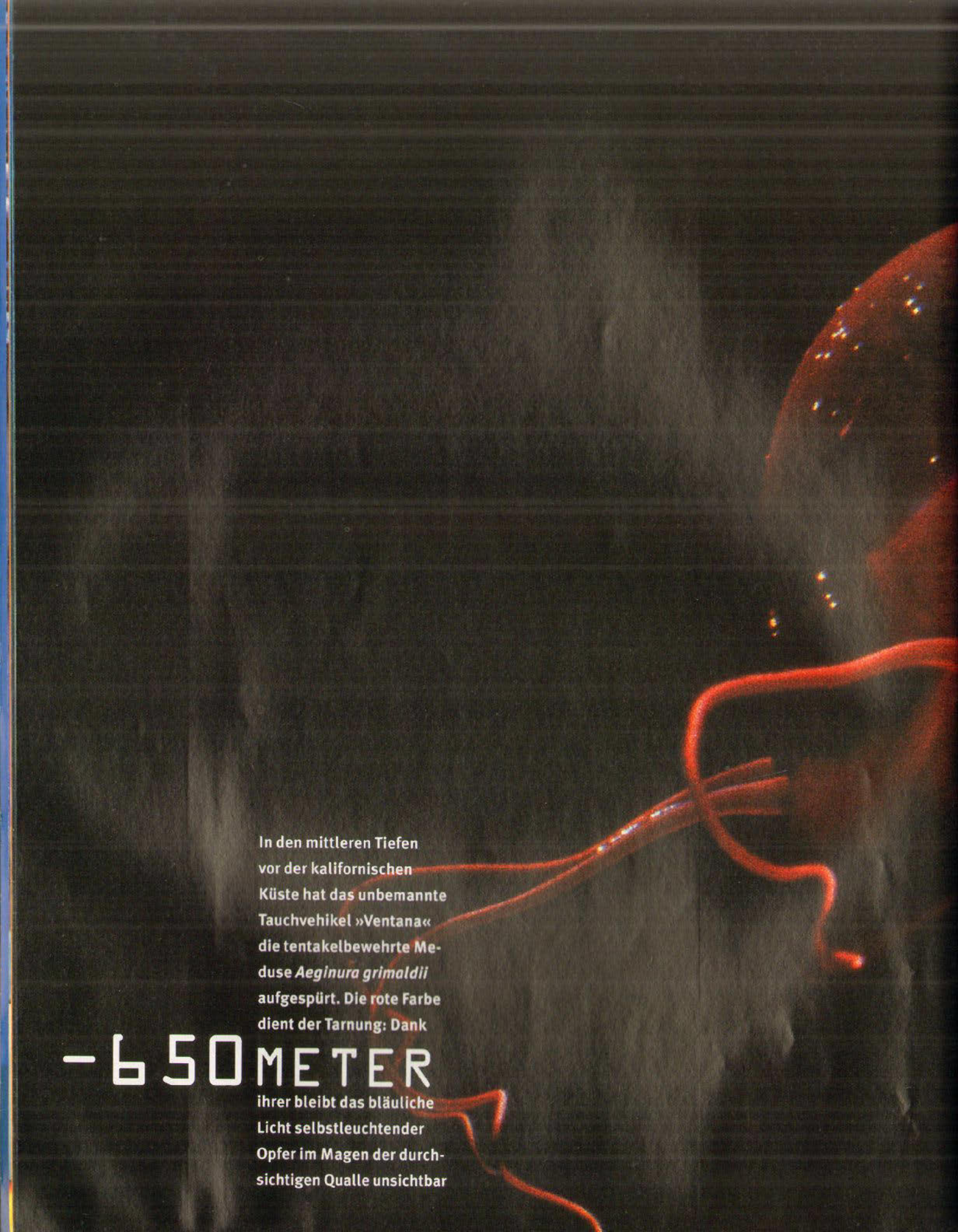


In völliger Dunkelheit,
bei Temperaturen unter
null Grad, gedeihen am
Grund des antarktischen
Weddellmeers vasen-
artige Glasschwämme, die
extrem langsam wachsen
und mehrere hundert
Jahre alt werden können.

- 295 METER

Zwischen ihnen jagen
die blauen Fische der Gat-
tung *Trematomus* kleinere
Meeresorganismen



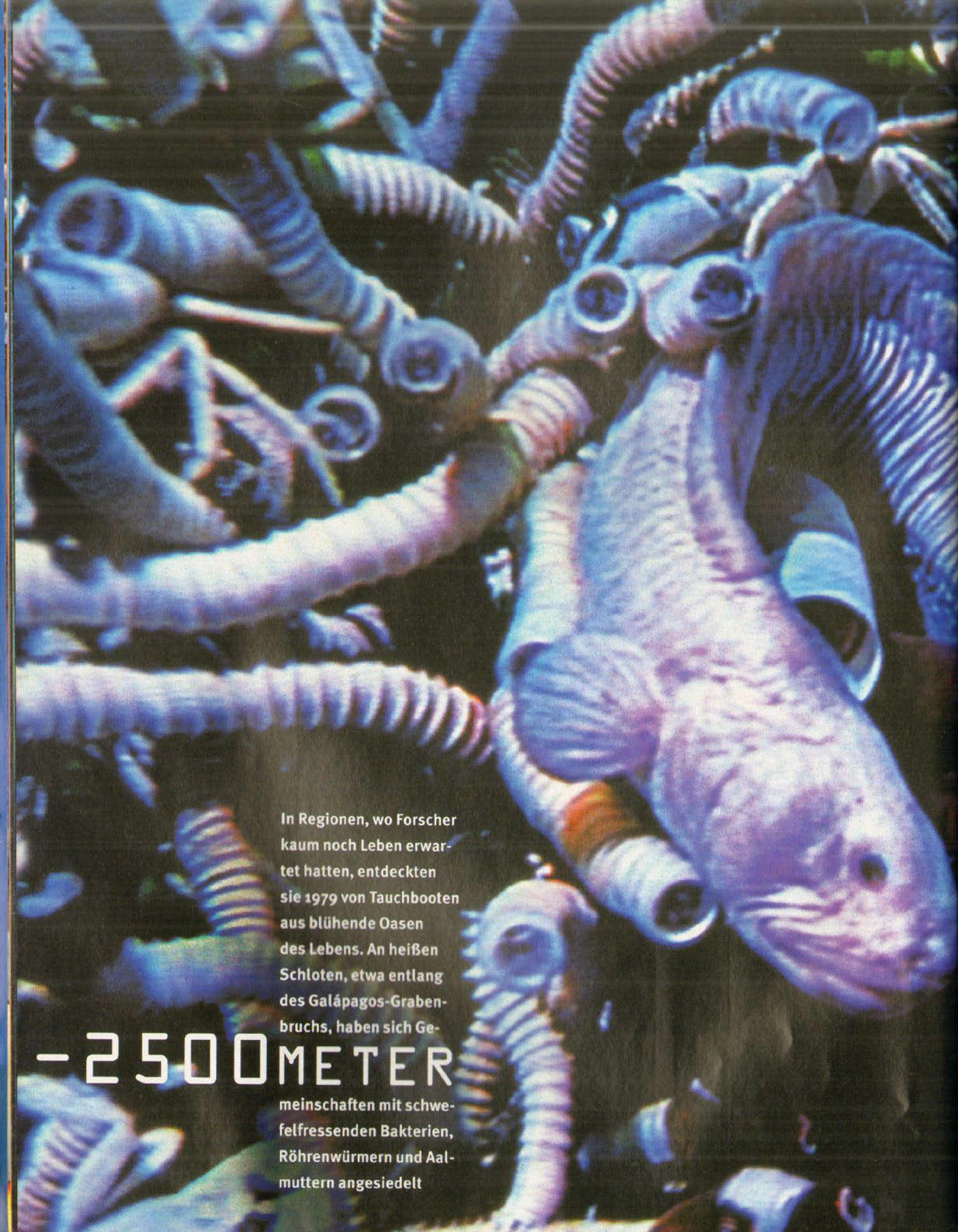


In den mittleren Tiefen
vor der kalifornischen
Küste hat das unbemannte
Tauchvehikel »Ventana«
die tentakelbewehrte Me-
duse *Aequorea victoria*
aufgespürt. Die rote Farbe
dient der Tarnung: Dank

- 650 METER

ihrer bleibt das bläuliche
Licht selbstleuchtender
Opfer im Magen der durch-
sichtigen Qualle unsichtbar





In Regionen, wo Forscher kaum noch Leben erwartet hatten, entdeckten sie 1979 von Tauchbooten aus blühende Oasen des Lebens. An heißen Schloten, etwa entlang des Galápagos-Grabenbruchs, haben sich Ge-

-2500METER

meinschaften mit schwefelfressenden Bakterien, Röhrenwürmern und Aalmuttern angesiedelt





- 4700 METER

Virgil Grissom war 1961
der zweite Amerikaner,
dem ein kurzer suborbita-
ler Ausflug ins Weltall
gelang. Nach der Fall-
schirm-Landung im Atlan-
tik konnte sich der Astro-
naut gerade noch aus
seiner Mercury-Kapsel
befreien, bevor sie nahe

der Bahamas versank.
Im Mai 1999 wurde sie
wieder entdeckt. Jetzt
soll sie ins Museum





Das Leben ist voller Fragen.

Hier sind die Antworten.


Schön, daß Sie mehr wissen wollen. Falls Sie sich fragen sollten, wo Sie unsere Magazine finden, hier drei Antworten: GEO Wissen gibt's entweder beim gutsortierten Zeitschriftenhändler. Direkt bei GEO (Telefon 0 40/3703 38 03 oder Telefax 0 71 32/96 91 91). Oder im GEO Explorer im Internet. Und eines sollten Sie auch noch wissen: Das nächste Heft kommt bestimmt.

GEO
WISSEN

DIE WELT VERSTEHEN MIT GEO

www.geo.de

Bestellkarte
finden Sie
auf Seite 147.



EIN KOSMISCHER GLÜCKSFALL

WASSER

Rätselhafter Stoff, ohne den kein Leben wächst. Mal flüchtiges Gas, mal hartes Eis und nur unter selten günstigen Bedingungen flüssig. Entstanden aus glühenden Materie-Resten, die bei der Geburt der Sonne übriggeblieben sind und sich zum Planeten Erde verklumpt haben. Was damals unter wütenden Meteoritenschauern auf die Erde gekommen ist, das füllt die Ozeane bis heute



DAS MEER!“ RIEF ICH AUS... EINE RIESIGE WASSERFLÄCHE, DIE SICH ÜBER DEN HORIZONT HINAUS ZU EINEM SEE ODER EINEM MEER WEITETE, LAG VOR UNS... BIS WEIT ZUM DUNSTIGEN HORIZONT HINAUS KONNTE MAN DIE UMRISSE DER MÄCHTIGEN STEILFELSEN DEUTLICH ERKENNEN. ES WAR EIN RICHTIGER OZEAN MIT ZERKLÜFTETER KÜSTE WIE AUF DER ERDE.

Der Mann, das muß man ihm lassen, hatte Phantasie.

Tief unten, wo nach dem einträchtigen Urteil von Geologen wie von Theologen nur noch die schiere Hölle Platz hat, wo Vulkane todbringenden Atem schöpfen und Erdbeben ihren furchtbaren Anlauf nehmen, wo es mit jedem Schritt unerträglicher wird und schließlich selbst Steine zerfließen – dort unten findet Jules Verne auf der „Reise zum Mittelpunkt der Erde“ plätscherndes Wasser im Überfluß. Ebenso gut hätte er einen Ausflug ins All als unendliche Seereise beschreiben können, beschieden von den Leuchtfeuern junger Sonnen und alternder Sterne.

Und auch damit käme er, unter den Segeln der Phantasie, der Wirklichkeit des Kosmos verblüffend nahe: Wasser, das aus Sauerstoff und Wasserstoff geborene Elixier, ohne das Erdenbewohner sich Leben nicht vorstellen können, findet sich im Universum in verschwenderischer Fülle. Kosmophysiker, die berufsbedingt Nullen nicht scheuen, berechnen den Wasserhaushalt des Alls auf zehn Millionen Milliarden Sonnenmassen. Stünde die Flüssigkeit in einem großen Eimer – ein Tropfenrest vom Eimerrand reichte leicht, die irdischen Ozeane vielfach zu füllen.

Bleibt nur die Frage, wie der Tropfen einst auf die Erde kam und sie zum einzigartigen, zum Blauen Planeten machte.

Heinrich Wänke kann sich über Menschen, die so fragen, immer noch etwas wundern. Wänke ist Nestor der deutschen Kosmochemiker am Mainzer Max-Planck-Institut für Chemie,

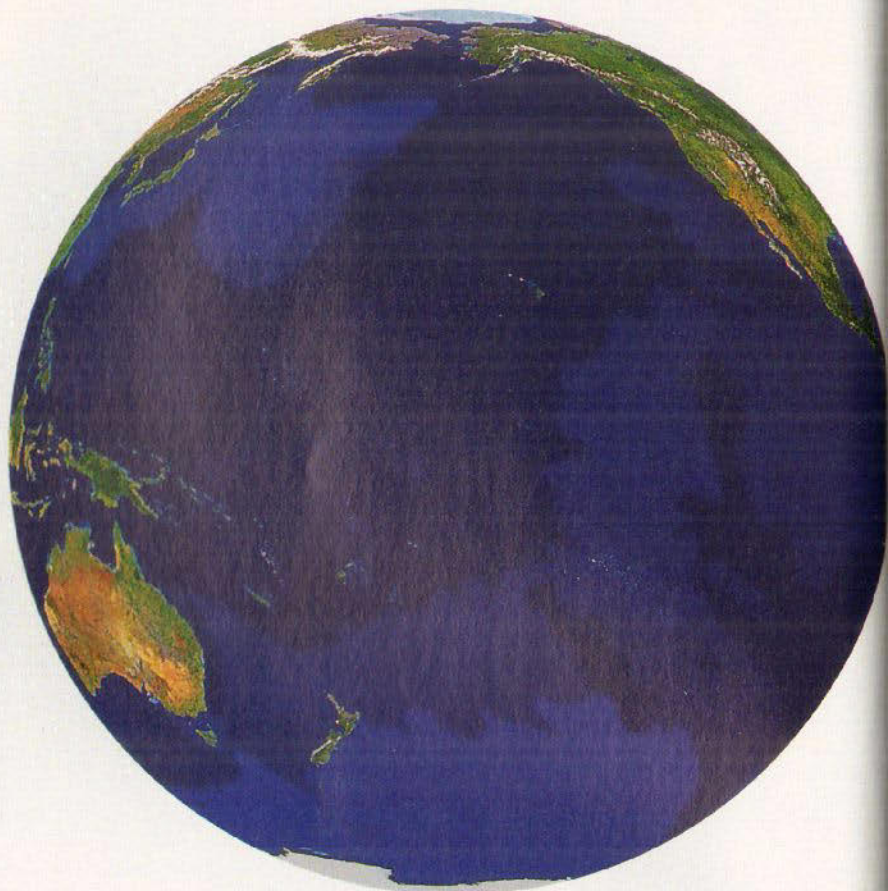
verhört seit Jahrzehnten Meteoriten und Kometen nach elementaren Botschaften über die Geburt unseres Planetensystems und sitzt in einem von Papieren übersäten Arbeitszimmer, in dem offenbar eben ein Kleinmeteorit die Handbibliothek gestreift hat.

In geduldigem Wiener Tonfall ruft er in Erinnerung, daß „Wasser ein ganz normaler chemischer Stoff ist. Normal bedeutet, daß Wasser im All flüchtig ist wie Gas; oder fest wie Eis“. Flüssig ist es dagegen nur im Ausnahmefall. „Unglücklicherweise hält der Laie die Ausnahme für den Normalfall, und das verursacht ihm einige Verstehensprobleme.“

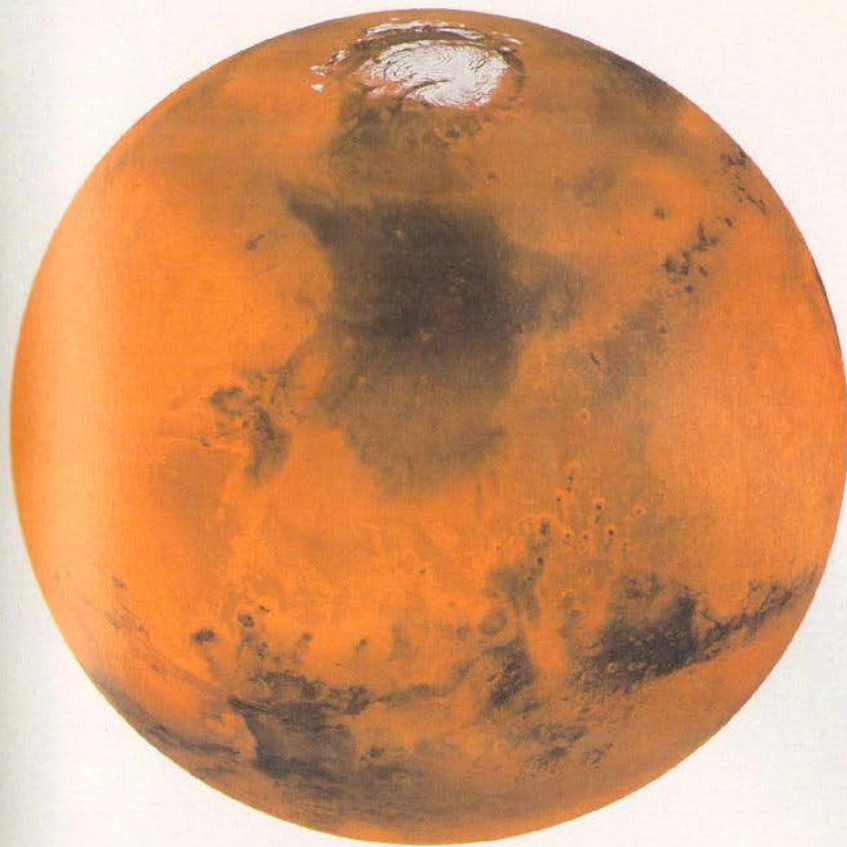
Dann repetiert der Professor, was er auch seinen Studienanfängern einbleut: „Staunen Sie nicht über das Wasser auf unserem Planeten; staunen Sie lieber darüber, daß die unmittelba-

ren Nachbarn im Sonnensystem so extrem trocken sind – obwohl sie vergleichbare Chancen hatten wie die Erde.“

Seit Schülergedenken ist die einleuchtendste Erklärung für diese offenkundigen Unterschiede jener kosmische Zufall, der dem Planeten Terra zwischen Gluthitze und Weltraumkälte den einzig passablen Platz an der Sonne beschert hat. Mit 15 Grad Celsius mittlerer Oberflächentemperatur bietet er genau die richtige Sphäre für alles, was vom Wasser lebt. Die Venus kreist zu nah um den Zentralstern und wird unter ihren undurchdringlichen Wolken aus Kohlendioxid, Stickstoff und ätzender Schwefelsäure bis auf 460 Grad aufgeheizt; der Mars steht etwas zu weit von der Sonne entfernt und ist bei durchschnittlich minus 60 Grad längst gefriergetrocknet.



WARUM IST DER ROTE BRUDE



UNSERER ERDE TROCKEN?

Eine Kette glücklicher Umstände sorgt dafür, daß unser Globus der Blaue Planet bleibt, er also seinen Wasservorrat nicht wieder in den Weltraum verliert und es ihm nicht ergeht wie dem toten Nachbarplaneten Mars: Aus dessen dünner Rest-Atmosphäre hat sich am Nordpol lediglich eine Eiskappe aus Kohlendioxid und Wasser niedergeschlagen

Ganz so plausibel wie auf den ersten Blick ist die Erklärung indessen nicht. Die gestochen scharfen Aufnahmen der jüngsten Mars-Sonden zeigen fein verästelte Flußsysteme. Durch kraternarbige Landschaften schlängeln mächtige Trockenströme, die in weite Tiefebene münden. Deren Ränder ähneln verblüffend jenen irdischer Meeresuferzonen; außerdem finden sich deutliche Anzeichen von Erosion – Hinweise genug auf einstmaliges fließendes Wasser: Bis zu einer Milliarde Jahre lang muß auch der heute eiskalte, staubrote Planet einmal blauschimmernd gewesen sein – trotz seiner sonnenfernen Umlaufbahn.

Andererseits führte ihre Bahn allein die Erde nicht zwangsläufig ins kosmische Paradies. Denn erst sehr allmählich hat die Sonne ihre heutige Strahlkraft gewonnen: Vor drei Mil-

liarden Jahren schien und wärmte sie noch um mindestens 30 Prozent schwächer – Kosmologen sprechen vom „Paradox der anfänglich schwächeren Sonne“. Und das hätte unserem Globus allenfalls eisige minus 15 Grad beschert. Bei solchen Dauertemperaturen wären in den ersten zwei Milliarden Jahren Erdgeschichte sämtliche Ozeane und Flüsse unter einem dicken Eispanzer erstarrt – falls sie überhaupt entstanden wären.

Doch eines der mit 3,9 Milliarden Jahren ältesten bekannten Gesteine unseres Globus bezeugt, daß trotz schwächelnder Sonne die Erde schon damals weder vereist noch vertrocknet war: Ein Felsstück aus Grönland zeigt eindeutig Material, das durch Erosion von der Kruste abgetragen, ins Meer gespült und unter Druck und Hitze neu verbacken worden ist. Dieses metamorphe Sediment berichtet in seiner uralten Sprache, daß es auf der kaum erkalteten Erde schon regnete, daß Bäche plätschernd mit Steinen spielten, warme Meere rauschten; und daß es für das wasserhaltige Treiben komplexere Ursachen geben muß als nur eine lebensfreundliche Umlaufbahn.

Also noch einmal: Wie ist das Wasser auf den Blauen Planeten gekommen, und wie hat er seither verhindert, daß es wieder verschwunden ist? Wänkes Hinweis auf die ursprüngliche Chancengleichheit unter Geschwisterplaneten weist den Weg – zurück zum Ursprung.

Von dem quirlend heißen Solarnebel, aus dem sich vor 4,6 Milliarden Jahren unser Sonnensystem gebildet hatte, war nicht mehr viel übrig, nachdem sich das Zentralgestirn herausgeformt hatte: Mindestens 95 Prozent der Materie waren ins aufglühende Zentrum gestürzt und befeuern seither den Kernfusionsofen Sonne, der mindestens noch weitere fünf Milliarden Jahre unseren Milchstraßen-Winkel mit Licht und Wärme versorgen wird.

Der kleine Materie-Rest, der wie ein Diskus um die neue Sonne rotierte, flockte aus und verklumpte zu Planeten – getreu den im Universum wie im

Lesen Sie bitte weiter auf Seite 30

Vor 4,6 Milliarden Jahren
beginnen sich Materie-Reste des
Solarnebels zu verdichten

DIE GEBURT DES BLAUEN

Zeitgleich mit den anderen Planeten unseres Sonnensystems entsteht vor 4,6 Milliarden Jahren die Erde. Während sich die inneren Sonnentrabanten aus felsig-metallischem Material zusammenballen, formieren

sich die äußeren Großplaneten aus flüchtigen Stoffen. Die »terrestrischen« Geschwister Merkur, Venus, Erde und Mars hatten zunächst alle die gleichen Startchancen. Doch unser Planet schlug einen Sonder-

Die durch Meteoriten vergrößerte Masse des Proto-Planeten Erde kühlt langsam ab

Sonnenwind bläst die dünne Ur-Atmosphäre ins All

Metalle wie Eisen, Nickel und Kobalt sinken nach innen. Eisen und Nickel bilden den Erdkern

Sonnenwind aus Elektronen, Protonen und Helium-Kernen

Aus der Erdkruste entweichen Kohlendioxid, Stickstoff, Wasserdampf und Edelgase

UV-Strahlung spaltet ausgegaste Wassermoleküle

Turbulenzen und Strömungen innerhalb des Erdkerns erzeugen nach dem Dynamo-Prinzip ein Magnetfeld

Das Magnetfeld lenkt den energiereichen Teilchenwind der Sonne um die Erde herum: Eine Atmosphäre baut sich auf

Wasserstoff entweicht ins All

Magnetfeldlinien

Wolken aus Wasserdampf

Erdkruste

Erdmantel

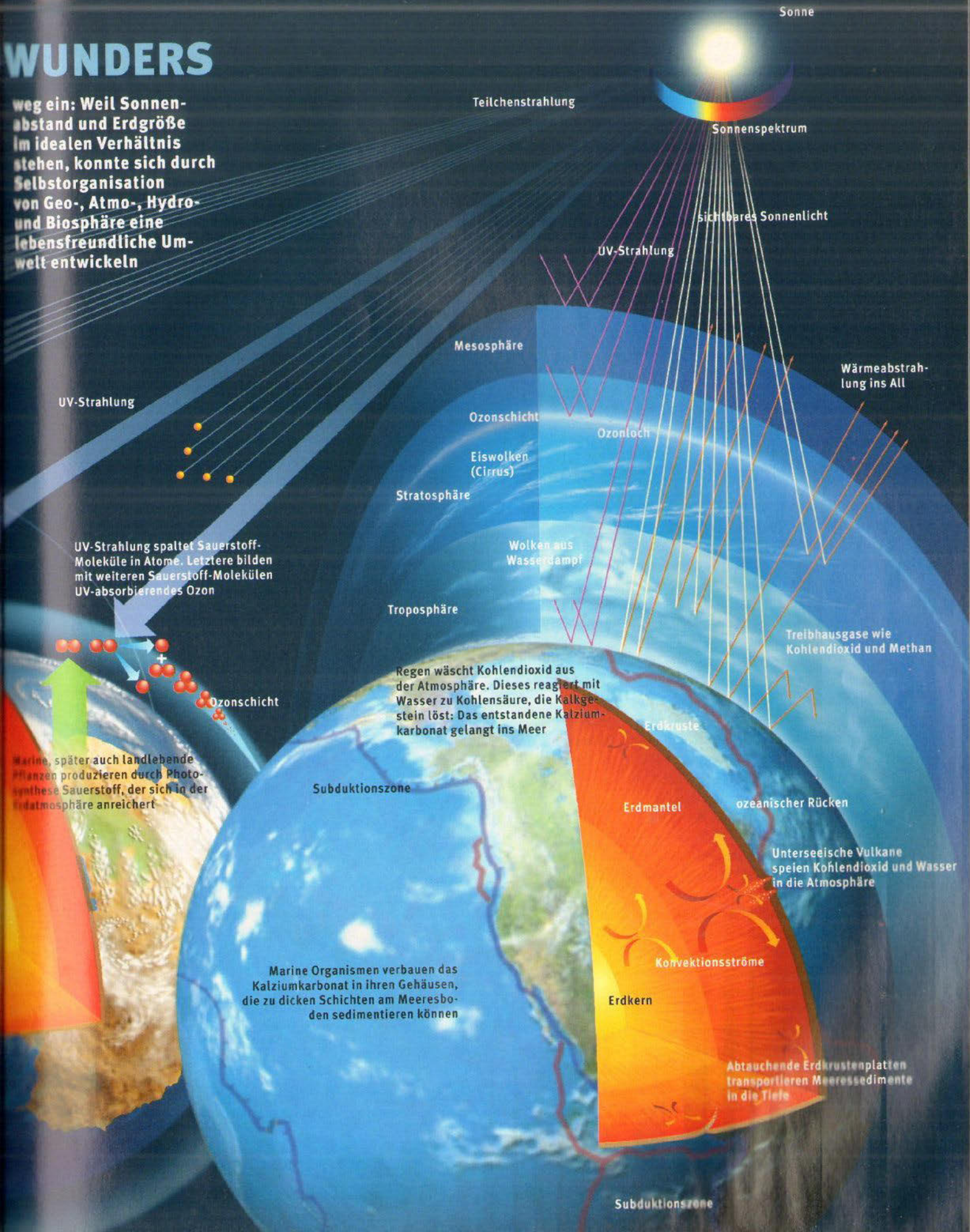
äußerer Erdkern

innerer Erdkern

Atmosphäre

WUNDERS

weg ein: Weil Sonnen-
abstand und Erdgröße
im idealen Verhältnis
stehen, konnte sich durch
Selbstorganisation
von Geo-, Atmo-, Hydro-
und Biosphäre eine
lebensfreundliche Um-
welt entwickeln



Chemiesaal geltenden Gesetzmäßigkeiten: Am äußeren Rand der Scheibe, viele hundert Millionen Kilometer vom glühenden Zentrum entfernt, kondensieren Gase, die bei tiefen Temperaturen feste Gestalt annehmen. Wasser und andere Substanzen, in die Wassermoleküle eingebaut sind, schlagen sich wie Rauhreif auf winzigen Festpartikeln nieder, verkleben zu schmutzigen Eiskällen und formen, von schweren Gashüllen umwabert, die kalten Riesenplaneten Jupiter, Saturn, Neptun und Uranus.

In der Nähe der heißen Sonne dagegen kondensiert jenes kosmische Material, das schon bei höheren Temperaturen seine Gasförmigkeit aufgibt und erstarrt. Es ist das Rohmaterial für die kleinen „terrestrischen“ Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, vorwiegend von felsig-metallischer Substanz, arm an flüchtigen Gasen. Und scheinbar knochentrocken.

Der Baustoff der künftigen Erde liegt zu dieser Zeit noch unsortiert beieinander, ganz wie der Zufall die aus der Nebelwolke gefällten Staubkörner mixt. Meteoriten, die in dieser Frühzeit entstanden sind, gleichen im Querschnitt geschüttetem, grobkörnigem Terrazzo-Boden.

Der ausgeflockte Sternenstaub verklebt, wächst in wenigen 10000 Jahren zu massigen Brocken. Die Asteroiden kollidieren wie spröde Billardkugeln, platzen, zertrümmern Konkurrenten in tausend Splitter, vereinen sich mit anderen zu noch größeren Klumpen von kartoffelähnlicher Häßlichkeit und mehreren tausend Kilometer Durchmesser. Heiß sind die Proto-Planeten, aber keineswegs glutflüssig. Aus der zusammengebackenen Masse steigen einige Gase auf. Auch etwas Wasserdampf enthält die Ur-Atmosphäre bereits.

Doch kaum entstanden, verweht diese schon ins All: Zu gering ist noch die Masse und somit die Anziehungskraft der neuen Himmelskörper, um die Gase halten zu können. Zu heftig verwirbeln immer neue Einschläge die Hülle und hinterlassen Unterdruckschneisen, durch die große Mengen labiler Atmosphäre ins All hinaus-

gesogen werden. Zu brutal bläst der Sonnenwind, der mit Überschallgeschwindigkeit dem schutzlosen Babyplaneten den ersten Gasmantel vom Leib reißt.

Doch ohne Atmosphäre kein flüssiges Wasser. Damit sie entstehen kann, sind weitere spektakuläre Ereignisse nötig. Sie beginnen ganz unauffällig. Dank geduldigen Staub- und Klumpensammelns wächst aus dem Zufallskrümel Erde allmählich eine Kugel von erheblicher Attraktivität. Auf kleinere Konkurrenten wirkt sie immer anziehender – je fülliger die Erde, desto größer werden die Brocken, die ihr nicht widerstehen können und aus immer weiterem Umkreis mit immer größerer Wucht auf sie einstürzen. Aufschlaggeschwindigkeiten von anfangs zehn Kilometern pro Sekunde haben Kosmologen errechnet. Und Einschlagenergien, die ausreichen, den Planeten bis in dessen Innerstes aufschmelzen zu lassen.

In dieser Hochtemperaturschmelze entkommen die einzelnen Elemente schließlich ihrem „Terrazzo-Gefängnis“. Ganz nach physikalischer Eigenart, chemischer Aversion und Zuneigung sortieren und differenzieren sie sich. Wie im Hochofen sinken zuerst die metallischen Schwergewichte Eisen, Nickel, Kobalt in die Tiefe, begleitet von Elementen, die sich mit Vorliebe an Eisen binden. Darüber lagern sich schwere felsige Silikate, aus denen die Erde ihre Kruste baut.

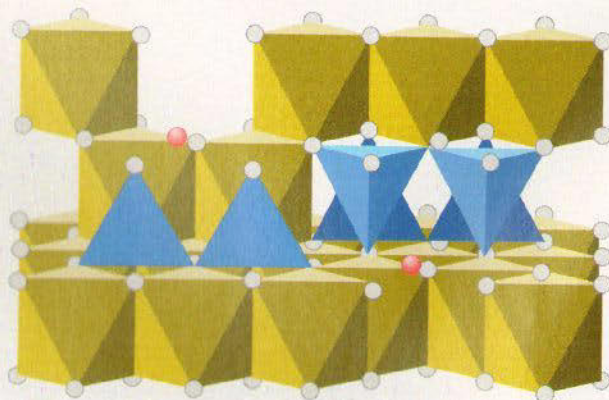
Bei der Feuergeburt werden der Erde weitere Eigenarten eingebrannt: Das unter gewaltiger Hitzeentwicklung abgesunkene Metall gerät im Zentrum des Planeten unter immensen Druck und wird wieder fest. Flüssiges Metall quirlt um den festen Kern und erzeugt wie ein Dynamo ein starkes Magnetfeld, das sich schützend um den Globus legt. Wie ein globaler Blitzableiter lenkt dieser Magnetmantel seither die tödlichen Eruptionswellen der Sonne um die Erde herum und bewahrt deren Atmosphäre davor, ins Universum verblasen zu werden.

Die neue Gashülle entsteht, seit aus der glutflüssigen Kugel vermehrt flüchtige Elemente entkommen: Kohlendioxid, Stickstoff, Edelgase. Immer häufiger auch Wasserdampf – um so mehr, je mehr in der flüssigen Schmelze Minerale auskristallisieren. In den neuen kristallinen Strukturen ist weniger Platz für Wasser als im primitiven Primärmaterial des Sonnennebels.

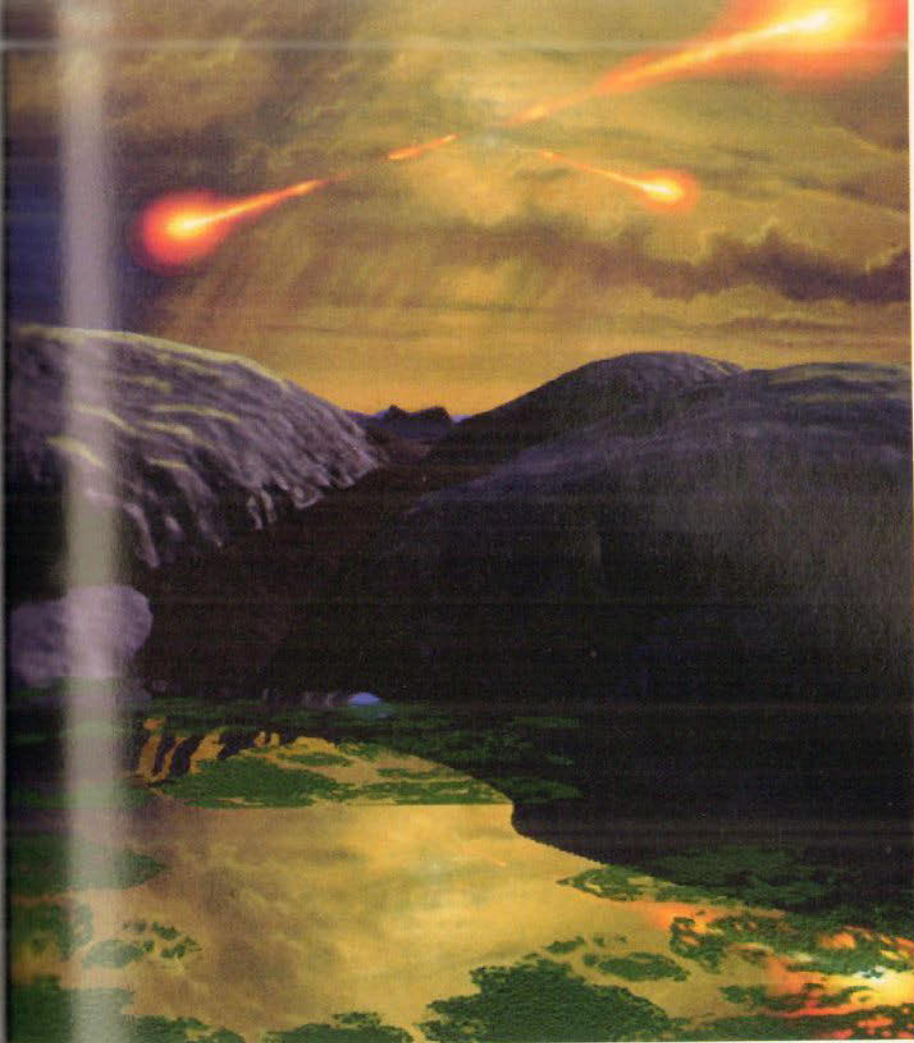
Alles Wasser der Erde, mehr als 1,4 Milliarden Kubikkilometer, letztlich ausgeschwitzt und herausgepreßt aus zu engen Kristallgittern der primären und sekundären Bauelemente?

Auch hier helfen Weltraumchemiker der beschränkten Vorstellung auf die Sprünge. In den nicht selten auftretenden Meteoriten, den Kohligen Chondriten, finden sie bis zu zehn Prozent Wasser, selbst in den seltenen Splittern, die es nach schweren Tref-

GEFANGEN IM GESTEIN



Aus Kristallgittern kam das meiste Erdenwasser, das Tiefengestein Wadleyit speichert immer noch immense Mengen von dessen Elementen: Wasserstoff (rot) ist eingepfercht zwischen Sauerstoff (weiß), Silizium (im blauen Tetraeder) und Magnesium (im gelben Oktaeder)



Heiß und giftig – die ersten Pfützen auf öder Kruste

fern vom Mars bis zur Erde verschlagen hat, finden sie noch ein Prozent chemisch gebundenes Wasser. „Wenn man den Wasseranteil jenes Materials errechnet, das in der Frühzeit auf die Erde gestürzt ist, dann ergibt das locker Mengen, die reichen, um alle Ozeane mehrfach zu füllen“, erklärt Heinrich Wänke.

Viele Millionen Jahre dauerte es, bis unser Globus soweit abgekühlt war, daß aus der Atmosphäre schließlich der erste Regentropfen auf die noch immer heiße Erdkruste fiel. Füllte sich die vom Meteoriten-Bombardement umgepflügte Kraterlandschaft endlich mit Wasser – einer scheußlichen Brühe mit kräftigen Beigaben von Chlor und Schwefel –, dann schlugen wieder und wieder gewaltige Brocken ein und jagten mit der daraus freige-

setzten Energie ganze Meere für weitere Jahrtausende als Wasserdampf in den Himmel.

Und noch einmal beginnt für das Wasser eine gefährliche Zeit. Vor Solarstürmen ist es jetzt zwar dank des im Erdzentrum rotierenden Dynamos geschützt. Doch die zersetzende Ultraviolett-Strahlung der Sonne knallt noch immer ungehindert in die dampfige Atmosphäre und spaltet dort die Wassermoleküle in deren Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff. In einer Milliarde Jahre geht dabei leicht eine ganze Ozeanfüllung verloren: Die Anziehungskraft der Erde ist zu schwach, um das abgespaltene leichte Wasserstoffmolekül an der Flucht ins All zu hindern. Und der befreite abgetrennte Sauerstoff – heute liefert er gut 20 Prozent der Atmosphäre,

aber damals war er noch extreme Mangelware – fällt gefräßig über alles her, was oxidierbar ist, und verbindet sich mit allen möglichen Elementen.

Erst ein weiterer dramatischer Klimawandel entschärft auch dieses gefährliche Leck in der Atmosphäre: Dank eines epochalen Schritts der Evolution – der Photosynthese – produzieren marine Mikroorganismen allmählich derart reichlich Sauerstoff, daß davon mehr und mehr aus dem Ozean in die irdische Lufthülle entweicht. UV-Strahlen zersetzen dort den frei vagabundierenden Sauerstoff zu Ozon, und – Ironie der Erdgeschichte – diese von UV-Strahlen erzeugte Ozon-Schicht ist schließlich kaum mehr von UV-Strahlen zu durchdringen: Der Wasserdampf in der Atmosphäre ist vor Attacken aus dem Weltraum sicher.

Bleibt der letzte raffinierte Trick, mit dem die Erde sich feucht und das Wasser flüssig hält. Er ist es, der den eigentlichen Unterschied zwischen dem Blauen Planeten und dessen toten Nachbarn ausmacht.

Wänkes Kollege, der Geochemiker Albrecht Hofmann, empfiehlt zum besseren Verständnis, das etwas in Verfall geratene Treibhausgas Kohlendioxid (CO_2) gedanklich zu rehabilitieren. Dank seiner Eigenschaft, Sonnenlicht in die Atmosphäre einzulassen, die in Wärme umgewandelten Strahlen jedoch am Entweichen zu hindern, hatte es die Erde schon vor dem Erfrieren bewahrt, als die Sonne noch unzulänglich wärmte. Das viel wirksamere Treibhausgas Wasserdampf ist auch für den entgegengesetzten Effekt gut und dient womöglich der Kühlung, wenn Überhitzung droht.

Wasser verdunstet aus Flüssen, Meeren, Seen und Pflanzen. Die mit dem Dampf angereicherte Luft steigt über der von der Sonne aufgeheizten Erdoberfläche auf, bis das Wasser kondensiert und Wolken bildet – 40 Prozent der Erdoberfläche sind ständig von ihnen bedeckt. Wolken können, was Wasserdampf nicht vermag: Sie verwehren Teilen der Sonnenstrahlen den Weg zur Erdoberfläche

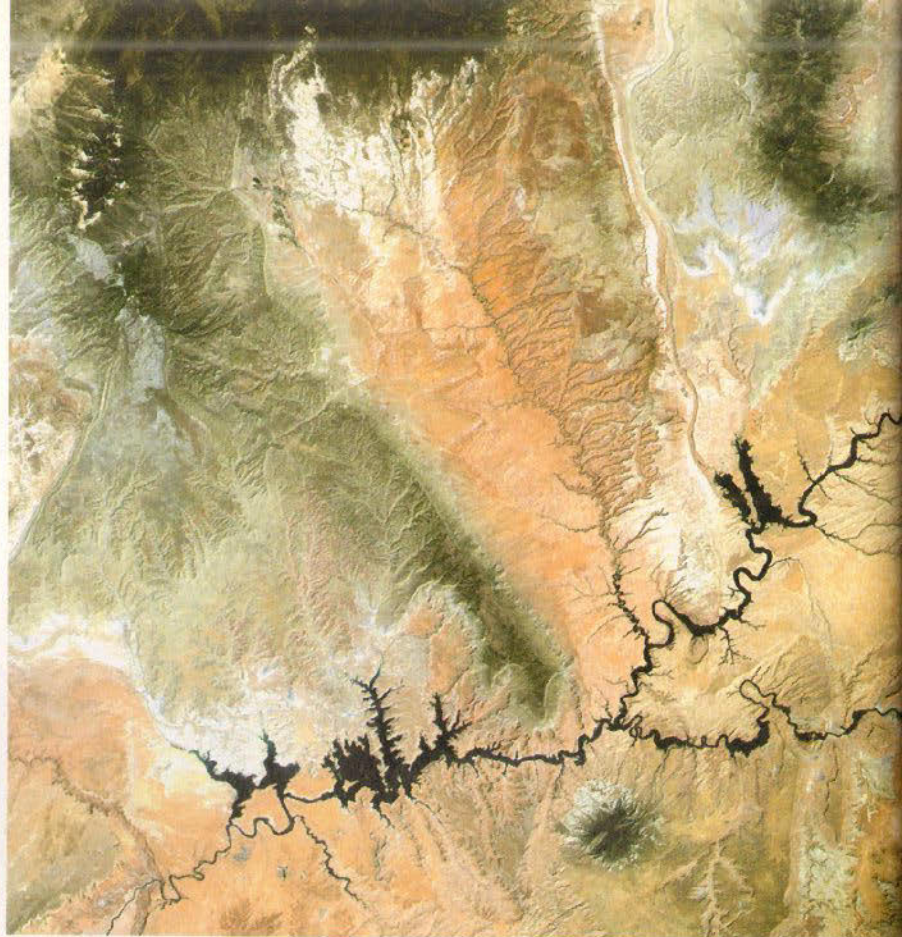
und reduzieren dadurch die Temperatur im Treibhaus. Außerdem lassen sie es regnen.

Der Regen wäscht dann aus der Atmosphäre das reichlich enthaltene CO_2 und bildet daraus Kohlensäure; Kohlensäure löst aus den Gesteinen Kalzium, Flüsse spülen es ins Meer. Abermilliarden von Mikroorganismen bauen das daraus entstandene Kalziumkarbonat in ihre Gehäuse ein, nach ihrem Absterben sinken deren Schalen zu Grunde und bilden mächtige Schichten aus Kalk, der größere Mengen CO_2 vorübergehend aus dem Verkehr zieht.

Und weiter geht die Arbeit des Geo-Bio-Systems Erde: Die Meeresböden – nirgends älter als 200 Millionen Jahre – sind der beweglichste Teil des Planeten und unentbehrlich für das Funktionieren der globalen Klimamaschine. Aus rund 75 000 Kilometer langen unterseeischen Bruch- und Nahtstellen entlang acht großer und zwei Dutzend kleiner Erdkrustenplatten quillt unablässig Magma aus der Tiefe. Es schiebt – mit einer Geschwindigkeit von einem bis zehn Zentimetern pro Jahr – die ozeanischen Böden auseinander und preßt sie gegen die Ränder der alten Festlandsockel, wo sie wieder in die zähfließenden Tiefen des Erdmantels abtauchen.

Dabei wird das in den feuchten Ozeanbodensedimenten gespeicherte Kohlendioxid unter Druck und Hitze aus seiner Versteinerung erlöst und von Vulkanen entlang der Stauch- und Bruchzonen wieder in die Atmosphäre ausgeatmet: Wasser und CO_2 sind dank der Plattentektonik zurück im globalen Kreislauf.

Nach der im wesentlichen von dem Engländer James Lovelock entworfenen Gaia-Theorie ist das System gegen größere Ausreißer nach oben wie nach unten gesichert: Wird es zu kalt, dann vereisen die Gewässer, Wolkenbildung und Niederschlag gehen zurück, Erosion und Zufuhr von Kalzium ins Meer erlahmen. Immer kühler wird es. Doch während Vulkane unvermindert weiter Treibhausgase ausstoßen, füllen sie die wolkenlose Atmosphäre mehr und mehr mit CO_2 ;



UNTRÜGLICHE WASSERZEICHEN

Es wird wieder wärmer, bis die Verdunstung von neuem anhebt, sich wiederum Regenwolken bilden, die einen Teil der Sonneneinstrahlung abschirmen und die Hitze mildern – da capo in diesem genialen System.

Und was ist mit Mars? Mit Venus? Und mit Jules Verne?

Mars hatte wirklich schlechte Karten. Mit nur einem Zehntel der Erdmasse und einer Atmosphäre, deren Dichte nur ein Hundertstel der irdischen beträgt, war er zu leichtgewichtig, um seine Gashölle festzuhalten, und zu klein, um sich vor Auskühlung im Weltraum zu schützen. Er blieb darum auch schon bald ohne den Schutz eines Magnetfelds, wohl auch ohne die dauerhaft arbeitende geniale Plattentektonik-Klimamaschine, die nach Bedarf CO_2 bindet und freisetzt, Wasser wärmt oder vor Überhitzen und Verdampfen schützt.

Venus – fast gleich groß wie die Erde, aber wahrscheinlich ohne wirksame Plattentektonik – hat ebenfalls irgendwann die Balance verloren. In ihrer unerträglich heißen Atmosphäre ist das Wasser längst verdampft, von UV-Strahlung zersetzt und in Resten als Schwefelsäure gefesselt. Die Atmosphäre dieses Planeten ist inzwischen fast 100fach dichter als die der Erde. Da die Klimaautomatik versagte, enthält die Venus-Luft heute 260 000mal mehr CO_2 als die Erdatmosphäre. Offenbar ist es aus dem Gestein in die Atmosphäre entkommen und nicht mehr zurückgeholt worden: Das in allen Kreidefelsen und Kalkgebirgen der Erde zwischengespeicherte Kohlendioxid entspricht ziemlich genau jener Menge des Treibhausgases, das die Venus-Atmosphäre überhitzt.

Und Jules Verne? Er hat einen ganz ungewöhnlichen Mitreisenden gewon-



nen, einen, dessen professioneller Vorzug nicht die Literatenphantasie ist und der besser als die meisten Zeitgenossen weiß, wie höllisch heiß und trocken es unter der Erdkruste zugeht: Hans Keppler. Der Wissenschaftler im Bayerischen Geoinstitut experimentiert mit Apparaturen, um die ihn Geophysiker der halben Welt beneiden. Er erzeugt in einem Neubau auf dem Campus der Universität Bayreuth Drücke und Temperaturen, die sonst nur im Innersten der Erde herrschen. Dabei inszeniert er chemische Reaktionen, die bislang allenfalls in Modellrechnungen nachgestellt, aber nie beobachtet werden konnten.

Das Regal in seinem Büro sieht aus wie die Sammlung eines Munitionsexperten – bizarr zerfetzte Schatullen und Röhrchen, die zwar aus den härtesten High-Tech-Legierungen der zivilen und militärischen Stahlküchen gefertigt sind, aber trotz-

dem den Ansprüchen Kepplers nicht gewachsen waren. Wenige Schritte entfernt läuft das „Jules-Verne-Experiment“.

Zwischen die Spitzen zweier Diamanten plazierte Keppler mit Geschick und Engelsgeduld einen Splitter Silikatgestein und einen Tropfen Wasser – zwei Kombattanten, die gewöhnlich nichts miteinander anfangen, die es aber zwangsläufig miteinander zu tun bekommen, wo durchnässte Ozeanböden an Subduktionszonen viele hundert Kilometer tief in den siliziumhaltigen äußeren Erdmantel zurückgepreßt werden.

Keppler erhöht allmählich Druck und Temperatur und beobachtet das Material zwischen den Diamantspitzen. Lange geschieht einfach – nichts. Dann kommt Unruhe auf, der Stein verliert seine scharfen Konturen, beginnt zu schmelzen, eine wolkige Emulsion entsteht, quirlt wild durcheinander. Noch etwas mehr Druck und Hitze – und unversehens herrscht wieder Ruhe unterm Mikroskop. Der wasserunlösliche Stein ist verschwunden, hat sich spurlos im Wasser aufgelöst. Nun etwas weniger Druck: simulierter Aufstieg aus dem Hades. Wieder erscheint die wirbelnde Emulsion. Noch etwas weniger Hitze – und zufrieden erkennt Hans Keppler wieder den Stein im stillen Wasser.

Ob das bislang Unvorstellbare tatsächlich im Erdinneren so abläuft, weiß Keppler natürlich nicht. Aber daß es möglich ist – das haben er und seine Kollegen bewiesen: Selbst der wasserunfreundliche Erdmantel kann Wasser, viel Wasser aufnehmen. 1,5 Prozent seines Wassergehalts, schätzt Keppler, werden bei der Subduktion der Meeresböden nicht durch die Vulkanschote zurückgespuckt, sondern mit in die Tiefe genommen und dort gespeichert. Wie viele Ozeanfüllungen mögen da unten inzwischen schon angekommen sein? Keppler hebt die Schultern: „Viele.“

Für Jules Vernes Ozean reicht es allemal.

Günther Mack, 63, als Theologe eigentlich für andere Schöpfungsepen zuständig, ist Mitglied der GEO-Redaktion.



Das ist am Colorado beim Lake Powell (oben) nicht anders als auf dem Mars: Wo jemals Wasser geflossen ist, hin-

terläßt es typische, fein verästelte Spuren. Hat es, wie auf der Erde, genügend Zeit, kann es ganze Gebirge abtragen



VERHALTENSFORSCHUNG

DIE REISE DER

GIGANTEN



Jeden Herbst und jedes Frühjahr brechen Hunderttausende Pottwale auf – vom Pol zum Äquator oder andersherum. Vieles an dieser Wanderschaft ist noch heute rätselhaft

Die Reise zu den Azoren beginnt an einem Tag im September. Der Himmel ist grau, die See kabbelig, der Wind hat aufgefrischt und bläst eisig aus Nordnordost.

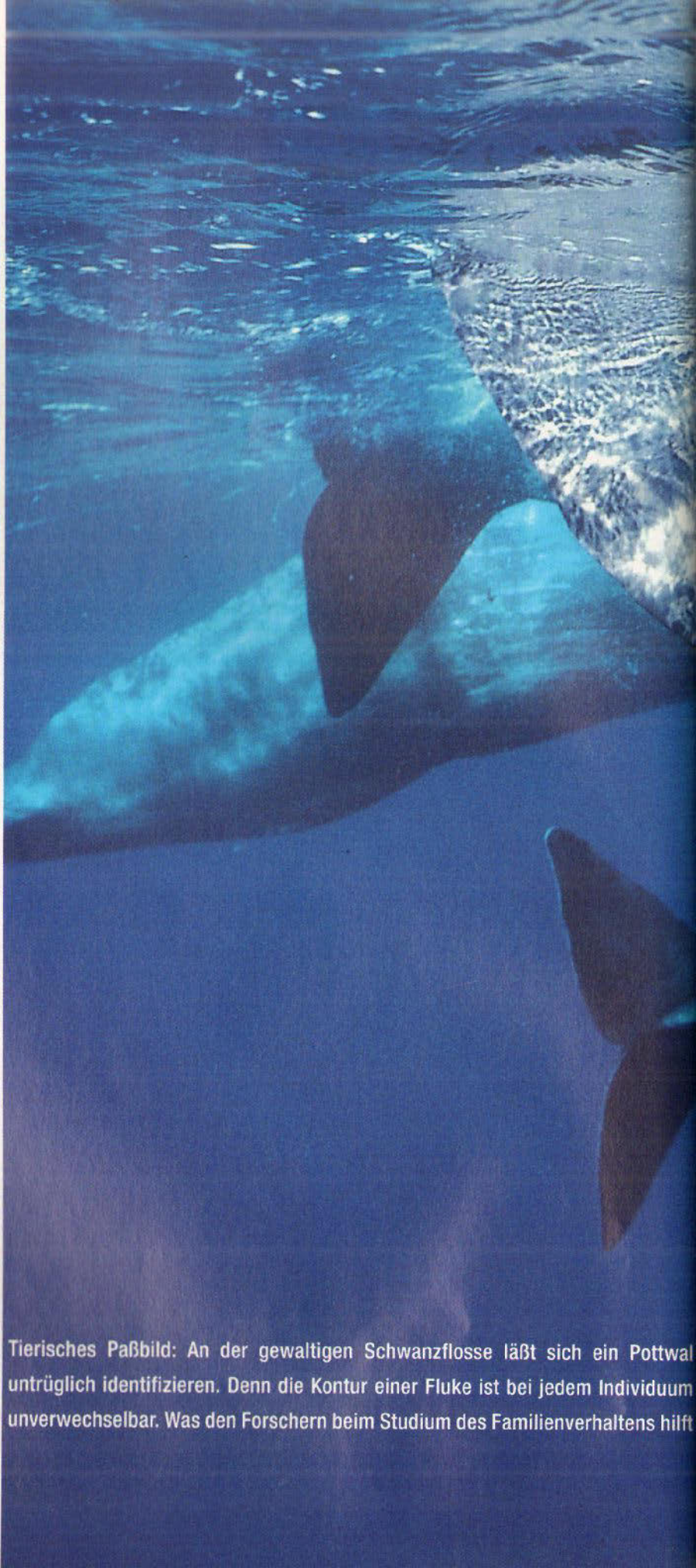
Sie sind zu fünft, ein Trupp junger Bullen, zwischen 16 und 20 Jahre alt. Der „kleinste“ ist knapp zehn Meter lang und 25 Tonnen schwer, der älteste wiegt anderthalbmal soviel und mißt 15 Meter.

Sie sind nicht die einzigen, die in diesen Tagen und Wochen aufbrechen. Etwa 2000 bis 3000 Pottwale haben den Sommer hier verbracht, vor den Vesterålen, einer Inselgruppe nördlich der Lofoten, rund 250 Kilometer oberhalb des Polarkreises. Bis Mitte Oktober werden sich die meisten von ihnen auf den Weg nach Südwesten gemacht haben. Ihr Ziel ist das Seegebiet um die Azoren, zwischen 27 und 33 Grad westlicher Länge knapp unterhalb des 40. nördlichen Breitengrads.

Längen. Breiten. Meter. Meilen. Azoren. Lofoten. Das sind alles Begriffe aus der Welt der Menschen, jener Geschöpfe, die ohne Maße, Fixpunkte, Navigationsinstrumente in der Weite der Ozeane völlig verloren sind. Den Walen bedeutet das alles nichts. Wolken und Wind, Sterne und Sonnenstand – alles, was oberhalb der Wasseroberfläche geschieht und für die Menschen unerläßliche Orientierungshilfe ist, nehmen die Wale nur am Rande wahr.

Zwar haben die fünf oben im Nordmeer vor den Lofoten nicht gemerkt, daß die Tage kürzer werden. Doch gespürt haben sie, durch hochempfindliche Wärmerezeptoren auf der Haut, daß die Luft kühler wird und die Wassertemperatur sinkt. Wenn auch die ungefähr 20 Zentimeter mächtige Fettschicht, die ihren Leib umschließt, sie davor bewahrt hat zu frieren. Die Körper und Sinne dieser Tiere sind für das Vagabundieren zwischen Meeresoberfläche und großen Tiefen eingerichtet – jenen Regionen, die weder von der Sonne noch vom Wechsel der Jahreszeiten berührt werden.

Dort unten finden sie ihre Beute – vorwiegend kleine, zehnamige Tintenfische. Die werden um diese Jahreszeit langsam knapp, und daher „wissen“ die fünf, daß es Zeit ist aufzubrechen. Letztes Jahr sind sie um die gleiche Zeit verschwunden, so wie die Jahre davor auch. Und mit derselben unerschütterli-



Tierisches Paßbild: An der gewaltigen Schwanzflosse läßt sich ein Pottwal untrüglich identifizieren. Denn die Kontur einer Fluke ist bei jedem Individuum unverwechselbar. Was den Forschern beim Studium des Familienverhaltens hilft





chen Regelmäßigkeit werden sie sechs bis sieben Monate später, im März oder April, wieder hierher zurückkehren, genau hierher – in ein Gebiet, das etwa 10 bis 13 Seemeilen vor der Küste von Andenes liegt.

Die Pünktlichkeit der Pottwale war für die norwegischen Walfänger stets eine gute Geschäftsgrundlage. Noch bis Anfang der siebziger Jahre konnten sie sicher sein, daß sie nicht länger als vier, fünf Tage vor den Lofoten unterwegs sein mußten, um drei bis vier Pottwale an Land bringen zu können – genug für 40 bis 80 Fässer wertvollen Walrats aus dem mächtigen Kopfgewebe. Heute gehen nur noch Touristenboote auf Waljagd, deren Betreiber allerdings eine blendende Erfolgsgarantie geben können: Die Wahrscheinlichkeit, im Lauf einer zweistündigen Fahrt einen Pottwal zu erblicken, beträgt 95 Prozent.

Auch die fünf Jungbullen sind schon gesichtet worden: der Kleine, dessen

Haut, je nach Beleuchtung, noch ebensmäßig graublau bis schokoladenbraun ist, der Gekerbte und der Gezackte, deren Schwanzflossen – Fluken genannt – an ihren Rändern charakteristische Markierungen aufweisen, der Geschrammte, auf dessen Rücken ein Bündel weißer Linien sichtbar ist, und schließlich der Große, der am Kopf eine Anzahl ebenfalls weißer, seltsam kreisförmiger Narben trägt.

Manche Menschen können aus solchen Markierungen Interessantes ablesen: zum Beispiel, daß der Große einmal mit einem Riesenkalmar gerungen hat, einem jener sagenhaften, doch durchaus realen Tiefseeungeheuer, deren bis zu 14 Meter lange Fangarme mit Saugnäpfen vom Durchmesser eines Suppentellers bestückt sind. Sie können mit einiger Wahrscheinlichkeit vermuten, daß der Geschrammte seine ersten Rankämpfe mit anderen Bullen hinter sich hat und der Gekerbte die

Angriffe eines Schwertwals abwehren konnte.

Die Nahaufnahme einer Fluke ist so etwas wie das Paßbild eines Wals, denn jede Schwanzflosse hat ihre unverwechselbare Kontur. Einige Walforscher haben auf Beobachtungsfahrten Tausende von Fluken fotografiert. Mit Hilfe der Fotos hoffen sie, die „Bevölkerungsentwicklung“ der Pottwale in verschiedenen Meeresregionen kennenzulernen, ebenso die Wanderrouen und -zeiten.

In diesen Septembertagen sind Hunderttausende, vielleicht über eine Million von Pottwalen unterwegs, in allen sieben Meeren. Es sind nur die Bullen, die auf große Nord-Süd-Wanderschaft gehen, zweimal im Jahr, im Herbst und im Frühjahr.

Anders als viele ihrer Verwandten, etwa Buckel- und Finnwale, halten sich die Pottwale nicht in der Nähe der Küsten auf, sondern bleiben in tie-



Mutterleid: Als ob es sich nicht von ihm trennen könnte, trägt ein Pottwal-Weibchen vor der Azoreninsel Pico sein totgeborenes Baby im Maul. Einen Tag später finden Fischer das Jungtier auf der Wasseroberfläche treibend

feren Gewässern abseits der Kontinentalschelfe.

Auf der Südhalbkugel der Erde, wo in diesen Wochen der Sommer beginnt, ziehen die Pottwalbullen polwärts – von den polynesischen Inseln, von den Chatham Grounds bei Neuseeland, von den Galápagos-Inseln gegen den kalten, fischreichen Humboldtstrom Richtung Antarktis. Die ist auch das Ziel der im Indischen Ozean und im Südatlantik heimischen Pottwale, die vor den Seychellen, vor Madagaskar oder auch Südgeorgien gesichtet werden.

Auf der Nordhalbkugel, in deren höheren Breiten jetzt der Winter einsetzt, beginnt der Zug nach Süden – hauptsächlich von den Kurilen Richtung Japan. Im Atlantik verlaufen die Wanderrouten von Grönland zu den Bermudas, von den Lofoten zu den Azoren.

Hier, in den wärmeren, äquatornahen Regionen, leben die Pottwalkühe mit den Jungtieren. Auch sie wandern

umher, in Gruppen zu etwa 20, doch verlassen sie selten die Gewässer innerhalb der Wendekreise.

Die fünf Reisenden von den Lofoten ziehen südwestwärts. Langsam, in stetigem Rhythmus, schlagen die fünf Fluke auf und ab, auf und ab.

Es ist eine gewaltige Kraft, die diese bis zu vier Meter breiten, sanft geschwungenen Dreiecke bewegt. Walfänger früherer Jahrhunderte fürchteten sie, denn ein einziger Schlag von ihnen konnte ein Fangboot zertrümmern. Ihre Antriebsleistung entspricht, schätzen Forscher, mehreren hundert PS – genug, um einen bis zu 57 Tonnen schweren Wal zehn Kilometer pro Stunde vorwärts zu bewegen, in Gefahrensituationen auch bis zu 30 Kilometer. Wenn die fünf Reisenden zügig Kurs hielten, könnten sie in wenigen Wochen vor den Azoren sein.

Aber so zielstrebig sind Pottwale nicht. Ihre Route beschreibt vermutlich

eher eine Zickzack- und Schlangellinie, mit etlichen Abstechern seit- und rückwärts und tage-, womöglich wochenlangen Ruhepausen.

Womöglich... vermutlich... Forscher rätseln, ob, Walfänger schätzen, daß...

Wenn Menschen über Wale berichten, tun sie das stets mit Vorbehalten und einschränkenden Formulierungen – notgedrungen, denn manches wissen sie einfach nicht. Obwohl sie viele Wale, besonders auch den Pottwal, über Jahrzehnte so gründlich beobachtet und erforscht haben wie kaum eine andere Ordnung von Wildtierarten.

So wissen sie, daß der Pottwal mit 20 Meter Maximallänge der größte Beutejäger der Welt ist, der größte unter den Zahnwalen. Sie wissen, daß sein Verbreitungsgebiet neben dem des Schwertwals das größte aller Meeressäuger ist – zwischen den Polarregionen aller Weltmeere – und zugleich sei-

ne Vermehrungsrate eine der niedrigsten im gesamten Tierreich: Eine Pottwalkuh bringt lediglich alle fünf Jahre ein Junges zur Welt, und bis dieses sich erstmals fortpflanzt, kann es 27 Jahre dauern.

Das entdeckten die Menschen erst vor wenigen Jahrzehnten, und gerade noch rechtzeitig: Nach zweieinhalb Jahrhunderten kommerziellen Pottwalfangs war der Gesamtbestand von *Physeter macrocephalus*, geschätzt auf ein bis zwei Millionen, um etwa die Hälfte geschrumpft. Heute, 13 Jahre nach Beginn der Schutzzeit, haben sich die Populationen wieder erholt. Optimisten sprechen von zwei Millionen, Pessimisten von höchstens einer. Sie verweisen auf Pottwalzählungen, etwa vor Galápagos, die ergeben haben, daß dort der Anteil geschlechtsreifer Bullen gerade mal zwei Prozent beträgt – normal wären 15 Prozent. Dies liegt vermutlich daran, daß sich die Pottwaljagd zuletzt fast ausschließlich auf männliche Tiere konzentriert hat. Noch in den sechziger und siebziger Jahren wurden weltweit 20 000 Pottwale erlegt – pro Jahr.

Schon die Walfänger haben gelernt, daß Pottwale, im Gegensatz zu den meisten Bartenwalen, ausgesprochene Gruppentiere sind. Doch erst durch systematische wissenschaftliche Beobachtungen wurde bekannt, wie komplex, innig und auch dauerhaft die Sozialbeziehungen unter Pottwalen sind und daß die früher „Harems“ genannten Wal-Clans in Wirklichkeit Müttergruppen sind, die von weiblichen Tieren angeführt werden. Menschen haben dem komplizierten Rhythmus der Klick-Laute gelauscht, mit denen die Säuger untereinander kommunizieren, und festgestellt, daß es sogar unterschiedliche Dialekte gibt: Azoren-Wale „klicken“ in anderen Abständen als Galápagos-Wale. Entdeckt wurde auch, daß der mächtige Pottwalkopf nicht nur das größte Gehirn aller Tierarten enthält, sondern auch den größten Schallgenerator, den die Natur hervorgebracht hat. Diesen nutzen die Pottwale als Echolot – zur Orientierung bei ihren Tauchgängen.

Außer See-Elefanten und Entenwalen ist kein anderes Säugetier imstande, so tief und so lange zu tauchen. Bis zu zwei Stunden können Pottwale unter Wasser bleiben, bis zu 3000 Metern dringen sie in die Tiefe vor. Soviel wissen die Menschen. Aber was die Wale

da unten tun, können sie sich nur mehr oder weniger zusammenreimen. Denn bis heute ist es noch niemandem gelungen, einen Pottwal auf seiner Exkursion in die Finsternis zu begleiten.

Die fünf Reisenden von den Lofoten gehen auf Jagd. Es ist Mitte Oktober, sie sind jetzt etwa 40 Seemeilen westlich der Shetland-Inseln. Menschen sind nicht in Sicht. Nur ein Schwarm Eissturmvögel kreist über den Walen. Die Vögel können sehen, wie sich nach und nach fünf Fluklen aus dem Wasser erheben, einen Moment lang senkrecht emporragen und dann mit einem Schlag hinabgleiten. Einige Sekunden lang sind auf der Wasseroberfläche fünf spiegelglatte, kreisrunde Flecken zu sehen.

Geschwindigkeit: rund fünf Kilometer die Stunde. Schwimmrichtung: abwärts. 200, 500, 800 Meter. Ab 200 Meter erlischt der letzte Schimmer von Tageslicht. Alle zehn Meter erhöht sich der Wasserdruck um eine Atmosphäre. Die Lungen der Wale sind jetzt flach zusammengepreßt. Nach einer Viertelstunde haben sie 1000 Meter erreicht. Hier halten sie inne.

Sagte da jemand, es sei stockdunkel hier unten? Stimmt nicht. Ringsum tanzen Myriaden von Lichtpunkten – Laternenfische, Leuchtgarnelen, andere biolumineszente Lebewesen, die bei Störung oder Erregung zu leuchten beginnen.

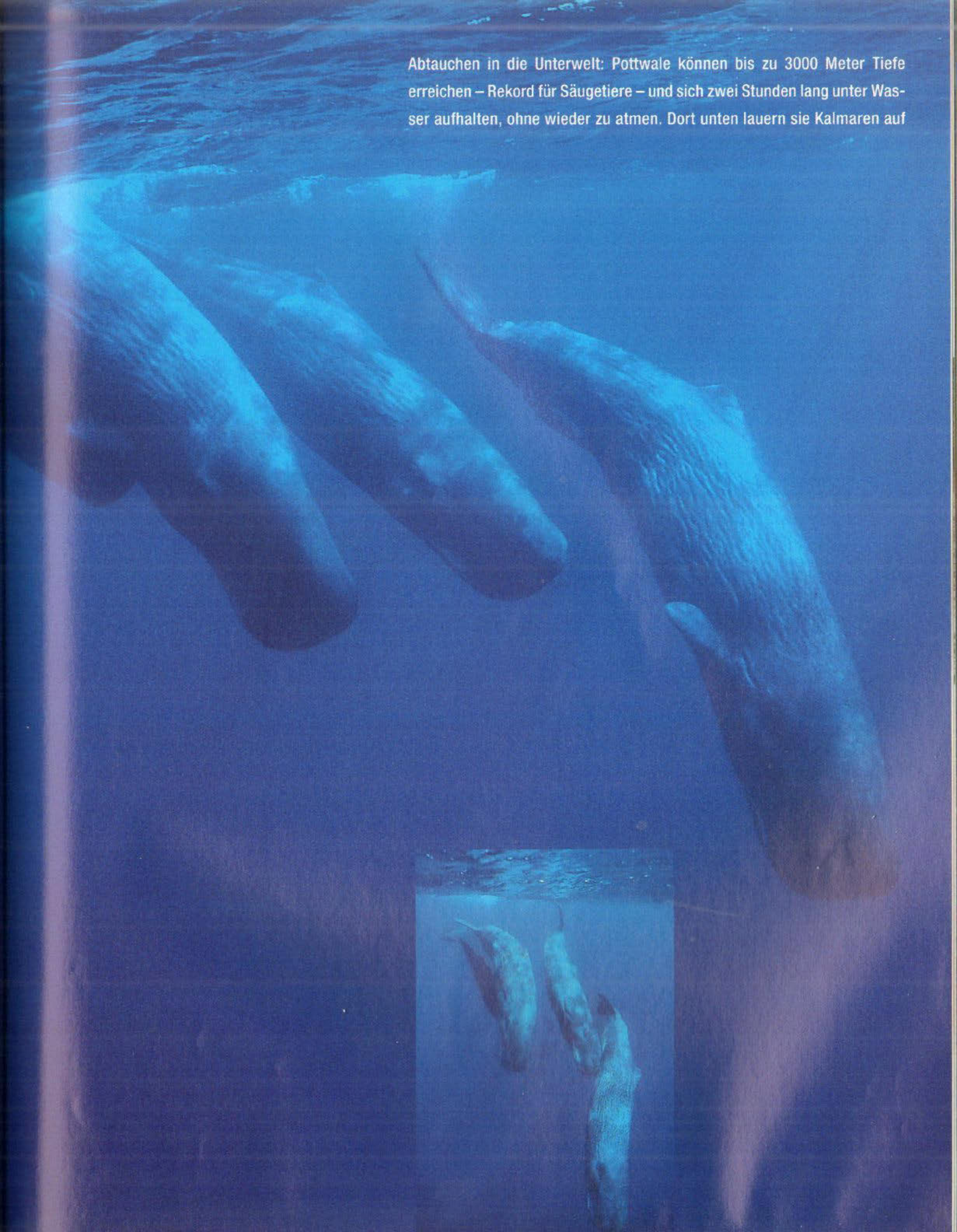
Es ist auch nicht still, im Gegenteil. In dieser Tiefe, zwischen 500 und 1000 Metern, liegt der „deep sound channel“. Hier wandert niederfrequenter Schall besonders schnell und weit. Die Wale nehmen ein ganzes Panorama tiefer Geräusche wahr, deren Quellen zum Teil Dutzende von Kilometern entfernt sind: das Brummen von Schiffsmotoren, das Rumoren eines Sturms, sogar die Erschütterungen eines Erdbebens. Doch vor allem hören sie einander.

Klick. Klick. Klick. Seit die fünf eine Tiefe von etwa 250 Metern erreicht haben, sind sie ununterbrochen „auf Sendung“. Sie informieren einander über ihre Position, ihre Bewegungen, ihren Jagderfolg. Klickklickklick! Der Geschrammte hat die Frequenz gerade stark erhöht – Zeichen dafür, daß er eine Beute im Visier hat.

Die Klicks dienen aber nicht nur der Kommunikation. Sie werden reflektiert, wie ein Echolot – vom Meeresboden, von der Wasseroberfläche, von



Abtauchen in die Unterwelt: Pottwale können bis zu 3000 Meter Tiefe erreichen – Rekord für Säugetiere – und sich zwei Stunden lang unter Wasser aufhalten, ohne wieder zu atmen. Dort unten lauern sie Kalmaren auf



festen Körpern in der Umgebung. Mit Hilfe dieses „Bio-Sonars“ orten die Pottwale ihre Beute. Kalmare, zehnarmlige Tintenfische, machen insgesamt fast 95 Prozent ihrer Nahrung aus. Gelegentlich schnappen sie sich auch mal einen Kabeljau, Rochen oder Hai. Das haben die Menschen beim Öffnen Dutzender von Pottwalmägen herausgefunden.

Bis heute ist allerdings nicht ganz klar, wie Pottwale Tintenfische fangen. Allzu viele schnelle, heftige Bewegungen müssen sie beim Tauchen vermeiden – das würde zuviel Energie kosten. Vielleicht betäuben oder töten sie die Weichtiere durch „Beschuß“ mit starken Schallwellen. Vielleicht locken sie ihre Beute auch an – mit Hilfe des großen weißen Mauls, das den Schein leuchtender Tiefseetiere reflektiert, wohl sogar selber Licht aussendet. Forscher vermuten außerdem, daß die Schallwellen der Klicks Leuchtreaktionen auslösen, so daß der Wal in der Nähe schwimmende Tintenfische visuell orten kann.

Nach etwa einer Stunde tauchen die fünf wieder auf, in Sichtweite der Stelle, an der sie verschwunden waren. Die Eissturmvögel sehen fünf meterhohe Blasfontänen aus dem Meer aufsteigen.

Als letzter ist der Gekerbte an der Oberfläche erschienen. Er hat diesmal nur schmale Beute gemacht. Vielleicht schnappt er deshalb nach dem weißen Ding mit dem langen Schweif, das gerade vorbeistreift. Daß es kein Fisch ist, merkt er erst, als er es schon halb verschluckt hat. Unangenehm hart fühlt es sich an. Doch nachdem es im Magen gelandet ist, stört es ihn bald nicht weiter.

Ein Jahr später wird ein Team von Forschern das Ding aus seinem Magen entfernen. Da liegt der Gekerbte tot und schon halb zerlegt am Strand einer dänischen Nordseeinsel. „Ein Stück Treibnetz“, wird einer der Wissenschaftler kopfschüttelnd sagen. „Unverdaut, aber total verfilzt und verklebt.“ Die anderen werden resigniert die Achseln zucken. Treibnetzketten, Plastiktüten, Einwegflaschen, Arbeitshandschuhe – alles das hat man schon in Pottwalmägen gefunden. Belege für die traurige Tatsache, daß die Weltmeere nach wie vor die größte Müllkippe des Planeten sind.

Zum Glück sind die Mägen der tierischen Müllschlucker ziemlich robust. Wenn also der Gekerbte, vielleicht



Ein unheimlich starker Abgang: Die sanft geschwungenen Fluken sorgen für gewaltigen Antrieb – von schätzungsweise mehreren hundert PS. Genug, um ein 57-Tonnen-Lebewesen zehn Kilometer pro Stunde vorwärts zu bewegen

auch einer seiner Gefährten, eines Tages an irgendeiner Küste strandet und verendet, dann liegt das nicht an unverständlichem Treibgut. Es hat andere, für die Menschen bis heute rätselhafte Gründe.

Die fünf von den Lofoten sind jetzt etwa auf der Höhe von Irland. In den letzten Tagen haben sie, im Gefolge eines Tintenfischschwarms, eine ziemlich chaotische Kreisel- und Zickzackroute beschrieben. Doch nun schlagen sie einen leichten Südostkurs ein, Richtung nordspanische Küste. Etwa 100 Seemeilen vor Cabo Finisterre werden die Wale vom Kapitän eines Containerschiffs gesichtet. Bald darauf schwenken sie wieder nach Westen: Richtung Azoren.

Für die fünf, ihre Artgenossen und Wal-Verwandten ist der Ozean so übersichtlich, plastisch und klar konturiert wie für uns Menschen eine Landschaft mit Bergen und Tälern. Deren Auf und Ab ist unabhängig von Wellenbewegungen und Gezeiten, folgt auch nicht den Erhebungen des Meeresbodens. Es wird bestimmt durch die Magnetfelder der Erdkruste.

Die Stärke dieser Felder variiert aufgrund geophysikalischer Faktoren, vor allem Metallen und Mineralen, die im Boden lagern. Verbindet man Punkte gleicher Stärke miteinander, erhält man ein Linienmuster, das dem Höhenprofil eines Gebirges ähnelt. Bei ihren Wanderungen verhalten sich Wale womöglich ähnlich wie Bergwanderer: Sie bewegen sich entlang bestimmter Hangschrägen auf möglichst gleicher Höhe.

Nicht nur Wale, auch viele andere Meeres- und Landtiere orientieren sich mit Hilfe der geomagnetischen Felder. Zu den wenigen Organismen, die dafür überhaupt keinen Sinn haben, gehören die Menschen. Deshalb rätselten diese auch lange Zeit über die Funktionsweise dieses tierischen Kompasses – oder zweifelten gar an dessen Existenz. Bis sie im Gewebe von Walen und wandernden Fischen Magnetitkristalle entdeckten. Diese übertragen, so schlossen Forscher, geomagnetische Reize in die Nervenzellen.

Die magnetische „Landschaft“ hat freilich ihre Tücken. Die „Täler“ und „Hänge“ überlappen sich gelegentlich, was vor allem in der Nähe von Küsten zu Orientierungsproblemen führen kann. Außerdem kann die Dichte der lokalen Magnetfelder schwanken – in-

folge magnetischer Stürme, die vermutlich durch Eruptionen auf der Sonnenoberfläche ausgelöst werden.

Anfang Dezember 1997 strandeten innerhalb weniger Tage 20 Pottwale, ausschließlich Bullen, an der dänischen, niederländischen und deutschen Nordseeküste. Sie waren nach mehreren Wochen ziellosen Zickzackkurzes und vergeblicher Nahrungssuche unaufhaltsam auf die tödliche Küste zugesteuert. Versuche, sie wieder aufs offene Meer hinauszutreiben, schlugen fehl.

Wissenschaftler, Umweltschützer und Wal-Freunde überboten einander an Erklärungen. Der Lärm der Bohrinseln habe die Tiere desorientiert. Parasiten hätten ihren Gleichgewichtssinn zerstört. Die Meeresverschmutzung sei an allem schuld. Aber konnten, wandten einige Experten ein, diese „modernen“ Phänomene wirklich die Ursache sein? Es habe in den letzten Jahrhunderten doch zahllose Wal- und nicht nur Pottwalstrandungen gegeben, in allen Teilen der Welt, belegt durch viele schriftliche Zeugnisse. Allein von der Elbmündung sind Dutzende Fälle dokumentiert – darunter regelrechte Massenstrandungen, wie westlich der Insel Neuwerk, wo an einem Dezembertag 18 erwachsene Pottwale auf Grund gingen und dabei „ein greuliches Getöse und Geheule“ von sich gaben, wie Augenzeugen berichteten. Das war im Jahre 1723, lange vor Beginn jeder industriellen Meeresverschmutzung.

Könnten die tödlichen Verirrungen der Pottwale nicht doch natürliche Ursachen haben?

Anfang November 1997 wurde über der Polarregion ein phantastisches Nordlicht gesichtet – Anzeichen eines Magnetsturms, der durch eine Eruption auf der Sonnenoberfläche ausgelöst worden war. Um diese Zeit hätten die 20 später gestrandeten Wale zwischen Norwegen und Schottland sein müssen. Vielleicht waren sie, infolge der Störung des Magnetfelds desorientiert, versehentlich in die Nordsee statt in den offenen Atlantik eingebogen.

Vielleicht. Womöglich. Man weiß es nicht.

Die Reise zu den Azoren hat kein eindeutiges Ende. Irgendwann im Lauf der zweiten Dezemberhälfte, etwa zehn Seemeilen nördlich der Insel Graciosa knapp über 39 Grad nördlicher Breite, beginnt die Gruppe der fünf Pottwal-

bullen auseinanderzudriften. Wie und wohin sie sich von nun an bewegen, ist schwer zu beschreiben. Sie haben keine gemeinsame Route mehr, keine feste Richtung. Es gibt auch niemanden, der sie beobachtet oder gar systematisch verfolgt. Die Boote, die im Sommer mit Waltouristen aufs Meer hinausfahren, bleiben den Winter über im Hafen. Auch den Forschern, die Wal-Clans beobachten, Flukken fotografieren oder einzelne Tiere mit Satellitenmarkierungen versehen, ist die See zu rauh.

So bleiben von den fünf nur ein paar Momentaufnahmen, zusammenhanglose Szenen, für die es keine Augenzeugen gibt – außer ein paar Möwen, Albatrossen und einigen erschrockenen Tiefseefischen. Eine einsame Fontäne über einem geschrammten Kopf. Ein Luftsprung über zwei Wellentälern. Eine gezackte Schwanzflosse, die in 800 Meter Tiefe eine Leuchspur hinter sich zieht. Ein einsamer „Kleiner“, der in großem Abstand eine Gruppe umkreist, sich aber nicht herantraut.

Denn eine Kaskade aufgeregter Klick-Signale verrät, daß sich ein Besucher dort aufhält. Es ist der Große. Er hat einen regelrechten Unterwasser-Auflauf verursacht. Zu sechst, zu acht umschmeicheln ihn die Weibchen, umtanzen ihn, reiben sich an seinem mächtigen vernarbten Körper. Er nimmt es gelassen hin, zwei Stunden lang. Dann verschwindet er wieder in den Weiten des Ozeans.

16 Monate später kommt irgendwo zwischen den Inseln Pico und Flores ein Pottwalbaby zur Welt. Wenn alles gutgeht, wird es in etwa sieben, acht Jahren seine erste Reise zu den Lofoten antreten.



Der Franzose **Roland Seitre**, 41, hat vor seiner Tierfotografen-Karriere Zoologie studiert. GEO-Redakteurin **Johanna Romberg**, 41, ist ihrer Leidenschaft für Naturbeobachtung bereits in Beiträgen über „Bird-Watcher“ und die Gartower Elbmarsch nachgegangen.

DER EXPLORATOR VON GANZ UNTEN

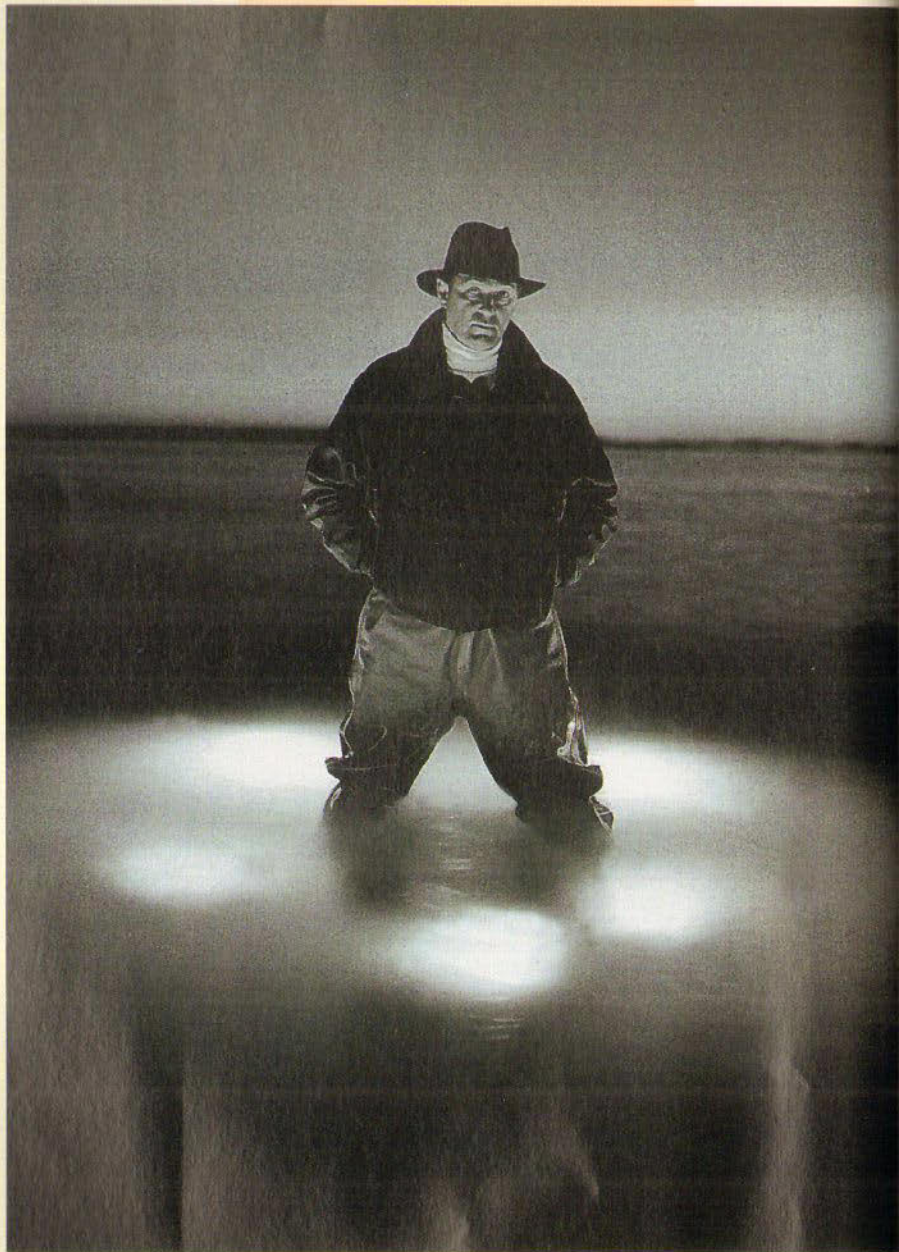
Spätestens seit er das Wrack der »Titanic« aufgespürt hat, gilt der Amerikaner Robert Ballard als Top-Star der Meeresgrund-Erkunder. Wie keiner vereint er Know-how und PR-Talent, Wißbegier und Glück

Robert Ballard braucht einem gar nicht erst vorgestellt zu werden. Man erkennt ihn in jeder Menschengruppe sofort: So aufrecht wie der großgewachsene Athlet gehen sonst allenfalls Generäle.

Das Hauptquartier des Mannes, der das Wrack der „Titanic“ gefunden hat, ist das „Institute for Exploration“ im Aquarium von Mystic, einer historisch herausgeputzten Hafenstadt in Sonntagsausflugsnähe von New York. In einem großen, felsummauerten Becken dümpelt dort ein Pärchen Weißwale. Gegenüber ragt das nachgebildete Heck eines Forschungsschiffs namens „Explorer“ in einen Swimmingpool. Auf Deck steht der Tauchroboter „Jason“ für eine Demo-Wasserung bereit. Dahinter ist der alte Kommando-Container Ballards zu sehen. In einer Halle können Besucher per Ton- und Lichteffekt virtuell in 1000 Meter Tiefe tauchen. Ballard dirigiert seine Handwerker-Truppen, zupft an einer Matte, fragt nach einer Farbe; Vorbereitungen für eine Show, die wenige Tage später laufen soll.

Wenn die Rede ist von der Erkundung des Meeresgrundes, vom Aufspüren versunkener Trümmer in der Finsternis der Ozeane, dann taucht (fast) immer der Name Robert Ballard auf. Mehr als hundert Expeditionen hat der Tiefen-Experte bislang unternommen: zu den Wracks von Luxuslinern und Schlachtschiffen, zu antiken Handelsseglern, in zerklüftete Gebirge und zu Unterwasservulkanen. Er hat Suchgeräte entwickelt, spezielle Tiefsee-U-Boote und Unterwasser-Roboter mit Kameras und Greifern. Spuren auf dem Meeresboden lese er „wie ein indianischer Scout“, sagt Ballard, „und ich bin sehr gut darin“. Bescheiden ist er nicht, der 57jährige mit dem besonderen Talent, sich gut zu verkaufen.

Begonnen hat die Karriere des marinen Fährtsuchers in der Geologie. Für



ROBERT BALLARD
WAS IST KAPITÄN NEMO GEGEN
DIESEN MANN?

NACH GANZ OBEN

VON CHRISTOPH NEIDHART

seine Dissertation tauchte Ballard 1973 erstmals zum mittelatlantischen Rücken hinab, jener Bergkette, die den gesamten Atlantik in Nord-Süd-Richtung durchzieht. Hier stieß er auf unterseeische Lavafelder, untersuchte die Neubildung von Meeresboden und sammelte so Belege für die Theorie der Plattentektonik.

Berühmt aber wurde Ballard, nachdem er 1985 das unbemannte, mit Sonar-Ohren und Video-Augen bestückte U-Boot „Argo“ wie einen Rasenmäher in einem imaginären Raster über den Meeresboden geführt und dabei den 1912 gesunkenen Mythos „Titanic“ gefunden hatte. Später entdeckte Ballard auch den von einem deutschen U-Boot 1915 torpedierten Passagier-Dampfer „Lusitania“, das 1941 von den Briten versenkte deutsche Schlachtschiff „Bismarck“, die U.S.S. „Yorktown“ und „Hamann“, beides Kreuzer, welche die Navy 1942 in der Schlacht von Midway mit den Japanern verloren hatte. Im Atlantik ortete Ballard schließlich die Überbleibsel der verunglückten Atom-U-Boote „Thresher“ und „Scorpion“.

In jüngster Zeit richtete sich das Interesse des erfahrenen Abtauchers noch weiter in die Vergangenheit. Ballard drängt Archäologen, die Instrumente der Tiefseeforschung stärker zu nutzen; denn auf dem Meeresgrund lägen mehr Zeugnisse der Antike als in allen Museen der Welt. „Die Historiker glauben, die antiken Seefahrer seien an den Küsten entlang gesegelt, der offene Ozean sei ihnen zu gefährlich gewesen.“ Aber das stimme nicht. „Die Meeres-Archäologie hat einfach bisher nur in seichten Gewässern gesucht, also auch nur dort Wracks gefunden.“ Doch die antiken Händler seien Kapitalisten gewesen.

„Die wollten keine Umwege machen.“ Und hätten deshalb die See auf dem kürzesten Weg gequert.

Aber Ballard geht noch weiter. Im Schwarzen Meer sucht er bereits versunkene Dörfer als Indiz für die biblische Sintflut, in der Antarktis will er die „Endurance“ finden, die Sir Ernest Shackleton 1915 im Eis aufgeben mußte, und in der Arktis die Schiffe John Franklins. Von der „Titanic“ möchte ihr Entdecker nichts mehr wissen. Sie sei tot, von Schatzjägern geplündert. Das ist typisch für Ballard: Wracks müssen, so fordert er, unangetastet auf dem Grund liegenbleiben – als historische Gedenkstätten.

So fest er seine Überzeugungen äußert, so schweigsam kann Ballard auch sein. Zum Beispiel, was seine strenggeheimen Tauchfahrten während des Kalten Krieges betrifft. „Die Navy ist mir nicht wegen jener Einsätze verbunden, von denen das Publikum weiß“, sagt er nur und grinst.

Heute sieht sich der Ex-Offizier als Unterwasser-Detektiv und Wissenschaftler – Doktor Ballard, seinen Titel vergift er nie, als kontere er damit die Kritik mancher Akademiker an seinem Faible fürs Rampenlicht, in dem er sich als Lehrer, Verkäufer, Medien-Profi und vor allem als Chef bewegt. „Ich schlüpfte in jede Rolle“, sagt er, „nur ein Seefahrer bin ich nicht.“

Schon merkwürdig: Der Mann, der Monate auf engen Expeditionsschiffen verbringt, mag das Meer gar nicht. An der Oberfläche sei es langweilig, in der Tiefe kalt und dunkel, außerdem herrsche dort ein tödlicher Druck. Der Grund der Ozeane sei so ungastlich wie der Weltraum, für menschliches Leben ungeeignet. Dabei hatte Ballard anfangs noch davon geträumt, Kapitän Nemo zu

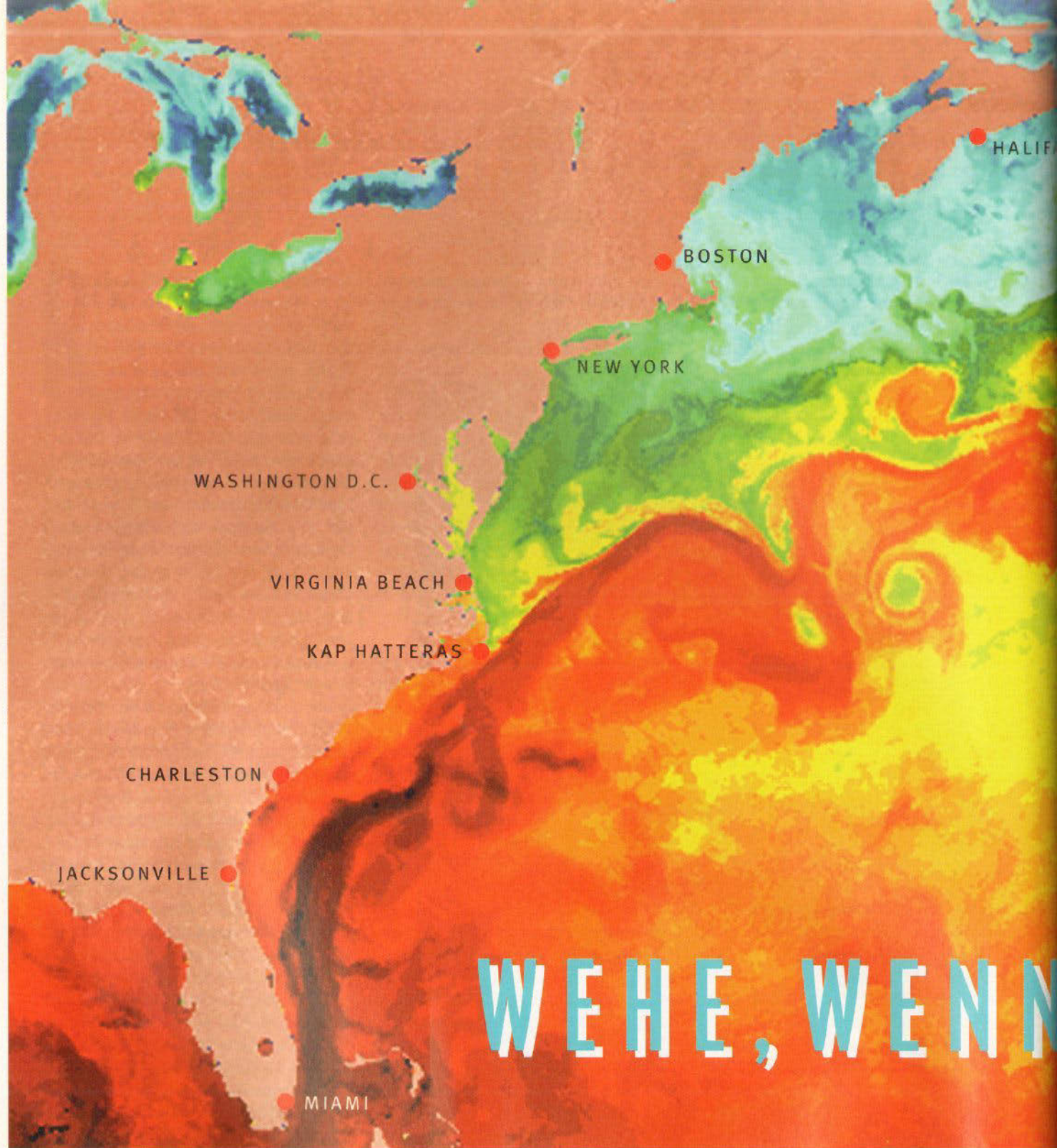
beerben, den Herrn der „Nautilus“ in Jules Vernes Roman „20000 Meilen unter dem Meer“. Doch seine ersten Tauchfahrten ernüchterten ihn.

Und noch eine andere frühe Erfahrung hat ihn geprägt. Als der junge Wissenschaftler für die US-Navy den Kosmos unter dem Wasserspiegel erkunden sollte, kürzte die Regierung wegen des Vietnam-Kriegs das Forschungsbudget. Das war für Ballard das Signal, daß die Wissenschaft sich auch andere Geldquellen als die staatlichen eröffnen, daß sie sich verkaufen müsse. Entsprechend vereint die 52 Millionen Dollar teure High-Tech-Show im Aquarium von Mystic Bildung und Unterhaltung – und finanziert die künftigen Expeditionen des Multi-Talents.

Mit dem Jason-Projekt bringt Ballard Wissenschaft auf den Bildschirm: Tausende Schüler können gleichzeitig, per Videoübertragung, mit in die Tiefe fahren, können Fragen stellen, und einige können sogar über Tausende von Kilometern hinweg das unbemannte Tauchvehikel „Jason“ selber steuern. Irgendwann werde das gang und gäbe sein, prophezeit Ballard. Dann könne jeder einen Unterwasser-Roboter mieten wie heute ein Auto und damit von zu Hause aus die Wracks besuchen.

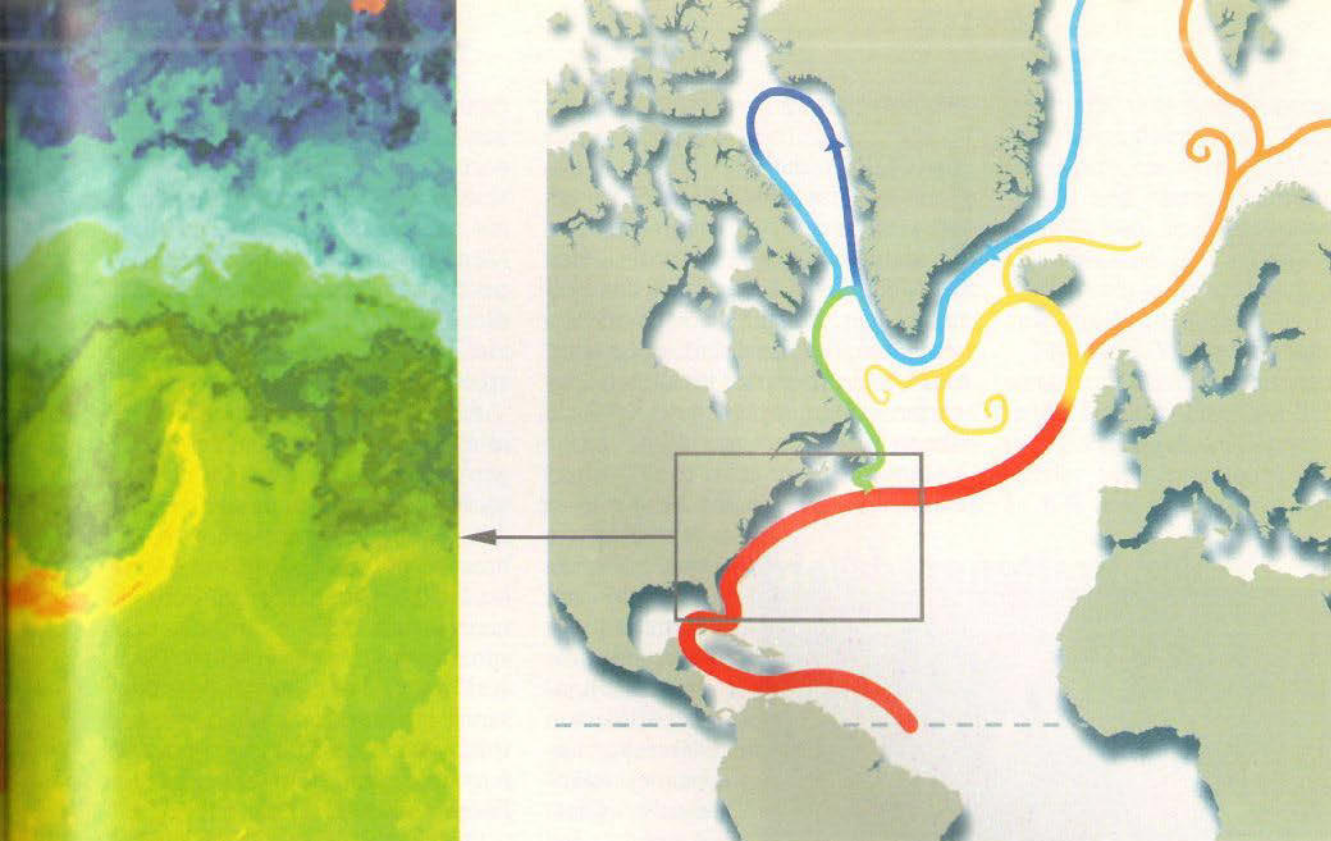
Was Ballard anpackt, scheint zu gelingen. Da Erfolg, wie er sagt, „in Amerika immer finanziellen Erfolg bedeutet“, baut er sich gerade ein großes Haus und an diesem Nachmittag wird ein schwarzer Mercedes der E-Klasse geliefert. Was treibt den Mann da noch auf die Weltmeere? „Die großen Fragen: Woher kommen wir? Wer sind wir? Die Fragen, die sonst Kinder stellen.“ Im Gegensatz zu anderen Erwachsenen habe er sich seine Neugier bewahrt. „Wahrscheinlich bin ich immer noch der kleine Junge, der ausfliegt, etwas entdeckt und dann zurückgerannt kommt, um es allen zu zeigen.“

**WAS
ER ANPACKT,
SCHEINT ZU
GELINGEN**



Komplexer als lange angenommen, ist die Temperaturentwicklung im Nordatlantik: Über die Jahre erwärmen sich bestimmte Regionen immer wieder ungew





OZEAN & KLIMA

Vollgetankt mit karibischer Wärme, beschert der Golfstrom nicht nur Westeuropa ein mildes Klima, er läßt auch gigantische Wassermassen um den halben Globus kursieren. Jetzt rätseln Forscher, wie diese Fernheizung auf den vom Menschen geschürten Treibhauseffekt reagieren wird

DER HEIZER STREIKT

lich stark (rot), andere kühlen ab (blau). Offensichtlich beeinflussen lokale Quellgebiete und noch unerforschte Strömungen das Binnenklima der Meere



1955



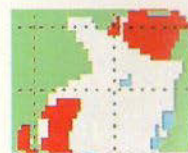
1956



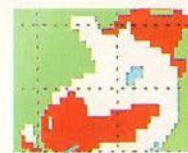
1957



1958



1959



1960

Ein Glück, daß diese Heizung kostenlos ist: Eine Milliarde Megawatt Wärme fließen mit den Wassermassen des Golfstroms – eine Menge, die der thermischen Leistung von 250 000 Kernkraftwerken vom Typ Brokdorf entspricht. Müßten die Europäer für diese Fernwärme zahlen, wären jede Sekunde etliche Millionen Mark fällig.

Ohne den Golfstrom, der fünfhundertmal soviel Wasser bewegt wie

der Amazonas, überkämme Nord- und Mitteleuropa das große Frösteln. Reykjavik würde von den vorrückenden isländischen Gletschern ins Meer geschoben, London von sibirischen Wintern heimgesucht, Eismassen bedecken die Alpentäler und weite Teile Skandinaviens. Die Küsten Nord-

deutschlands, ohnehin die Stiefkinder des nationalen Wetters, würden im Winter mindestens fünf Grad kälter. Die Kurdirektoren von Borkum bis Sylt könnten die Kündigung einreichen: An ihren Stränden herrschte ein Klima wie in der kanadischen Tundra, die auf ähnlichen Breitengraden liegt.

Diese mächtige Strömung ist ein Beispiel dafür, wie sehr die Weltmeere das Klima an Land bestim-

men. Sie transportieren Wärme aus den Tropen polwärts und Kälte von dort Richtung Äquator. Mit ihrer gewaltigen Masse speichern sie wie ein thermischer Schwamm riesige Mengen Energie und dämpfen Temperaturextreme. Allein die obersten drei Meter Meerwasser bergen soviel Wärme wie die gesamte Atmosphäre.

Allerdings reagieren die Ozeane sehr träge auf äußere Veränderungen: Während sich die Lufttemperatur an Land innerhalb weniger Stunden um viele Grade erhöhen kann, braucht etwa die Nordsee Monate, bis die intensivere sommerliche Sonneneinstrahlung sie um einen entsprechenden Betrag erwärmt. 200 bis 1000 Jahre dauert es gar, bis das gesamte Meerwasser einmal umgewälzt ist. Noch heute trägt das Tiefenwasser den Stempel der „kleinen Eiszeit“ im 17. Jahrhundert.

Ozeane beeinflussen somit nicht nur das Weltklima, sondern das Klima wirkt umgekehrt auch auf das Meer – ein Effekt, der wiederum Folgen für das globale Klima hat.

Und der Golfstrom ist ein gutes Beispiel für diese gegenseitige Abhängigkeit: Den Klimamodellen der Meteorologen zufolge führt der Treibhauseffekt, den die Menschheit durch massiven Ausstoß von Kohlendioxid und anderen Abgasen verstärkt, zu einer globalen Erwärmung. Diese aber könnte den Golfstrom einschläntern und Europas Fernheizung herunterdrehen. Neben kühlerem würde diese Entwicklung auch trockeneres Klima mit sich bringen, weil aus kälteren Meeren weniger Wasser verdunstet, das dann von Westwinden als Wolken gegen das Festland getrieben wird.

Das Paradox einer regionalen Abkühlung trotz globaler Erwärmung löst sich erst beim Blick auf die An-

53. Breitengrad Nord



Karge Tundra im kanadischen Neufundland



triebskräfte des Golfstroms auf: Europas Wärmespender ist Teil eines weltweiten Strömungssystems, das sich wie ein Förderband um die Erde zieht. Entlang der südamerikanischen Küste und vom südlichen Afrika quer durch den Atlantik strömt Wasser in den Golf von Mexiko. In der Karibik wird es aufgeheizt, bis es, von Winden getrieben, gen Norden abfließt. Von der Höhe Neufundlands an – Wissenschaftler sprechen jetzt nicht mehr vom Golfstrom, sondern vom Nordatlantik-Strom – folgt die Strömung einem Sog, der sein Zentrum in subpolaren Gewässern hat. Auf deren Weg in die Labradorsee und das Gebiet zwischen Grönland und Nordnorwegen kühlen arktische Winde die aus den Tropen stammenden salzreichen Wassermassen bis auf knapp unter null Grad ab.

Das Salz macht das Wasser so schwer, daß es wie in einem Gully durch leichtere Wassermassen in die Tiefe sinkt. Im Jahresmittel stürzen im Nordatlantik pro Sekunde 17 Millionen Kubikmeter Wasser nach unten – ungefähr 20mal mehr, als sämtliche Flüsse der Erde führen. Dieser enorme Sog sorgt dafür, daß der Golfstrom überhaupt bis in den Nordatlantik zieht.

2000 bis 3000 Meter unter der Oberfläche tritt das eisige Wasser dann seine Rückreise um den halben Erdball an. Im Südatlantik steigt ein Teil davon wieder auf, der Rest fließt ostwärts um das Kap der Guten Hoffnung in den Indischen Ozean und quillt dort nach Jahrhunderten aus mehreren tausend Meter Tiefe auf.

Der Nordatlantik-Gully als Saugmotor einer riesigen Klimapumpe funktioniert indes nur im Winter. Im Sommer ist das Oberflächenwasser zu warm und damit zu leicht, um ab-

zusinken. Erhöht sich nun, wie von Klimaforschern befürchtet, durch den Treibhauseffekt die Temperatur des Nordatlantik auch im Winter und/oder verringert sich der Salzgehalt des Wassers, dann könnte der Sog schwinden und der Golfstrom erlahmen.

Dies droht bereits zu geschehen, falls der Salzgehalt von den heutigen rund 3,5 Prozent auf 3,3 Prozent absänke. Bewirken könnte das bereits ein höherer Zufluß von Süßwasser – etwa aus schmelzenden Grönlandgletschern oder, aufgrund vermehrter Niederschläge in Nordrußland, aus sibirischen Flüssen im Nordmeer. Klimaforschern zufolge wären beide Varianten zwangsläufige Folgen einer globalen Erwärmung.

Stefan Rahmstorf vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung hat mit einer Computersimulation abgeschätzt, wieviel Süßwasser der Nordatlantik verträgt: Nach dieser Rechnung reichen rund 60 000 Kubikmeter Zufluß pro Sekunde – nur 0,4 Prozent der Wassermenge, die in die Tiefe sinkt –, um die europäische Fernheizung abzuschalten. Tatsächlich ist der Sog des Golfstroms vor 30 Jahren schon einmal für einige Winter verebbt. Allerdings nur in einem der beiden Gullys – in der Labradorsee. Nur weil der zweite – zwischen Grönland und Nordnorwegen – geöffnet blieb, waren die Auswirkungen auf das Klima

gering. 32 000 Kubikmeter Süßwasser waren damals pro Sekunde aus der Arktis ins offene Polarmeer geströmt und hatten sich als leichtere Schicht über das Salzwasser gelegt. Die Ursache des plötzlichen Süßwasserstroms ist bis heute nicht herausgefunden worden.

Mit den Wassermassen tauchen stets auch Gase aus der Atmosphäre in die Tiefe ab. Darunter Schadstoffe wie Tritium aus den Kernwaffenversuchen der sechziger Jahre oder FCKW aus Sprühdosen und Klima-

53. Breitengrad Nord

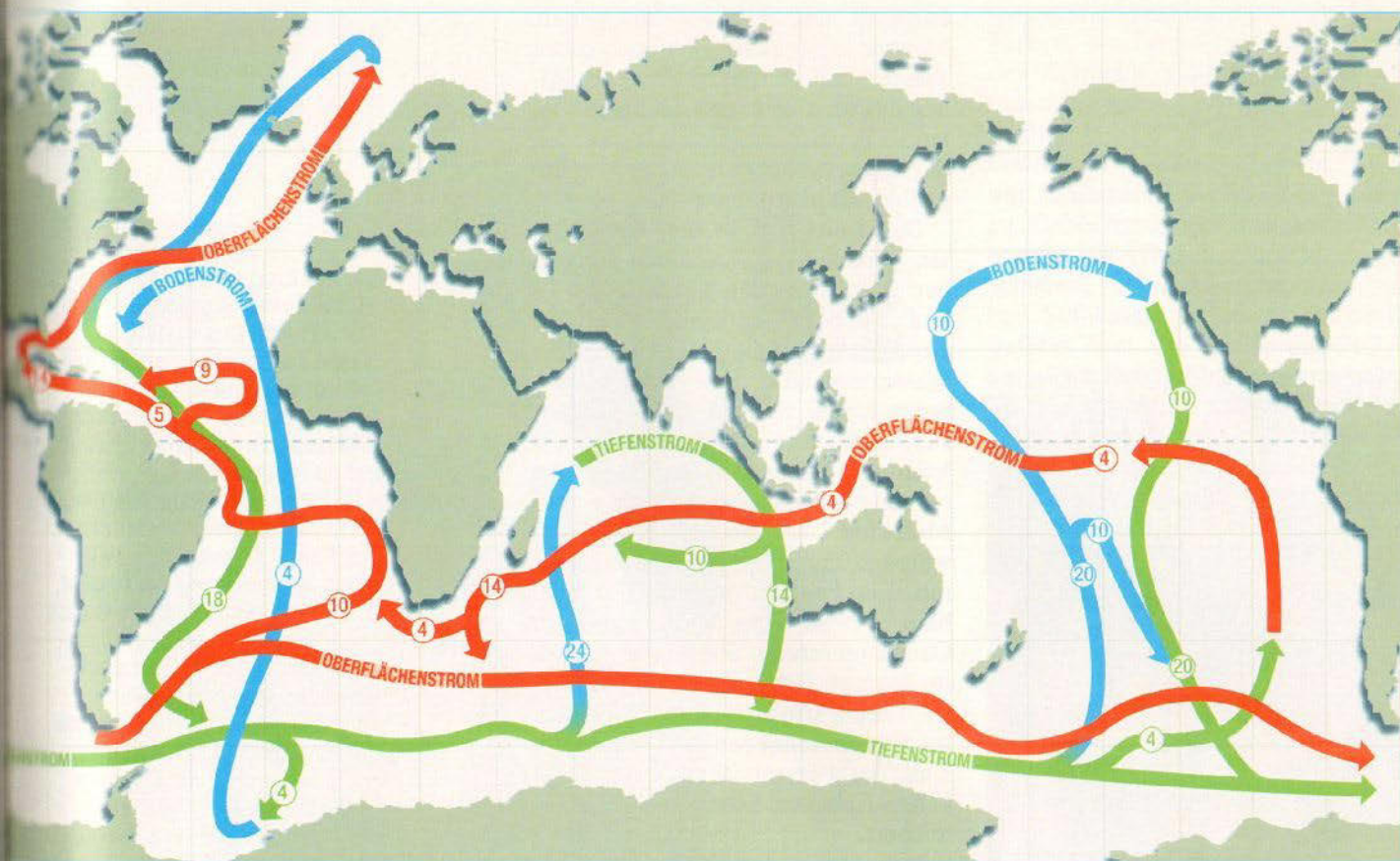


Üppiger Park mit Wildblumen in Irland

anlagen. Da geschätzt werden kann, welche Konzentrationen dieser menschengemachten Substanzen wann in die Atmosphäre gelangten, tragen die um den Globus zirkulierenden Tiefenwasserströme gewissermaßen als Etikett die Jahreszahl ihrer Entstehung mit sich herum.

Wolfgang Roether von der Universität Bremen und Peter Schlosser von der New Yorker Columbia University haben aus dem Tritium- und





... ALLES FLIESST

Das Ergebnis von 35 Jahren Meeresforschung steckt in dieser Grafik: So gewaltig ist der Wasseraustausch zwischen den großen Weltmeeren, daß sich die Dimension der bewegten Massen nur noch in der nach dem norwegischen Ozeanographen Harald Sverdrup benannten Einheit beziffern läßt (Kreisziiffern). Ein Sverdrup entspricht dabei der Fließmenge von einer Million Kubikmeter Wasser pro Sekunde

der weniger Wärme aus dem Süden zog, ließ dort die Temperaturen steigen – und umgekehrt fielen die Temperaturen in der Antarktis, während sie sich in Grönland erhöhten.

Auch in den Sedimenten am Meeresboden spüren die Klimaforscher Zeugen der Vergangenheit auf. Rund um den Globus haben Forschungsschiffe Proben gezogen. In der „Lithothek“, einer Kühlhalle am Kieler Forschungszentrum für marine Geowissenschaften (Geomar), lagern Bohrkerne von insgesamt sechs Kilometer Länge: zylinderförmige Schlammbehälter mit einer beigefarbenen bis ockerbraunen Masse, die hier

und da von dunklen Streifen durchzogen ist.

„Drei Zentimeter entsprechen bei Sedimenten aus dem Nordatlantik rund tausend Jahren“, erläutert Rainer Zahn von Geomar. Da Bodenorganismen die Schichten teilweise durcheinandergewühlt haben, könne man die Ablagerungen nicht wie beim Eis nach einzelnen Jahren beurteilen. Wohl aber über Jahrhunderte – und das bis zu fünf Millionen Jahre zurück.

Grobkörniges Material weist auf Foraminiferen hin, einzellige Organismen, die in allen Weltmeeren bis in eine Tiefe von 5000 Metern vor-



kommen und Kalkschalen bilden. Manche Arten bevorzugen kaltes Wasser, andere mögen es warm. Allein aus dem Vorkommen dieses Materials in den Sedimenten lassen sich die Meerestemperaturen der Vergangenheit rekonstruieren.

Der Sauerstoff in den Kalkschalen, genauer: das Verhältnis der beiden Isotope mit den Atommassen 16 und 18, gibt Aufschluß über die einstige Ausdehnung der Eisschilde: Wassermoleküle mit dem schwereren Isotop Sauerstoff-18 verdunsten schlechter als jene mit dem leichteren Sauerstoff-16. Umgekehrt regnen oder schneien die schwereren Moleküle eher ab. In Kaltzeiten, während derer die Pole weitläufig mit Eis bedeckt waren, fiel deshalb in weit vom Verdunstungsort Ozean entfernten Regionen – etwa im Inneren der Antarktis – Schnee, der extrem arm an Sauerstoff-18 war. Im Ozean hingegen und damit im Kalk der Foraminiferen hat sich in kalten Epochen Sauerstoff-18 angereichert.

Mit Hilfe der Kohlenstoff-14-Methode, mit der Archäologen und Paläontologen häufig ihre Funde datieren, läßt sich anhand einer sehr aufwendigen Technik sogar das Alter von Tiefenwasser bestimmen. Denn vom Kohlenstoff existieren natürlicherweise Isotope mit der Atommasse 12 und 14. Das Verhältnis beider ist auf der Erde konstant, weil letzteres durch kosmische Strahlung immer wieder neu entsteht und gleichzeitig über Jahrtausende zu Stickstoff zerfällt. Ist das Tiefenwasser jedoch einmal abgetaucht, ist damit der Nachschub von Kohlenstoff-14 aus der Atmosphäre unterbunden, während der Zerfall weitergeht. Deshalb nimmt im Tiefenwasser über die Jahre der Gehalt an Kohlenstoff-14 ab.

Auf der Erde existieren über 60 Millionen Gigatonnen (Gt) Kohlenstoff. Das meiste davon ist als Karbonatgestein im Erdmantel gebunden. Nur rund 45 000 Gt unterliegen einem Kreislauf, der direkten Einfluß auf das Klima hat. Rot gezeichnet sind jene Ströme, die der Mensch durch das Verfeuern von Kohle, Öl und Gas sowie durch Brandrodung verursacht. Diese Störung bringt das Gleichgewicht zwischen Biosphäre, Atmosphäre und Ozean durcheinander. Meere und Wälder vermögen das Überangebot an anthropogenem CO₂ nicht zu kompensieren. Alle Angaben in Gigatonnen Kohlenstoff, in Klammern jene aus vorindustrieller Zeit

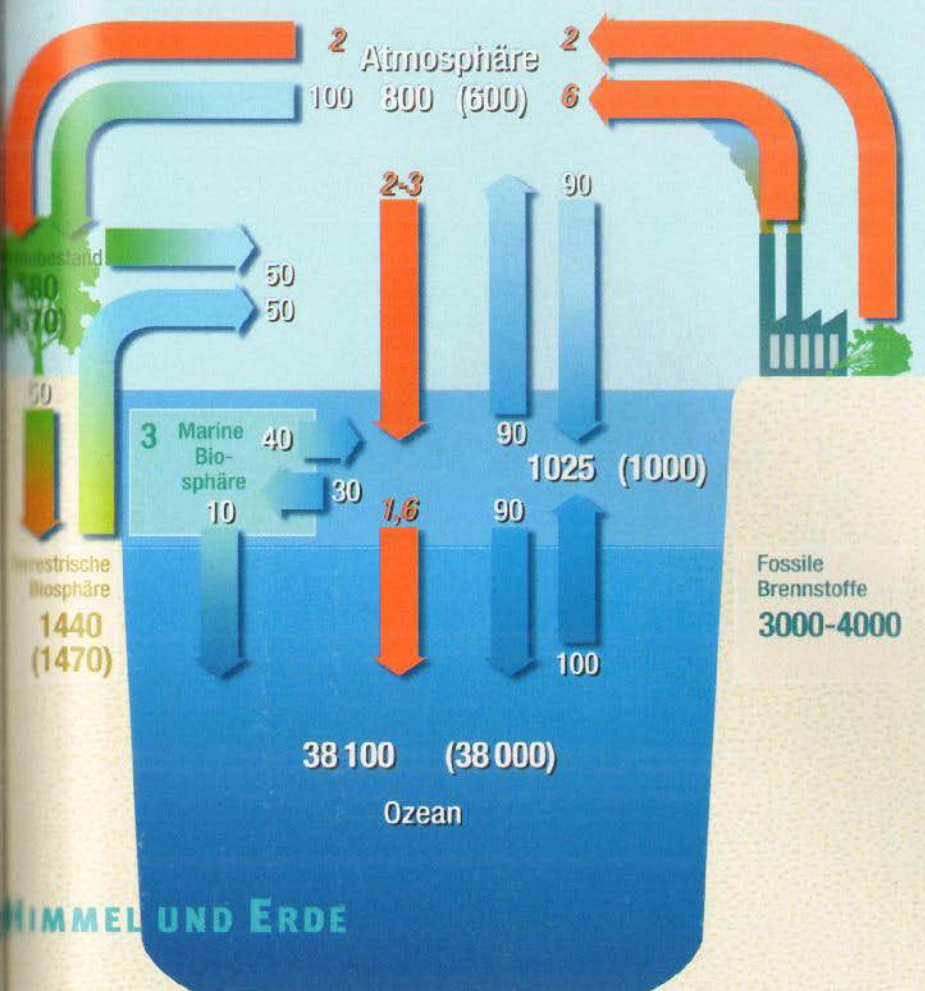
KOHLENSTOFF ZWISCHEN

Der Vergleich des Kohlenstoff-14-Gehalts in Schalen von Tiefsee-Foraminiferen mit solchen von der Oberfläche ergab: Die Schalen aus der Tiefe, die aus Kaltzeiten stammen, enthielten ungewöhnlich wenig Kohlenstoff-14. Vermutlich war das Tiefenwasser, in dem die Einzeller damals lebten, sehr alt – wohl weil der Golfstrom zum Erliegen gekommen und nur wenig Kohlenstoff-14-reiches Oberflächenwasser in die Tiefe nachgereicht worden war.



Wenn, wie auf diesem Bild, der Regenwald im brasilianischen Bundesstaat Rondônia abgefackelt wird, reagiert sogar der Ozean. Die Weltmeere gelten als wichtigster temporärer Speicher für Kohlendioxid: Sie schlucken rund ein Drittel des menschengemachten CO₂. Der Rest reichert sich in der Atmosphäre an und trägt dazu bei, dem Weltklima einzuheizen





Weil die kalkhaltigen Gehäuse der Foraminiferen zudem Rückschlüsse auf die Mengen an Kohlendioxid in der einstigen Atmosphäre erlauben, haben Wissenschaftler eine recht genaue Vorstellung vom Klima, vom Gehalt an Treibhausgasen und auch vom Golfstrom der Vergangenheit.

So wissen sie, daß auch früher die Konzentration des Treibhausgases Kohlendioxid in der Luft zuweilen beträchtlich geschwankt hat. Umstritten sei aber, meint der Geomar-

Mitarbeiter Ralf Tiedemann, ob diese Veränderungen Ursache oder Folge eines Klimawandels waren. Forscher wissen auch, daß in den Weltmeeren rund 50mal mehr Kohlendioxid gespeichert ist als in der Atmosphäre und deshalb schon eine kleine Veränderung im Ozean den CO_2 -Gehalt der Lufthülle enorm beeinflussen kann. Diese Aussicht ist beunruhigend: Denn sollte der Golfstrom tatsächlich in naher Zukunft erlahmen, würde sich auch der Koh-

lenstoffkreislauf in den Ozeanen verändern, was wiederum Einfluß auf den Kohlendioxid-Gehalt in der Atmosphäre hätte.

„Beruhigend“ ist allenfalls, daß der Golfstrom in früheren Epochen stets nur zu Eiszeiten ins Stocken geraten ist. Dabei haben sich von den Kontinenten die Gletscher ins Meer geschoben, sind dort geschmolzen, haben Süßwasser in den Nordatlantik geführt und die Golfstrom-Gullys verstopft. Dieser Mechanismus ist zu Warmzeiten nicht möglich, und tatsächlich hat sich der Golfstrom in der jetzigen Wärmeperiode, die seit rund 11 500 Jahren das Klima auf der Erde bestimmt, allem Anschein nach als verlässlich erwiesen.

Doch für die heutige Situation – eine Warmzeit, in der die Menschen der Atmosphäre mit zusätzlichen Treibhausgasen einheizen – fehlen klimahistorische Vorbilder. Deshalb können die Wissenschaftler den Golfstrom von morgen nur in ihren Rechenmodellen simulieren. Den Annahmen einiger Forschergruppen zufolge wird er bis zum Jahr 2100 um zehn bis 50 Prozent weniger Meerwasser bewegen. In einigen Langfrist-Szenarien bricht die Strömung sogar völlig zusammen.

Doch in den meisten Vorhersagen kompensiert die generelle Erwärmung durch den Treibhauseffekt die Abkühlung, die Europa droht, wenn die Fernheizung ausfällt. In den Simulationen des Hamburger Max-Planck-Instituts für Meteorologie etwa erhöhen sich die Temperaturen in Norddeutschland im Jahresmittel um zwei bis drei Grad. Allerdings, so der Max-Planck-Forscher Mojib Latif, wisse niemand, welches Modell der Wirklichkeit am nächsten komme.

Der Mathematiker und Wissenschaftsjournalist Dr. Wolfgang Blum, 40, lebt meeresfern in Nürnberg.



An den Nahtstellen der Erdkruste, tausende Meter unter dem Meeresspiegel, spuckt unser Planet einen heißen, mineralienbeladenen Sud. Eine Vielzahl von Kreaturen schöpft daraus ihre Energie. Sogar das Leben könnte an solchen Höllenschloten entstanden sein

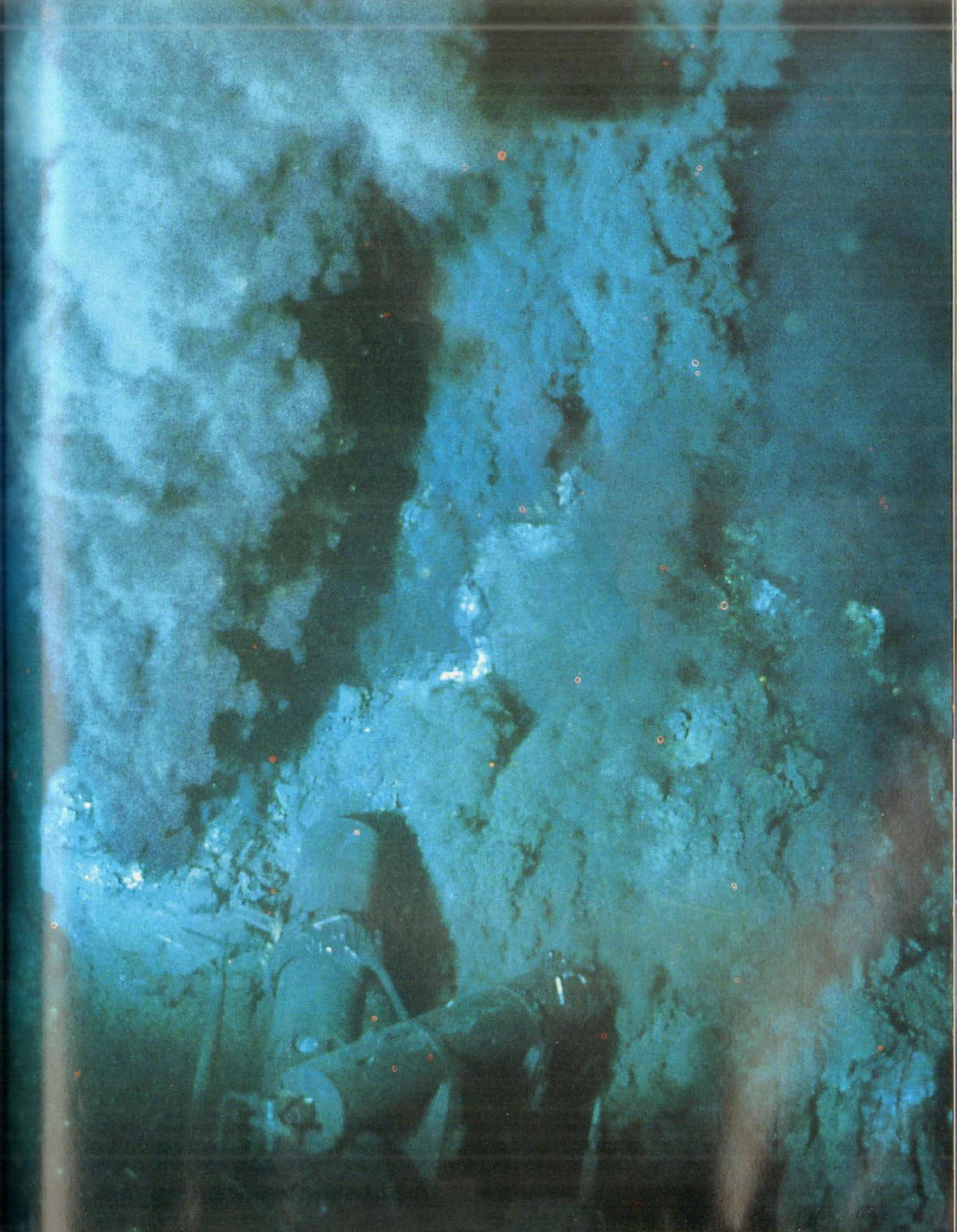
TAUCHFAHRT ZUM QUELL DES LEBENS

EXPEDITION

VON KATHY SAWYER

Lu dritt in eine enge Titan-Kugel gezwängt, schweben wir am Heckgalgen der schwankenden „Atlantis“ ins Meer. Nachdem die Trossen gelöst sind, schaukeln wir sanft auf den in der Morgensonne glitzernden Wellen. Dann gurgeln die Ballasttanks, und wie ein Stein sinkt unser Gefährt hinab in die kilometerdicke Wasserhülle des Planeten. Bald schwindet das Auf und Ab der Wogen. 100 Meter unter der Oberfläche wechselt das Tiefblau des Ozeans in Schwarz. In samtener Finsternis nähern sich gelegentlich Leuchtqualen, die unvermittelt wie Feuerwerkskörper zu explodieren scheinen.

Mit dem 17-Tonnen-Tauchschiff „Alvin“ der amerikanischen Woods Hole Oceanographic Institution begehen der Geophysiker Paul Johnson von der University of Washington, der Pilot Dudley Foster und ich sich auf eine Art Safari zum Grund des Ostpazifik. In einem der – zumindest aus Menschen-sicht – unwirtlichsten Lebensräume der Erde wollen wir die kleinste und am



schwersten faßbare Beute jagen, die man sich vorstellen kann: Mikroorganismen. Sie sollen die Theorie belegen, daß in der Erdkruste tief unter dem Meeresgrund Myriaden von Bakterien ein Dasein führen, daß der Ozeanboden quasi ein gigantischer Brutkasten des Lebens ist.

Während unserer 19tägigen Expedition im Sommer 1998 schickt das Forschungsschiff „Atlantis“ die „Alvin“ 15mal nach unten zum Juan-de-Fuca-Rücken vor der amerikanischen Nordwestküste, in eine unirdisch anmutende Landschaft, deren markante Punkte Namen tragen wie „Hell“, „Ashes“ und „Inferno“. Der unterseeische Gebirgszug ist Teil des 75 000 Kilometer langen Saums, der die Erde umzieht wie die Naht eines Baseballs. Hier stoßen die gewaltigen Platten der Erdkruste aneinander, und hier ist der Pulsschlag des Planeten unmittelbar zu spüren – in Form schwefelhaltiger, kochendheißer Quellen, glühender Lavaströme und gigantischer Seebeben.

Diese planetaren Feuerstellen haben mehr und mehr Forscher in die Tiefsee gelockt. Mit Hilfe früher strenggeheimer, aber nun freigegebener US-Militärtechnik haben die Wissenschaftler in den letzten 20 Jahren ihre Vorstellungen über die Natur des Lebens und dessen Entstehung radikal verändert. Heute wissen wir, daß Organismen auch in enormer Hitze, in extremen chemischen Milieus und unter gewaltigem Druck gedeihen können, unter Bedingungen also, unter denen eine biologische Existenz bis vor kurzem noch für undenkbar gehalten wurde.

Wir sinken seit eineinhalb Stunden. Nur das Brummen der Elektronik und das unheimliche Pfeifen und Klicken des Sonars sind zu hören, des Schallortungsgeräts, das uns vor Kollisionen mit Felswänden und -türmen bewahren soll.

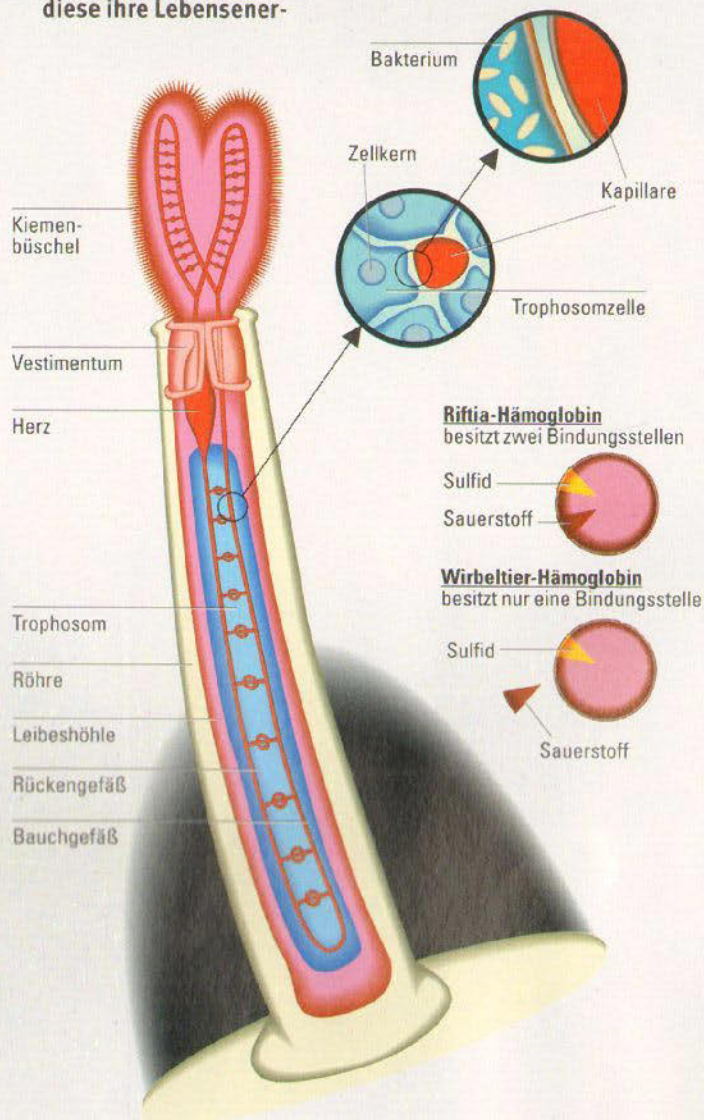
Wir sind jetzt völlig auf uns gestellt. Mit dem Mutterschiff verbindet uns lediglich das Unterwasser-Telefon, dessen Signale per Schallwellen reisen. Unseren Atemvorrat haben wir mitgebracht. Sauerstoff strömt kontinuierlich aus Gasflaschen. Das Kohlendioxid, das wir ausatmen, wird von Chemika-

FREMDE WÜRMER

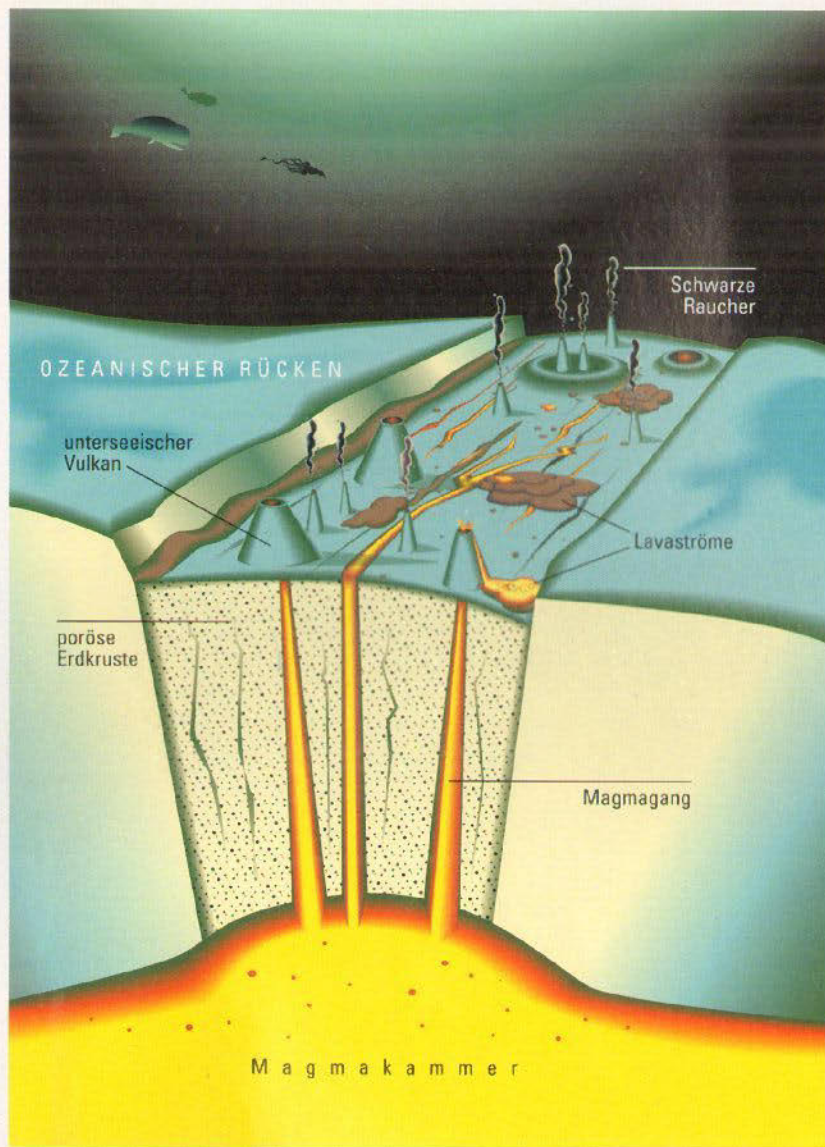
Der Riesenbartwurm *Riftia pachyptila*, der hier an Bord eines Forschungsschiffes aus seiner 2,5 Meter langen Wohnröhre gezogen wird, prägt im Ostpazifik das Milieu heißer Quellen. So auch vor Mexikos Küste (großes Foto). Bakterien, die mit ihnen in Symbiose leben, liefern diesen Tieren Nährstoffe. Im Gegenzug versorgt *Riftia* die »Untermieter« mit Sulfid und Sauerstoff, aus denen wiederum diese ihre Lebensener-



gie gewinnen. Für Wirbeltiere ist Sulfid giftig, da es mit Sauerstoff um die Bindestelle des Hämoglobins konkurriert. Als Gegenrezept verfügt der Blutfarbstoff des Wurms über einen Extra-»Ankerplatz« für Sulfid







An den ozeanischen Rücken schlägt der Puls der Erde sehr vernehmlich: Aufsteigendes Magma bildet neuen Meeresboden. Hier und an den Kollisionenlinien der Krustenplatten sprudeln Hydrothermal-Quellen – einigermaßen skurril benannt (Auswahl in Rot). Diese Vorgänge schaffen bizarre Landschaften wie die im Zentralatlantik (oben rechts)



WO DIE ERDE FEUER SPUCKT

lien aus der Luft eliminiert. Auch deshalb können wir im Notfall 72 Stunden unter Wasser bleiben.

Das Innere der Kugel – Durchmesser zwei Meter – ähnelt einem dunklen Firmament, an dem sternengleich rote Kontrollampen leuchten. Unsere Schuhe haben wir auf der „Atlantis“ gelassen – in der Enge kann ein versehentlicher Tritt lebenswichtige Instrumente zerstören. Statt dessen tragen wir zwei oder drei Paar dicke Socken, damit die Füße warm bleiben. Synthetische Kleidung ist tabu – eine Vorsichtsmaßnahme gegen Funkenbildung, die eine Katastrophe auslösen könnte.



Seit gestern abend haben wir kaum etwas getrunken. Denn eine Toilette gibt es im Tauchboot nicht, und wir sind länger als neun Stunden unterwegs. Für ganz dringende Bedürfnisse hat „Alvin“ spezielle Flaschen an Bord, sogenannte Human Range Extenders – auf deutsch „Verlängerer der menschlichen Reichweite“. Tauchmahlzeiten bestehen aus ballaststoffarmen Erdnußbutter- und Marmeladen-Sandwiches sowie harten Schokoladenriegeln.

Für meine Begleiter ist die Expedition in die Finsternis fast Routine. Paul Johnson, 58, ein drahtiger, quirliger Geophysiker, hat Dutzende von Tauchfahr-

ten hinter sich. Dudley Foster, ein besonnener und stämmiger 52jähriger, früher Marineflieger, ist mit mehr als 500 Tiefengängen bereits zur Legende geworden. Er sitzt auf einer Schaumstoffmatte vor der zentralen, untertassengroßen Luke. Johnson und ich knien zusammengekrümmt oder liegen seitlich zusammengekauert auf dünnen, gepolsterten Decken beiderseits des Piloten vor den Mini-Fenstern, die im unteren Teil der Kugel ins Metall geschnitten sind.

Um 9.39 Uhr erreichen wir den Ozeangrund, 2194 Meter unter dem Meeresspiegel. Nur die fünf Zentimeter dicke Titanhülle schützt uns vor dem

vernichtenden Druck von 228 Kilopond pro Quadratzentimeter. Durch meine Steuerbord-Luke sehe ich in den Lichtstummeln des Tauchboots eine staubig erscheinende, grauschwarze Fläche – den Abyssus, den Boden des in der Antike für bodenlos gehaltenen Meeres. Als „Alvin“ nach Backbord dreht, taucht einem Traumbild gleich eine irrwitzige Szene voller Farben aus dem Dunkel auf, mit gesprenkeltem Orange, Braun, Rot, Weiß, Rosa.

„Röhrenwürmer!“ ruft Johnson. „Mein Gott, was für ein Ort.“ Wir sind exakt an der von ihm geplanten Stelle gelandet – in einem Feld warmer Quel-

len auf etwa 48 Grad nördlicher Breite an der Westwand des Längstals, das den Juan-de-Fuca-Rücken durchzieht.

Eine blaßrosafarbene Seespinne, groß wie ein Kanaldeckel, wechselt im turbulenten Wasser ihren Platz, wobei sie uns mit ihrem alten, hutzeligen Gesicht zu beobachten scheint. In der Strömung wiegt sich eine Kolonie meterlanger Riesenbartwürmer mit dunkelroten Kiemenbüscheln; kürzere, rotbraune Röhrenwürmer, geformt wie kleine Hände, wedeln, als ob sie uns zuwinkten. Um sie herum und zwischen ihnen wimmeln und winden sich kleinere Kreaturen.

Als ein „Alvin“-Team, darunter Dudley Foster, 1977 nahe den Galápagos-Inseln auf die ersten üppigen Tiefsee-Oasen an bis zu 23 Grad Celsius war-

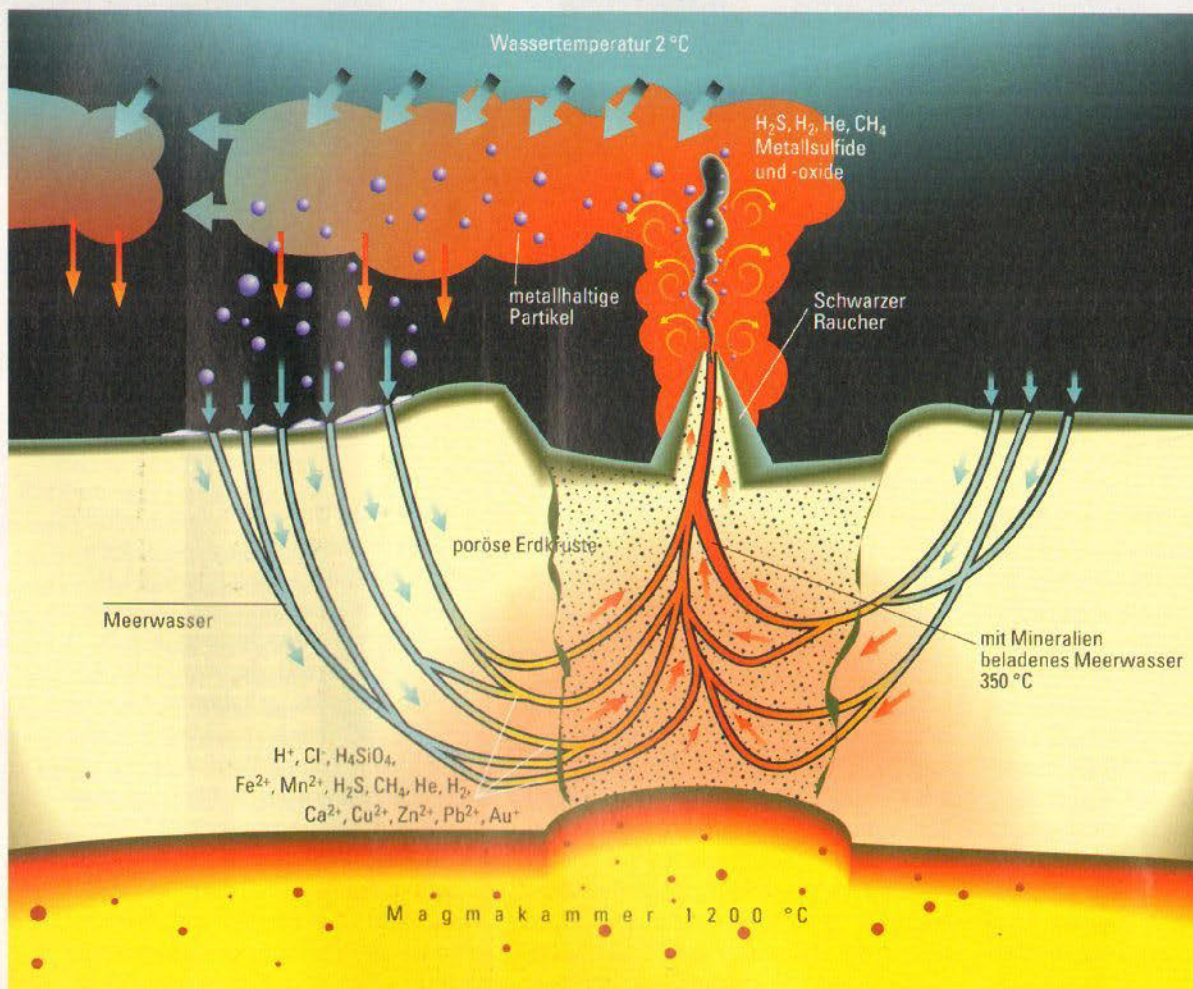
men Quellen stieß, hatten sie eine Sensation entdeckt. 1979 fanden Forscher verwandte und ähnlich reiche Lebensgemeinschaften an „Schwarzen Rauchern“ – mehrere Meter hohen Schloten, aus denen 350 Grad Celsius heißes, mit dunklen Mineralpartikeln beladenes Wasser schießt. Mittlerweile haben Biologen in diesen Biotopen mehr als 350 Arten identifiziert – 95 Prozent bis dahin unbekannt.

Bis zu den spektakulären Funden hatten Biologen geglaubt, alle Tiere am Meeresboden nährten sich lediglich von dem, was von der lichtdurchfluteten Oberfläche herabregne, lebten letztlich also auch dank der Sonnenenergie. Diese Lehrmeinung mußte angesichts der neu entdeckten Tiefsee-Quellen sozusagen auf den Kopf gestellt werden:

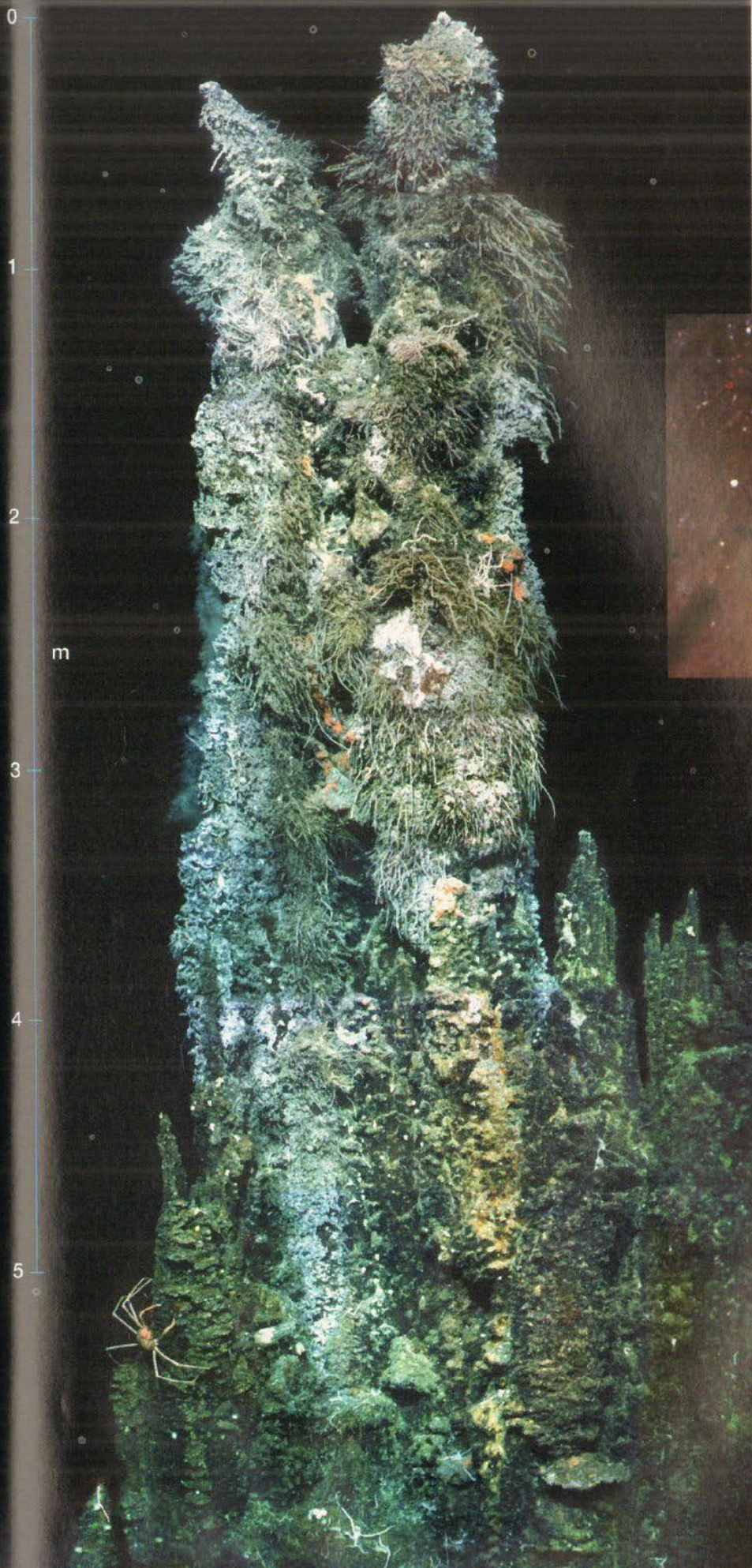
Die Anti-Welt am Ozeangrund, so wurde bald klar, bezieht ihren Treibstoff aus dem Inneren der Erde – vor allem aus dem herausbrodelnden, nach faulen Eiern stinkenden, für die meisten Organismen giftigen Schwefelwasserstoff. Mit dessen Hilfe bauen Bakterien auf eigenwilligen Stoffwechselwegen aus Kohlendioxid Biomasse auf, von der sich dann wiederum höhere Tiere ernähren: Schnecken und Garnelen weiden Bakterienrasen ab. Muscheln und Würmer filtern schwebende Mikroben aus dem Wasser.

Manche Kreaturen pflegen besonders intime Beziehungen zu Mikroorganismen. Der Riesenbartwurm *Riftia pachyptila* etwa hat keinen Verdauungstrakt. Als Untermieter hausen Schwefelbakterien in den Zellen seines

WENN ES MINERALIEN REGNET



Der Ausstoß der »Raucher« führt Mitbringsel aus dem Erdinneren mit sich: Kaltes Meerwasser, durch Spalten und Risse oft kilometertief versickert, wird aufgeheizt, reagiert mit dem Gestein und belädt sich mit Mineralien und Gasen. Aus diesem Sud fallen nach dem Wiederaufstieg beim Kontakt mit dem sehr kalten Seewasser feine Partikel aus. Diese lagern sich teilweise zu Schloten ab oder quellen als Rauch aus Öffnungen der Kamine



Pompejiwurm



Furchenkrebse



Aalmutter

HIGHLIFE BEI 250 BAR

Einer Kathedrale gleich erhebt sich am Juan-de-Fuca-Rücken ein Schwarzer Raucher – hier von Wissenschaftlern aus vielen Einzelaufnahmen zusammengesetzt. Der dichte Bakterienrasen bildet die Grundlage für eine reiche Lebensgemeinschaft, zum Beispiel die spaghettiähnlichen Röhrenwürmer auf der Oberfläche

langgestreckten Körpers, die ihm Biomoleküle wie Zucker und Aminosäuren zur Verfügung stellen. Im Gegenzug versorgt der Wurm seine winzigen Helfer via Kiemen und Kreislauf mit den nötigen Rohstoffen (siehe Grafik Seite 56). Die bis zu 26 Zentimeter große Muschel *Calyptogena magnifica* beherbergt Unmengen von Bakterien in ihren Kiemenzellen. Diese Symbionten produzieren so viele Nährstoffe, daß die Tiere erstaunlich rasch wachsen – *Riftia* etwa kann binnen 20 Monaten eineinhalb Meter hohe Röhren bauen.

Foster steuert das Tauchboot mit gewohnter Vorsicht. Trotz der fremdartigen Schönheit sind wir uns bewußt, in ein furchterregendes Reich eingedrungen zu sein, geprägt von giftigen Gasen, toxischen Schwermetallen, Säuren und Temperaturen, die stellenweise hoch genug wären, „Alvins“ neun Zentimeter dicke Acrylglas-Scheiben zu schmelzen.

Wir reden wenig, während wir die umfangreiche Auftragsliste abarbeiten:

Bartwürmer für die Biologen an Bord der „Atlantis“ sammeln, fotografieren, Videos drehen, ein neuartiges „Kunst-Sediment“ aus Stoff und Schaum im Format einer aufgeschlagenen Zeitung installieren, das mit Temperaturfühlern versehen ist, um Ströme warmen Wassers aus dem Untergrund zu erfassen.

Wir wählen zudem eine Fläche aus, räumen diese frei und ebnen sie ein, damit ein Team bei einem anderen Tauchgang einen Zementquader hier absetzen kann. Dieser wird mit Filtern bestückt sein, die aus dem Bodenwasser Bruchstücke der im Untergrund hausenden Bakterien auffangen sollen. Gekonnt fliegen Fosters Finger über Schalter und Knöpfe, wenn er den Roboterarm steuert. Das feine Surren kleiner Elektromotoren füllt dann die Titansphäre.

Bei unserer stillen Fahrt vorbei an durcheinandergewürfelten schwarzen Felsbrocken, tiefen Gräben und heißen, turmhohen Fumarolen scheinen hie und da im Licht jene surrealen Flecken bunten, aberwitzig reichen Lebens auf. Die

Hydrothermal-Felder sind flüchtige Erscheinungen. Sie überdauern schätzungsweise zehn, höchstens 100 Jahre. Quellen erkalten, Strömungskamine verstopfen, Vulkanausbrüche begraben Oasen unter Lavamassen.

Aber so schnell die Lebensgemeinschaften vergehen, so rasch bilden sich neue. „Die Geschwindigkeit, mit der diese komplexen Gesellschaften neue Energiequellen ausbeuten, ist außerordentlich“, konstatiert Verena Tunnicliffe von der kanadischen University of Victoria.

Binnen kürzester Zeit überziehen Bakterien den Grund, eingewandert wahrscheinlich aus den Reservoirs unter dem Meeresboden. Wochen später tauchen Krebse auf, dann Röhrenwürmer, schließlich Muscheln und Fische. Darüber, wie die höheren Organismen, vor allem die festsitzenden, neue Nahrungsgründe erschließen, wie sie „tote“ Strecken zwischen zwei Quellenfeldern überwinden, ist kaum etwas bekannt.

In unserer spartanischen Kugel kühlt die Innenwand langsam ab und überzieht sich mit Schweißwasserperlen. Meine Gelenke beginnen zu schmerzen. Obwohl nur durchschnittlich groß, kann ich mich unmöglich ausstrecken – ich würde an Instrumenten und Schaltern anecken.

Wir schwimmen nordwärts an einer Mauer aus schwarzem Stein entlang, passieren Felsen, die riesigen Köpfen mit seltsamen Perücken ähneln. Die „Haare“ sind bis zu einem Meter lange Röhrenwürmer. Wir segeln vorbei an ausgedehnten Lavaflächen: Scheinbar mitten im Fließen schockgefroren, hat die zähflüssige Masse Formationen gebildet, in denen wir wie in Schäfchenwolken am Sommerhimmel Figuren zu sehen glauben – einen schlafenden Menschen, einen Bären.

Bald darauf erreichen wir das sogenannte Endeavour-Segment des Zentralgrabenbruchs, bekannt für dessen Schwarze Raucher. Ein rostiger Schlot ragt sechs Stockwerke hoch auf, mit Flanken wie Flügel, offenbar erloschen. Daneben pafft ein kleinerer Kamin dicke schwarze Brühe.

Wenn ein Ort das Attribut höllisch verdient, dann dieser: Das superheiße



Im Sommer 1998 förderten Wissenschaftler im Pazifik Stücke eines Schwarzen Rauchers zutage – samt darauf hausender Bakterien und Röhrenwürmer. Auf der Oberfläche einer Muschel hat das Elektronenmikroskop ungewöhnliche, gestielte Mikroben enthüllt



Wasser, das mit Geschwindigkeiten von bis zu drei Metern pro Sekunde aus engen Löchern schießt, verdampft nur deswegen nicht sofort, weil es unter hohem Druck steht. Der Ausstoß ist so sauer wie Essig und enthält eine scheußliche Mischung aus giftigen Gasen und Schwermetallen wie Eisen, Mangan, Kupfer und Blei.

Der „Atem“ der Raucher ist ein Mitbringsel aus dem Erdinneren. Wenn frische Erdkruste abkühlt, bilden sich Risse und Spalten. In diese sickert Seewasser – oft kilometertief. Je näher es der 1200 Grad heißen Magmablase unter dem Grabenbruch kommt, desto stärker erwärmt es sich. Es reagiert mit dem Gestein, belädt sich mit Metallen, Wasserstoff und Schwefelwasserstoff und steigt wieder auf.

Vermischt es sich in den oberen Bodenschichten mit eingedrungenem kalten Meerwasser, werden die Metalle bereits unterirdisch ausgefällt, und das

Wasser sprudelt klar hervor, erkennbar allein, weil es wie Luft über heißem Asphalt flimmert. Findet der Strom einen direkten Kanal nach oben, bilden sich beim Kontakt mit dem eisigen Seewasser feine Mineralpartikel, sogenannte Sulfide. Zum Teil lagern sie sich zu mehrstöckigen Schloten ab oder schießen wie schwarzer Rauch aus deren Öffnungen (siehe Grafik Seite 60).

Trotz des Höllenmilieus hausen Überlebenskünstler ganz nah an den Schloten. Einige Bakterien gedeihen am besten bei 90 Grad Celsius; andere vermehren sich noch bei 113 Grad, während sie bei weniger als 90 Grad ihr Wachstum einstellen. Daß aber selbst höhere Lebewesen solche Hitze aushalten, versetzt Biologen nach wie vor in Staunen: Der rund 15 Zentimeter lange Pompejiwurm *Alvinella pompejana* baut seine Röhren so, daß er immer im heißen Bereich bleibt. An der Öffnung der Behausung herrschen dabei etwa 22

Grad, tief im Inneren bis zu 81 Grad – ein kolossaler Temperaturunterschied zwischen Kopf und Leibesende. Kurzzeitig kann das Tier sogar Hitze von 105 Grad überleben.

Wie *Alvinella pompejana* Derartiges übersteht, ist ein Rätsel. Vermutlich helfen dem Wurm wärmeliebende Bakterien, die einen dichten Pelz auf seinem Hinterleib bilden und ihm hitzetolerante Enzyme zur Verfügung stellen.

Während unserer Fahrt bestimmt Paul Johnson mit einem von der US-Marine geborgten Gravimeter vielerorts die Anziehungskraft der Erde und damit indirekt die Dichte des Meeresbodens. Die Messungen sollen enthüllen, wo der Untergrund besonders porös ist und damit Mikroorganismen den besten Lebensraum bietet. „Wenn es stimmt“, erläutert der Geophysiker bei seiner Arbeit, „daß Mikroben die Poren eines gigantischen Labyrinths unter dem Ozean besiedeln, dann könnte ihre

RIESENFUND AM MEERESGRUND



Die *Calyptogenia magnifica*, die in der Nähe warmer Quellen dichte Kolonien bildet, kann gut 25 Zentimeter groß werden, was als enorm gilt. Das amerikanische Tauchboot »Alvin« war an vielen spektakulären Tiefsee-Expeditionen beteiligt



Von 20 000 000 000 Grad Celsius
bis zu einem lauen
Sommerabend.

EXPERIMENT ERDE

DAS FASZINIERENDE ZUSAMMENSPIEL VON MENSCH, NATUR UND TECHNIK



„Vom Urknall zum Menschen“ erzählt die Geschichte von der Entstehung des Universums bis zur Geburt der Menschheit. Aus der großen Brockhaus-Reihe „Mensch · Natur · Technik“.

98,- DM; 715,- öS; 89,- sFr.

Masse größer sein als die aller anderen Lebewesen auf diesem Planeten zusammen.“

Forscher haben bereits einige Indizien für diese provokante These zusammengetragen. So sammeln Biologen bei einem anderen Tauchgang während der Expedition Wasser aus den diffusen warmen Quellen. Und tatsächlich werden die Forscher nach Rückkehr der „Atlantis“ in einigen der Proben das Erbmolekül DNS nachweisen – vermutlich von Untergrund-Bewohnern.

Bereits früher haben Wissenschaftler bestimmte Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen in Flüssigkeiten aus dem Erdinneren ermittelt – zum Beispiel organische Substanzen wie Essig- und Propionsäure, zudem Schwefelfäden, die bei der biochemischen Verarbeitung von Schwefelwasserstoff anfallen. Den eindrucklichsten Beleg für die potentielle Biosphäre im Untergrund liefern jedoch „Schneebläser“ – Quellen, die bis zu 200 Meter hohe Fontänen mit weißlichen Bakterientrümmern ausspucken.

Immer mehr Wissenschaftler beschäftigen sich deshalb mit dem Gedanken, daß das Biotop der „Raucher“ und des Bodens darunter womöglich jener „Garten Eden“ ist, in dem vor etwa vier Milliarden Jahren das Leben auf der Erde entstanden ist. Damals sprudelten auf dem tektonisch überaus unruhigen Planeten viel mehr heiße Quellen, argumentiert John Baross, Biologe von der University of Washington. Zugleich schlugen unzählige Asteroiden ein, was jegliches Leben auf der Oberfläche ausgelöscht haben könnte. „Der einzig sichere Platz, an dem auch das lebensnotwendige Wasser vorhanden war“, sagt Baross, „war vielleicht in der Nähe der hydrothermalen Systeme“ – im zerklüfteten Meeresboden.

Experimente zeigten auch, daß die harschen Umstände ideal sind für die Bildung molekularer Bausteine des Lebens. Wissenschaftler der Carnegie Institution of Washington haben Nitrat mit Wasser und Eisensulfid bei 500 Grad Celsius und 500fachem Atmosphärendruck zusammengebacken. Die Mixtur bildete bereits nach 15 Minuten in einer erstaunlichen Rate Ammoniak. Diese Substanz ist ein notwendiges Ingredienz für den Aufbau stickstoffhaltiger Biomoleküle, etwa der Aminosäuren.

Im nächsten Schritt gelang es sogar, Ammoniak mit Brenztraubensäure, einem Molekül aus drei Kohlenstoff-, drei Sauerstoff- und vier Wasserstoffatomen, zur Aminosäure Alanin zu verschweißen. Der Chemiker Günter Wächtershäuser, Patentanwalt in München, und Claudia Huber von der TU München haben die Kaskade noch eine Stufe weitergetrieben: Sie koppelten Aminosäuren bei 100 Grad Celsius zu Ketten, zu Peptiden – und vollzogen damit einen Schlüsselschritt der Ur-Evolution nach.

Dafür, daß das Leben nicht in einer sonnendurchfluteten Lache der Ursuppe geboren worden ist, sondern in finsterner Hitze am Meeresgrund, sprechen auch genetische Untersuchungen. Als der Mikrobiologe Carl Woese von der University of Illinois das Erbgut zahlreicher Organismen verglich, stellte er fest, daß die winzigen Tiefseebewohner einen komplett neuen Ast am Stammbaum des

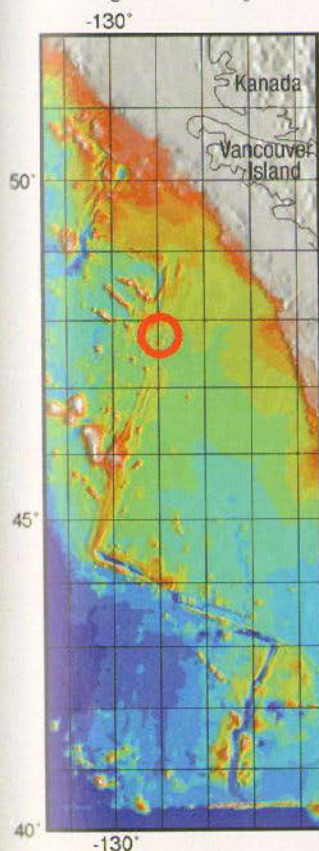
Lebens bilden. Seit dieser spektakulären Analyse teilen Biologen Kreaturen in drei Reiche ein: das der hitzeliebenden Bakterien (Archaea), das der Lebewesen ohne echten Zellkern, darunter „normale“ Bakterien und Blaualgen (Bacteria), und jenes der Organismen mit Zellkern, die höhere Einzeller und sämtliche Vielzeller inklusive Tiere und Pflanzen umfassen (Eukarya). Die Archaeobakterien sind dabei am ertümlichsten.

Gegen 14.00 Uhr steuert Foster „Alvin“ die nahezu senkrechte Westwand des Tales hinauf. Per Zufall sind wir, wie Johnson begeistert erkennt, auf ein neues Feld warmer Quellen gestoßen. Neben Röhrenwürmern wachsen verstreut bleiche Schwämme; Seegurken und Krebse kriechen umher.

Die Zeit vergeht schnell, während Johnson die Dichte einer Reihe von Felsformationen mißt. Eine Stunde später erklimmen wir den Rücken, um ostwärts zu drehen und ein letztes Mal über den Talboden zu fliegen. Plötzlich ruft Johnson: „Ich sehe Boden!“ Foster flucht, als ein rostfarbener Wall vor uns auftaucht. „Alvin“ kracht hinein. Im Scheinwerferlicht wirbeln Wolken rot-orangefarbener Trümmer.

„Das war ein unkartierter Rücken“, sagt Johnson trocken. Die Kollision hätte vielleicht vermieden werden können, wenn nicht Techniker Teile des Sonars ausgebaut hätten, um dem schweren Gravimeter Platz zu machen. „Alvin“ ist glücklicherweise unversehrt geblieben. Uner-schüttelt befreit der erfahrene Pilot das Tauchschiff.

Um 15.40 Uhr hat Johnson seine Aufgaben erledigt. Foster klinkt den Ballast aus. Und langsam steigen wir Tiefsee-Fremdlinge zurück in unsere lichtdurchflutete und angenehm temperierte Welt.



markiert die Stelle, an der **Kathy Sawyer**, 56, mit „Alvin“ abgetaucht ist. Lange mußte die Reporterin der „Washington Post“ bangen, ob sie überhaupt würde mitfahren können. Denn Stürme hatten den Expeditions-Zeitplan durcheinandergebracht. Und auf den raren Plätzen in dem engen Boot haben Forscher Vorrang. Als es dann doch klappte, wurde die Autonin, kaum aus dem Tauchschiff geklettert, mit einer speziellen Prozedur in den eiltären Zirkel der „Alvin“-Fahrer aufgenommen: Die Crew überschüttete sie mit Wasser und versteckte für mehrere Tage ihre Schuhe.

Von einem kurzen
Moment des Glücks
zum 98 000 000 000 000-zelligen
Hochleistungs-Organismus.

EXPERIMENT ERDE

DAS FASZINIERENDE ZUSAMMENSPIEL VON MENSCH, NATUR UND TECHNIK



www.brockhaus.de

Vom Anfang bis zum Höhepunkt des menschlichen Individuums: wissenschaftlich fundiert und packend formuliert, beschreibt „Phänomen Mensch“ das Wunder in uns selbst. Aus der großen Brockhaus-Reihe „Mensch · Natur · Technik“.

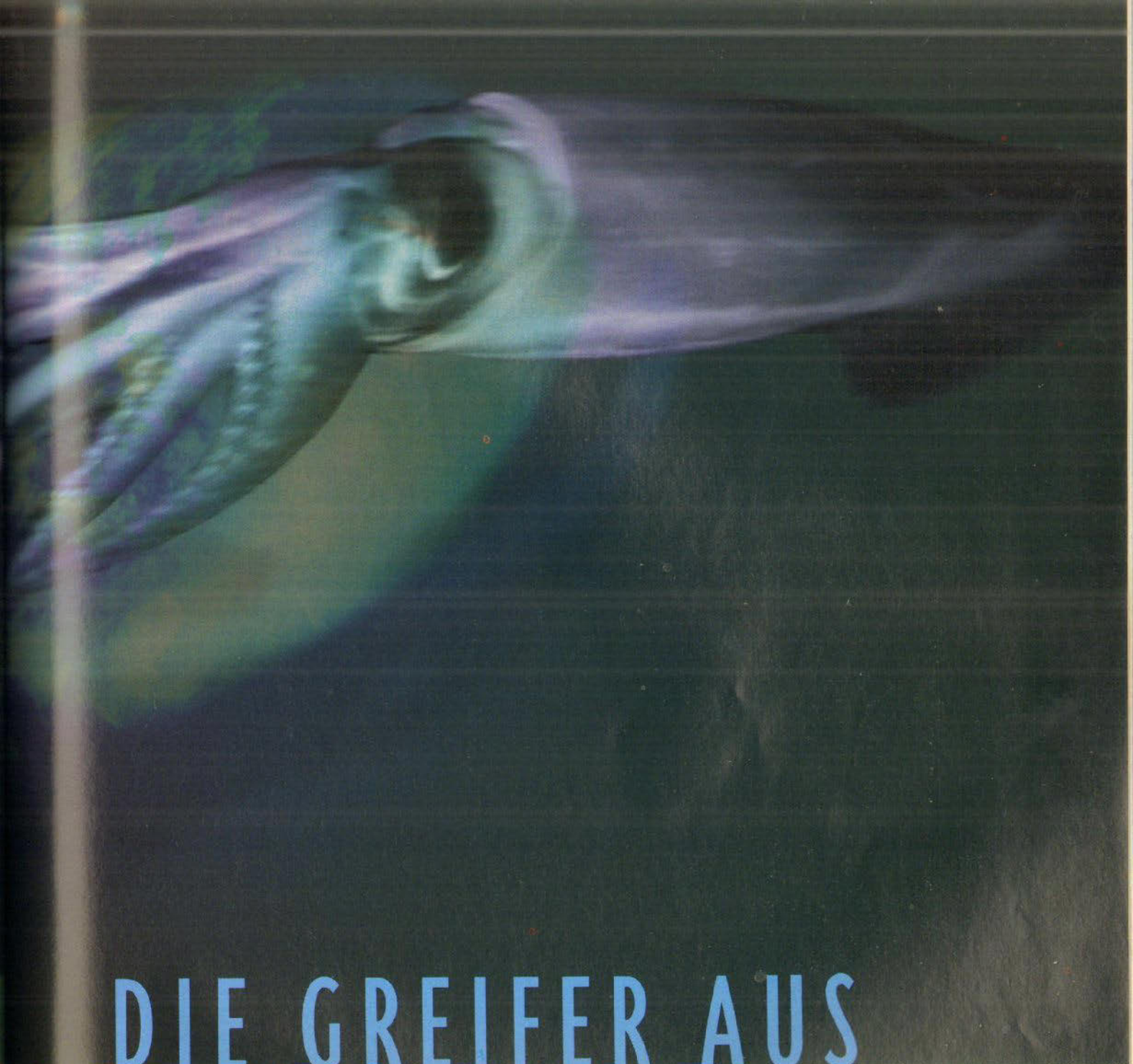
98,- DM; 715,- öS; 89,- sFr.

Der einzige, der mit *Architeuthis* fertig wird, ihn wahrscheinlich sogar als Beute schätzt, ist der Pottwal. Es gibt Anzeichen dafür, daß das gigantische Weich- sich mit dem gigantischen Säugetier verzweifelte Kämpfe liefert

RIESENKALMARE

In Tiefen von ungefähr 300 bis 1000 Metern hausen die gewaltigen Kopffüßer der Sippe *Architeuthis*. Mit 14 Meter langen Armen und Augen so groß wie Salatschüsseln. Nur 200 Exemplare sind jemals ins Netz gegangen oder gestrandet. Trotzdem können Forscher sich zusammenreimen, wie die Riesen da unten leben und was sie treiben





DIE GREIFER AUS DER UNTERWELT

VON LOTHAR FRENZ

Wellington, Neuseeland, 20. Februar 1999: Auf dem Seziertisch im National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA) liegt ein Tiefsee-Mythos – 200 Kilogramm schwer, schleimig, mit zehn Greifern und einem felsenharten Kiefer, der geformt ist

wie ein Papageienschnabel. Allein der Mantel – jene Hülle, die den Rumpf des Weichtiers umgibt – ist größer als ein Mensch. Fischer haben die Moluske mit den feuerwehrschauchdicken Fangarmen vor der Südinself Neuseelands aus etwa 550 Meter Tiefe gezogen.

Der Fang paßt Clyde Roper bestens ins Konzept, weiß er doch nun, daß

das Objekt seiner Neugier sich zu dieser Zeit in dieser Region aufhält. Der Biologe von der Washingtoner Smithsonian Institution erforscht seit Jahren wie besessen den legendären Riesenkraken *Architeuthis*. Noch nie hat jemand das Tier in seinem natürlichen Lebensraum gesehen. Roper möchte der erste sein. „Wenn wir den Riesenkraken nur für ein paar Minu-

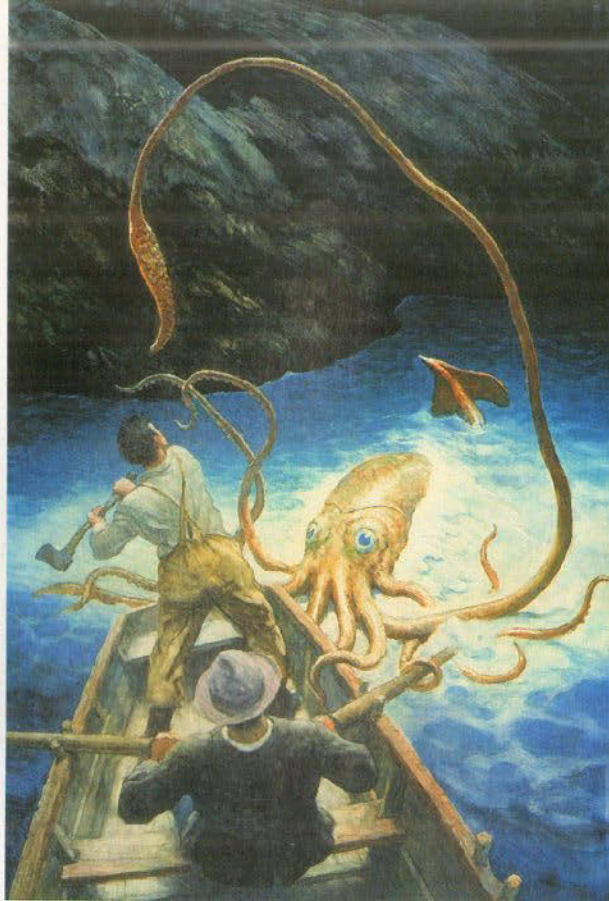
ten in der Tiefe filmen könnten, dann wüßten wir so viel mehr über ihn“, glaubt er. Bereits 1997 ist der Wissenschaftler im Kaikoura-Canyon, einem Tiefseegraben vor der Ostküste von Neuseelands Südinsel, mit einem kamera-bestückten Tauchroboter auf Jagd nach dem verborgen lebenden Kopffüßer gewesen. Diesmal will er ihn mit „Deep Rover“, einem kleinen, rundum verglasten Ein-Mann-U-Boot, aufzuspüren versuchen.

Jahrhundertlang hielten sich die Sagen von vielarmigen Monstern, die Segelschiffe angriffen und deren mächtige Tentakel bis an die Spitze der Masten reichten. 1857 wurde dann das vermeintliche Fabelwesen von Biologen anerkannt und beschrieben. Zoologisch korrekt zählt *Architeuthis* zu den Kalmaren.

Im Unterschied zu den achtarmigen Oktopussen, den eigentlichen Kraken, besitzt die Riesenkalmare zehn Greifer – acht Fangarme und zwei noch längere Tentakel mit keulenförmigen Enden.

Alles, was wir bis heute über das größte Weichtier der Erde vermuten – wie es sich bewegt, wie es jagt, wie es sich fortpflanzt –, ist abgeleitet aus anatomischen Merkmalen. Diese stammen vor allem von jenen rund 200 Exemplaren, die Fischern in die Netze gegangen oder an Küsten kalter Meere gespült worden sind – besonders in Neuseeland, Neufundland und Norwegen.

Architeuthis ist ein Organismus der Superlative: Der längste bislang gestrandete Riesenkalmarm maß von der Spitze des Mantels bis zum Ende der Tentakel 22 Meter. Die Fangarme waren bestückt mit Saugnäpfen im Suppenteller-Format. Die Augen hatten einen Durchmesser von 40 Zentimetern; und die Nervenbahnen waren so dick, daß man sie zunächst für Blutge-



**Ausgeburts von Seemannsgarn:
In Wahrheit bleiben solche »Monster«
schön tief unten**

fäße hielt. Tief in den Ozeanen könnten jedoch, glaubt Roper, noch größere Weichtiere leben.

28. Februar 1999: Beim NIWA wird ein weiterer Riesenkalmarm angeliefert und vom Meeresbiologen Steve O'Shea sezziert. Das Tier, ein Männchen, steckt voller Spermatophoren – länglichen, weißen Spermienbehältern. Obwohl gerade einmal 30 Kilogramm schwer, ist es fortpflanzungsfähig. Da die Geschlechter in der lichtlosen Unterwasserwelt einander nur selten begegnen, paaren sich die Giganten „auf Vorrat“. Die männlichen Tiere – sie sind kleiner als die weiblichen – deponieren im Körper ihrer Partnerinnen „Samenbehälter“, die aufbewahrt werden, bis Eier herangereift sind.

Die männlichen Riesenkalmare scheinen beim Liebesspiel mit ihren Partnerinnen recht ruppig umzugehen. Darauf deuten Untersuchungen an einem 15 Meter langen, vor Tasmanien gefangenen Weibchen hin. Dieses trug in einem Fangarm unter ver-

narbten Verletzungen mehrere Spermienpakete. Ein männliches Tier hatte offenbar die Haut des Weibchens mit dem Kiefer oder den mit „Zähnen“ versehenen Saugnäpfen angeritzt und dann mit dem Penis – er kann bis zu einem Meter messen – die zwischen elf und 20 Zentimeter langen, fadenförmigen Samenbehälter regelrecht injiziert. Dabei war seine Partnerin noch nicht einmal geschlechtsreif.

Von anderen Tintenfischspezies ist bekannt, daß sie Spermia bis zur Eireifung im Gewebe einlagern, von wo die Zellen dann zum Befruchtungsort wandern. Wie die Spermien bei *Architeuthis* den Weg – in diesem Beispiel vom Fangarm – zu den Eiern finden, ist ein Rätsel. In den fünfziger Jahren fingen Fischer vor Norwegen sogar ein *Architeuthis*-Männchen,

in dessen Armen und Mantel Spermatophoren steckten. Darüber, ob das Tier beim Streit um ein Weibchen versehentlich von einem Konkurrenten „besamt“ wurde oder sich selbst „anschoß“, können Zoologen nur spekulieren.

Auch was nach einer „regulären“ Befruchtung geschieht, ist unklar. Steve O'Shea skizziert den Lebenszyklus des Riesenkalmars so: Die ausgewachsenen Tiere kommen vermutlich nur zur Vermehrung aus der Tiefsee in höhere Meeresregionen. Viele Tintenfischarten produzieren in einem kurzen Dasein möglichst viele Nachkommen; nach der Eiablage sterben sie bald. Das könnte auch auf *Architeuthis* zutreffen – und würde erklären, weshalb die Mägen angeschwemmter Exemplare leer sind: Auf ihrem letzten Weg brauchen sie keine Nahrung mehr.

Jungtiere dagegen leben wahrscheinlich in den oberen Stockwerken des Ozeans. Dort wurde zum Beispiel 1981 vor Australien ein Tier mit gera-

de einem Zentimeter Mantellänge gefangen. Nahe der Oberfläche wird der Nachwuchs auch zur Beute von Albattrossen: In Mägen dieser Seevögel entdeckten Forscher zahlreiche Kiefer kleiner Riesenkalmar. Nach einer weiteren Vermutung wachsen die Jungen äußerst schnell. „Dann laufen sie kaum noch Gefahr, von anderen gefressen zu werden“, glaubt Clyde Roper, gibt aber zu bedenken: „Das alles klingt sehr logisch, ist aber nicht bewiesen.“

12. März 1999: Endlich am Kairua-Canyon; technische Probleme und vor allem die stürmische See haben Tauchfahrten bislang vereitelt. Die Unterwassermikrofone melden aus der Tiefe das typische Klicken der Pottwale: Die größten Feinde der Riesenkalmar und die einzigen Räuber, die ausgewachsene Tiere überwältigen können, sind auf der Jagd. Aber erneut ist der Wellengang zu stark, das U-Boot bleibt an Bord.

17. März 1999: Erstmals gleitet „Deep Rover“ in die Tiefe. Über ein Kabel senden die fünf Kameras, die auf und in dem Gefährt montiert sind und die der Pilot bedient, live an das Mutterschiff. Oben auf den Bildschirmen sehen die Wissenschaftler Atemraubendes: Silbernen Speeren gleich jagen 60 bis 80 Zentimeter lange, schlanke Fische durch das Wasser – ein gewaltiger Schwarm Hokis. Seit die NIWA-Wissenschaftler mit Fischern zusammenarbeiten, die mit Schleppnetzen immer wieder auch Riesenmollusken aus Meerestiefen von 300 bis 1000 Metern an die Oberfläche holen, ist bekannt, daß die Kalmar vor allem Tiefsee-Fische fressen, darunter auch Hokis.

20 Minuten lang taucht das Boot durch blitzende Leiber. Doch *Architeuthis* läßt sich nicht blicken. Verschrecken

ihn die Scheinwerfer? Wegen eines aufziehenden Sturms muß der Pilot die Tauchfahrt bei etwa 330 Meter unter Null abbrechen.

20. März 1999: In weniger als einer halben Stunde gleitet das U-Boot in 680 Meter Tiefe hinab. Es setzt sich auf den schlammigen Grund – und wartet. Leuchtend rote und orangefarbene Seesterne machen sich über langsame Tiefsee-Schnecken her. Der Boden ist übersät mit wurmartigen Lebewesen, die wie Stoppeln auf einem abgemähten Feld aus ihrer schützenden Behausung aufragen. Drei Stunden harrt das Tauchschiff in der Tiefe aus. Doch vom Riesenkalmar keine Spur.

Eine Nachricht muntert Clyde Roper und seine Mitarbeiter jedoch auf: Vor der Südinsel ist Fischern ein wei-

terer *Architeuthis* ins Netz gegangen – schon der sechste in diesem Jahr.

Wieder und wieder läßt die Crew das U-Boot in den kommenden Tagen zu Wasser – gespannt und voller Hoffnung, den Giganten endlich vor die Kamera zu bekommen. Die Umstände sind optimal. Aber jedesmal kehrt das Tauchschiff ohne „Fang“ zurück.

26. März 1999: Die achte und letzte Fahrt in die Tiefe; wieder sind Pottwale in der Nähe, wieder wimmelt es von Beutefischen des Kraken.

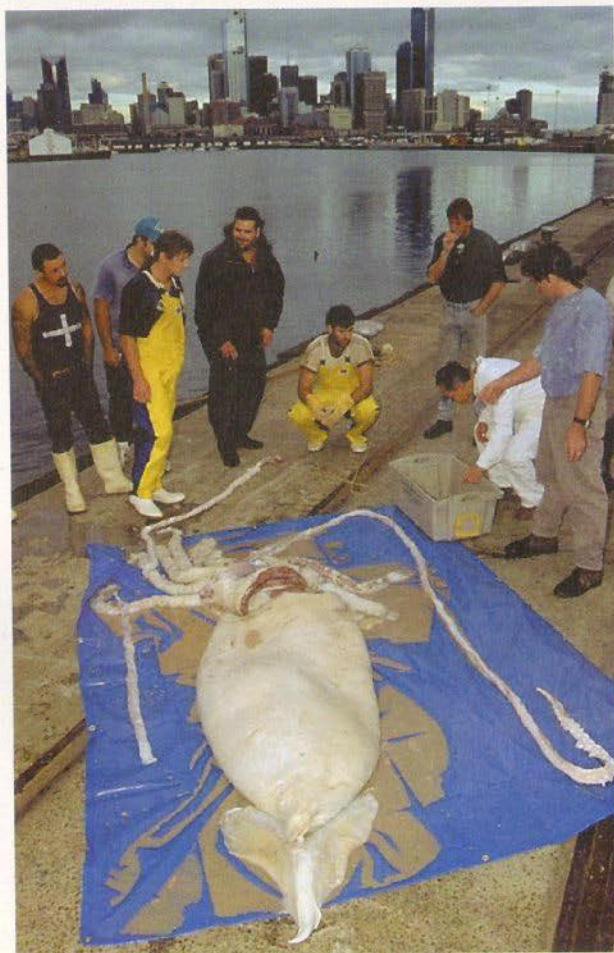
Wie es wohl aussieht, wenn *Architeuthis* auf Jagd geht? Clyde Roper glaubt, daß die beiden Tentakel des Riesen bei einem Angriff auf Hokis oder andere Opfer „wie Bungee-Seile“ vorschießen. Zangengleich greifen sie nach der Beute, ziehen sie zum Kiefer, der sie in schlundgerechte Stücke zerlegt. Die Brocken dürfen nicht zu groß sein, sonst könnten sie das Gehirn verletzen, das um die Speiseröhre des Weichtieres herum liegt.

Das Tauchboot sinkt bis auf 670 Meter unter den Meeresspiegel. Seltsame, noch nie zuvor lebend beobachtete Tiere und völlig unbekannte Spezies ziehen an den Kameras vorbei: Laternenfische und Gallertwesen wie Staatsquallen oder eine transparente Meduse, die sich nur durch die sanften Bewegungen ihres weißen Glockenschirms zu erkennen gibt.

Das U-Boot muß auftauchen – die Batterien sind erschöpft. „Trotzdem“, sagt Roper, „bin ich weniger enttäuscht, als ich befürchtet hatte. Denn wir haben gesehen, was nie zuvor ein Mensch gesehen hat.“

Die Tiefsee aber hat ihr Geheimnis einstweilen behalten.

Lothar Frenz, 35, hat ein Faible für verborgenen lebende Tiere entwickelt: Derzeit arbeitet er an einem Buch über Kryptozooologie, das im Frühjahr 2000 erscheinen soll.



Acht Meter lang, also relativ klein: ein Riesenkalmar, der in Melbourne angelandet wurde

DIE EXTREMISTIN EINE FRAU STÜRM

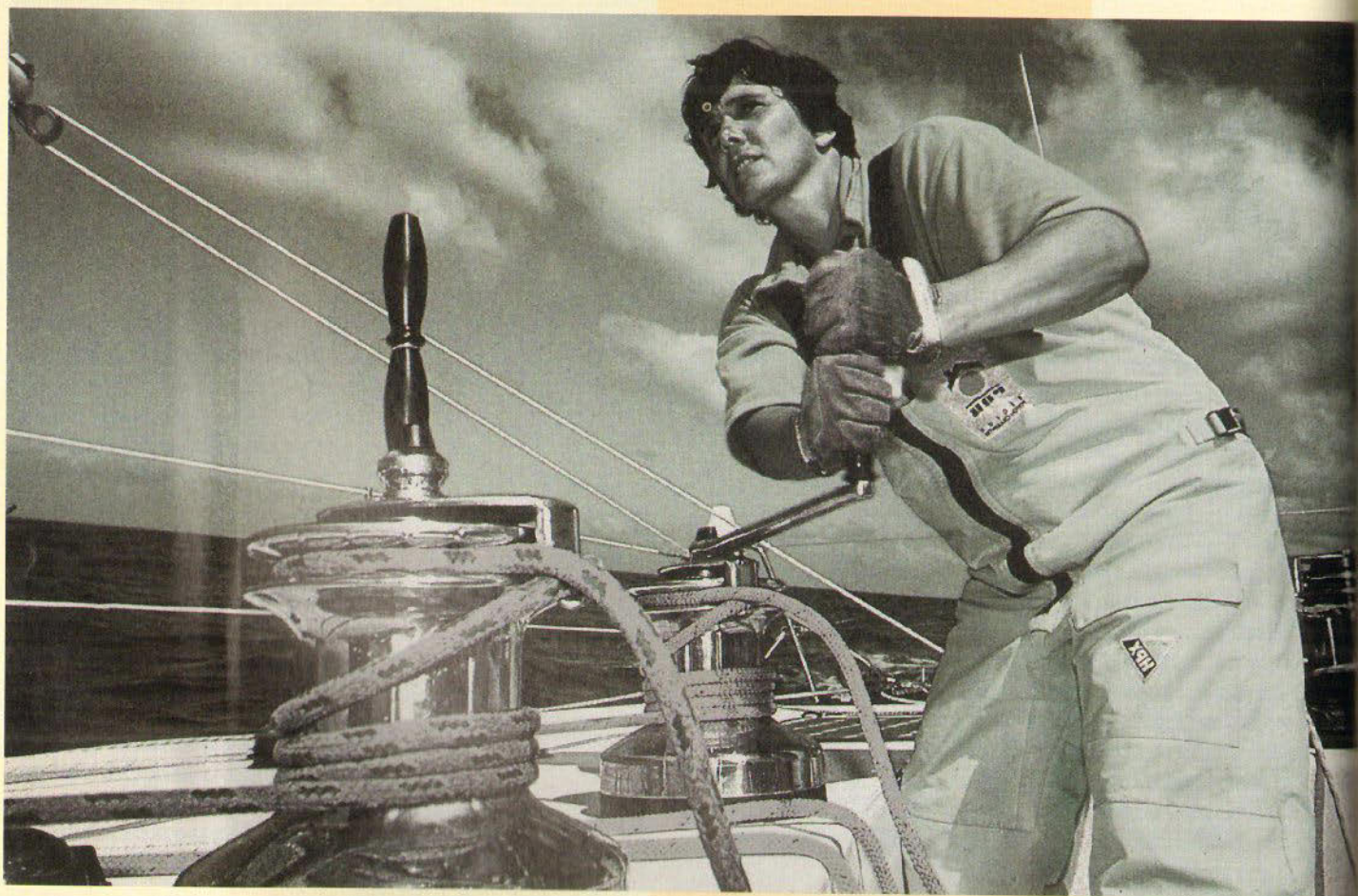
Die Französin Isabelle Autissier ist die erfolgreichste Einhand-Seglerin aller Zeiten. Sie fühlt sich mit dem Ozean verheiratet, und selbst ärgste Seenot kann ihre Passion nicht dämpfen

Die Frau ist entrüstet. Der Blick ihrer graublauen Augen wird eine Nuance härter. Nein, kein einziges Mal habe sie an jenem Morgen ein mulmiges Gefühl verspürt, sagt Isabelle Autissier, und später auch nicht die geringste Angst. Sie hatte gerade über Satellitentelefon ein E-mail verschickt: „Ein wunderschöner Morgen. Schneeschauer wechseln sich mit Sonnenschein ab... Ein Feiertag – ich habe heute meine Kleidung gewechselt.“

Die 18 Meter lange Yacht der Weltumseglerin tanzte über die meterhohe Dünung, flog durch die aufschäumenden Kämme des Südpazifik – 1900 Seemeilen vor der südamerikanischen Küste in den „furious fifties“, den orkanjaulenden fünfziger Breiten-

graden nahe der antarktischen Treibeisgrenze.

Plötzlich segelte das Boot mit größerer und größerer Schräglage. Der Mast schlug aufs Wasser. Die Yacht trieb kieloben. Wellen klatschten gegen den Rumpf. Dunkelheit umgab Isabelle



ISABELLE AUTISSIER
STARKER EINBRUCH IN EINE
DOMÄNE DER MÄNNER

UM DIE WELT

VON CHRISTIAN JUNGBLUT

Autissier. Sie kroch auf dem Kajütdach entlang, das nun ihr Fußboden war, fand eine Taschenlampe und schaltete den Seenotpeilsender ein. „Gekentert“, konnte sie ihrem Team in Frankreich, das sie bei dieser Regatta rund um die Welt coachte, über Satellitentelefon noch melden. Dann verstummte das Gerät.

„Nein, keine Angst“, sagt die 42-jährige noch einmal nachdrücklich. „Ich begann, das Schiff aufzuräumen, damit keine schlechten Gedanken aufkamen.“ Sie wußte, alle Rettungsstationen waren zu fern, als daß von dort Hilfe zu erwarten gewesen wäre. Allein einer ihrer Konkurrenten, der Italiener Giovanni Soldini, könnte sie in ein, zwei Tagen erreichen – falls ihr SOS-Ruf und das Peilzeichen gehört worden waren.

„Ich habe in dieser Nacht das Meer geheiratet, zur Stunde, wenn die Küste sich aus dem Dunkel löst. Das Meer hat nicht gefragt – weder woher ich komme, noch wen ich geliebt habe. Es hat meinen Mund mit Salz gefüllt und meinen Geist mit Stille.“ Diese poetischen Worte ihres Vaters hat Isabelle Autissier einem Buch über ihre frühere erfolgreiche Weltumseglung vorangestellt.

Sie selbst ist spröde, sie verschanzt sich, hält beim Sprechen die knochige Hand vor den Mund und erklärt ihre Leidenschaft fürs Meer mit ein paar dünnen biographischen Details: etwa daß sie, in Paris geboren, schon mit zehn Jahren im Golf von St. Malo, wohin ihre Eltern häufig mit den Kindern in Urlaub fuhren, in einer kleinen Jolle allein umhersegelte. Später studierte sie Meeresbiologie und unterrichtete an der Fischereischule in La Rochelle, baute sich über drei Jahre hinweg selber eine zehn Meter lange Stahlyacht und segelte damit – nach

einem Trip mit Freunden nach Brasilien und Westindien – allein über den Atlantik zurück.

Aber warum ist sie danach wie eine Besessene wieder und wieder allein um die Welt geschippert? „Weil ich dachte, so lerne man mehr über das Segeln als beim Cruising“, sagt Isabelle Autissier ohne jede Ironie. Weil es keine längere, keine anspruchsvollere und zermürbendere Wettfahrt als die einmal rund um den Globus gibt. Weil man sich bei Alleinregatten hinter niemands breitem Rücken verstecken kann. Wären ihre Eltern früher mit den Kindern nicht an die See, sondern in die Berge gefahren, würde sie heute vielleicht Wettklettereien zum Gipfel des Mount Everest austragen.

Isabelle Autissier ist in eine Domäne der Männer eingebrochen. Sie ist nicht die erste, aber die erfolgreichste Einhand-Regattaseglerin und verblüfft ihre Konkurrenten immer wieder durch ausgefallene Kurse, die sie weit an die Spitze getragen haben.

Während dieser 150 Tage langen Wettfahrten, in denen ihre Yacht zuweilen mit 30 Knoten, der Geschwindigkeit eines Marine-Kreuzers, durch die See jagt, schläft Isabelle Autissier meist nur 20 Minuten hintereinander und insgesamt nie mehr als fünf Stunden am Tag. Sie ißt dann nur Astronautennahrung und hin und wieder Nudeln mit einer Tütensauce, obwohl sie „es liebt zu kochen“. Sie ist „unablässig in Alarmbereitschaft“ und versucht, gefährliche Ereignisse vorauszusehen: Stürme, Materialschäden am Boot, Eisberge auf der Südroute. Nach solchen einsamen Regatten ist Isabelle Autissier jedesmal so leergesaugt, daß sie an Land für das folgende halbe Jahr in ziemliche Lethargie verfällt.

Es scheint, als stimuliere solche Kasteiung, dieser Exzeß an Strapazen noch ihre Leidenschaft. „Ich tue etwas sehr intensiv, so wie ein Künstler. Der fragt sich auch nicht ständig, welches Vergnügen er daraus zieht“, sagte sie einmal. Aber auch: „Ich sehe viel Schönes auf See. Das entschädigt mich für alle Anstrengung.“

Kann sie sich an einen solchen Moment erinnern?

„Nein, es gab viele, viele schöne Momente. Ist es so wichtig, sich an einen besonderen zu erinnern?“

Die Schönheit einzelner Augenblicke hat sich aufgelöst, ist in der ständigen Anspannung ertrunken. Der Stress hat ihr Gedächtnis verstopft und wie ein Nebel ihre Gefühle gedämpft.

Einsamkeit? Die hat sie nie gespürt.

Und das Risiko? Sie hält Autofahren oder Fabrikarbeit für gefährlicher – obwohl sie innerhalb von fünf Jahren zweimal in schlimme Seenot geraten ist und dabei ihre 2,5 Millionen Mark teuren Boote dem Meer überlassen mußte. „Der einzige, der keinen Schiffbruch erleiden kann, ist der, der nicht zur See fährt“, erklärt sie ungnädig.

Wer sein Schiff verloren hat, unter welchen Umständen auch immer, dem haftet unter Seeleuten zu allen Zeiten der Makel des Versagens an. Als Isabelle Autissier im Dunkeln in der kieloben treibenden Yacht auf Retter wartete, tat es ihr leid ums Boot, sagt sie. Mehr nicht.

24 Stunden harnte die Schiffbrüchige aus, bis plötzlich etwas laut gegen den Rumpf schlug – ein Hammer, den Giovanni Soldini übers Wasser geschleudert hatte. Sie kletterte durch die Notluke am Heck in ihre kleine Rettungsinsel und von dort auf die Yacht Soldinis. Er kochte Pasta für sie.

Mit welcher Soße?

Sie überlegt. Sie überlegt noch einmal. Sie kann sich nicht daran erinnern.

**KÜNSTLER
FRAGEN AUCH
NICHT, WARUM
SIE ES TUN**

TELEKOMMUNIKATION

DER HEISSE DRAHT



DURCH DIE KALTE SEE

MITTE DES 19. JAHRHUNDERTS BEGINNT DIE WELT RAPIDE ZUSAMMENZUWACHSEN. DOCH DIE NACHRICHTENÜBERMITTLUNG ZWISCHEN AMERIKA UND EUROPA BRAUCHT IMMER NOCH MEHR ALS EINE WOCHE. DIE ZEIT IST REIF FÜR DAS TELEGRAPHENKABEL

VON CAY RADEMACHER

Das Schiff, das im Osten aus dem Nebel auftaucht, ist das seltsamste, das die Fischer von Heart's Content in Neufundland je gesehen haben – und bei weitem das größte: 211 Meter lang, mit fünf je 30 Meter hohen Schornsteinen und sechs Masten, die diese noch überragen; mit je einem Schaufelrad an der Seite, so groß wie ein dreistöckiges Haus. Aus dem Bauch des Riesen quillt ein dunkles Kabel und senkt sich über das Heck fortlaufend ins Meer, während ihn die Schaufelräder gischtspritzend gegen den westlichen Wind langsam vorantreiben.

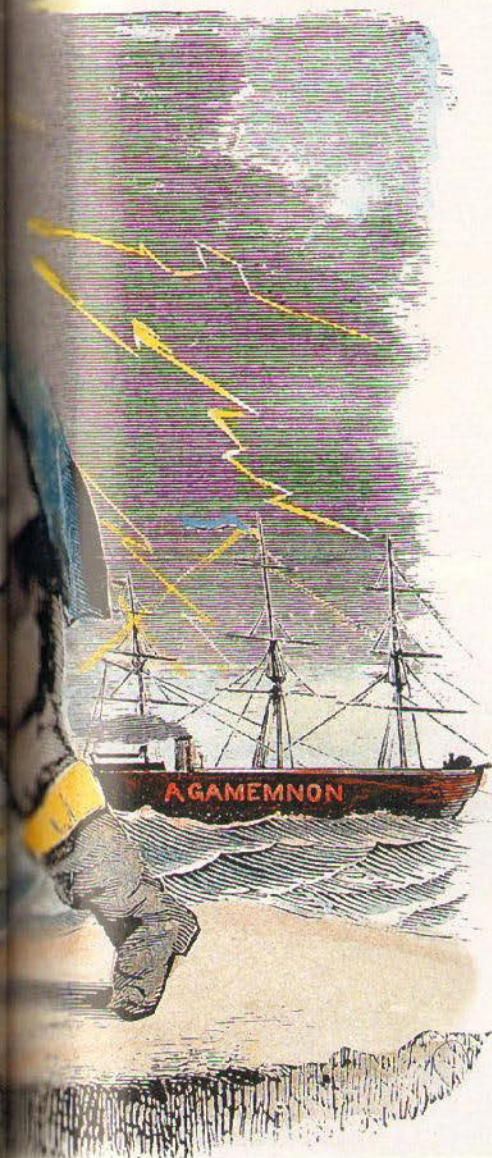
Es ist Freitag, der 27. Juli 1866, als sich im morgendlichen Dunst die „Great Eastern“, das mächtigste Schiff der Welt, der kanadischen Küste nähert. Das schwarze Kabel hat sie, einem gigantischen Ariadnefaden gleich, hinter sich abgespult, seit sie vor zwei Wochen in Irland gestartet ist. Jetzt dreht der Koloß bei, da er zu groß ist für die enge Bucht von Heart's Content. Ein kleineres Begleitschiff übernimmt die letzte Kabeltrommel und verlegt die wenigen Meilen bis zur Küste, wo sich die Fischer versammelt haben. Das Telegraphenkabel ist da!

Endlich, nach Jahren der Desaster und vergeudeten Vermögen, des öffentlichen Rufmords und enttäuschter Hoffnungen, verbindet ein elektrisches Ticken die Alte mit der Neuen Welt.

Der Atlantik ist an diesem Sommermorgen 1866 nicht um eine Seemeile schmaler geworden und doch unendlich geschrumpft. Die Menschen sind nicht schneller geworden, ihre Nachrichten aber rasant: Was zuvor mindestens zehn Tage gedauert hat, nämlich eine Botschaft von Kontinent zu Kontinent zu schicken, ist nun eine Sache weniger Minuten.

Später einmal nannte der Science-fiction-Autor Arthur Clarke die Verlegung des ersten transatlantischen Telegraphenkabels „das viktorianische Gegenstück zum Apollo-Programm“, was ebenso richtig wie falsch ist. Richtig, weil sich hier in vorher unvorstellbarem Maße High-Tech und Kapital verbunden haben; falsch, weil nicht in erster Linie prestigebewußte Großmacht-Regierungen das Wagnis angegangen sind, sondern fanatisch engagierte Privatiers.

Die Geschichte des Atlantikkabels und des Schiffes, das es verlegte, ist eine von Abenteuerum und Geldgier, von Patriotismus und Idealismus, vor allem aber eine von einer historisch vielleicht einmaligen Kombination aus Naivität, Technikgläubigkeit und Besessenheit. Es ist die Geschichte zweier scheinbar versponnener Mammutprojekte und zweier außergewöhnlicher Männer – von denen der eine als strahlender Sieger aus dem Unterfangen hervorging, während der andere, ge-



schmäht und hoffnungslos überarbeitet, frühzeitig starb.

Einer der beiden unbeirrbaren Pioniere, der 1819 geborene Amerikaner Cyrus W. Field, entstammte einer wohlhabenden Familie. Zwei ältere Brüder waren renommierte Juristen, er selbst trat mit 15 Jahren in eine New Yorker Papierfabrik ein, deren Teilhaber er mit 20 Jahren wurde. Im Alter von 33 Jahren zog er sich aus dem aktiven Geschäftsleben zurück. Nach einer mehrere Monate langen Reise durch Südamerika kehrte er nach New York zurück: ein junger, ehrgeiziger, reicher Mann, der sein Leben nicht müßig vergeuden, sondern für ein großes Ziel einsetzen wollte. Aber für welches?

Ein Zufall führte ihn zur Telegraphie. 1854 erzählte ihm einer seiner Brüder, ein Ingenieur, von dem gescheiterten Projekt des Kanadiers Frederic Gisborne, Nova Scotia mit Neufundland per Unterwasserkabel zu verbinden. Cyrus Field war begeistert, denn er erkannte, wie sich hier seine Sehnsucht nach einer sinnvollen Lebensaufgabe aufs beste mit seinem bereits vielfach erprobten Geschäftssinn verbinden ließe. Er stürzte sich mit missionarischem Eifer in das Vorhaben: Er mochte sich indes nicht mit der Verlegung eines Kabels nur zwischen zwei Regionen Kanadas begnügen, nein, er wollte gleich den ganzen Atlantik überbrücken.

Samuel Morse, der Erfinder des Telegraphensystems, das sich von 1843 an weltweit durchgesetzt hatte, war ebenfalls ein Verfechter jenes ehrgeizigen Projektes. Mit einem durch den New Yorker Hafen gezogenen Kabel hatte er bewiesen, daß elektrische Impulse prinzipiell auch unter Wasser übertragen werden können. Voraussetzung dafür war der Saft südostasiatischer Bäume, die zu einem relativ harten Isoliermaterial gerinnen – zu „Guttapercha“. Die deutschen Elektroindustriellen-Gebrüder Siemens hatten ein Verfahren entwickelt, den Stoff mit Schwefel zu vulkanisieren und Kupferstränge damit nahtlos zu umkleiden.

1850 ging das erste Unterwasserkabel zwischen England und Frankreich in Betrieb – und funktionierte einen



Machte das Transatlantik-Kabel zu seiner Lebensaufgabe: der New Yorker Geschäftsmann Cyrus Field

Tag lang. Tags drauf, so zumindest die Legende, holte ein bretonischer Fischer es aus dem Kanal, kappte es und zeigte auf dem Markt von Boulogne stolz seine neuentdeckte „Seepflanze mit Goldkern“ herum.

Pannen dieser Art hielten den technischen Fortschritt jedoch nicht auf: Während des Krimkrieges (1853 – 1856) verlegten britische und französische Techniker Kabel im Schwarzen Meer, Italien war via Mittelmeer mit Afrika verbunden.

In diesen Jahrzehnten „schrumpfte“ die Welt in einem Tempo wie niemals zuvor: Eisenbahn-, Dampfschiffahrts- und Telegraphenlinien legten sich wie ein Netz um den Globus. Menschen, Waren und Nachrichten wurden schneller, leichter und zuverlässiger transportiert. Die Großmächte konnten in ungeahnt kurzer Zeit Militär an fast jeden Punkt der Erde entsenden, Millionen von Auswanderern eroberten sich neue Welten in Nordamerika, Australien und Südafrika, die ersten international tätigen Konzerne dirigierten gewaltige Wirtschaftsströme, Presseagenturen versorgten ein Millionen-

publikum mit Meldungen, die nicht mehr Wochen, sondern allenfalls Tage und Stunden alt waren.

Diese Netze waren Machtinstrumente – und Geldmaschinen: Mit Zug, Schiff und Telegraphenkabel ließen sich Vermögen verdienen. Denn die Nachfrage war gewaltig. Doch während Eisenbahn und Dampfschiff einander vortrefflich ergänzten, zeigte das Nachrichtenetz riesige Lücken. Vor allem die großen Konzerne, insbesondere die rasch wachsenden Presseunternehmen, drängten auf den schnellen Ausbau dessen, was später das „viktorianische Internet“ genannt werden wird. Besonders mißlich war die Kluft zwischen Europa und Nordamerika.

Alle bis dahin verlegten Unterwasserkabel waren relativ kurz. Funktioniert, was auf wenigen Kilometern gelingt, auch über die rund 1700 Seemeilen zwischen Irland und Nordamerika? Welche Route würde sich am besten für die Telegraphenlinie eignen? Mit welchen Meerestiefen wäre zu rechnen? Drohen etwa unterseeische Vulkanausbrüche? Welche Strömungen treten auf?

1853 begann Leutnant Matthew F. Maury von der amerikanischen Marine ein monatelanges Geduldsspiel. Seemeile für Seemeile kreuzte er über den Nordatlantik und ließ in regelmäßigen Abständen ein Tiefenlot hinab, ein Senkgewicht, das in einer genau bestimmbaren Zeit nach unten trudelte. Anhand der Sinkdauer war die erreichte Tiefe recht genau zu messen. Damit stellte Maury das erste Bodenrelief eines Ozeans zusammen – und wurde so zu einem der Begründer der Ozeanographie. Denn en passant entdeckte er einen Höhenrücken zwischen Südwestirland und Neufundland, der meist relativ gleichmäßig verläuft. Optimistisch nannte er ihn „Telegraphic Plateau“.

Dabei war es noch keineswegs sicher, ob überhaupt ein Kabel der benötigten Länge und Festigkeit hergestellt werden könnte. Und selbst wenn: Wie stark müßten die Stromimpulse sein, damit sie das andere Ufer des Ozeans erreichten? Field kannte niemanden, der dies berechnen konnte.

Die Regierungen Großbritanniens und der USA standen dem Projekt mit

wohlwollender Zurückhaltung gegenüber. Sie erkannten den enormen Nutzen des Kabels, mochten aber wegen der Risiken weder viel Prestige noch Steuergeld investieren. So gründete Field eine Art viktorianische Risikokapitalgesellschaft, um die veranschlagten 350 000 Pfund aufzubringen. An seiner „Atlantic Telegraph Company“ beteiligten sich wohlhabende Amerikaner und Briten, darunter Morse.

Im Frühjahr 1857, nach dreijähriger Arbeit, hat die Firma Glass Elliot in Greenwich das Kabel endlich fertige-

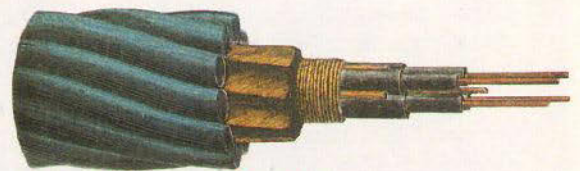
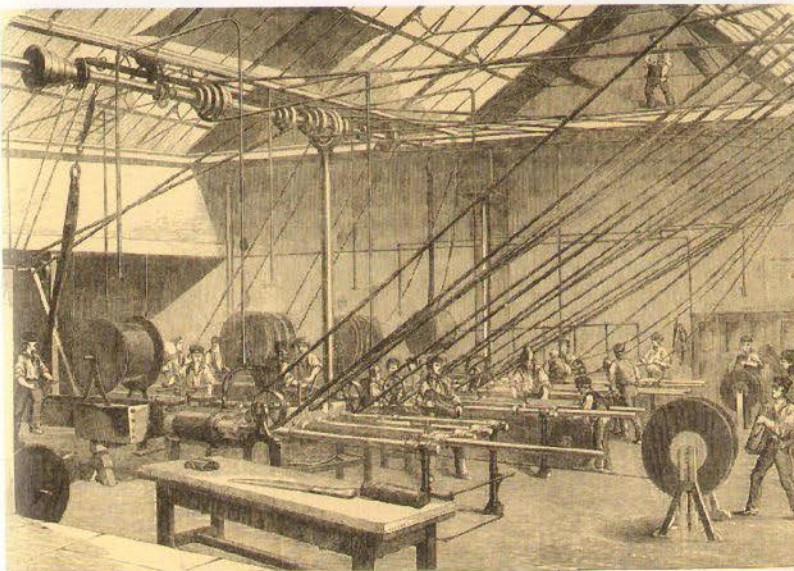
stellt: sieben Kupferdrähte, mit Guttapercha umhüllt, 4025 Kilometer lang – und, wie Field und seine Mitstreiter erst jetzt wahrnehmen, 2500 Tonnen schwerer als die Tragkraft der damals größten Frachtschiffe.

Also wird der Kabelstrang in der Mitte getrennt und auf die beiden stärksten Schiffe aufgeteilt, über welche die britische und die amerikanische Kriegsmarine jeweils verfügen. „HMS Agamemnon“ und die „USS Niagara“ stehen im Sommer 1857 in See. Wenn das eine Schiff seine Fracht entrollt hat,

soll das andere weitermachen. Nach kurzer Zeit geraten die Schiffe in schweres Wetter. Der diensthabende Techniker glaubt, daß sich das Kabel zu schnell von der Trommel spult, und betätigt die Bremse – doch leider zu heftig. Mit einem Ruck stoppt die Trommel, blitzschnell spannt sich das Kabel, dann reißt es mit lautem Knall, und das Ende versinkt für immer im Meer.

Field läßt sich von dem Unglück nicht entmutigen. Die fehlenden Kilometer werden neu produziert und nach einigen Monaten mit dem übriggeblie-

Der Strang, der die Botschaften trägt



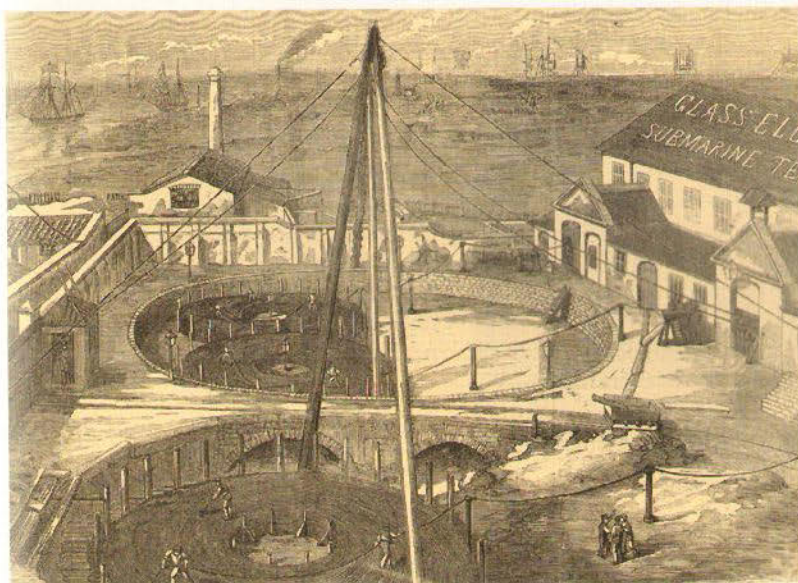
Seekabel Dover-Calais 1851



Transatlantik-Kabel 1857



Transatlantik-Kabel 1866



Im Kabelwerk von Glass Elliot in East Greenwich bei London überziehen Arbeiter die Kupferdrähte mit Guttapercha (oben links). Erst dieses aus dem Milchsaft bestimmter südostasiatischer Bäume gewonnene Isoliermaterial ermöglicht eine Verlegung unter Wasser. Die fertigen Stränge werden auf dem Fabrihof zu riesigen horizontalen Rollen aufgewickelt

benen Rest verbunden. Im Sommer 1858 startet der zweite Versuch: „Agamemnon“ und „Niagara“ fahren diesmal bis zur Mitte des Ozeans, die beiden Kabelhälften werden miteinander verbunden, und die Schiffe dampfen in entgegengesetzte Richtungen davon, als wollten sie ein gigantisches Springseil aufspannen. Das ist zumindest der Plan.

Doch als „Niagara“ und „Agamemnon“ sich Mitte Juni 1858 gerade am Treffpunkt gesichtet haben, bricht ein ungewöhnlich schwerer Sturm los. Zehn Tage kämpfen die Mannschaften gegen Wind und Wellen. Jedes Schiff hat mehrere hundert Tonnen Kupfer im Bauch und nimmt heftig Wasser über. „Niagara“ und „Agamemnon“ entgehen nur knapp dem Untergang.

Erst am 26. Juni ist die See so ruhig, daß die Männer es wagen können, das Kabel von Bord zu Bord zu spannen. Dann nehmen „Niagara“ und „Agamemnon“ Kurs auf ihre jeweilige Heimatküste. Um die Leitung zu überprüfen, tauschen die Schiffe regelmäßige Nachrichten aus. Eine, wie sich schnell zeigt, sinnvolle Vorsichtsmaßnahme: Dreimal reißt die Verbindung, dreimal müssen „Agamemnon“ und „Niagara“ umkehren, das Kabel zusammenflicken und erneut starten.

Am 7. August 1858 scheint Field am Ziel zu sein: Der Kupferstrang ist kom-

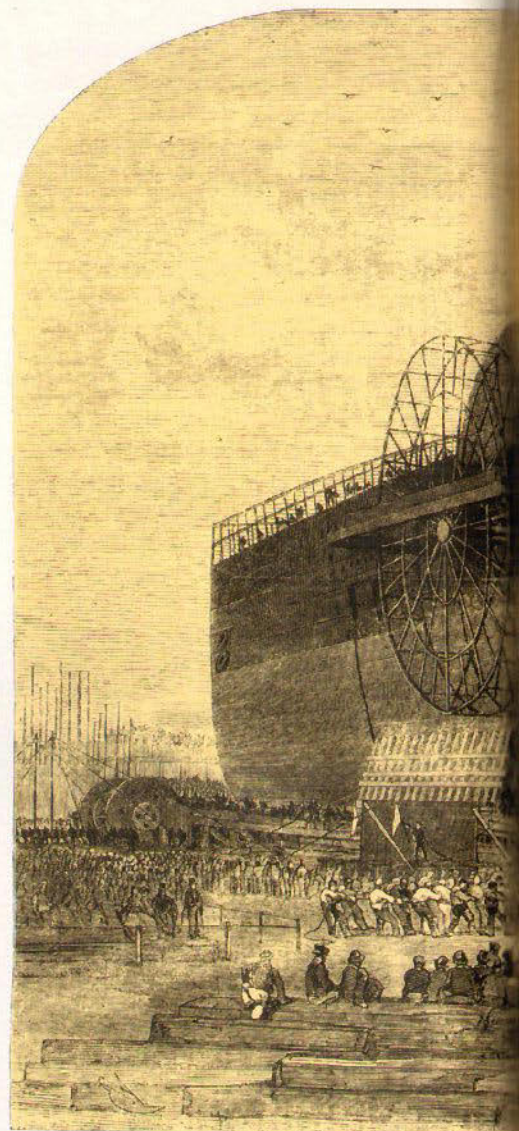
plett verlegt. Ungeheure Begeisterung dies- und jenseits des Atlantiks. Field wird mit Paraden, Festbanketten und Feuerwerken gefeiert. Vor dem Fotografen posiert er als Vereiniger der Welten: ein Stück Kabel in der einen Hand, die andere besitzergreifend auf dem Globus. Er wäre besser bescheidener aufgetreten.

Denn was die Öffentlichkeit nicht ahnt, ist seinen Technikern längst klar: Irgend etwas stimmt nicht. Die Signale kommen schwach und verstümmelt an, müssen endlos wiederholt werden, bis eine Nachricht eher erraten als verstanden wird. Nach einer „Testphase“, in der die Spezialisten besessen, aber vergebens an Verbesserungen getüftelt haben, wird die Verbindung am 16. August mit einer Grußbotschaft Queen Victorias an den amerikanischen Präsidenten eingeweiht. Die Nachricht ist nur 103 Wörter lang, doch ihre Entzifferung dauert über 16 Stunden.

Am 27. August publiziert die „New York Daily Tribune“ die erste transatlantische Telegraphenmeldung in der Pressegeschichte. Inzwischen haben die Betreiber große Schwierigkeiten, überhaupt noch etwas zu entschlüsseln. Da verfällt der britische „Chefelektriker“ der Company auf eine fatale Idee: Die Meldungen sind mit einer Spannung von rund 600 Volt durchs Kabel geschickt worden – warum soll er es nicht mit 2000 Volt versuchen? Vielleicht kommen dann ja die Signale am anderen Ende stärker an?

Er dreht den Regler hoch. Wahrscheinlich schon die ersten 2000-Volt-Signale versetzen dem Pannenprojekt den Todesstoß: Die Kupferdrähte brennen irgendwo tief unter dem Meeresspiegel durch. Das zumindest ist die plausibelste These vom vorläufigen Ende eines Traums – nach nur drei Monaten und 732 Meldungen.

Cyrus W. Field wurde vom Helden zum Buhmann. Die britische Regierung setzte eine Untersuchungskommission ein, die US-Presse beschimpfte und verspottete ihn. Er mußte sich gar gegen die Unterstellung wehren, alles sei eine großangelegte Fälschung gewesen, in Wirklichkeit habe das Kabel nie funktioniert. Die „Atlantic Telegraph Company“ war pleite.



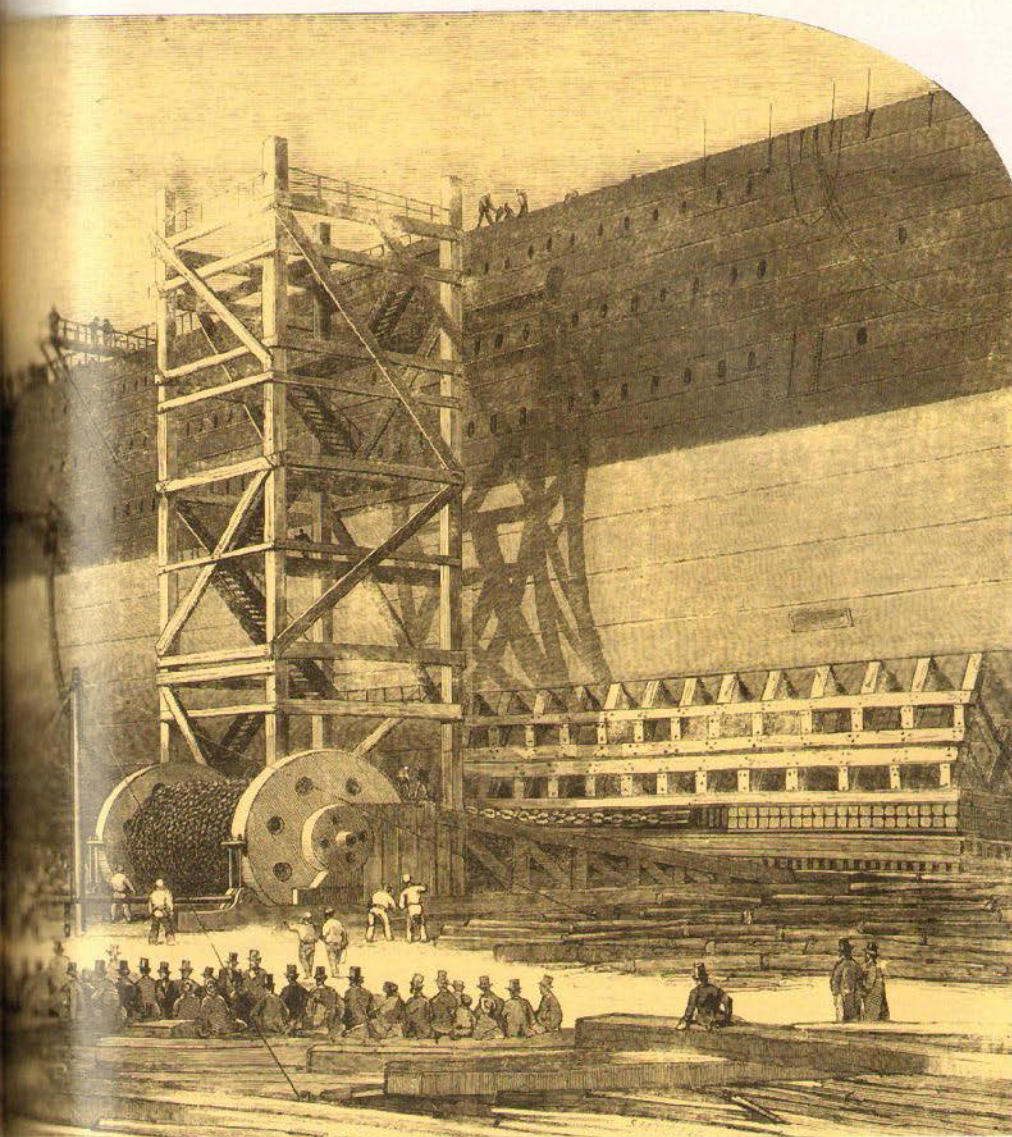
Der Koloss



Matrosen des Kabellegers »Niagara«
paradieren 1858 in New York

Doch Field gründete schon bald die nächste Gesellschaft mit demselben Geschäftszweck. Er sah sich dazu geradezu gezwungen! Nur wenn er jemals ein funktionierendes Atlantikkabel installierte, durfte er hoffen, seine ruinierte Reputation wiederherzustellen. Er intervenierte bei den Regierungen, überzeugte alte Freunde und gewann neue wie den einflußreichen Lord Kelvin. Und er nahm begierig jede technische Neuerung auf, die seinem Vorhaben nutzen könnte.

Die Papierfabrik, das Fundament seines Privatvermögens, brannte ab. Field machte weiter. Der amerikanische Bürgerkrieg brach aus und verzö-



Die »Great Eastern« läuft 1858 vom Stapel. Der Ingenieur Isambard Brunel wollte mit dem Giganten das Außergewöhnliche schaffen. Er stattete das Schiff gleichzeitig mit Schraube, Schaufelrad und Segel aus (ganz unten)



der in seinem Bauch mehr als 5000 Kilometer Seekabel transportieren kann

gerte alle zivilen Projekte. Field machte weiter.

1864 schließlich fertigte die englische Firma Glass Elliott, zugleich Teilhaberin an Fields neuer Gesellschaft, erneut ein Kabel, 4760 Kilometer lang, 7000 Tonnen schwer, verteilt auf drei je 6,25 Meter hohe Trommeln mit Durchmessern bis zu 17,8 Meter. Und endlich gab es ein Schiff, das das gesamte Kabel aufnehmen konnte: die „Great Eastern“.

Sie war das Lebenswerk des zweiten besessenen Pioniers der Kabelgeschichte: Isambard Kingdom Brunel, 1806 als einziger Sohn eines nach England eingewanderten Franzosen gebo-



ren, folgte früh der Profession des Vaters. Dieser war ein berühmter Eisenbahn- und Brückeningenieur. Der Sohn wurde sein Assistent, dann arbeitete er in eigener Regie. Als der Vater 1849 starb, war der Sohn bereits Mitte 40 und selbst ein arrivierter Baumeister in Stahl und Holz. Fünf Hängebrücken, 125 sonstige Eisenbahnbrücken, Hunderte von Meilen Eisenbahngleise, Dutzende von Tunnels, Trockendocks und Piers hatte er entworfen – und zwei Schiffe, die zu ihrer Zeit jeweils die größten waren: die „Great Western“ von 1837, mit der die erste regelmäßige transatlantische Dampferverbindung aufgenommen wurde, sowie die 1843 fertiggestellte „Great Britain“, das erste Großschiff mit eisernem Rumpf und Schraubenantrieb.

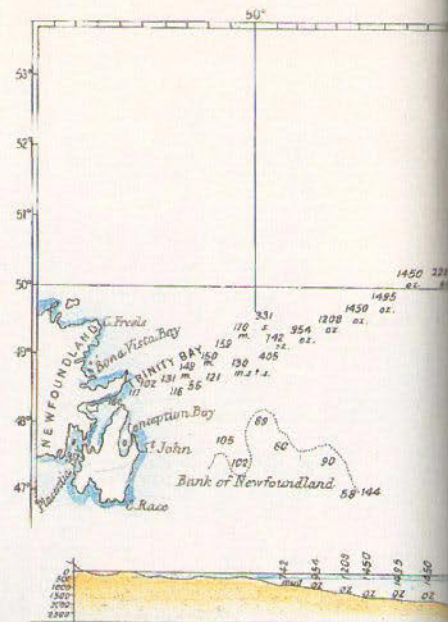
Jetzt, als vermögender Mann und wie er glaubt, in der Mitte des Lebens, wollte Brunel das Außergewöhnliche schaffen. Er entwarf einen Koloß von 22 374 Tonnen Wasserverdrängung – in einer Zeit, als 1000-Tonnen-Schiffe als gewaltig galten.

„Leviathan“ sei der passende Name, fand Brunel. Das Schiff sollte England via Kap der Guten Hoffnung mit dem Fernen Osten und Australien verbinden. Auf dieser Route dominierten noch die schnellen Segler – Dampfer waren zu klein und hätten unterwegs immer wieder Kohlen bunkern gemußt. Bru-

nel träumte von einem Schiff, das ausreichend Treibstoff für eine Fahrt um die halbe Welt mitführen und oben-drein 4000 Passagieren Platz bieten konnte – oder im Krisenfall 10 000 Soldaten.

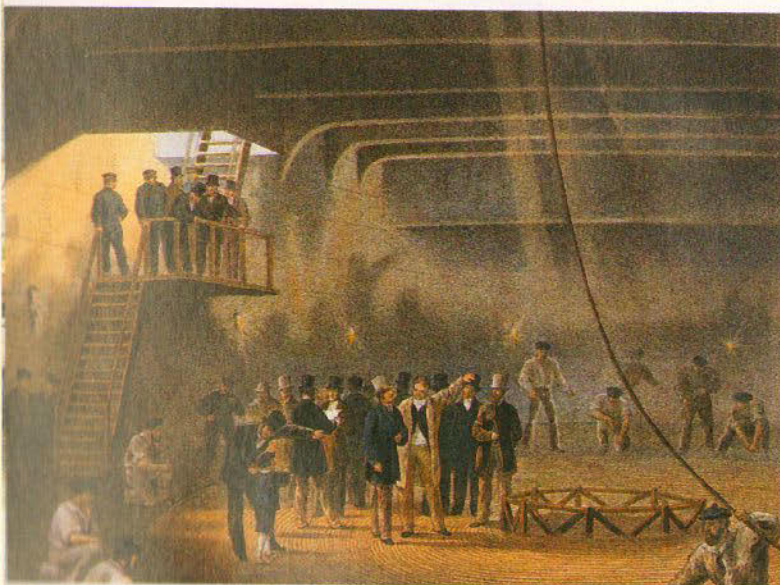
Und Brunel fand auch eine Reederei, die das schwimmende Wagnis finanzierte. Der Bauauftrag ging an die Werft von John Scott Russell in Millwall an der Themse. Die Arbeiten begannen im Februar 1854. Das Mammutwerk war eine Gratwanderung zwischen Ingenieursplanung und Improvisation, Mechanik und Muskelkraft, Triumph und Tragödie – und das alles inmitten einer Jahrmarkt-atmosphäre.

Weil kein Trockendock der Welt groß genug war für den „Leviathan“, wurde der Koloß direkt am sanft abfallenden Themseufer gebaut. Hunderte, manchmal Tausende von Schaulustigen belagerten die Baustelle, Imbißbuden und Souvenirverkäufer versorgten sie mit Limonade und Kitsch. In Anlehnung an Brunels ältere Rekordschiffe und weil der neue Riese gen Osten fahren sollte, bekam er schon bald den Spitznamen „Great Eastern“ – den schließlich auch die Bauherren übernahmen. 2000 Arbeiter schufteten auf der improvisierten Werft, krabbelten wie Insekten durch das langsam wachsende stählerne Monstrum.

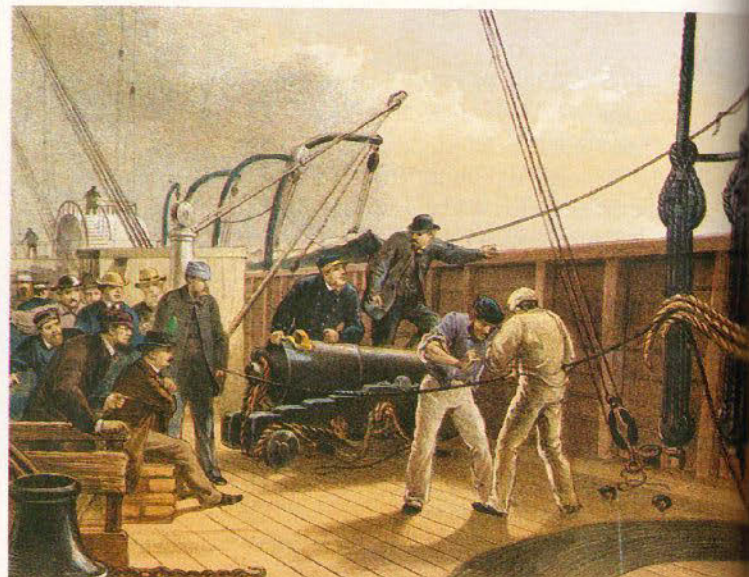


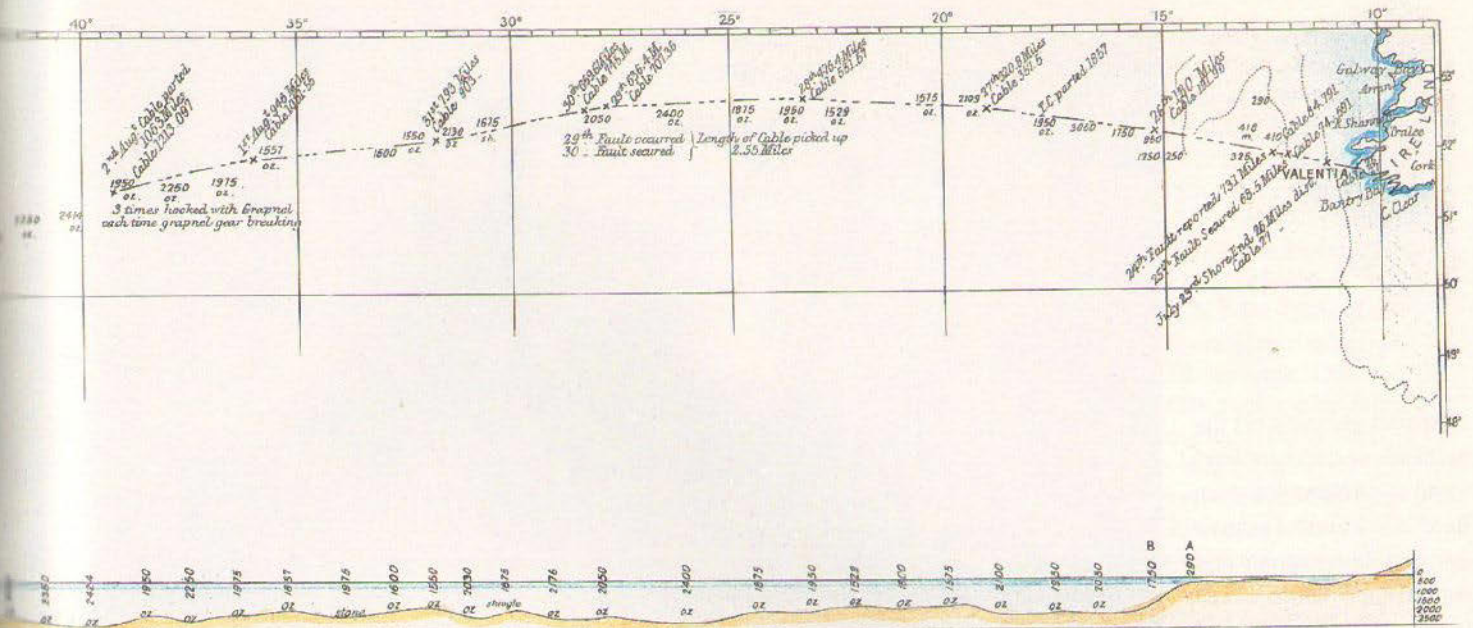
Die Trasse, auf der

Nachdem das Kabelschiff im Sommer 1865 schon ein Gutteil der Strecke geschafft hat (gestrichelte Linie), entgleitet während einer Reparatur das Ende des Kupferstrangs ins Meer. Die »Great Eastern« muß umkehren



1866 besichtigt Englands Thronfolger Edward die »Kabeltanks«. Unterwegs geht alles glatt: Techniker können einen Schaden reparieren.





Die »Great Eastern« den Atlantik queren sollte

Der Werfteigner Russell hatte den größten Auftrag der Epoche mit dem günstigsten Kostenvoranschlag an Land gezogen: 377 000 Pfund. Doch schnell liefen ihm die Kosten davon, er versuchte zu sparen, wo es ging – sehr zu Brunels Verzweiflung. Der Ingenieur war fast jeden Tag auf der Baustelle, um sich für immer neue, überraschend auftauchende Probleme Lösun-

gen auszudenken; jetzt mußte er zusätzlich auf Russels Kostentricks achten. Druck und Arbeitsbelastung wurden immer größer, je höher sich das Schiff erhob. Und Brunels Gesundheit verfiel rapide, ebenso dessen Finanzkraft. Er mußte sich mit seinem Privatvermögen beteiligen, um das Projekt zu retten.

Doch trotz allem war die »Great Eastern« nach gut dreieinhalb Jahren

fertig. 732 000 Pfund Sterling waren verbaut, fast doppelt soviel wie veranschlagt. Am 11. November 1857 sollte das größte Schiff der größten Handelsmarine der Welt vom Stapel laufen. Die »Great Eastern« wurde gleichzeitig von einer Schraube, von Schaufelrädern und Segeln angetrieben – ein historisches Unikum. Schotts und ein doppelter Boden standen für eine Sicherheit in vorher nie gekannter Form. Mit seinem dunklen, vergleichsweise schmalen, langgestreckten Rumpf und dem geraden, scharfgeschnittenen Bug lag der flaggengeschmückte Gigant an der Themse wie ein Fabelwesen aus der Tiefsee. Reden wurden gehalten, Musikkapellen spielten. Die »Great Eastern« wäre ein vollendeter Triumph gewesen, wenn... sie denn ins Wasser gewollt hätte.

Will sie aber nicht. Hydraulikpressen sollen die 22 000 Tonnen Stahl über die vom Flugrost angegriffenen Eisenbahnschienen seitlich in die Themse drücken. Brunel gibt Befehle. Nichts geschieht. Brunel schreit, rennt herum, treibt die Arbeiter an, schreit wieder, winkt mit Signalflaggen, gestikuliert – nichts. 10 000 erwartungsvolle Zuschauer erblicken statt Britanniens Triumph eine Blamage, die so groß



vorher hatte die Besatzung den Strang verloren und die Stelle per Boje markiert

Gespannt versammeln Cyrus Field – sechster von links – und seine Männer sich an Bord der »Great Eastern« um den Telegraphen und warten auf Antwort aus Irland. Bereits während der Verlegung wird das Kabel regelmäßig auf Funktionstüchtigkeit geprüft



Der Moment, in dem das Kabel zeigen soll, was es vermag

ist wie das Schiff, das nicht schwimmen mag.

„Mister Brunel sind Fehlschläge nicht unbekannt, doch keiner seiner Fehlschläge hat die Reputation englischer Ingenieure so sehr zerstört wie dieser Stapellauf“, kommentierte das Fachblatt „Mechanic's Magazine“ säuerlich. Erst nach wochenlanger Arbeit – und einer ebenso langen öffentlichen Demontage seiner Ehre – gelang es Brunel, die „Great Eastern“ mit Hilfe stärkerer Hydraulikpressen ins Wasser zu drücken.

Jetzt aber begann der Ärger erst richtig. Die Jungfernfahrt machte Brunel nicht mit. Im August 1858, nur Tage vor dem Ereignis, erlitt er einen Schlaganfall – vielleicht zu seinem Glück: Bei der Premierenreise barst ein Kessel, zehn Männer kamen um, und ein Teil der Inneneinrichtung wurde verwüstet. Der Name des Schiffes war absurd geworden, denn die finanziell angeschlagene Reederei konnte es nicht mehr auf die Langstrecke gen Ferner Osten schicken, sondern allenfalls westwärts nach Nordamerika. Und der Unglücke war kein Ende: Kaum war

der Schaden der ersten Fahrt behoben und das Schiff bereit zur zweiten, da ertranken der Kapitän und zwei Passagiere, als das Beiboot, mit dem sie an Bord gehen wollten, in einer Welle kenterte.

Psychisch zerstört, physisch und finanziell ruiniert, starb Brunel am 15. September 1859. So blieb ihm erspart, die folgenden Desaster zu erleben: 1861 zerschlug ein schwerer Sturm Schaufelräder und Ruder, die „Great Eastern“ trieb drei Tage lang hilflos in der aufgewühlten See; längst als „Unglücksschiff“ verrufen, lief sie zwei Jahre später auf ein Riff und riß sich ein mehr als 25 Meter langes Leck in den Rumpf, blieb aber schwimmfähig. Da sie für die vergleichsweise kurzen Transatlantikstrecken hoffnungslos überdimensioniert war, fuhr sie nur Verluste ein. 1864 wurde das Schiff aufgelegt, kurz darauf war die Reederei pleite. Brunels schwimmender Leviathan schien zum größten Flop der Handelschiffahrt geworden zu sein.

Da chartert Cyrus Fields Telegraphen-Gesellschaft den nutzlosen Riesen. Die Luxuskabinen werden herausgeris-

sen. Dafür bauen Werftarbeiter Trommelbremsen ein – diesmal mit Antiblockiersystem –, Greifgeschirr, um das Kabel bei Bruch bergen zu können, eine geräumige Werkstatt für eventuelle Reparaturen, eine Telegrafestation, mit der die Kupfertrosse beim Abrollen zu überprüfen ist.

Im Sommer 1865 legt die renovierte „Great Eastern“ im irischen Valentia ab. An Bord sind rund 500 Mann, davon allein 120 Telegrafentechniker. Ein Bordarzt und sein Assistent halten sich für Notfälle bereit, ein Geiger muntert die Offiziere auf. Zwölf Ochsen, 20 Schweine und eine Kuh fahren als lebende Fleisch- und Milchspender mit. Und natürlich ist Cyrus W. Field dabei.

Allein 200 Mann sind nötig, um die gewaltigen Anker der „Great Eastern“ zu liften. Dann dampft der Gigant mit rund sechs Knoten Geschwindigkeit davon, einem Lotsenschiff hinterher, das den Kurs vorgibt – denn die Metallmengen im Bauch des Riesen stören die Weisung des Bordkompasses. Langsam spult sich das dunkel ummantelte Kabel von

den haushohen Trommeln im Schiffsbauch ab, läuft über Umlenkrollen bis zur Bordwand und gleitet von dort ins Wasser. Techniker stehen an mehreren Stellen bereit, um beim kleinsten Zwischenfall unverzüglich eingreifen zu können.

Was auch bald notwendig wird: Nur rund 100 Kilometer von der Küste entfernt, entdecken die Männer, daß das Kabel mit einem Stück Draht durchbohrt ist. Stopp und Reparatur, dann weiter. 24 Stunden später der gleiche Defekt. Ein Verdacht geht um: Sabotage. Ist es nicht die gleiche Wache, während derer Dienstzeit sich dies ereignete? Nach stundenlanger Kontrolle stellt sich heraus, daß ein technischer Defekt hinter den Zwischenfällen steckt. Die Techniker beheben ihn, dann geht es ohne Probleme weiter.

Bis zum 2. August: Bei Kilometer 1898 muß das Kabel für Reparaturarbeiten abgeklemmt werden – und prompt entgleitet das Ende ins Meer. Zwar ist es mit einer Boje markiert, so daß die Männer es orten können – doch der Atlantik ist hier rund drei Kilometer tief. Die Besatzung fiert den Greifanker nach unten, eine Fangvorrichtung an einer 4000 Meter langen Trosse. Sie ziehen ihn blind über den Grund. Tatsächlich bekommen sie manchmal das Kabelende zu packen – aber es entwischt ihnen wieder. Zehn Tage kreist die „Great Eastern“ um die Unglücksstelle, wettet einen Sturm ab, dann verlieren die Männer auch den Greifanker. Die „Great Eastern“ kehrt um, zurück bleibt eine kleine Boje in der Weite des Ozeans, Symbol für eine neuerliche Niederlage der Technik vor der Natur.

Field muß den nervösen Anlegern eine außergewöhnliche Verzinsung versprechen, damit sie ihr noch verbliebenes Kapital nicht abziehen. Bei Glass Elliott laufen wieder Kilometer um Kilometer auf die Trommeln – am Ende sind es 5500. Die Cunard-Reederei schickt erneut ihren erfahrensten Kapitän, James Anderson.

Im Sommer 1866 ist es soweit. Vielleicht ist es Zufall oder Ahnungslosigkeit, vielleicht die bewußte Provokation eines Mannes, der das Schicksal schon so oft herausgefordert hat:

Das „Unglücksschiff“ „Great Eastern“ verläßt Valentia am Freitag, den 13. Juli 1866.

Ausgerechnet diesmal gelingt einfach alles. Nach zwei Wochen ereignisloser Überfahrt erreicht der schwimmende Gigant die Küste Neufundlands. Die einzige Abwechslung unterwegs bilden die Nachrichten, die via Kabel täglich aus Irland eintreffen und zu einer „Bordzeitung“ zusammengestellt werden.

In Kanada gelandet, schickt Cyrus W. Field den Mitarbeitern in England das erste Telegramm über die neue Verbindung: „Wir sind hier um neun Uhr morgens angekommen. Alles ist gut. Gott sei Dank ist das Kabel gelegt und in perfektem Zustand.“

Fields Hartnäckigkeit war schließlich der totale Triumph zu verdanken. Denn kaum war das erste Kabel in Betrieb, da lief das Schiff mit den verbliebenen Kupferrollen wieder aus, mit einem verbesserten Greifgeschirr an Bord. Am 1. September 1866 gelang es der Besatzung, das im Jahr zuvor verlorene Kabelende zu bergen und mit dem neuen Kupferstrang zu verspleißen. Bis zum 17. September dampfte die „Great Eastern“ nach Kanada zurück.

Binnen Wochen hatte Field das, wovon er über ein Jahrzehnt lang träumte, gleich doppelt realisiert: den direkten Draht zwischen Europa und Nordamerika. Aus dem ehemals geschaßten wurde der wiedergeborene Publikumsliebbling. Die Öffentlichkeit feierte ihn und verglich seinen Erfolg mit der Entdeckung Amerikas durch Kolumbus. Rudyard Kipling schrieb ein Poem auf das Tiefseekabel, der Kongreß in Washington verlieh Field eine Goldmedaille.

Goldene Zeiten auch für die nervenstarken Finanziers: Zwei, acht, später 20 Worte pro Minute konnten übertragen und, wichtiger, am anderen Ende verstanden werden. Ein 20-Worte-Telegramm kostete 20 Pfund, ein kleines Vermögen, für das ein englischer Arbeiter damals länger als ein halbes Jahr schuften mußte. Trotzdem war der Run auf das Kabel enorm: Gleich am ersten Betriebstag nahm die Telegraphen-Gesellschaft 1000 Pfund ein,

den Gegenwert von vier kleinen Einfamilienhäusern.

Innerhalb von wenigen Jahren entstand ein ganzes Netz aus Tiefseekabeln. Es war der erste Schritt hin zum „globalen Dorf“, zur vernetzten Welt, in der Medien und Militärs, Wirtschaft und Wissenschaft in Sekundenbruchteilen Informationen austauschen.

Für Schiff und Chef des Transatlantikkabels blieb die erfolgreiche Verlegung die einzige Sternstunde. Die „Great Eastern“ fuhr noch einige Jahre als Kabelleger, bis eigens für diesen Zweck konstruierte Schiffe sie verdrängten. Sie wurde wiederum aufgelegt, in Liverpool in einen schwimmenden Vergnügungspark verwandelt und schließlich von 1888 bis 1890 abgewrackt; auch am Ende ihrer Karriere war sie noch das größte Schiff der Welt.

Field machte durch das Atlantikkabel ein Vermögen. Und die Telegraphie ließ ihn nicht los. Er beteiligte sich später an einem neuen, waghalsigen



Am 27. Juli 1866 erreicht das Transatlantik-Kabel Neufundland

Projekt: einer Leitung durch den Pazifik von San Francisco nach Hawaii. Das Unternehmen scheiterte, Field verlor einen Großteil seines Vermögens. Am 12. Juli 1892 ist er gestorben, am Vorabend des 26. Jahrestags der einzigen rundum geglückten Ausfahrt der „Great Eastern“.

GEO-Redakteur **Cay Rademacher**, 34, ist Spezialist für die Vergangenheit. Seine historischen Rekonstruktionen reichen von James Cooks Pazifikreise bis zum rätselhaften Untergang des amerikanischen Atom-U-Boots „Thresher“.

Der Boden der Weltmeere birgt unabsehbare Mengen hochwertiger Erze, bekannter fossiler und bislang ungenutzter ergiebiger Brennstoffe. Zwar fehlen vielfach geeignete und umweltgerechte Fördertechniken. Doch Optimisten glauben, es sei nur eine Frage der Zeit, bis aus der Tiefseeforschung eine ökonomische Bonanza wird

MARINE RESSOURCEN

DER GRIFF NACH

Manganknollen in 5000 Meter Tiefe vor Peru. Der sieben Zentimeter breite Kompaß ist zum Größenvergleich heruntengelassen worden. Noch längst nicht ausgereift ist die Erntetechnik – ob mit Eimerketten oder staubsaugerähnlichen Apparaten. Immerhin funktioniert die Staubsaugermethode – im linken Bild ganz links – einigermaßen





NEPTUNS SCHÄTZEN

VON MANFRED PIETSCHMANN

Das Telex mit der frohen Botschaft kommt aus der Wasserwüste des Zentralpazifik, fast 2000 Kilometer von jeglicher Küste entfernt: „Der Tiefseebergbau ist kein Traum mehr!“, schickt der Fahrleiter des Bohrschiffes „SEDCO 445“ am 28. März 1978 über den Ticker, „unsere gemeinsa-

men, mehrjährigen Anstrengungen sind belohnt worden. Seit heute früh, 6.26 Uhr Ortszeit, erreicht ein kontinuierlicher Strom von Manganknollen die 445.“

Wie durch einen gigantischen Strohhalm saugt eine Pumpe über ein Rohrsystem aus 5000 Meter Wassertiefe fast 800 Tonnen jener Knödel von einem bis zehn Zentimeter Durchmesser an Bord, die im Mittel zu 19

Prozent aus Mangan bestehen und außerdem insgesamt etwa 1,5 Prozent Kupfer, Nickel und Kobalt enthalten. Vor allem wegen dieser Beimischungen haben es die schwarzen Klöppe dem multinationalen Team der „Pilot-Mining“-Expedition angetan. Denn diese Buntmetalle sind wertvoller als Mangan. Im Atlantik, im Indischen Ozean und im Zentralpazifik sind manche Stellen des Meeresbodens

kilometerweit übersät mit den Knollen, die man anscheinend nur einzusammeln braucht.

Doch der guten Nachricht, die binnen Tagen durch sämtliche Medien läuft, die Bankiers und Börsianer ebenso elektrisiert wie die Bergbaubranche, folgt die schlechte: Bei den niedrigen Weltmarktpreisen für Buntmetalle ist die Fördertechnik viel zu teuer, als daß sich die marinen Wertstoffe mit Gewinn heben ließen. Denn am Grund der Tiefsee bereitet selbst simples Einsammeln große Mühe: Mit einer „Kartoffelernte per Zeppelin aus fünf Kilometer Höhe, bei Sturm und stockfinsterer Nacht“ verglich damals der Geologe Rainer Fellerer von der Preussag in Hannover die Manganknollenförderung.

Wäre es einfacher und vor allem billiger, längst hätte sich der Mensch auch jener unterseeischen Kobaltkrusten, Erzschlämme und Massivsulfide bemächtigt, deren Metallgehalte Prospektorenherzen höher schlagen lassen. Die beachtlichen Konzentrationen in den Massivsulfiden etwa entstehen durch natürliche Anreicherung, wenn heißes Wasser Mineralien aus der Erdkruste löst und durch das Gestein nach oben steigt. Sobald dieser Strom auf kaltes Meerwasser stößt,

werden die Metallverbindungen ausgefällt und setzen sich am Grund ab. Leider bevorzugt in den Subduktionszonen, in denen sich die Kontinentalplatten unter vulkanischem Rumoren übereinanderschieben – also dort, wo der Ozean sehr tief und der Boden schlecht erreichbar ist.

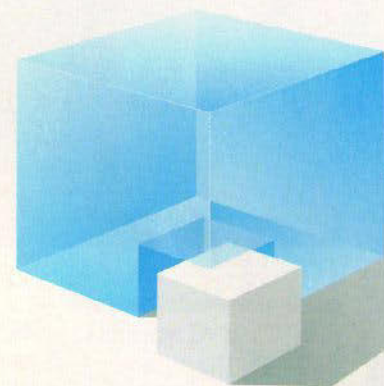
Und so ist dem Erzabbau in der Tiefsee bislang die große Zukunft versagt geblieben. Nur in Form kleiner Steinchen aus küstennahen Flachmeeren haben mineralische Rohstoffe wirtschaftliche Bedeutung erlangt: als Sand, Kies – und als Diamanten. Bei den Baustoffen macht es die Masse, bei den Diamanten die Qualität. Die Steine, die das südafrikanische Unternehmen „de Beers Marine“ vor der Küste Namibias vom Ozeangrund holt, gehören zum Feinsten, das die Schmuckindustrie zu bieten hat. Auf ihrer Millionen Jahre langen Reise aus der Erde des afrikanischen Kontinents durch den Oranje fluß ins Meer und von dort mit einer Küstenströmung nach Norden wurde alles Minderwertige abgeschliffen.

Der wertvolle Rest – purer Kohlenstoff in lupenreinen Kristallen – hat sich einige Kilometer vor der namibischen Hafenstadt Lüderitz in 80 Meter Tiefe gesammelt. Dort schlürft das Diamanten-„fangschiff“ „Namibian Gem“ sedimentgefüllte Nischen des felsigen Bodens mit einem ferngesteuerten Rüssel aus. Spezialisten durchsuchen den an Bord gesaugten Schlamm. Bei begrenztem technischen Aufwand beträgt der jährliche Ertrag ein paar Kilo Glitzersteine – im Wert von einigen Millionen Mark.

In einer ganz anderen Kategorie rangieren dagegen zwei marine Ressourcen biologischen Ursprungs – Öl und Erdgas. Im Golf von Mexiko etwa sprudeln jährlich an die 57 Milliarden Liter Erdöl aus rund 700 Feldern. Allein die Shell-Anlage „Auger“ – 1994 für 1,2 Milliarden Dollar installiert – spuckt täglich 16 Millionen Liter aus. Und in der Nordsee, dem größten Offshore-Fördergebiet der Welt, pumpen mehr als 400 Ölplattformen schwarzes Gold und Erdgas durch insgesamt 10 000 Kilometer Pipeline in Raffinerien der Anrainerstaaten. Die

In 1350 Millionen Kubik-kilometer Wasservolumen sind 47 Billionen Tonnen Inhaltsstoffe gelöst – ausgewaschen aus den Gesteinen des Festlands und eingeleitet durch die Flüsse, emittiert aus Tiefseeschloten oder eingetragen durch die Atmosphäre. Die Größe der Kugeln in der Grafik gibt die Mengenverhältnisse wieder, die Zahl die Masse in Tonnen

Fast alle Element



Kein Wunder, daß Meerwasser salzig schmeckt: Salze von 73 Elementen sind darin gelöst – und zwar 35 Kilogramm in einem einzigen Kubikmeter beziehungsweise 35 Gramm in einem Liter. Kochsalz, chemisch Natriumchlorid, ist davon das weitaus meiste – rund 86 Prozent



GEO-Grafik

Lagerstätten häufen sich hier, weil auch vor über 100 Millionen Jahren die Meere nahe den Kontinenten besonders produktiv waren und weit mehr Biomasse erzeugten als etwa der offene Ozean. Die Organismen sanken zu Boden, wurden von Sedimenten zugedeckt und über Jahrmillionen hinweg zu Erdöl umgesetzt.

Seit Umweltexperten in den siebziger und achtziger Jahren davor warnen, daß die Vorräte an fossilen Brenn-

stoffen binnen weniger Jahrzehnte zur Neige gehen könnten, hat die Ölbranche die Suche nach neuen Quellen weltweit forciert. Die Prospektoren wurden und werden immer noch fündig: Dank modernster Computer-Software und eines besseren Verständnisses geologischer Prozesse können sie seismische Daten präziser interpretieren als früher. Vor allem die Kontinentalränder, wo der Meeresgrund mehrere tausend Meter abfällt, offenbaren

neue Öl- und Gasvorkommen: Vor Brasilien, im Golf von Mexiko, vor der Westküste Afrikas und im Nordatlantik werden solche Lagerstätten derzeit mit immensem technischen Aufwand erschlossen.

Galten Ende der achtziger Jahre Offshore-Anlagen in 500 Meter tiefem Wasser noch als sensationell, so ist Förderung aus der dreifachen Tiefe heute Stand der Technik. Rekorde sind flüchtig in dieser Disziplin: Kaum hat

Die Planeten finden sich auch in den Ozeanen



CHLOR
 $2,6 \cdot 10^{16} \text{ t}$

SCHWEFEL
 $2 \cdot 10^{15} \text{ t}$

MAGNESIUM
 $1,7 \cdot 10^{15} \text{ t}$

NATRIUM
 $1,4 \cdot 10^{16} \text{ t}$

der brasilianische Ölkonzern „Petrobras“ eine Plattform bei 1853 Metern in das Camposbecken gesetzt, visiert die Konkurrenz im Golf von Mexiko schon die nächste Rekordmarke an: 2100 Meter.

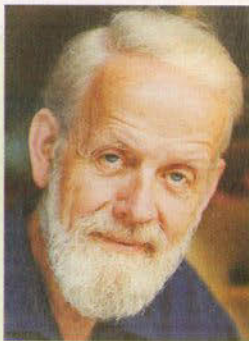
Und ein Ende ist nicht in Sicht. Denn mit der heute verfügbaren Technik ist der Energieträger prinzipiell aus noch größerer Tiefe zu holen – solange eine Plattform gut verankert wird und das Herz der Anlage, ein

ferngesteuertes Labyrinth aus Rohren, Schiebern und Hähnen am Meeresgrund, dem Druck von mehreren hundert Atmosphären standhält. Und solange die Wärmeisolation der Pipelines verhindert, daß das aufsteigende Öl fest wird wie Schokoladenpudding. „Der limitierende Faktor ist eher das Geld, denn mehr Tiefe kostet auch mehr“, sagt Hans-Emil Kolb, Ingenieur am Institut für Erdöl- und Erdgastechnik der Technischen Univer-

sität Clausthal. „Wahrscheinlich ist bei 3000 Metern Schluß.“

Verrückte Welt: Trotz weltweit wachsenden Verbrauchs an fossilen Brennstoffen wird ein bis dato einmaliger Hochstand der Ölvorräte registriert – insbesondere aufgrund zuvor unbekannter Tiefsee-Lagerstätten. Nach Expertenmeinung reichen die Reserven 100 Jahre – und noch länger, wenn effizientere und intelligenterer Techniken, wie das Dreiliterauto oder

Erz aus der Tiefsee? Ja – unter bestimmten Bedingungen



Hjalmar Thiel, 66, lehrte jahrzehntelang an der Universität Hamburg und war Koordinator des deutschen Forschungsprogramms für Tiefsee-Umweltschutz, das 1998 ausgelaufen ist. Im Rahmen dieses Programms hat der nunmehr emeritierte Professor für biologische Ozeanographie gemeinsam mit anderen Wissenschaftlern im Pazifik den Unterwasser-Versuch Discol (Disturbance and Re-Colonization) durchgeführt, mit dem die Folgen der marinen Manganknollen-Förderung untersucht worden ist.

GEO: Braucht die Menschheit Bodenschätze aus dem Meer?

Thiel: Die ganze Menschheit sicher nicht, aber bestimmte Länder möchten sie schon haben. Die Europäische Union wäre ohne ihre Öl- und Erdgas-Lagerstätten in der Nordsee vollständig von Rußland und den Opec-Mitgliedsstaaten abhängig.

GEO: Aber an Metallen herrscht doch gegenwärtig gar kein Mangel. Sie werden heutzutage auf dem Weltmarkt ja geradezu verschleudert...

Thiel: ... trotzdem: Für manche Länder, in denen die Lohnkosten niedrig sind, könnte die

Erzförderung aus dem Meer wirtschaftlich sein, insbesondere, wenn sie über keine Lagerstätten verfügen. Indien zum Beispiel würde gern Manganknollen fördern.

GEO: Und welche Folgen hätte das für die Tiefsee?

Thiel: Das läßt sich noch nicht abschließend beurteilen, da noch nicht alle Discol-Ergebnisse vorliegen. Immerhin hatte sich sieben Jahre nach unserer experimentellen Störung fast die gleiche Lebensgemeinschaft wieder eingefunden wie vorher. Da die Manganknollen untergepflügt worden waren, fehlten natürlich die Arten, die dieses Hartsubstrat besiedeln. Bei einem realen Bergbau-Projekt werden solche Störungen allerdings intensiver und großflächiger sein. Vor allem dann, wenn der Abraum einfach über Bord gespült wird.

GEO: Wird das Sediment, wie manche Wissenschaftler befürchten, dabei tatsächlich über Tausende von Kilometern verdriftet?

Thiel: Das hängt von der Partikelgröße ab. Das meiste wird wahrscheinlich in der Nähe der Abbaustelle zu Boden sinken. Aber in jedem Fall gilt: Je höher die Einleitung in die Wassersäu-

le, desto größer die Auswirkungen.

GEO: Wird die Lebensgemeinschaft Ihres Testfeldes je wieder denselben Zustand wie vor dem Versuch erreichen?

Thiel: Schwer zu sagen. Aber muß sie das denn zu 100 Prozent? Die Frage sollte doch lauten: Bildet sich nach einer Störung wieder eine ausgewogene Lebensgemeinschaft? Die bisherigen Ergebnisse unseres Versuchs scheinen das zu bestätigen.

GEO: Wäre ein solches Urteil nicht als ein Plädoyer für den Tiefsee-Bergbau zu verstehen, sofern er umweltschonend durchgeführt wird?

Thiel: Unsere Ergebnisse sprechen nicht dagegen; allerdings müssen vorher Großversuche unter realen Abbaubedingungen stattfinden. Sie müssen zeigen, daß eine Regeneration der Tiefseefauna möglich ist.

GEO: Und wenn nicht?

Thiel: Dann haben wir ein Problem. Angesichts der Milliarden, die für ein Tiefseebergbauprojekt investiert werden müssen, lassen sich Entscheidungen nur schwer revidieren, wenn erst einmal mit dem Abbau begonnen worden ist.

GEO: Wer entscheidet über derartige Bergbau-Vorhaben?

Thiel: Seit die UN-Seerechtskonvention 1994 in Kraft getreten ist, müssen Antragsteller sich an die internationale Meeresboden-Behörde der Uno wenden, wenn sie Bodenschätze außerhalb der 200-Meilen-Zone erschließen wollen. Das Regelwerk sieht Umweltverträglichkeits-Untersuchungen vor.

GEO: Reicht dieser Schutz aus, da doch bedeutende Staaten wie die USA und Kanada die Konvention bis heute nicht ratifiziert haben?

Thiel: Auch diese Länder können es sich politisch kaum leisten, vorsätzlich gegen internationales Seerecht zu verstoßen. Allerdings gibt es Länder, die derartige Konflikte gar nicht fürchten müssen.

GEO: Zum Beispiel?

Thiel: Bestimmte polynesischen Inselstaaten haben innerhalb ihrer 200-Meilenzone große Tiefseegebiete, wo sie marinen Bergbau betreiben können, ohne die UN-Meeresboden-Behörde einschalten zu müssen. Das gleiche gilt für Papua-Neuguinea.

GEO: Dessen Regierung vergibt derzeit schon Abbaurechte für metallhaltige Massivsulfide. Welche Umweltauswirkungen hat diese Art Bergbau gegenüber der Manganknollen-ernte?

Thiel: Wenn in vulkanisch noch aktiven Gebieten in der Nähe Schwarzer Raucher gefördert wird, sind die Folgen ungleich größer. Die einzigartige Unterwasserwelt dieser Hydrothermalquellen würde irreversibel zerstört.

GEO: Wird die nicht, wie einige Wissenschaftler behaupten, ohnehin von unstillen Lebensgemeinschaften gebildet, die heute entstehen und morgen vergehen?

Thiel: Das mag biologisch stimmen, ist für mich aber kein Grund, ihre Zerstörung in Kauf zu nehmen. Man kann Massivsulfide auch woanders suchen.



Wirtschaftlich am interessantesten sind immer noch die fossilen marinen Ressourcen. Allerdings ist die Öl- und Gasförderung auch sehr wartungsaufwendig: oben die Inspektion einer Plattform am philippinischen Schelfrand, rechts die einer Pipeline in der Nordsee, dem wichtigsten Offshore-Fördergebiet der Erde



400 Plattformen allein in der Nordsee

moderne Gas-Turbinen-Kraftwerke, den Energiehunger drosseln. Aber auch diese Rechnung ist Makulatur, sollte sich – was manche hoffen und andere fürchten – eine weitere Brennstoffquelle als nutzbar erweisen: das sogenannte Methanhydrat.

Chemisch gesehen besteht Methanhydrat aus Eiskristallen, die in Hohlräumen Methan einschließen. Es sieht aus wie Schneematsch und schäumt beim Schmelzen auf. Das Besondere an der Substanz: Sie brennt. Denn ein Kubikmeter Methanhydrat enthält nur 0,8 Kubikmeter Wasser, aber bis zu 167 Kubikmeter Methan, also Erdgas.

Bisher haben nur wenige Menschen das „brennbare Eis“ lodern sehen. Die Verbindung ist sehr instabil und bleibt lediglich unter hohem Druck oder in großer Kälte fest. Daher kommt es in den Böden der arktischen Permafrostgebiete vor und im Meer unterhalb von 500 Metern bei Wassertemperaturen nahe dem Gefrierpunkt. Schätzungen über die weltweite Menge an Methanhydrat gehen erheblich auseinander. Fachleute halten es aber für möglich, daß in den Depots mehr als doppelt soviel Kohlenstoff steckt wie in allen Erdöl-, Erdgas- und Kohle-Lagerstätten zusammen. Allein vor den Küsten der US-Bundesstaaten North und South Carolina sollen Reserven liegen, mit denen die USA ihre Energieversorgung für mehrere Jahrzehnte sichern könnten.

Das Gros des Methanhydrats hat sich in den Kontinentalabhängen gesammelt, wo der Meeresboden auf große Tiefen abfällt. Dort stabilisiert die Substanz in den Lücken des Sediments wie Zement die teilweise übersteilten Flanken. Und genau darin lauert nach Ansicht von Ozeanographen und Klimaexperten eine große Gefahr: Selbst umsichtige Versuche, diese Energiequelle auszubeuten, könnten unterseeische Erdbeben auslösen. Abgesehen davon, daß die Lawinen womöglich verheerende Flutwellen nach sich ziehen, würde weiteres Methan nahezu explosionsartig frei gesetzt und an die Oberfläche blubbern. Da Methan ein 30mal stärkeres Treibhausgas ist als Kohlendioxid, würden solche „Blow-outs“ die Erwärmung

der Atmosphäre beschleunigen und eine fatale Rückkopplung in Gang setzen: Die Ozeane würden wärmer, weiteres Methanhydrat würde schmelzen und neue Rutschungen auslösen, die wiederum gigantische Gasmengen an die Oberfläche brächten und so die Atmosphäre weiter anheizen.

Fachleute zweifeln kaum noch daran, daß solche Effekte das Erdklima in der Vergangenheit maßgeblich beeinflusst haben. Meeresforscher führen zum Beispiel bestimmte unterseeische Krater auf Methan-Eruptionen zurück. Und auch eine spektakuläre Warmzeit am Ende des Paläozän vor 55 Millionen Jahren, als sich die Ozeane in kurzer Zeit um mehrere Grad erwärmten, läßt sich durch Freisetzung enormer Mengen jenes potenten Treibhausgases erklären. Diese Vermutung hat eine Arbeitsgruppe um den Geowissenschaftler Gerald Dickens von der Michigan University im amerikanischen Ann Arbor aus Computersimulationen des Klimageschehens abgeleitet.

Trotz des Risikos planen mehrere Länder – allen voran Japan –, die Vorkommen anzuzapfen, zumindest das freie Methan abzupumpen, das sich teilweise unter den Hydratschichten angesammelt hat. Doch bisher hat jeder technische Vorschlag nur neue Fragen aufgeworfen: Wie lassen sich die Bohrteams vor Blow-outs schützen? Wie soll das Methan an Land transportiert werden, wenn die Verlegung von Pipelines auf den steilen Kontinentalhängen nicht in Frage kommt? Und wohin mit dem Schlamm, der mit dem brennbaren Eis zwangsläufig gefördert würde? Einfach über Bord spülen?

Abraum und aufgewirbeltes Sediment sind generelle Probleme marinen Bergbaus. Denn anders als an Land bleibt die Störung nicht auf den unmittelbaren Ort der Förderung beschränkt. Theoretisch können Partikelfahnen monatelang das Wasser trüben und über Tausende von Kilometern verdriftet werden. Je feiner die Bestandteile sind, desto länger bleiben sie in der Schwebe.

Wie aufgewirbeltes Sediment auf die Lebewesen am Meeresgrund wirkt, zeigte das bemerkenswerte Ex-

periment einer Arbeitsgruppe um den Hamburger Tiefseeforscher Hjalmar Thiel. Bei dem weltweit ersten Großversuch dieser Art hatten die Wissenschaftler die Umweltfolgen der Manganknollenernte untersucht. Dazu führten sie Anfang 1989 am Testort, 400 Seemeilen südlich der Galápagos-Inseln, in 4100 Meter Tiefe zunächst eine Art Volkszählung unter See – Gurken, Seesternen und Schnecken,

Ist Wasser am Tiefseegrund mit dem Zersetzungsgas Methan gesättigt, dann preßt der dort herrschende hohe Druck dessen Moleküle in ein eisiges Gitter aus Wassermolekülen, und es entsteht Methanhydrat. Herausgeholt Brocken davon brennen vorzüglich, denn pro Kubikmeter enthalten sie bis zu 167 Kubikmeter Methan – das leider aber auch ein hochwirksames Treibhausgas ist

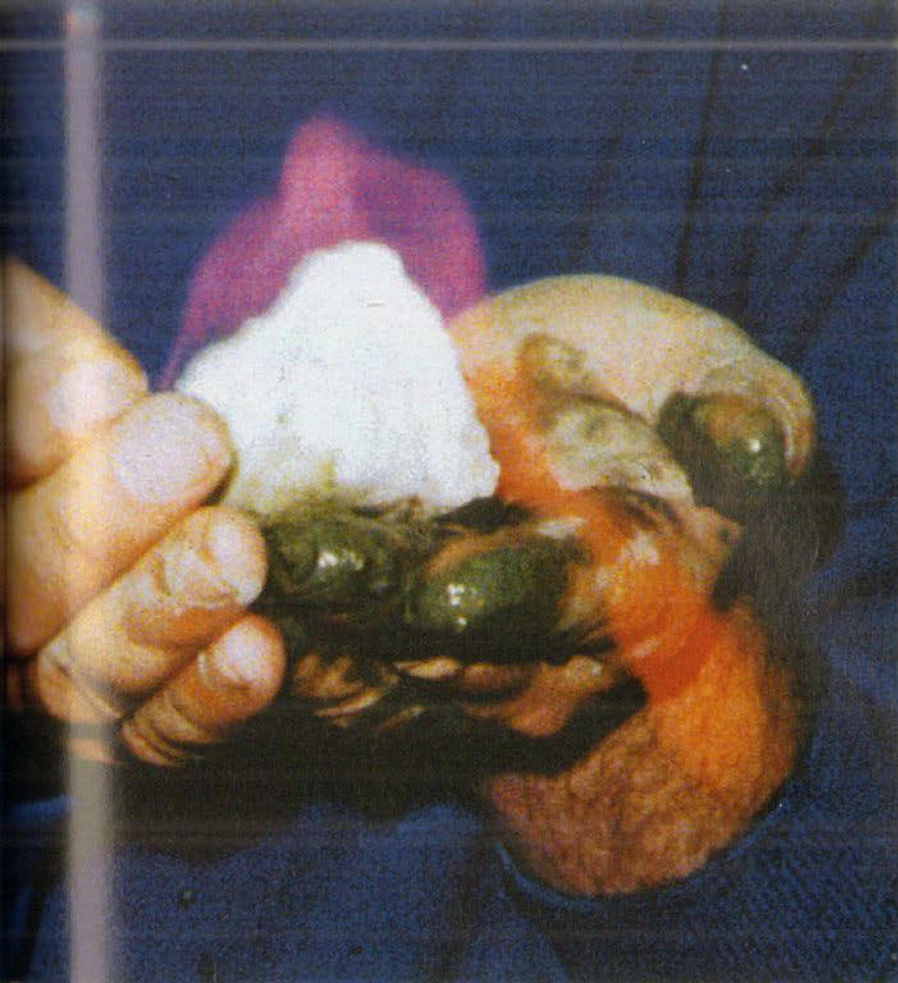


Wärme, di

diversen Krebsarten und Würmern durch. Danach wühlten sie knapp zwei Quadratkilometer des Meeresbodens mit einer eigens gebauten Pflugegge um, bedeckten dadurch acht Quadratkilometer mit herabsinkendem Sediment und begutachteten direkt anschließend die Folgen des Eingriffs.

Dreimal – im September 1989, jeweils im Februar 1992 und 1996 – kehrte Thiel an den „Tatort“ zurück, um Veränderungen zu dokumentieren. Nach einem halben Jahr war das Gelände noch wüst und tot. Dann eroberten die Tiere ihren Lebensraum allmählich zurück. Aber nicht alle: Selbst nach sieben Jahren hatte die Lebensgemeinschaft ihren alten Zustand noch nicht wieder erreicht (siehe Interview auf Seite 86).

Weit verheerender dürfte mariner Bergbau in der Umgebung heißer Schwefelquellen ausfallen, die wegen der begehrten Massivsulfide – kom-



us der Tiefseekälte kommt

pakten Erzen mit hohem Anteil an Kupfer, Zink, Silber und Gold – ins Fadenkreuz der Prospektoren geraten sind. Gerade 20 Jahre liegt die sensationelle Entdeckung der „Schwarzen Raucher“ zurück, jener turmhohen Schlote in vulkanisch aktiven Gebieten, um die herum üppige Oasen voll bizarrer Kreaturen gedeihen. Bergbau würde diese Inseln fulminanten Lebens in der sonst dünnbesiedelten Finsternis zerstören, bevor der Mensch sie im Detail kennengelernt und verstanden hat.

Derlei Raubbau zu verhindern ist Ziel der UN-Seerechts-Konvention. Sie stellt die Ozeane außerhalb der nationalen Wirtschaftszonen als „gemeinsames Erbe der Menschheit“ unter Schutz und ist 1994 in Kraft getreten, nachdem 60 Staaten – darunter die Bundesrepublik – sie ratifiziert hatten. Seither muß eine UN-Meeresboden-Behörde Schürfvorhaben in der Tief-

see genehmigen. Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit sind Voraussetzung für eine Erlaubnis.

Aufgewirbelte Sedimente, internationales Seerecht – damit muß Peter Herzig sich nicht befassen. Der Geologe von der Technischen Universität Bergakademie Freiberg gehört zu den wenigen Forschern, deren Entdeckung buchstäblich Gold wert ist. Herzig fand 1994 vor der Küste von Neuguinea in 1000 Meter Wassertiefe einen Vulkanhügel, den „Conical Seamount“, der 600 Meter über den Meeresboden aufragt und dessen Gipfelbereich im Mittel sagenhafte 26 Gramm Edelmetall pro Tonne Erz enthält. An Land gilt schon ein Zehntel davon als abbauwürdig.

Herzig hält die Förderbedingungen für optimal: Der „Conical Seamount“ liegt zehn Kilometer von der Insel Lihir entfernt, auf der sich „Ladolam“ befindet, der Welt größte terrestrische


Goldlagerstätte magmatischen Ursprungs. Dort werden täglich 55 Kilo des kostbaren Metalls gewonnen, und das submarine Erz könnte in die vorhandene Aufbereitungsanlage wandern. Da der „Conical Seamount“ in den Hoheitsgewässern Papua-Neuguineas liegt, sind Konflikte mit dem internationalen Seerecht ausgeschlossen. Außerdem ist der Hügel vulkanisch nicht mehr aktiv, frei von Sediment und kaum besiedelt. „Die Beeinträchtigung der Umwelt“, glaubt Herzig, „wird nicht stärker sein als beim Bau einer größeren Hafenanlage.“

Schon kurz nach der Jahrtausendwende könnte es deshalb rund um den „Conical Seamount“ und in anderen Meeresregionen laut werden. Die australische „Nautilus Minerals Corporation“ hat kürzlich in Papua-Neuguinea die Schürfrechte für den Goldhügel beantragt. Bereits 1997 genehmigte die Regierung des Pazifikstaats diesem Unternehmen den Abbau von Bodenschätzen in zwei Gebieten der Bismarcksee auf einer Fläche von insgesamt mehr als 5000 Quadratkilometern. Hier ruhen ergiebige Massivsulfid-Vorkommen. Außerdem erklärten Indien, Japan sowie ein Konsortium ehemaliger sozialistischer Staaten gegenüber der UN-Meeresboden-Behörde ihr Interesse, Manganknollen zu fördern.

Planen Unternehmen und Regierungen einen erneuten Anlauf, die Bodenschätze des Meeres in größerem Stil zu heben? Peter Herzig sieht das so: „Vor etwa 40 Jahren hat die Ölindustrie den Schritt vom Land aufs Meer gewagt, und es besteht heute kein Zweifel daran, daß diese Entwicklung erfolgreich verlaufen ist. Offensichtlich bereitet sich die internationale Bergbauindustrie momentan entschlossen darauf vor, diesem Beispiel zu folgen.“

Paradoxerweise geschieht dies zu einer Zeit, in der infolge zunehmenden Recyclings die Nachfrage nach Metallerzen sinkt und immer exotischere Kunststoffe viele Metalle aus klassischen Anwendungen verdrängen.

Der hannoversche Journalist **Dr. Manfred Pietschmann**, 50, hat von Geburt an ein intimes Verhältnis zum Meer: Er ist auf Norderney aufgewachsen.



In der Tiefsee hausen zuhauf
Kreaturen wie dieser Angler-
fisch, die anmuten wie »Miß-
geburten« der Evolution. Dabei
sind es gerade die bizarren
Körper, die das Überleben in
jener extremen Umwelt ohne
Sonnenlicht, mit chronischem
Nahrungsmangel und gewalti-
gem Wasserdruck garantieren.

ANPASSUNG

DIE GESCHÖPFE DER



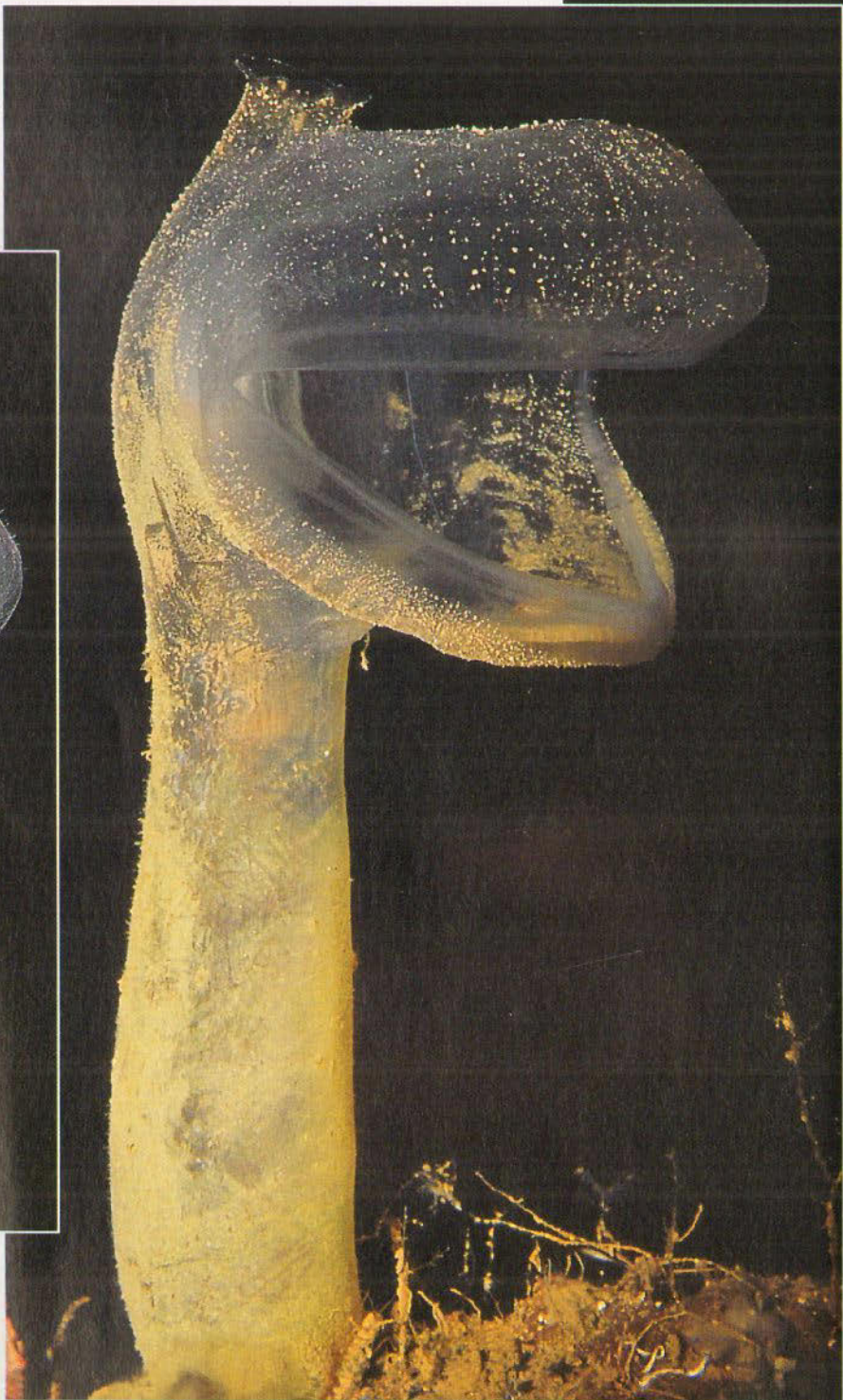
FINSTERNIS



Die Tiefsee-
qualle *Periphylla
periphylla* – bei
Beleuchtung und
in Dunkelheit und
biolumineszent
schimmernd auf-
genommen

GROSSMAUL DER TIEFE

Ein Unikum beim Mahl: Anders als seine Verwandten aus Flachgewässern, die Plankton lediglich aus dem Wasser filtern, ist das Tiefsee-Manteltier *Megalongicopia hians* ein aktiver Räuber, der seinen »Mund« als Falle nutzt – hier für kleine Krebse, die selbst in dieser Finsternis vorkommen. Das transparente Wesen siedelt auf Felsengrund und kann 15 Zentimeter groß werden





Bruce Robison traute seinen Augen nicht. Vor der Küste Kaliforniens auf Tauchfahrt mit dem Mini-U-Boot „Deep Rover“, hatte der Meeresbiologe vom Monterey Bay Aquarium Research Institute gerade die 300-Meter-Marke passiert. Das letzte Glimmen des Sonnenlichts war über ihm zurückgeblieben. Finsternis hüllte ihn ein. Als er die Scheinwerfer anschaltete, bemerkte er etwas Seltsames, „sehr schwach zunächst, am Ende des Lichtstrahls“. Gespannt fuhr er näher, rasch füllte das riesige Tier sein Gesichtsfeld aus. „Es war größer als alles, was wir je gesehen hatten“, staunt Robison noch im nachhinein.

Der Forscher war Anfang der neunziger Jahre als erster Mensch einer 40 Meter langen Staatsqualle der Gattung *Praya*, einer der größten bekannten tierischen Lebensformen, in deren natürlicher Umwelt begegnet. Staatsqualle sind Tierkolonien in Kettenform. Tausende von Individuen fädeln sich an einem zentralen Hauptstamm zu einem Superorganismus auf, der mit giftbewehrten Tentakeln nach Beute angelt. In oberen Wasserschichten bleiben Staatsqualle so klein wie ein Zeigefinger, in der nahrungsarmen Tiefsee aber wachsen manche Arten zu halber Fußballfeldlänge heran: Lebenden Spinnennetzen gleich schwimmen sie durchs Meer; denn je größer die Oberfläche, desto reicher der Fang.

Fabelwesen solcher Art bevölkern die Tiefsee zuhauf – Fische mit Riesenaugen und solche ohne Sehorgane, Fische mit Horrormäulern und leuchtenden Anhängseln, gleißende Medusen und halbmetergroße Asselspinnen. Die bizarren Körper sind der Tribut an eine zumindest aus Sicht von Landbewohnern extreme Umwelt: Kein Sonnenstrahl dringt je hierher. Alle zehn Meter erhöht der Druck sich um ein Bar, also etwa eine Atmosphäre. In 1000 Meter Tiefe lasten auf jedem Quadratzentimeter Oberfläche eines Körpers somit 100 Kilopond. Es herrschen chronischer Nahrungsmangel und Temperaturen zwischen 3,6 und 0,6 Grad Celsius.

Dennoch sind die merkwürdigen Kreaturen alles andere als ein Randphänomen der irdischen Fauna. Sie beherrschen vielmehr einen gigantischen Lebensraum: 90 Prozent des Meeresvolumens gehören zu jener finsternen, kalten Sphäre, die wir Tiefsee nennen, und bilden das mit Abstand größte Biotop auf Erden. Mit wachsender Hochachtung versuchen Wissenschaftler herauszufinden, wie Tiefseebewohner die Herausforderungen dieser Umwelt bestehen.

Vielen Organismen ist zum Beispiel im Lauf der Evolution buchstäblich ein Licht aufgegangen. Sie nutzen die Biolumineszenz, ein biologisches Leuchtsystem, als Fangköder und Tarnkappe. Denn Verbergen und Täuschen ist das A und O in den vor allem von Räubern bevölkerten Weiten.

Die Silberbeilfische etwa, die zwischen 300 und 2000 Meter Tiefe leben, machen sich durch Leuchtorgane an Bauch und Seiten unsichtbar: Sie ahmen das von der Meeresoberfläche durchdringende diffuse bläuliche Restlicht nach. Aus Sicht eines Räubers, der unter ihnen schwimmt und nach oben späht, verschmelzen die Tiere mit dem Hintergrund.

Mit dieser vagen Strahlung begann vermutlich die evolutionäre Karriere der Biolumineszenz unter Wasser. Während Organismen im Lauf von Jahrtausenden in die Tiefe vorstießen, ordneten sich Leuchtzellen dann, wie bei den Laternenfischen, zu spezifischen Mustern an. Schließlich bildeten sich eigene Organe wie die „Lampions“ der Drachen- und Anglerfische.

Letztere locken ihre Opfer mit Leuchtruten an, die ihnen vor dem Maul baumeln. Einige Arten tragen Leuchtfortsätze, Kleinkrebse täuschend ähnlich, unterm Bauch im Schlepp. Wer sich an die vermeintliche Beute neugierig heranmacht, ist verloren. Viele Lichtjäger haben Riesermäuler, mit denen sie Fische verschlingen können, die größer sind als sie selbst. Lange hakenförmige Zähne verhindern dabei, daß entflieht, was der Räuber einmal zu fassen bekommen hat. Denn Beute ist rar in den aufgrund des Nahrungsmangels spärlich besiedelten Tiefen. Arten der Gattung *Saccopharynx* haben die Anpassung ins

NACHTJÄGER

Tiefsee-Fische leben durchweg räuberisch. Da Beute in den dünn besiedelten Weiten rar ist, haben viele Riesermäuler und furchterregende Zähne entwickelt: Was sie zu fassen bekommen, soll auf keinen Fall wieder entkommen



Den Magen vollgestopft mit Krebsen: *Eutae-niophorus*

Das lange Körperende brachte seine Familie den Namen Rattenschwänze: Grenadierfisch *Odontomacrus*

Extrem getrieben: Sie sind praktisch nur noch Maul mit angeschlossenem Sackmagen.

Gleich ob Leuchtrute oder -muster – die Biolumineszenz funktioniert immer nach demselben Prinzip: Ein Leuchtstoff, das Luciferin, reagiert unter Einsatz eines Enzyms mit Sauerstoff. Chemische Energie wird dabei in sichtbare Strahlung umgewandelt – direkt und mit

einer Effizienz von 80 bis 90 Prozent. Übliche Glühbirnen hingegen setzen lediglich rund fünf Prozent der zugeführten Energie in Licht um; der Rest geht als Wärme verloren.

Manche Fische entzünden ihre Biolampen dank körpereigener Zellen. Diese sitzen oft in halbkugeligen Kammern, die mit Reflektoren und Linsen ausgestattet sind und die Strahlung wie ein

Scheinwerfer bündeln. Andere Fische und auch Tintenfische haben „Hilfsarbeiter“ verpflichtet, Leuchtakterien, die zu Millionen bestimmte Zellen und Gewebe besiedeln. Für ihr Glühen erhalten die Mikroben im Gegenzug Nährstoffe.

Am häufigsten verfügen Organismen der mittleren Tiefen über die Fähigkeit, Licht zu erzeugen. In den untersten



Reißt dank gelenkigen Kiefers das Maul weit auf: Pelikanaal

Erwachsenes Tier wird auf Flossen über den Boden stellen: Spinnenfisch-Larve

Lockt Opfer mit leuchtender Mundhöhle: Vipernfisch

Meereszonen glimmt kaum noch ein Geschöpf.

Das Gefunkel und Geflimmer ist auch ein Grund, weshalb Tiefseebewohner ihre Augen behalten, ja sogar geschärft haben. Wie gut Tiefseefische selbst schwaches Licht wahrnehmen, hat der Anatom Hans-Joachim Wagner von der Universität Tübingen nachgewiesen. Als er die Netzhäute von mehr als 40 Arten aus bis zu 5000 Meter Tiefe untersuchte, fand er mehrere Schichten von Stäbchen, den für Helligkeits- und Dämmerungssehen zuständigen Photorezeptoren. Zäpfchen, die uns Menschen Farben und Details erkennen lassen, fehlen. Ein Konstruktionsprinzip, das die Empfindlichkeit um ein Vielfaches steigert. „Schon ein einziges Lichtteilchen, ein Photon, kann wahrgenommen werden“, sagt Wagner. Preis der exzellenten Nachtsicht: Die Tiere sind farbenblind.

Dieses Manko nutzen Zungenkiemer der Gattung *Aristostomias* auf raffinierte Art. Strahler über ihren furchterregenden Kiefern senden neben dem üblichen

blauen auch rotes Licht aus. Dieses können zwar die Räuber selbst, nicht aber andere Fische wahrnehmen, wie die englischen Physiologen Julian Partridge und Ron Douglas herausfanden. Den Zungenkiemern hilft dabei das Chlorophyll. Dieses Pigment, das normalerweise in Pflanzenzellen Licht für die Photosynthese sammelt, fängt die langwellige rote Strahlung auf und macht sie für die Kurzwellen-Sensoren der Fischaugen nutzbar. Wie, ist jedoch noch unklar.

Sehen, ohne gesehen zu werden – ein tödlicher Trick. Zwar reicht der rote Schein im Wasser nur zwei Meter weit. Das ist nicht viel, verglichen mit den 37 Metern des blauen Biolichts. Aber die Kurzdistanz ist immer noch zehnmal größer als der Funktionsradius der Strömungssensoren von Fischen und damit groß genug, damit der Räuber seine rotblinde Beute erspüren kann, bevor diese ihn wahrnimmt.

Die Lichtspiele vieler Tiefseeorganismen haben räuberischen Fischen auch ein auf den ersten Blick überflüssiges

Viele Arten in den mittleren Meeres-Etagen leuchten. Oft ist rätselhaft, welche Funktion diese Biolumineszenz etwa bei Quallen und Weichtieren hat. Vermutlich kommunizieren diese Wesen per Gefunkel mit Artgenossen oder locken Beute an

LICHTSPIELER

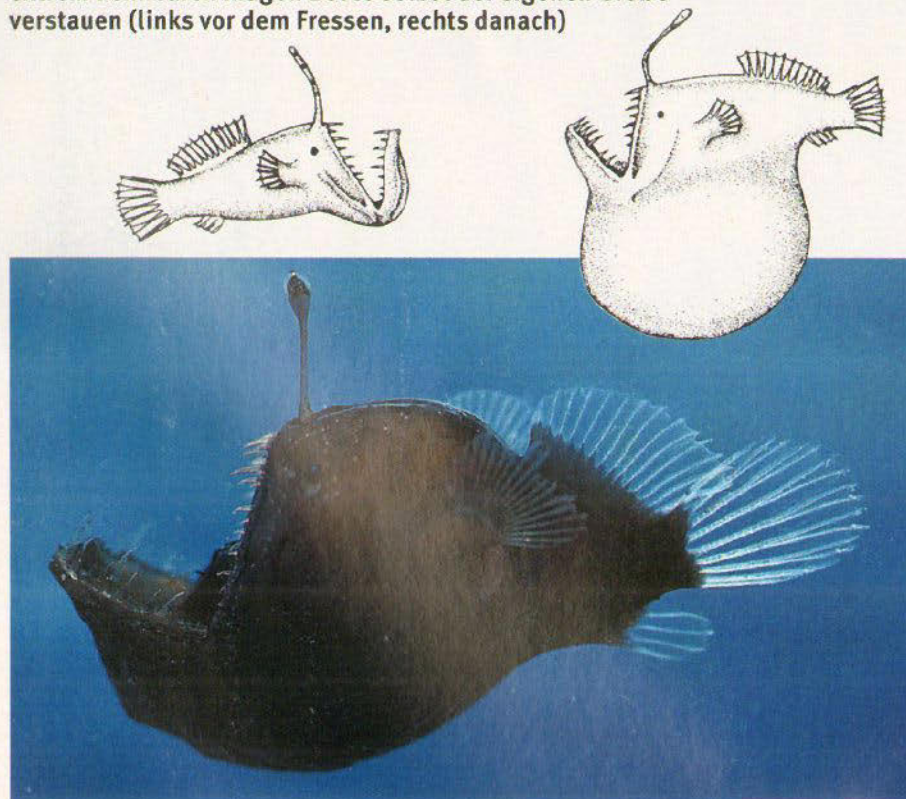
Körpermerkmal beschert: eine in der Finsternis eigentlich nicht wahrnehmbare, dunkle und undurchsichtige Haut. Aber wären die Räuber transparent, würden sie mit einem strahlenden Opfer im Leib prompt die Aufmerksamkeit noch größerer Mäuler wecken.

Dunkelheit und geringe Bevölkerungsdichte stellen die Bewohner der Tiefen vor ein Problem, dessen Lösung über den Fortbestand der eigenen Art entscheidet: Wer sich fortpflanzen will, muß erst einmal einen Partner finden. Manche Arten setzen auch dazu die Biolumineszenz ein. Die Geschlechter erkennen einander an typischen Lichtmustern. Andere Spezies spüren einander mit chemischen Lockstoffen auf. So verfügen männliche Tiefseefische der Gattung *Cyclothone* über stark ausgeprägte Geruchsorgane.

Vermutlich ebenfalls übers Riechen verabreden sich Anglerfische zum Rendezvous. Die weiblichen Tiere machen mit einem Sexuallockstoff die zwergwüchsigen Männchen auf sich aufmerksam. Die Verehrer aber haben eine bemerkenswerte Bindungsstrategie entwickelt: Sie heften sich mit der Schnauze an den Bauch der viel größeren Weibchen und verschmelzen mit diesen. Ihr Verdauungssystem bildet sich zurück, und sie ernähren sich – Parasiten der Liebe – über den Blutkreislauf ihrer Partnerinnen. Den Nachwuchs zieht es dann erst einmal nach oben: Die Larven verbringen ihre Entwicklung in höheren, nahrungsreicheren Meeresschichten und kehren zur Partnersuche in die Dunkelheit zurück.

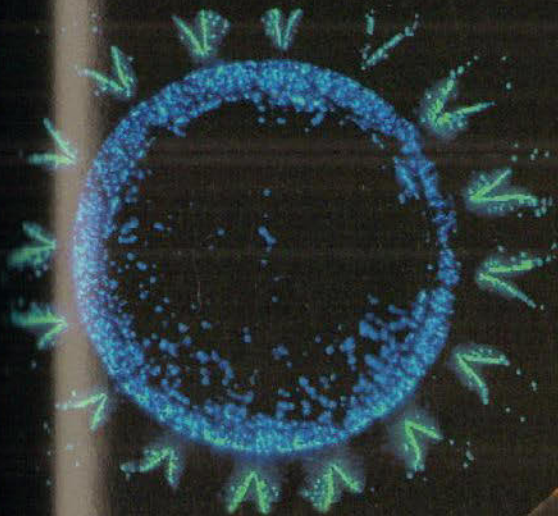
Andere Tiefseefische hauen zum Zwecke der Liebeswerbung mächtig auf

Der Tiefsee-Angler *Melanocetus johnsoni* kann in seinem extrem dehnbaren Magen Beute selbst der eigenen Größe verstauen (links vor dem Fressen, rechts danach)





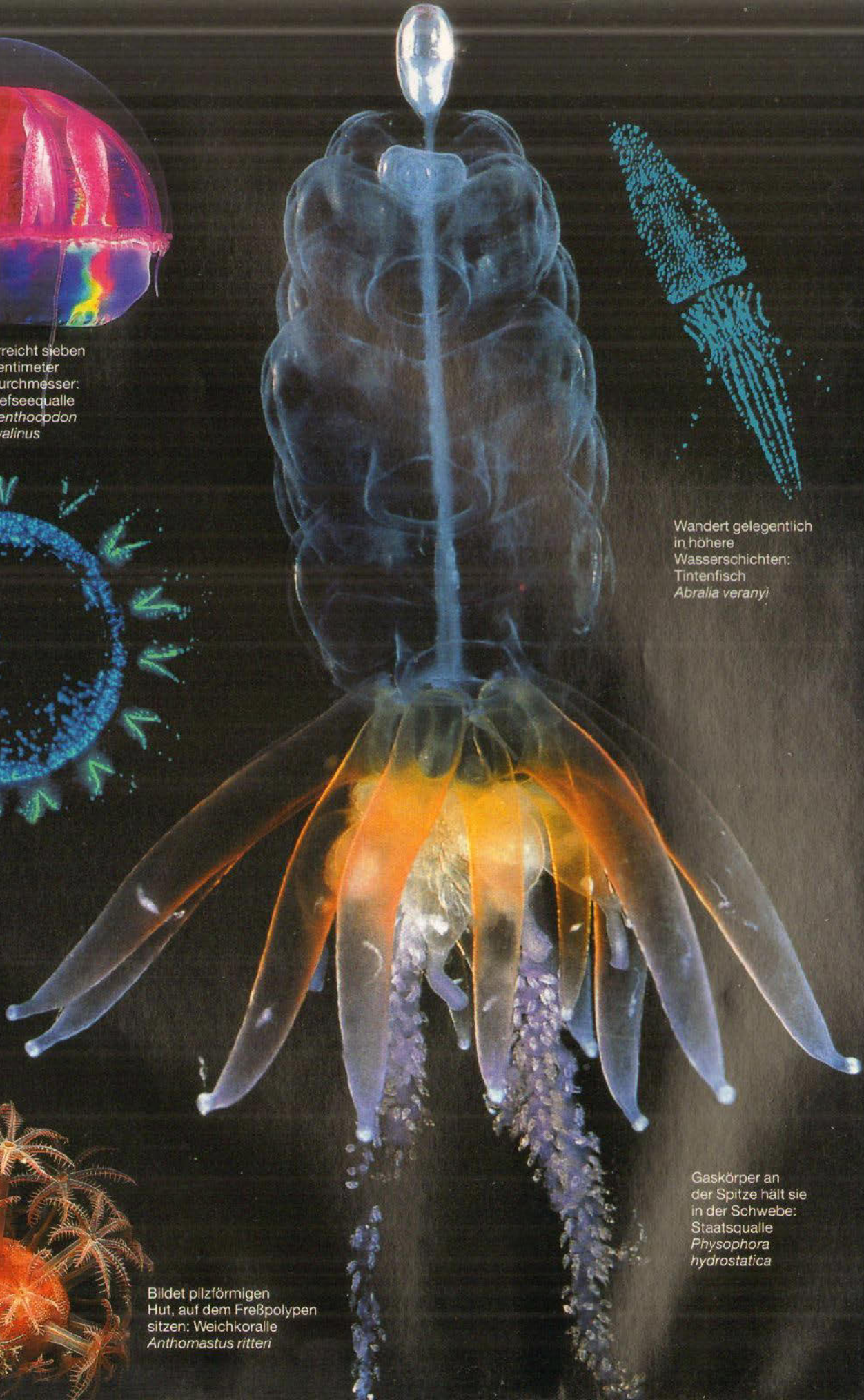
Erreicht sieben
Zentimeter
Durchmesser:
Tiefseequalle
*Benthocodon
hyalinus*



Ausgestattet mit
einem Farbstoff, der
das Biolicht einver-
leibt Tiere schluckt:
Qualle *Paraphyllina*



Bildet pilzförmigen
Hut, auf dem Freßpolypen
sitzen: Weichkoralle
Anthomastus ritteri



Wandert gelegentlich
in höhere
Wasserschichten:
Tintenfisch
Abralia veranyi

Gaskörper an
der Spitze hält sie
in der Schweben:
Staatsqualle
*Physophora
hydrostatica*



die Pauke. Durch spezielle Muskeln erzeugen Bartträger an der Schwimmblase einen Krach, dessen Quelle seine Artgenossen dank subtil ausgestatteter Innenohren präzise orten können. Die Trommelmelodie taugt indes nur bis etwa 1500 Meter Tiefe. Darunter nimmt die Besiedlungsdichte so stark ab, „daß keiner mehr da ist, der das Trommeln hören könnte“, erklärt der Salzburger Zoologe Franz Uiblein. Außerdem erschwert der immense Druck schnelle Muskelbewegungen.

Erstaunlich genug, daß dieser Druck die Tiefseewesen nicht zerquetscht. Sie verdanken das dem hohen Wassergehalt ihrer schwabbeligen Körper. Fische lagern, je tiefer sie leben, um so mehr Wasser in ihre Zellen ein – und werden in dieser Hinsicht den Quallen immer ähnlicher. Vorteil: Wasser ist kaum komprimierbar, das Gewebe bleibt in Form. Außerdem nähert sich die Dichte der Zellen der von Meerwasser an. Die Fi-

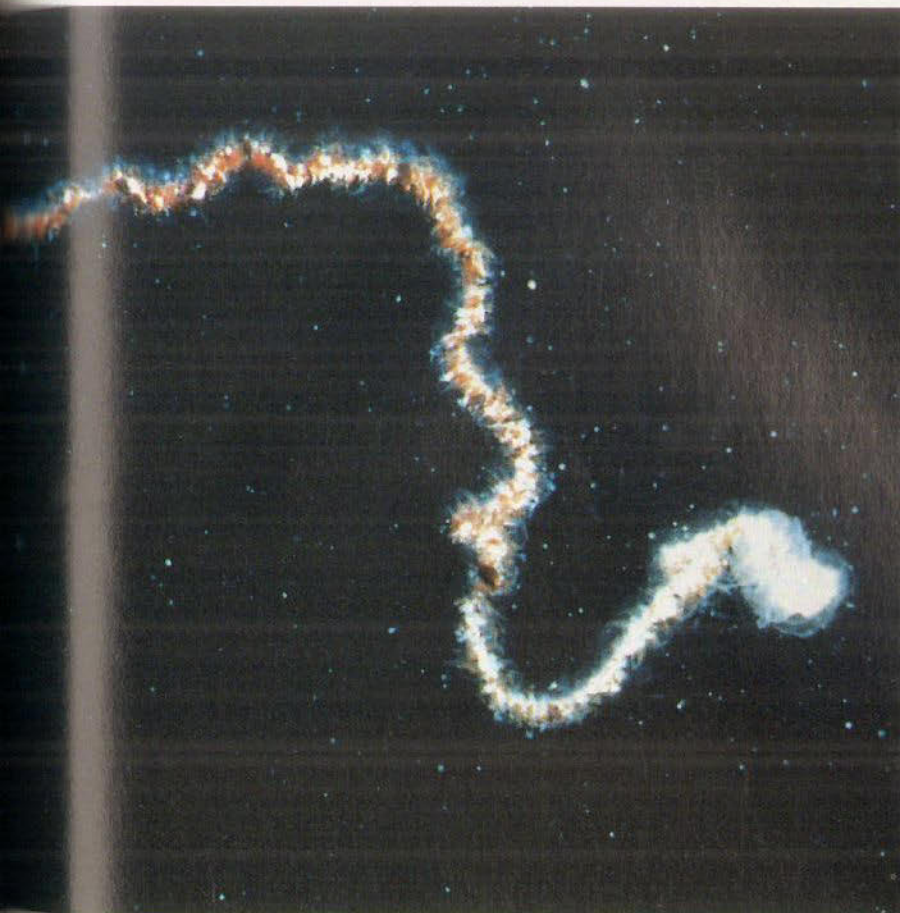
sche müssen deshalb weniger gegen das Absinken anschwimmen.

Da den meisten Tiefenhockern eine Schwimmblase fehlt oder diese sehr klein ist – deren Gasregulation unter hohem Druck wäre enorm aufwendig –, haben die Tiere, um ohne Anstrengung die Schwebelage zu halten, ihr spezifisches Gewicht noch weiter reduziert. „Sie haben wenig Knochensubstanz, keine Schuppen und lagern viel Fett ein – das ist leicht und ein wertvoller Energiespeicher“, erläutert der Hamburger Meereskundler Hjalmar Thiel.

Das Gros der Fische in Extremtiefen ist ziemlich träge. Viele warten bewegungslos auf Beute. Amerikanische Forscher fanden heraus, daß manche Arten zu schnellen Attacken unfähig sind. Anders als Spezies aus oberen Meeresschichten vermögen ihre Muskeln nur wenig des „Treibstoffs“ Adenosintriphosphat (ATP) herzustellen.

Die Bevorzugung der Langsamkeit spiegelt sich im Stoffwechsel wider: Insgesamt atmen die Tiere weniger und setzen weniger Energie um. Dadurch halten sie es lange ohne Nahrung aus, manche vermutlich mehrere Jahre. Im Gegenzug bedingt der Zeitlupen-Metabolismus langsames Wachstum, späte Geschlechtsreife und Langlebigkeit: Arten wie der Granatbarsch können wohl doppelt so alt werden wie ein Mensch. Futtermangel und gemächliche Biochemie sind auch Ursache für die Kleinheit der Tiefenbewohner. Nur wenige Wirbellose erreichen ungewöhnliche Ausmaße. Zum Beispiel wird die Assel *Bathynomus giganteus* 42 Zentimeter lang, und der Flohkrebs *Alicella gigantea* kommt auf 15 Zentimeter.

In einigen Fällen konnten Wissenschaftler die Anpassung an den extremen Lebensraum bis auf die Ebene der Biomoleküle verfolgen. So haben Tief-



NETZFISCHER

seeorganismen Enzyme hervorgebracht, die auch unter hohem Druck biochemische Reaktionen beschleunigen. Das ist nicht selbstverständlich. Denn wenn ein solches Eiweiß sich mit einem Rohstoff verbindet, verändert es seine Form und damit sein Volumen – wie eine Zange, die sich öffnet und ein Werkstück ergreift. Dabei muß es gegen den äußeren Druck anarbeiten. Der Biologe George Somero von der amerikanischen Stanford University vergleicht das mit dem Versuch, „unter Wasser einen Luftballon aufzublasen“. Enzyme von Tiefenbewohnern dehnen sich während eines Reaktionszyklus aufgrund einer veränderten Bauweise weniger aus.

Außerdem sind Körperproteine von Tiefseefischen besonders druckfest. Neueste Befunde legen nahe, daß ein hoher Anteil stickstoffhaltiger Verbindungen wie Methylamin die Proteine gegen hohen Druck stabilisiert.

Lebenden Netzen gleich, fangen bis zu 40 Meter lange Staatsqualen Beute. Bei *Apolemia* (rechts) sitzen Hunderte winziger Einzeltiere aufgereiht nebeneinander. Eine andere Spezies (links) entfaltet ein Geflecht von Tentakeln

Auch die Zellmembranen sind gewappnet. In diesen Strukturen „gelöste“ Eiweiße dienen als Schleusen für den Austausch von Salzen. Diese Schleusen würden dichtmachen, wenn die Membranen sich bei Druck und Kälte verfestigten. „Die Erregbarkeit der Nervenzellen hängt aber von diesem Austausch ab“, erklärt Hans-Otto Pörtner vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven. „Wenn der beeinträchtigt ist, geht nichts mehr.“ Als Gegenrezept lagern Tiefseetiere ho-

he Anteile ungesättigter Fettsäuren in die zarten Hüllen ein. Anders als gesättigte wirken diese aufgrund ihrer größeren Sperrigkeit dem „Einfrieren“ entgegen.

Kaum einer dieser hochangepaßten Spezialisten ist in der Lage, seinen Lebensraum in der Tiefe je zu verlassen. Und doch gibt es Meeresbewohner, die mühelos zwischen Höhe und Tiefe, Wärme und Kälte pendeln: Säugetiere. Der bullige See-Elefant taucht bis in 1250 Meter Tiefe. Der Pottwal, Tauchrekord-Halter bei Säugern, lauert Riesenkraaken fast zwei Stunden lang bis in drei Kilometer Tiefe auf. Wollten die Tiere den nötigen Sauerstoff in den Lungen mitführen, kämen sie infolge des Auftriebs nicht weit.

Tatsächlich atmen Wale und Robben vor einem Tauchgang kräftig durch und beladen Blut sowie Muskeln mit dem lebensnotwendigen Gas. Lediglich ein Drittel des Atemvorrats ist in der Lunge gespeichert, der Rest im Körper. Dies funktioniert, weil das Blutvolumen der Wale ein- bis dreimal größer ist als das vergleichbarer Landsäuger. Zudem kann das Wal-Hämoglobin mehr Sauerstoff binden. Eine besonders hohe Affinität zu diesem Element hat das Myoglobin, das in den Muskeln steckt. Ein Drittel des Sauerstoffs geht dorthin. Solch elegante Speichertechnik bewahrt Meeres-säuger auch vor der gefürchteten Taucherkrankheit, den tödlichen Embolien infolge zu schnellen Auftauchens.

Der Mensch kann da nur staunen. Ihm erschließt sich der Kosmos Ozean nur mit enormem technischem Aufwand: mit Druckflaschen huckepack, mit ausgefeiltem Atemventil und effektivem Kälteschutz. Bereits ab 90 Meter Tiefe reicht dabei normale Luft als Sauerstoffvorrat nicht aus, sondern es werden spezielle Gasgemische benötigt. Und gegen die Taucherkrankheit hilft nur langsames Auftauchen – etwa in Überdruckkammern, in denen die Aquanauten sich allmählich wieder an Normaldruck gewöhnen. Nach einem Ausflug in Tiefen von 600 Metern dauert diese Prozedur bis zu vier Wochen.

Der Wissenschaftsjournalist **Hansjörg Heinrich**, 39, lebt in Göttingen. Mit diesem Beitrag gibt er sein Debüt in GEO Wissen.

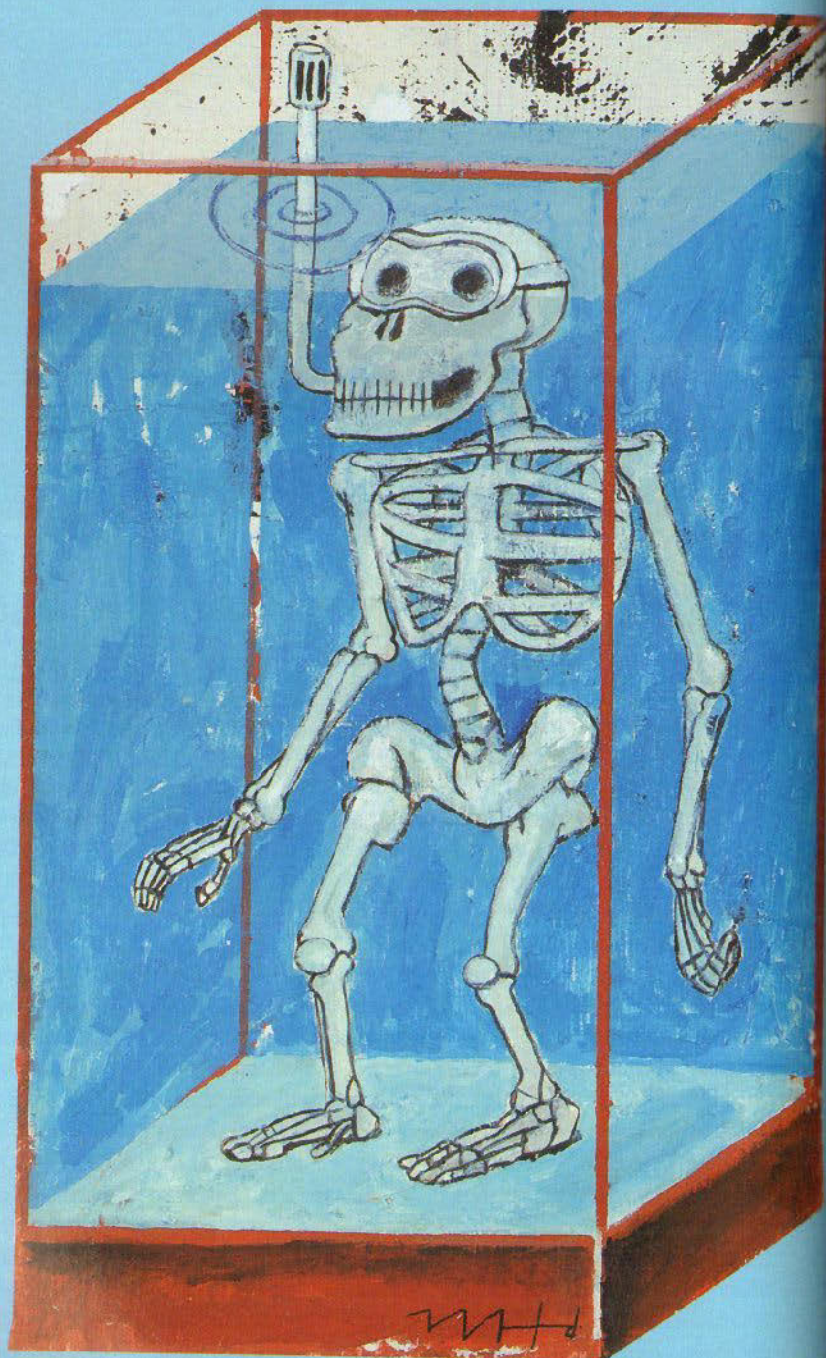
VON MARTIN MEISTER

Bei Alister Hardy, einem Meeresbiologen aus Oxford, klickte es im Kopf. Was hatte er da gerade in dem neuen Anatomiebuch gelesen? Wer sowohl Menschen als auch Primaten mehrfach gehäutet habe, hieß es, dem müsse die subkutane Fettschicht aufgefallen sein und auch, daß Fett an der Haut ungewöhnlich fest hafte. Hardy erinnerte sich an seine Exkursionen an Bord eines Walfängers. Die Fettschicht der erlegten Meeressäuger hatte sich nur schwer von der Haut gelöst. Trägt der Mensch womöglich eine Art Walfett mit sich herum? Könnte dies das Relikt einer Phase des Wasserlebens in der Entwicklungsgeschichte der Menschheit sein?

An einer anderen Stelle des Buches fand Hardy an jenem Tag im Jahre 1930 einen weiteren auffälligen Hinweis: die stromlinienförmige Behaarung des menschlichen Neugeborenen. In dem Meeresbiologen keimte eine neue Hypothese, und er sammelte über Jahrzehnte immer mehr Belege für sie. Als er nach 30 verschwiegene Jahre mit der „Wasseraffen-Theorie“ an die Öffentlichkeit ging, erregte er großes Aufsehen. Doch die Aufmerksamkeit flaute bald wieder ab.

Bereits 1942 hatte der Berliner Professor Max Westenhöfer unabhängig von Hardy eine Hypothese von der aquatischen Lebensweise früherer Menschenformen entwickelt, sie aber nicht weiter verfolgt. Erst die BBC-Drehbuchautorin Elaine Morgan griff die provokante These wieder auf, sammelte eine Fülle von Indizien und veröffentlichte 1982 das Buch: „The Aquatic Ape“. Was bei Gelehrten zuvor nur höfliches Kollegeninteresse ausgelöst hatte, rief nun pure Ablehnung gegenüber der wissenschaftlichen Außenseiterin hervor. Nur wenige Forscher unterstützten sie öffentlich, und auch heute muß Morgan sich den Vorwurf gefallen lassen, mit ihren zwei wei-

UNSER AHN EIN WASSERTIER?



teren Büchern zum Thema keine „harte“ Wissenschaft, sondern nur „Pop science“ produziert zu haben.

Andererseits ist die Theorie vom Wasseraffen gar nicht so einfach beiseite zu schieben, denn Morgan und ihre Unterstützer bieten damit eine Lösung an für das größte Rätsel der Paläoanthropologie, der Wissenschaft von der Menschwerdung: Was geschah zu jener Zeit, als sich in Afrika die Linien von Mensch und Menschenaffen trennten? Molekularbiologischen Untersuchungen zufolge geschah dies vor etwa fünf bis sieben Millionen Jahren. Und ausgerechnet aus dieser Epoche fehlen brauchbare Fossilien – das ominöse „Missing link“, der Primat am ersten Gabelpunkt des menschlichen Stammbaums, wird weiter gesucht.

Beste Aussichten, ihn zu finden, bestehen nach Vorstellung der Wasseraffen-Theoretiker im heutigen Grenzland zwischen Äthiopien und Eritrea. Zur fraglichen Zeit war diese Landschaft in weiten Teilen vom Roten Meer überschwemmt. An Lagunen- und Mangrovenküsten des Festlands, besonders aber auf den raubtierlosen Inseln hatten sich, so behauptet Morgan, Hominiden-Populationen gut entwickelt. Nach und nach hätten die Vormenschen ihre Ernährung auf Wasserpflanzen, Schnecken, Muscheln, Krebse und Fische umgestellt, das ständige Waten am Wassersaum habe den aufrechten Gang mit sich gebracht, der Vorstoß in tiefere Meereszonen ein ausgeprägtes Talent für das Schwimmen.

Es ist das Faszinierende an der Wasseraffen-Theorie, daß sie nicht nur ein Szenario für eine dunkle Zeit unserer Entstehungsgeschichte präsentiert, sondern daraus auch eine Vielzahl von Besonderheiten des *Homo sapiens* zu erklären versucht. Angeführt werden folgende Beispiele:

- Der Mensch ist unter rund 190 heutigen Primatenspezies die einzige weitgehend nackte Art. Und mehr als 90 Prozent aller Säugetiere ohne Fell leben, wie die Wale, im Wasser.
- Der Mensch trägt nicht nur jene auffällige Fettschicht unter der Haut. Er ist, auch bei großer Schlankheit, immer noch ein außergewöhnlich fetter Primat. Große Fettlager legen vor allem zwei Säugergruppen an: Winterschläfer – diese allerdings nur vorübergehend – und Meeresbewohner.
- Der Mensch verliert aus einem besonderen Typus von Hautdrüsen ausgesprochen viel mineralienhaltigen Schweiß. Auch unsere Tränen sind salzhaltig, wie bei marinen Vögeln, Reptilien und Säugern, die mit der Nahrung aufgenommenes Salz durch „Wei-

nen“ aus nasalen Salzdrüsen ausscheiden.

- Der Mensch verfügt über eine Atmung, die unter landbewohnenden Säugetieren in zweierlei Hinsicht einzigartig ist: Zum einen kann er das Luftholen willkürlich

steuern – was sonst nur Meeressäuger wie Robben und Delfine beherrschen. Zum anderen sitzt der menschliche Kehlkopf tief im Hals, eine Konstruktion, die dem schnellen Einatmen durch den Mund dienen kann.

- Der Mensch weist wie viele Meerestiere einen Tauchreflex auf. Sobald das Gesicht von Wasser bedeckt ist, schließen sich die Luftwege, und die bronchialen Verästelungen der Lunge ziehen sich zusammen.

Trotz dieser und vieler weiterer Indizien halten zahlreiche Experten den Ansatz für wenig überzeugend. Der englische Paläoanthropologe Bernard Wood etwa sieht in der Wasseraffen-Theorie mehr eine „Erzählung“ als gute Wissenschaft: „Die Kunst der Forschung besteht nicht darin, Paketlösungen anzubieten. Es kommt vielmehr

darauf an, eng umrissene Hypothesen zu entwickeln, die sich testen lassen, und zwar eine nach der anderen.“

In welche Kontroversen das führen kann, zeigt sich bei fast jedem der angeführten Belege: Zwar leben die meisten der unbehaarten Säuger im Meer, konstatiert Philip Nicholls von der anthropologischen Abteilung der State University New York. Dennoch seien von den gesamten Meeressäugern nur wenige nackt. Nur extrem große oder schnelle Arten mit spindelförmigem und erheblich von der menschlichen Anatomie abweichendem Körper hätten die Haare abgeschafft oder stark reduziert. Auch sei unser verschwenderischer Umgang mit Schweiß kein Wasser-Argument: Das exzessive Schwitzen habe vielmehr mit der Hitzeempfindlichkeit unseres großen und selber Wärme produzierenden Gehirns zu tun.

Den Tauchreflex teile der Mensch, so ein anderer Kritiker, zwar in der Tat mit vielen Meerestieren – jedoch ist der auch an Kaninchen und Schafen nachzuweisen. Der deutsche Bewegungsphysiologe Holger Preuschoft schließlich verweist auf den wohl schwächsten Punkt der Theorie: Sie beschäftige sich so sehr mit den „Besonderheiten“ des menschlichen Körpers, daß sie klassische Skelettmerkmale wie Schädel und Gebiß, Wirbelsäule, Form des Beckens und der Gliedmaßen schlicht vernachlässige. Die Analyse der ältesten bisher entdeckten Hominiden-Fossilien zeige einen Funktionsmix aus „Noch-Klettern“ und „Schon-Laufen“ an. Für das Schwimmen und Tauchen dagegen seien die langen Extremitäten der Hominiden ziemlich ungeeignet.

Elaine Morgan nimmt solche Kritik gelassen: Es sei längst an der Zeit, daß die Anthropologen von ihrer Obsession für Knochen und Zähne abließen und sich mehr mit Gewebeanatomie beschäftigten. „Denn es ist nicht automatisch wahr, daß harte Beweise mehr zählen als weiche.“

AUCH VIELE INDIZIEN MACHEN NOCH KEINE THEORIE

MIT SCHNORCHEL, DRUCKLUFT UND TAUCHBOOT ERKUNDET ER DIE WELTMEERE. ER HAT ALS ERSTER DAS URVIEH VON QUASTENFLOSSER GEFILMT, UND ER IST DRAUF UND DRAN, DAS GEHEIMNIS DER AALPAARUNG ZU LÜFTEN: DER MEERESBIOLOGE **HANS FRICKE**



PORTRAIT

DER GEBORENE AQUANAUT

Mein wichtigstes Foto... hmmm?“ Hans Fricke – Meeresbiologe, Entdecker, Fotograf, Taucher, U-Bootfahrer, Filmer oder einfach Quastenflosser-Fricke – blickt auf gefüllte Dia-Karussells, streut einige der Rähmchen auf den Leuchttisch, taucht kurz ein („...das hier war 'ne GEO-Doppelseite“) und driftet dann wieder ab in ozeanische Gefühle: Tja... da gäbe es natürlich die spektakulären Fotos des berühmten lebenden Meeresfossils, das mittlerweile weltweit Briefmarken und Titelblätter ziert. Oder da wären die Dokumentaraufnahmen exquisiter Arten: „Diesen Schwamm hier aus dem Roten Meer habe ich 1978 quasi im Moment seines Aussterbens fotografiert.“

„Mein wichtigstes Foto?“ Fricke reibt sich sinnend die Nasenwurzel und schaltet dann abrupt den Leuchttisch ab, als könnte davon keine Erkenntnis mehr kommen: „Vielleicht, wenn ich die Frage etwas anders betone – das für mich wichtigste Foto?“

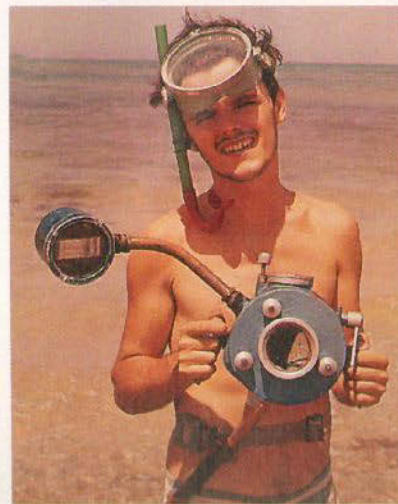
Plötzlich ist die Antwort leicht. An der Pinnwand hinter Frickes Schreibtisch in einem Raum des Max-Planck-Instituts für Verhaltensphysiologie in Seewiesen hängt ein Bild vom Gottvater der Verhaltensforschung, von Konrad Lorenz, der in den sechziger Jahren hier am Eß-See die Gänseprägung untersuchte. Aber nein – auch dieses Foto ist es nicht.

Wenig darunter, halb von einer Quastenflosser-Karikatur überdeckt, legt Fricke ein kleinformatiges Schwarzweißfoto frei, das ein wenig wirkt wie aus den Pioniertagen der Daguerreotypie. Ein Pionierfoto ist es in der Tat: Frickes erstes Unterwasser-Lichtbild, entstanden 1953 in einem Seitenarm der Elbe bei Magdeburg, aufgenommen vom damals zwölfjährigen Grundschüler. Man erkennt eine Schwimmflosse archaischer Bauart, einen schlanken Fuß darin, alles andere ist im Grau eines offenbar erschöpften Entwicklerbads abgesoffen. Für Hans Fricke, heute 58, ist das Foto eine Ikone, ein frühes Zeugnis seines Lebensentwurfs.

Nachdem er sich als Schüler entschlossen hatte, seine Freizeit am und im Nassen zu verbringen, bastelte er mit Freunden aus einer 6x9-Voigtländer und einem Metallkasten mit Glasscheibe seine „Unterwasserkamera“ und tauchte ab in eine Welt, die ihn künftig nicht mehr loslassen sollte. Die Jungaquanauten beschichteten ihre Leinwandhosen und -jacken mit gummiähnlichem Material, rüsteten Feuerlöscher zu Tauchflaschen um, erzeugten mit Fahrradpumpen be-



1958: mit selbstgebauter Kamera in der Ostsee



1961: auf Bilderjagd im Roten Meer

achtliche zwölf Atmosphären Druck, erfanden das Reduzierventil neu... und forderten den Tod heraus: Eine Eispartie im zugefrorenen Elbe-Umflutkanal hätte Fricke fast umgebracht.

Vermutlich ließ ihn nur das innere Feuer eine furchtbare Lungenentzündung überstehen: Es konnte doch nicht angehen, daß er all die beeindruckenden Süß-

wasserschwämme am Grund der damals noch ziemlich sauberen Elbe schon gesehen hatte, aber die ungleich schöneren tropischen Schwämme niemals vor die Maske bekommen sollte.

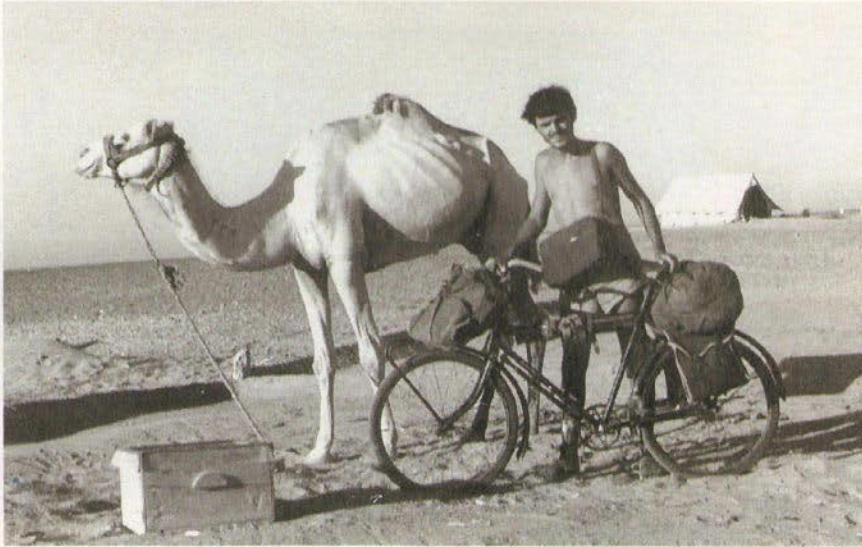
Mit 18 Jahren referierte Fricke vor Schulklassen, Anglervereinen und FDJ-Freizeitgruppen, damals schon sehnsuchtskrank nach dem richtigen (Unterwasser-)Leben, den Riffen, die ein gewisser Hans Hass in Film und Foto vorstellte. Von diesen realen Traumwelten trennten ihn im ersten deutschen Arbeiter-und-Bauern-

Staat – mit dessen Autoritäten Jung-Fricke im Dauerclinch lag – naturgemäß mehr als ein paar tausend Kilometer Landmasse.

Und so treffen wir den jugendlichen Ozeanophilen 1960 auf einer Insel wieder: in West-Berlin. Fricke legt noch heute Wert auf die Klarstellung, daß ihn nicht etwa der Westen gelockt habe, sondern der Süden mit seinen warmen Meeren. Und zu denen führte der Weg eher über die Freie Universität Berlin als über die Uni Leipzig.

Der Kapitalismus erschien Fricke anfangs als so obszön, wie ihn die ungeliebte SED ausgemalt hatte: „Ein ganzes Schaufenster im Kaufhaus des Westens voller Orangen. So etwas stellt man nicht aus, so was muß sofort sichergestellt, muß unverzüglich den an Vitaminmangel Leidenden übereignet werden.“ Expropriierung der Expropriateure hieß das ein paar Jahre später im 68er-Jargon. Aber Rudi Dutschke, 1961 Frickes Zimmernachbar im Rotkreuz-Studentenheim, war damals noch auf dem Judo- und Leichtathletik-Trip. So lenkte niemand und nichts – auch keine linke Mißweisung – Frickes auf Süd geeichte Kompaßnadel ab.

1961 trampelte er nach dem Abitur mit 150 Mark in der Tasche ans Rote Meer, um zu tauchen und zu



1962: per Fahrrad 4000 Kilometer nach Ägypten zum Tauchen



1978: Tauchfahrt mit Jacques Piccard im Genfer See

forschen. 1962 fuhr er in den ersten Semesterferien die gleiche Strecke, 4000 Kilometer, mit dem Fahrrad, um zu tauchen und zu forschen. 1963 dieselbe Distanz auf einer NSU-Quickly, um zu tauchen und zu forschen. 1964 schließlich nochmals Berlin–Ägypten und retour in einem Kleinwagen, der schon eine ansehnliche Fotoausrüstung transportieren konnte.

Fotografie, Film und später Video wurden für Fricke schnell zum lustvollen Seiten- neben dem wissenschaftlichen Leittrieb, der Unterwasserforschung. Fricke begriff früh, daß die Unterwasser-Ästhetik eine exzellente Werbefolie ist, um das Publikum für die nassen Dreiviertel der Erde zu begeistern. Und dann kam ihm zugute, daß er die Stufen seiner Karriereleiter gewissermaßen selber schmieden konnte – Basteln, Konstruieren, Technik. Dieser Dreisprung ist seit der Zeit im Elbwasser eingeübt.

Die Resultate können sich sehen lassen: Frickes Tauchstation „Neritica“ im Roten Meer ermöglichte kontinuierliches Forschen; die Besatzung kehrte nach jedem Ausflug wie eine Wasserspinne in die bergende Tauchglocke zurück und mußte nicht kostbare Zeit mit Dekompression und Ruhezeiten vertun. Mit dem von GEO mitfinanzierten und nach GEO benannten Tauchboot stieß er 200 Meter tief ins Rote Meer vor (GEO Nr. 2/1982).

Mit der „GEO“ gelangen ihm vor den Komoren erstmals frappierende Filmaufnahmen des Quastenflossers *Latimeria chalumnae* in dessen natürlicher Umgebung (GEO Nr. 10/1987). Und „Jago“, das Nachfolgemodell des ersten Tauchboots, erweist sich seit zehn Jahren „als so perfekt und zuverlässig in allen Weltmeeren, daß wir auch heute fast nichts anders konstruieren würden“.

Erfolge machen mutig. Und Mut ziert auch den Wissenschaftler. Zum Beispiel, wenn er sich an liebgewordenen Standards reibt. Die Aalwanderung – aus unse-



1978: Von der Tauchstation »Neritica« aus erforscht Fricke das marine Leben im Roten Meer – und findet beispielsweise heraus, wie gut Anemonenfische Korallen riechen können. Das Unterwasserhaus ermöglicht es den Biologen, für längere Zeit und ohne Auftauchen unter Druckbedingungen zu arbeiten

ren Bächen auf direktem Wege ins Sargassomeer – war so ein Fall. An der gängigen Theorie hat Fricke immer zweierlei gestört: „Zum einen, daß man im Nordatlantik nie einen erwachsenen Aal gefangen hat, zum anderen, daß eine 7000 Kilometer lange Schwimmstrecke gegen den Golfstrom für einen nicht allzu großen Fisch schwer vorstellbar ist.“



1983: mit dem Tauchboot »GEO« in den Tiefen des Königssees

Gleichwohl mühen sich Aale in Lehr- und Schulbüchern seit Jahrzehnten tapfer und unverdrossen, alt und sterbensmatt, aber paarungsbereit auf direktem Kurs gegen die mächtige Strömung der Nordostdrift. Fricke verglich alle verfügbaren Positionsmeldungen von Aalen und kam zu einem anderen Schluß: „Die Tiere schwimmen ein Stück geradewegs westwärts in den Atlantik hinaus, wenden sich dann südwärts, passieren die Biscaya, lassen sich vom Azorenstrom in den Kanarenstrom spülen, queren den südlichen Atlantik, schwimmen vor der Küste Brasiliens nordwärts und erreichen

schließlich die südliche Sargassosee.“

Doch damit war das Aalgeheimnis allenfalls zu 30 Prozent gelöst. Das Irritierende an der Sache war, so fand Fricke, daß „keiner jemals Aaleier gefunden hatte. Am nächsten dran am vermuteten Laichort waren etwa fünf bis sechs Millimeter große Larven.“ Diese Winzlinge trieben im Südteil des Meeres. Die Frage war nun: Wo ist der Punkt Null, der Ablaichort? Und noch ein Schritt davor: Wie und wo findet der alleinreisende, der ermattete Aal in der weglosen Weite des Meeres einen Sexpartner?

Die Logik erlaubte nur eine Erklärung: Es mußte einen eindeutigen Treffpunkt geben, den alle lokalisieren können. Fricke meint ihn ausgemacht zu haben – nicht zuletzt mit Hilfe alter Seekarten. 1946 hatte die US-Navy einen steil vom Meeresgrund bis kurz unter die Oberfläche aufragenden Felskegel wiederentdeckt, von dem schon 1837 die holländische Mannschaft der Brigg „Echo“ berichtet hatte. Von dieser „Echobank“ hieß es, sie bewirke starke Anomalien im Magnetfeld der Erde. Anomalien, die wahrscheinlich von den „magnetisch sensiblen“ Aalen „gelesen“ werden können.



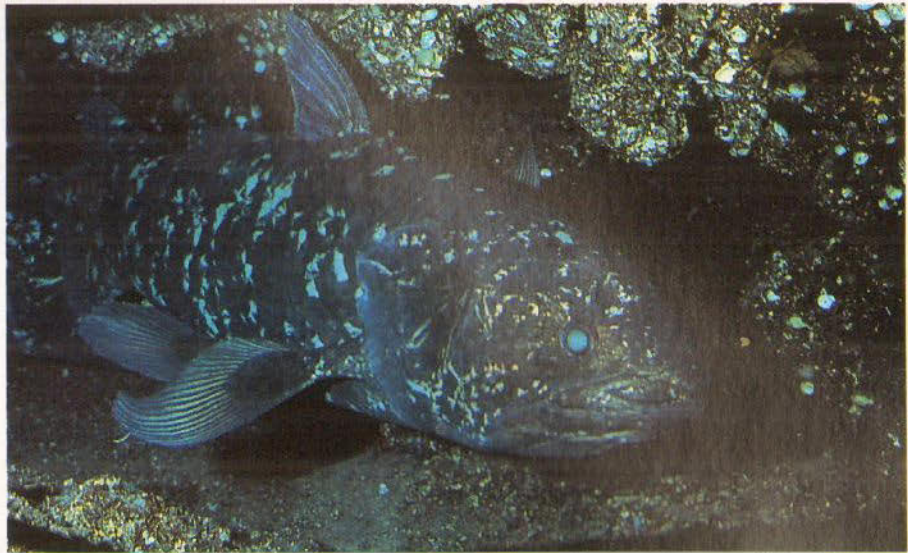
Auch im Toplitzsee taucht Fricke und holt dort von den Nazis gefälschte und versenkte Pfundscheine herauf, auf denen eine unbekannte Mikrobe haust

Die US-Navy verweigerte auf Anfrage die Herausgabe der Koordinaten, vermutlich wegen der „Pinger“ – der U-Boot-Ortungshilfen, die sie hier versenkt hatte. Dafür war die französische Marine mit der exakten Positionsangabe behilflich: 21 Grad, 15 Minuten Nord/ 58 Grad, 45 Minuten West. Hier hofft Fricke vom Tauchboot aus die Aale bei der Paarung und beim Laichen beobachten – und damit die Beweiskette schließen zu können.

Im Fall der Echobank-Koordinaten funktionierte die internationale wissenschaftliche Solidarität. Oft aber versagt sie. Davon weiß Fricke, Honorarprofessor an der Münchner Ludwig-Maximilians-Universität, nicht nur ein Lied zu singen, davon kennt er mittlerweile einen ganzen Zyklus. Gerade bei Prestigeforschungen möchte manch einer seinen – und nur seinen – Namen aufleuchten sehen. Und der Quastenflosser ist so ein prestigeträchtiger schwimmender Werbeträger.

Als amerikanische Biologen 1997 auf einem Markt der indonesischen Insel Sulawesi zufällig auf einen dieser „Urfische“ stießen, verheimlichten sie diesen aufregenden Fund zunächst. Im Juli 1998 fiel ihnen sogar ein lebendes Exemplar in die Hände. Sie nahmen Gewebeproben und wollten damit die Fragen beantworten: Wie eng sind die komorischen mit den fast 10 000 Kilometer entfernt lebenden indonesischen Quastenflossern verwandt? Wann trennten sich ihre entwicklungsgeschichtlichen Wege? Haben gar zwei Arten seit 360 Millionen Jahren überlebt?

Hans Fricke hingegen fand Kooperation notwendig. Sein Team hatte schon Jahre zuvor genetische „Fingerabdrücke“ der komorischen Quastenflosser untersucht. Aber ehe er die Amerikaner zur Zusammenarbeit bekehren konnte, beauftragten indonesische Wissenschaftler französische Kollegen, das Fisch-



1987: Mit der »GEO« taucht Fricke vor den Komoren ab und erlebt erstmals den legendären Quastenflosser in dessen Lebensraum. Diese Sensation war Südafrika eine Briefmarke wert

gewebe genetisch zu analysieren. Ergebnis: Bei den beiden Quastenflosser-Gruppen handelt es sich um „zwar nahe verwandte, aber eigenständige“ Spezies, deren Entwicklungslinien sich vor 1,5 Millionen Jahren getrennt haben (siehe GEOskop Nr. 6/1999).

Die Geschichten um den Überlebenden aus dem Karbon sind vielfach ein wenig fischig, knickrig und



1995: dem Rätsel von Wanderung und Paarung der Aale auf der Spur

klebrig. Fricke muß sich einen Ruck geben, um den Schlamm noch einmal aufzuwühlen. Da bildete eine weltumspannende Natur- und Artenschutzorganisation den Quastenflosser, als er gerade rund um den Globus Konjunktur hatte, auf ihren Publikationen ab, machte aber sonst – „leider, leider!“ – keine Mark für das vom Aussterben bedrohte Fossil locker. Auch von der Weltbank kam nichts. Einer ihrer Ökologen hatte Fricke zwar Fördergelder avisiert, doch hernach ausgeplaudert, er sei eigentlich nur auf den Komoren, um in Fricke's Forschungs-U-Boot „Jago“ mitzufahren.

Fricke's Vorschläge, wie man zum Beispiel die Komorenfischer davon abhalten könnte, Exemplare der gefährdeten Art als Beifang anzulanden, wurden allgemein beklatscht – und ad acta gelegt. Desgleichen seine ausgefeilten Pläne, den nicht besonders wohlschmeckenden Ur-Tieren zu helfen, indem sie für die Komoren nützlich wurden: Aus 200 Meter Tiefe sollten Kameras live aus den Quastenflosser-Höhlen Bilder in ein Besucherzentrum liefern.

Fricke kann das Wort Artenschutz nicht mehr emotionsfrei aussprechen: „Artenschutz ist zu einem ‚Moment-da-war-doch-mal-was‘-Thema verkommen.

Dabei ist der Quastenflosser immerhin eine Weltberühmtheit. Die drei meist unspektakulären Tierarten, die weltweit stündlich verschwinden, sind ja heute schon keine Nachricht mehr wert. Da brennen ganze genetische Bibliotheken ab, da gehen unfassbar intelligente Konstruktionspläne verloren. Und es gibt kaum ein Bewußtsein von der Dramatik dieser Verluste.“

Hans Fricke glaubt nicht mehr daran, daß Agenden, Appelle und dergleichen das rapide globale Artensterben stoppen können. „Da läuft eine Operation am offenen Herzen: Wieviel Muskelmasse kann man weg-schneiden, bevor die große Pumpe aufgibt?“

Aber der silberstreifenfreie Horizont veranlaßt den umtriebigen Wissenschaftler nicht, resigniert die Augen zu schließen. „Wir müssen inventarisieren und erfassen, was an Biodiversität noch da ist. Es geht ums eigene Überleben.“

Allerdings: Ganz so verzweifelt und bitter, wie es sich anhört, ist Hans Fricke nicht. Dafür ist er zu sehr



1999: Fricke im Tauchboot »Jago«, mit dem er seit zehn Jahren immer wieder in den Ozeanen unterwegs ist

ein Liebhaber des Lebens. Als er 1997 für seinen inzwischen preisgekrönten Aal-Film („Die Welt der Aale – Auf den Spuren eines Jahrhunderträtsels“) an die Wirkungsstätten seiner Jugend zurückkehrte, in die Elb-Seitenarme bei Magdeburg, registrierte er begeistert, daß inzwischen dort die Sichttiefen wieder um die drei Meter betragen und sich ein reiches Unterwasserleben entfaltet hat.

„Auch einem nichtreligiösen Menschen wie mir“, sagt Hans Fricke, „fällt da nur ein Wort ein: Auferstehung.“

Claus-Peter Lieckfeld, 50, schreibt bevorzugt über Tier- und Pflanzenökologie. Er hat aber auch einen historischen Roman über die Wikingerzeit unter dem Titel „Haithabu“ verfaßt.





LEGENDEN

IM DREIECK DES VERDERBENS



SIE STARTETEN ZU EINEM
SIMPLEN ÜBUNGSFLUG.
DOCH ALS DIE FÜNF BOM-
BER UND EIN SUCHFLUG-
ZEUG ÜBER DEM MEER VOR
DER AMERIKANISCHEN
OSTKÜSTE SPURLOS VER-
SCHWANDEN, WAR DER
MYTHOS VON EINEM
MENSCH UND MASCHINE
VERSCHLINGENDEN STÜCK
ATLANTIK GEBOREN.
DARÜBER, WAS WIRKLICH
PASSIERT IST, KURSIEREN
THEORIEN EN MASSE

Der Auftrag lautete: Fliegen Sie 123 Meilen nach Osten, dann 73 Meilen nach Norden, anschließend 120 Meilen nach Westen. Eine einfache Navigationsübung in Form eines Dreiecks. Für Staffelführer Charles Taylor und dessen 13 Flugschüler nicht gerade ein „Top Gun“-Erlebnis. Keine fliegerische Herausforderung, kein Nervenkitzel. Nur langweilige Routine. Wenigstens war ein Tiefflug über der Bahama-Insel Bimini vorgesehen.

Als die fünf Torpedo-Bomber am 5. Dezember 1945 um 14.10 Uhr von der Piste des Marineflugstützpunktes Fort Lauderdale abheben, herrscht sonniges Ausflugswetter: strahlend blauer Himmel über Florida, türkisblaues Meer, eine leichte Brise aus Nordost. Gegen 16.10 Uhr würde die Crew wieder auf dem heimatischen Fliegerhorst aufsetzen.

Doch etwa 30 Minuten vor der erwarteten Landung bemerkt Leutnant Charles Taylor eine unerklärliche Abweichung der Meßinstrumente. Er blickt aus der Pilotenkanzel nach unten, und was er dort sieht, irritiert ihn noch mehr. Erregt funkt er zum Tower: „Wir können kein Land sehen, ... meine beiden Kompassse sind ausgefallen.“

Zwischen Taylor und den übrigen Piloten entbrennt ein heftiger Disput über Position und Rich-

tung des Fluges. Im Tower ist man alarmiert über die ungewohnte Panik in der Stimme des erfahrenen Fluglehrers und erteilt Weisung, strikten Westkurs zu halten. „Fliegen Sie der Sonne entgegen!“ Dann bricht der Funkkontakt ab.

Als sich Taylor nach endlos langen Minuten wieder meldet, ruft er: „Wir sind nicht sicher, wo Westen ist. Alles ist so anders... so seltsam... Nicht einmal der Ozean sieht aus, wie er aussehen sollte!“

Verwirrt übergibt der Geschwaderführer das Kommando an einen Teamkollegen. Aber auch dessen Funksprüche wirken, als verlöre er den Verstand: „Wir kommen in weißes Wasser... Die Sonne... Es sieht aus, als wären wir...“ Im Tower können nur noch Wortfetzen aufgefangen werden. Der Funkverkehr wird vom Knacken und Rauschen unbekannter Störsender überlagert. Als letztes ist Taylors rätselhafter Befehl zu hören: „Folgt mir nicht nach!“

Jetzt endlich entschließt man sich, ein Suchflugzeug auszuschicken. Es soll die über dem Ozean Herumirrenden aufspüren und nach Hause lotsen. Vom Marineluftstützpunkt Banana River startet eine Martin Mariner, ein speziell für Seenotfälle ausgerüstetes Flugboot, das seine Position regelmäßig an den Heimathafen funkt. Aber als die 13köpfige Besatzung der geschätzten Position der verschollenen Bomberstaffel näher kommt, passiert das Unglaubliche: Die Martin Mariner verschwindet von einer Sekunde zur anderen. Ohne Vorwarnung, ohne ein SOS-Signal abgegeben zu haben, ohne Hinweis auf technische Schwierigkeiten.

Und obwohl eine Armada aus Flugzeugen, Schiffen, U-Booten, Yachten und Fischkuttern sofort nach Überlebenden sucht, wird weder von Flug 19 noch von der Martin Mariner auch nur ein winziges Teilchen gefunden. 27 Mann, fünf Bomber und ein Flugboot waren auf rätselhafte Weise verschollen. Die Legende vom Bermuda-Dreieck war zeugt.

Zur Welt kam sie erst, als Floridas Tageszeitungen „Miami Herald“ und „Tampa Tribune“ im September 1950 einige Sensationsgeschichten druckten, in denen von mysteriösen Unfallhäufungen in einer bestimmten Region des Atlantik die Rede war.

Dieses Gebiet nannten sie „Teufels-Dreieck“, da seine Form einem gleichschenkligen Dreieck entsprach – mit der Spitze bei den Bermuda-Inseln und der Basis zwischen Miami und Puerto Rico. Mehr als hundert Schiffe und Flugzeuge seien darin verschwunden, und niemand wisse weshalb. Man könne nicht ausschließen, daß im Meer verborgene Kräfte an den „Unglücksfällen“ beteiligt gewesen seien.

Daß Flug 19 in der Bermuda-Dreiecks-Geschichte seitdem die Hauptrolle spielt, hat einen einfachen



In dem – schwarz unterlegten – Dreieck mit der nördlichen Spitze bei den Bermuda-Inseln und der Basis zwischen Miami und Puerto Rico häufen sich angeblich mysteriöse Unfälle. Die 1945 über dem Meer verschwundenen US-Bomber befanden sich bei der letzten Peilung weit ab der geplanten Route (gestrichelte Linie) – bei 29° 15' N, 79° 00' W



Grund: Kein anderer Fall eignet sich besser für Spekulationen der dritten Art – denn kein anderes Unglück ist so umfassend durchleuchtet worden wie dieses.

Die „Naval Air Station Fort Lauderdale“, die jedes Jahr am 5. Dezember mit Salutschüssen ihrer vermißten Piloten gedenkt und sogar Memorial-Flüge „in der Missing-Man-Formation“ für die Verschollenen abhält, wird bis heute dermaßen überschüttet mit Theorien selbsternannter Flug-19-Experten, daß die Historiker der Navy eine eigene Web-Site mit den wichtigsten Antworten zu den häufigsten Fragen ins Internet gestellt haben. Den Rekord hält die Frage nach dem Auslöser des Irrflugs: Stimmt es wirklich, und wenn, wie ist es bloß zu erklären, daß bei allen Piloten die Kompassse gleichzeitig verrückt gespielt haben?

Seit 54 Jahren wird dieses Problem diskutiert. Und im Lauf der Zeit sind immer originellere Thesen hinzugekommen. In ihnen spiegelt sich der Forscherdrang leidenschaftlicher Amateurdetektive, aber auch die jeweils vorherrschende Zeitgeisthysterie. Denn wer immer durch das Fenster des Bermuda-Dreiecks auf den Grund des Atlantischen Ozeans blickt, wird dort – neben allerlei Staunenswertem – sich selbst und seine ganz private Weltordnung entdecken.

Der neueste Versuch, das Unerklärliche aufzuklären, stammt von dem Hobbytaucher und Amateurhistoriker Michael Preisinger, dessen Buch „Das Bermuda-Rätsel gelöst“ 1997 erschienen ist.

Preisinger war kreuzunglücklich gewesen mit seinem Assistentenleben an der Kölner Sporthochschule. Das Klein-Klein des Wissenschaftsbetriebs, die Kontrolle der Kollegen, das öde Buchwissen depri-



mierten ihn. Noch während er an seiner Dissertation über die „Geschichte der Leichtathletik bis 1896“ feilte und dabei den absurden Verbandsstreit der Turnerschaft rekapitulierte, ob es „die“ oder „der Hantel“ heißen müsse, kamen ihm existentielle Zweifel an seiner Beschäftigung. 1993, nach einem drei Monate langen Hawaii-Aufenthalt und dem Erwerb des Tauchlehrerscheins, stieg er aus, zog mit seiner Familie auf die Bahamas und arbeitete dort als „Dive Master“ einer Tourismusfirma.

Die karibische Mentalität befreite ihn: das Bunte, das Lockere, das nicht ganz so ernst Gemeinte. The Big Easy! Bald tauchte er ein in die Gespenstergeschichten der Einheimischen, befaßte sich mit Lokalhistorie und hörte eines Tages eine merkwürdige Geschichte.

An einigen Stellen rund um die Bahamas gebe es Navigationsprobleme unter Wasser. Erfahrene Taucher würden weit entfernt von jenen Bojen wieder an die Oberfläche kommen, an denen sie sich vor dem Abtauchen orientiert hätten. Dies geschehe, obwohl sie den Weisungen der Kompassse exakt gefolgt seien. Die Nadeln, so die logische Schlußfolgerung, mußten von einer starken Kraft abgelenkt worden sein.

Michael Preisinger wurde neugierig. Natürlich hatte er den Weltbestseller des Amerikaners Charles Berlitz über das Rätsel des Bermuda-Dreiecks gelesen. Auch kannte er Dutzende von Theorien, weshalb Schiffe und Flugzeuge in dieser Gegend spurlos verschwunden seien. Aber Beweise, Beweise!! Die hatte Preisinger immer schmerzlich vermißt.

Sofort machte er sich daran, den mysteriösen Kompaßproblemen auf die Spur zu kommen. Während der Ausfahrten seines Clubs zu den Riffen der Bahama Cays und der Florida Keys untersuchte Preisinger mit seinen Freunden Al Miller und Joel Green jene Stellen, an denen das Phänomen angeblich aufgetreten war.

Die Taucher überprüften in einem dreidimensionalen Raster alle 30 Zentimeter die Kompaßausrichtung. Eine mühselige, zermürbende Plackerei. Doch ein halbes Jahr nach Beginn ihrer Arbeit wurden sie fündig. Am Dogleg Reef bei den Florida Keys stellte Al Miller am 7. Oktober 1995, nachmittags, erstmals eine gravierende Ablenkung von 13 Grad fest.

Ähnliche Abweichungen fanden sie bei Bimini und rings um die Bahama-Insel New Providence. Alle Anomalien traten im Flachwasser auf, begannen dicht unter der Oberfläche und endeten knapp über

dem Meeresboden. Die gemessenen Felder waren neun bis 16 Meter hoch und 16 bis 35 Meter breit. Im Kern waren die Abweichungen um einige Grad stärker als an den Rändern.

Das Sensationelle an ihrer Entdeckung erkannten die Hobbyforscher aber erst, nachdem Preisinger alle gemessenen Daten auf Millimeterpapier übertragen und die Abweichungspunkte miteinander verbunden hatte. Die Felder zeigten – ganz eindeutig! – die Form fliegender Untertassen.

Von dieser „Entdeckung“ bis zur Formulierung einer neuen „Bermuda Triangle Mystery“-Theorie war es nur ein winziger Schritt. Preisinger schloß die Kompaßabweichungen einfach mit den kosmologischen Theorien der Physikgenies Stephen Hawking und John Wheeler kurz. Deren Annahmen über „Wurmlöcher“ im Kosmos, durch die Materie scheinbar ins Nichts verschwindet oder in andere Welten gezogen wird, animierten Preisinger zu seiner Weltformel des Bermuda-Dreiecks.

Flugzeuge und Schiffe, die so mir nichts, dir nichts verschwinden, werden danach in Wurmlöcher geschlurft – entweder zufällig oder von Außerirdischen eskortiert. Die Kompaßabweichungen entstehen, so Preisinger, durch die Materialisierung der außerirdischen Raumtransporter, die von der Rückseite der Wurmlöcher, die man sich als Tunnel vorstellen muß, in unsere Welt gekommen waren.

Beweis? Die zahllosen Kalksteinhöhlen Floridas und der Great Bahama Bank, auch „Blue Holes“ genannt. Sie seien die stummen Zeugen des Absaugvorgangs. Und wer genau hinsehe, könne an ihrer Schüssel- oder Trichterform erkennen, daß es sich nicht um natürliche Verkarstungen, sondern um künstlich erzeugte Löcher handele. Denn mit ihren vielen Starts und Landungen hätten die Aliens das Bermuda-Dreieck inzwischen zugerichtet wie einen Schweizer Käse.

Michael Preisingers „wissenschaftlich fundierte“ Wurmlochtheorie bestätigt ein menschliches Phänomen: Daß sich Erkenntnisse, die nichts miteinander zu tun haben, im Kopf eines unerschrockenen Denkers zu einer runden Sache fügen können. Und daß Phantasie noch immer den höchsten Unterhaltungswert besitzt.

Eine Entführung von Flug 19 durch Außerirdische hatte ja schon Charles Berlitz für wahrscheinlich gehalten. Sein Buch „Das Bermuda-Dreieck. Fenster zum Kosmos?“ wurde weltweit über 20 Millionen Mal verkauft. Steven Spielberg baute Flug 19 in sein

WIE PASSEN FLUGZEUGE DURCH EIN KOSMISCHES WURMLOCH?

Science-fiction-Spektakel „Unheimliche Begegnung der dritten Art“ ein. Und Erich von Däniken und Johannes von Buttlar zehren seit Jahrzehnten vom globalen Ufo-Tick.

Warum? Weil alles Undurchdringliche dieser Welt sich plötzlich in klarem Licht präsentiert.

Ist Preisingers Wurmlochtheorie etwa keine plausible Erklärung für Charles Taylors letzten Funkpruch: „Folgt mir nicht nach!“? Wollte der Staffelführer seine Crew vielleicht durch ein mannhaftes Selbstopfer retten? Und ging dieses Rettungsmanöver schief, weil die tapferen Schüler ihren Lehrer in der Stunde der Gefahr nicht im Stich lassen wollten?

Man weiß es nicht.

Man weiß nur – anhand der Publikationen über das Bermuda-Dreieck –, wer bei wem abschreibt und wer sich am häufigsten auf wen beruft. Charles Berlitz etwa, der berühmteste der Bermuda-Dreieck-Forscher, hält sich auffallend oft an die Prophezeiungen des „schlafenden Propheten“ Edgar Cayce, eines spiritistischen Mediums, das Amerikas Esoteriker fünf Jahrzehnte lang mit Spekulationsstoff versorgt hat.

Cayce starb 1945, aber er hinterließ eine Denkfabrik namens „Gesellschaft für Forschung und Erleuchtung“, die von Virginia Beach aus fleißig weiter Öl ins Bermudafeuer gießt.

Cayces Wirkung mag Nachgeborene erstaunen. Von den Katastrophen, die er für die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts weisgesagt hat, ist keine eingetroffen. Atlantis hat sich nicht aus den Fluten gehoben, die Erdachse ist geblieben, wo sie ist, und Amerika ist nicht zerstört. Aber der Boden, auf den Cayces Unheils-Prophezeiungen gefallen waren, schien vorbereitet zu sein für allerlei Greuelmärchen.

Es war die Zeit, da Amerika gewahr wurde, daß absolute Sicherheit auch für eine Supermacht nicht herstellbar ist. Es war die Zeit, als technische Umwälzungen die Menschheit mit deren eigener Hybris konfrontierten. Diese Zeit be-

gann mit der Nacht zu Halloween des Jahres 1938 und endete mit der Kubakrise.

Am 30. Oktober 1938 hatte der Regisseur Orson Welles mit dem Hörspiel „Invasion vom Mars“, genial adaptiert nach H. G. Wells Erzählung „Der Krieg der Welten“, eine Massenpanik ausgelöst und damit die Verwundbarkeit der amerikanischen Psyche bloßgelegt. In der „Atlantischlacht“ des Zweiten Weltkriegs erlebten die Amerikaner dann real, wie verletzlich ihr Territorium trotz des schützenden Ozeans war. Sie mußten erkennen, daß die Tiefen des

Atlantik genausogut als Hinterhalt des Feindes dienen konnten: Deutsche U-Boote versenkten Dutzende von Handelsschiffen.

Überdies sah es 1944/45 aus, als könnten deutsche „Wunderwaffen“ bald jeden Punkt Amerikas binnen Minuten erreichen. Das Wort „Atom“ wurde zum Gegenzauber, die Freisetzung der Atomkraft zur patriotischen Pflicht. Vor allem die geheimen Aktivitäten des US-Militärs steigerten die latente Spannung in der Bevölkerung.

Dann der erste erfolgreiche Atombombentest! Wenn die Entfesselung der Urkräfte möglich war, schien alles möglich zu sein.

Die Angst vor der Bombe wurde zur fixen Idee, die Angst, jemand könnte die Erde aus ihrer Umlaufbahn schießen, die Furcht, der Feind würde seine Raketen zuerst abfeuern. Der Kalte Krieg zwischen Ost und West, die Truman-Doktrin, die Gründung der CIA, die Geheimhaltungshysterie der Militärs führten am 24. Juni 1947 zur ersten Sichtung von „Flying Saucers“ über den Cascade Mountains im Bundesstaat Washington sowie zur angeblichen Bruchlandung eines Ufos bei Roswell einige Tage später.

Die Panik vor einem kommunistischen Angriff steigerte sich bis zur Kubakrise im Oktober 1962, als Chruschtschows Atomraketen 200 Meilen vor Miami die USA bedrohten.

Auch Jamaica, Haiti, Nicaragua, Panama, Costa Rica und die Dominikanische Republik standen in diesen Jahren unter verschärfter Beobachtung: Amerikas Hinterhof brannte, und das Bermuda-Dreieck war in diesen Jahren aufgeladen wie ein unterseei-

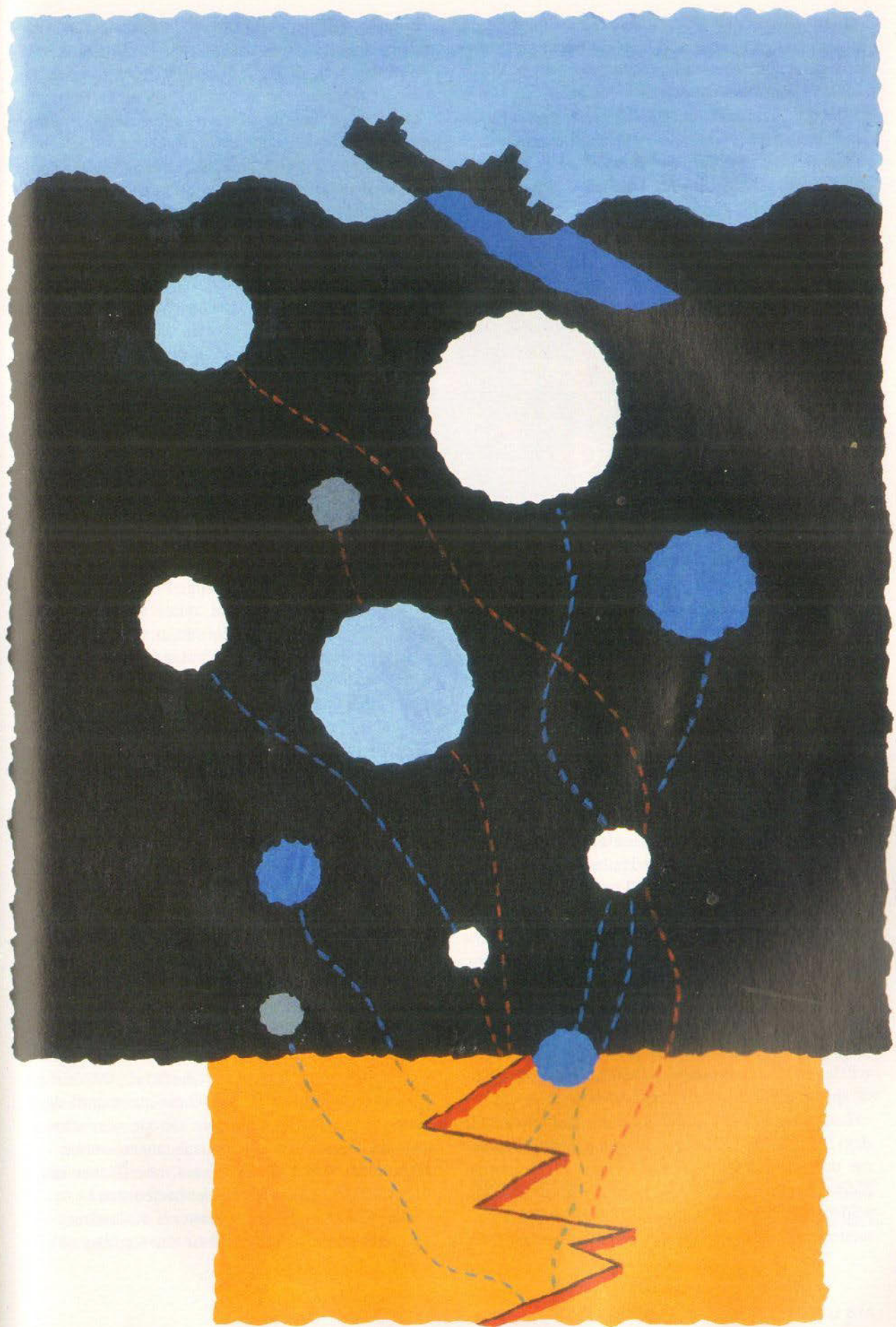
scher Vulkan. Kein Wunder, daß sensible Menschen Dinge sahen, die niemand so recht erklären konnte.

Erst in den sechziger Jahren, als die Gefahr vorüber war und die Zeit der Aufarbeitung begann, wurde das „Teufels-Dreieck“ in Bermuda-Dreieck umbenannt. Vincent Gaddis prägte den Begriff

1964 in der Artikelserie „The Deadly Bermuda Triangle“. Von diesem Punkt an erschienen immer häufiger Berichte und Bücher, die von den immer gleichen, nirgends belegten Vorfällen lebten. Storys über gigantische, im Meer versunkene Laserkraftwerke, ominöse Zeitlöcher, tückische Strudel und elektromagnetische Wirbel schossen dermaßen ins Kraut, daß sich endlich jemand erbarmte, die Schauergeschichten auf ihren Wahrheitsgehalt zu überprüfen.

Der Bibliothekar Lawrence Kusche von der Arizona State University unterzog sich freiwillig dem

WIESO SAHEN VIELE MENSCHEN PLÖTZLICH ÜBERALL UFOS?



Fronddienst, die 50 spektakulärsten Fälle noch einmal nachzurecherchieren, und fand dabei heraus, daß es für jeden einzelnen eine ziemlich natürliche Erklärung gab. Den breitesten Raum nahm Flug 19 ein.

Kusche hatte sich den 400seitigen Untersuchungsbericht der US-Navy von 1946 noch einmal vorgenommen und anhand der Zeugenaussagen festgestellt, wie gerissen Berlitz und seine Epigonen die Fakten dehnten, verkürzten, wegließen oder umdeuteten.

So verschwanden die fünf Torpedobomber keineswegs etwa bei Sonnenschein und bester Sicht im Nirgendwo, sondern gerieten, als es dunkel wurde, in schweren Sturm über rauher See. Schwache Signale aus den Maschinen waren noch bis 19.04 Uhr zu empfangen. Und Funksprüche über „weißes Wasser“ und andere seltsame Beobachtungen sind nirgends belegt.

Auch das Mariner-Flugboot ging nicht am hellichten Tag verloren, sondern bei schlechtem Wetter in dunkler Nacht. Es explodierte um 19.50 Uhr, exakt 23 Minuten nach seinem Abheben vom Stützpunkt Banana River.

Staffelführer Charles Taylor wurde vom Tower in Port Everglades mehrmals aufgefordert, seine Frequenz zu wechseln, da kubanische Sender den Empfang auf 4805 Kilohertz störten. Doch Taylor weigerte sich, die Notfrequenz zu benutzen. Er weigerte sich auch, das Kommando einem seiner Schüler zu überlassen.

Diese hatten gegen 17.00 Uhr bemerkt, daß sie aufs offene Meer hinausflogen. Sie trauten sich aber nicht, eigenmächtig Westkurs einzuschlagen. Also raste Flug 19 immer weiter, bis der Treibstoff in den Tanks zu Ende war. Ein tragischer Fall von Gehorsam.

Schließlich Taylors ominöser Befehl, man solle ihm nicht folgen. Dies war nicht die letzte Heldentat eines Ehrenmanns gegenüber seinen Schützlingen, sondern die Antwort an den Piloten Robert Cox, der Taylor entgegenfliegen wollte, um ihn sicher zum Fliegerhorst zurückzubringen. Taylor hatte mit Cox gegen 15.40 Uhr Kontakt, zu einer Zeit, als er meinte, wieder zu wissen, wo er sich befinde. Erst eine Stunde später setzte das Drama ein.

Lawrence Kusche kam bei seinen Recherchen zu dem Schluß, daß Wetterumschlag, technische Probleme und menschliches Versagen eine unglückselige Kombination eingegangen waren. Kompaßausfall, schlechter Funkempfang, eine aufziehende Schlechtwetterfront, eine verschnarchte Küstenwache, sture

Piloten, defekte Fernschreiber, mangelhafte Funkpeilung und einiges mehr seien zusammengekommen, um Flug 19 derart desaströs enden zu lassen. In der Statistik ergebe sich hinsichtlich des Bermuda-Dreiecks jedenfalls keine nennenswerte Häufung von Unglücksfällen.

War die Luft aus der aufgeblasenen Legende damit entwichen? Keineswegs.

Das Abflauen der Ufo-Hysterie hatte zwar eine Lücke hinterlassen, doch die Freunde des Bermuda-Dreiecks stopften sie flugs mit einem neuen Trend. Ökologie war en vogue, und so lieferten Meeres- und Klimaforscher nun die erwünschten Fakten für die Untermauerung neuer Theorien.

Der Paradigmenwechsel in der Dreiecksforschung wirkte wahre Wunder. Denn Meteorologen und Ozeanographen bestätigten: Die Region zwischen Antillen und Azoren ist tatsächlich ein Phänomen. Hier treffen ausgedehnte Flachwasserzonen schroff auf die tiefsten Stellen des Atlantik. Hier pressen sich riesige Mengen warmen Wassers mit Macht durch die enge Floridastraße in den Golfstrom. Hier ist das Wasser

durch Verdunstung so salzgesättigt, daß heftige Turbulenzen durch absinkende schwerere und aufsteigende leichtere Wassermassen entstehen. Eine Welt der Wirbel und Strudel also!

Und an besonders schönen Tagen erzeugen hohe Luftfeuchtigkeit und hoher Sonnenstand eine derart silbrige Diesigkeit, daß sich die Horizontlinie selbst dem geübten Auge entzieht: Wasser und Himmel werden ununterscheidbar. Dazu eine Vielzahl an Rif-fen, wandernde Sandbänke und in den Wintermonaten heftige, trotz harmloser Wölkchen sekunden-schnell auftretende Wirbelstürme.

Nordöstlich, in den Weiten der Sargassosee – das glatte Gegenteil. Totale Flaute. Ein träger, langsam kreisender Ozean, ohne Regen, ohne Wind, strömungslos, braun und voller undurchdringlichen Beerentangs, unter Seeleuten berüchtigt als „Kerker der Verlorenen“. Ein Schiffsfriedhof.

Schon Christoph Kolumbus war diese Stille nicht geheimer gewesen. Bei seiner Überfahrt 1492 berichtete er von seltsamen Lichterscheinungen und rätselhaften Kompaßabweichungen. Ob sie von schwermetallhaltigen Braunalgen ausgegangen waren, von untermeerischen Erzvorkommen, oberflächennahen Vulkanen oder Überresten eines Meteoriten?

Die Mannschaft des Christoph Kolumbus war jedenfalls so verängstigt, daß sie den Kapitän anfleht-

WARUM GAB DER PILOT DEN OMINÖSEN BEFEHL?

te, umzudrehen und nach Hause zu segeln. Sie vermutete hinter der Störung der Kompaßweisung eine geheimnisvolle Kraft, die das Schiff in seinen Bann zog. Nicht wenige glaubten an einen Fingerzeig von oben.

Tatsächlich deutet der Kompaß nur an wenigen Stellen der Erdoberfläche exakt gen Norden – weil magnetischer und geographischer Pol voneinander abweichen und weil unterschiedlich dichte Gesteine im Untergrund das Magnetfeld verzerren. Auch das Herumeiern der Erde um ihren Kern oder die von Sonnenflecken ausgelösten magnetischen Stürme sind als Ursache für Kompaßabweichungen genannt worden.

Nun mögen kurzzeitig kreiselnde Magnetenadeln Irritationen auslösen – manche Umstände des Desasters von Flug 19 können sie nicht erklären: Ebenso rätselhaft wie das totale Versagen der Meßinstrumente bleibt die Tatsache, daß trotz aufwendiger Suche nicht das kleinste Fitzelchen von Mannschaft und Flugzeugen gefunden worden ist.

Die bislang einzige Theorie, die alle noch offenen Fragen auf einen Schlag zu beantworten weiß, entstammt der beginnenden Tiefseeforschung und wurde 1981 von dem Geochemiker und Ölförderungs-Experten Richard McIver präsentiert. Man könnte sie die Flatulenz- oder Stinkbombentheorie nennen.

In küstennahen Gewässern sind Wissenschaftler auf Eiskristalle gestoßen, die hohe Mengen Methan gas binden. Ein Liter des Hydrats, das in Meerestiefen von einigen hundert Metern lagert, speichert bis zu 167 Liter Gas, das durch Beimischung von Schwefelverbindungen fürchterlich stinkt. Wird das Methan en masse freigesetzt – durch Erdbeben, Seebeben oder globale Erwärmung –, dann blubbern riesige Blasen an die Oberfläche und benebeln alles, was da kreucht und fleucht.

Einem Bericht der Londoner Zeitung „Independent“ zufolge hat ein Pilot eine solche Methangas-Explosion vor Puerto Rico beobachtet. Die See habe ausgesehen, als kochte sie, das blubbernde Kochfeld sei so groß gewesen wie der New Yorker Kennedy-

Airport, und der ganze Vorgang habe höchstens drei Minuten gedauert.

Und dazu komme dann, daß das Wasser durch die Explosionswärme an Dichte verliere und damit weniger tragfähig werde: Schiffe, die sich in der Nähe befinden, könnten mit Mann und Maus in die Tiefe plumpsen. 40 Ölbohrtürme weltweit habe man, so McIver, auf diese Weise schon verloren.

Aber auch Flugzeuge seien in höchster Gefahr.

Würden sie von aufsteigenden Methan gas-Blasen erfaßt, könnten ihre Motoren aufgrund des Sauerstoffmangels versagen. Piloten fielen ins Delirium oder ersticken. Heiße Abgase könnten auch das Gas entzünden und die Maschinen in die Luft jagen.

Das plötzliche Verschwinden, das Ausbleiben von Notrufen wäre damit hinreichend erklärt. Allerdings: Was war mit den Kompassen?

Auch dafür haben die Flatulenztheoretiker eine plausible Erklärung: Die vom Meeresboden aufsteigenden Blasen schleudern so große Mengen elektrisch geladener Teilchen in die Atmosphäre, daß sich starke Magnetfelder bilden, die auch Kompass rotieren lassen.

Das britische „Natural Environment Research Council“ fand die Flatulenztheorie so bestechend, daß es deren Erkenntnisse Mitte der neunziger Jahre erneut ventilierte. Ganz seriös und streng wissenschaftlich. Denn in den Weltmeeren sind enorme Lagerstätten des wertvollen Heizmaterials gefunden worden. Allein vor der Küste von North- und South-Carolina liegen Felder von der 70fachen Menge des jährlichen Gasverbrauchs der Vereinigten Staaten.

Wenige Meilen südlich davon waren die fünf Torpedobomber und das Martin-Mariner-Flugboot in der Dunkelheit des 5. Dezember 1945 für immer verschwunden.

Wolfgang Michal, 45, beendet mit diesem Stück seine Trilogie des Verschwundenen: Für GEO hat er bereits dem Bernstein-Zimmer nachgespürt und für GEO Special der versunkenen Ostsee-Metropole Vineta. Die Illustratorin **Thorina Rose** lebt mit ihren beiden Söhnen in San Francisco.





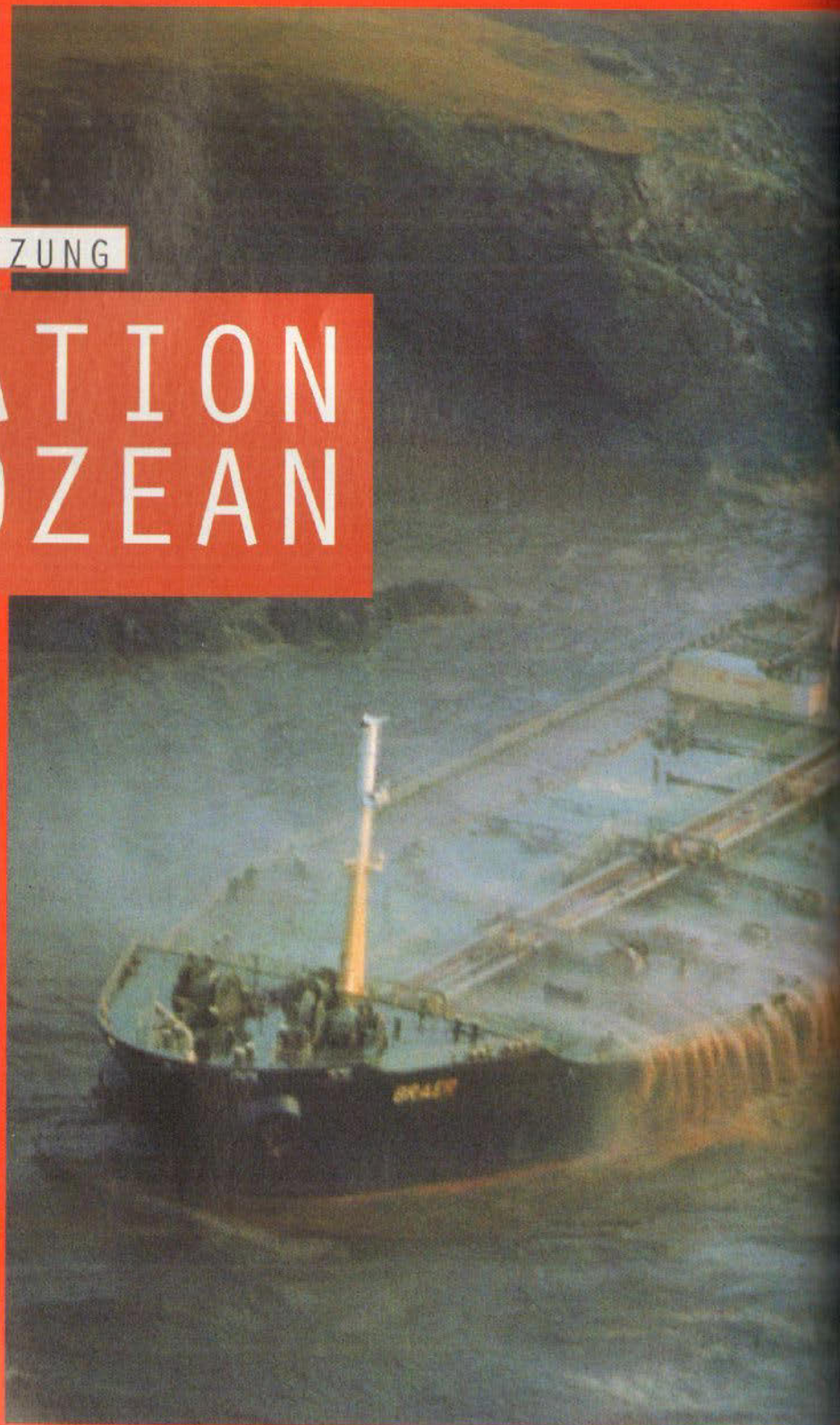
MEERESVERSCHMUTZUNG

ENDSTATION OZEAN

**Millionen Tonnen
Schadstoffe**

fließen jedes Jahr

**ins Meer – etwa
bei Havarien wie
dieser vor den
Shetland-Inseln.
Unbeabsichtigt,
aber bedenkenlos
in Kauf genommen.
Die gezielte Ver-
klappung ist mitt-
lerweile verboten.
Und trotzdem
plädieren manche
Experten dafür,
brisante Abfälle
im Meeresboden
zu vergraben**





VON HANNE TÜGEL

Seit einem Vierteljahrhundert hat der Geologe Charles Hollister eine Leidenschaft für sterbenslangweilige Areale. Kollegen mögen sich für brodelnde untermeerische Vulkane und kollidierende tektonische Platten begeistern. An Hollisters Lieblingsplätzen aber tut sich seit einigen zehn Millionen Jahren nichts: Sein Schwarm sind enorme Schlammebenen, „bar jeden Pflanzenlebens und nur spärlich von Kleinstgetier bevölkert“, 5000 Meter unter dem Meeresspiegel.

Die erstaunliche geologische Inaktivität der Tonsedimente, die weite Teile des Ozeanbodens bedecken, inspirierte den Amerikaner zu einer Vision, die er erstmals 1973 veröffentlicht hat. Hollister, heute Vizepräsident der angesehenen Woods Hole Oceanographic Institution an der amerikanischen Ostküste, glaubt, die extrem unzugängliche und karge Umgebung sei ideal geeignet, hochradioaktiven Müll zu schlucken: Ob abgebrannte Brennstäbe aus Kernkraftwerken oder Plutonium aus verschrotteten Atomwaffen – in Spezialbehältern könnte strahlender Abfall von Schiffen aus durch lange Rohre



gen Abgrund rauschen. Die gefährliche Hinterlassenschaft fände, so schreibt der Geologe, ewige Ruhe in Hunderte von Metern tiefen Bohrlöchern, eingebettet in Schlamm mit dem Aussehen „dunkler Schokolade“ und der „Konsistenz von Erdnußbutter“.

Die Behälter blieben zwar höchstens einige tausend Jahre intakt. Doch einmal freigesetzt, wanderten die strahlenden Partikel in den zähen Tonschichten sogar in 100 000 Jahren vermutlich nur wenige Meter weit. Und bevor sie das Seewasser erreichten, wäre die Radioaktivität abgeklungen.

Von 1976 bis 1986 erkundete Charles Hollister seine submarine Endlager-Variante für die Atomenergiebehörde der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD). Dann wurden die Forschungsgelder gestrichen, weil Politiker auf Alternativen in Granit- und Tuffgestein oder Salzstöcken setzten.

Gleichzeitig wuchs in der Öffentlichkeit die Sensibilität für die Verletzlichkeit der Ozeane. Inzwischen untersagt die „London Convention“, der zahlreiche Staaten weltweit beigetreten sind, das Versenken von Atommüll im Meer. Und seit 1996 liegt eine Resolution der Mitgliedsländer vor, nach der auch das Vergraben unter

dem Meeresgrund verboten werden soll, die allerdings noch nicht ratifiziert ist.

Dennoch geben sich die Befürworter der Tiefsee-Lösung nicht geschlagen. Die Erkundungen von Endlagern für hochradioaktiven Abfall auf festem Boden quälen sich dahin, sei es in Yucca Mountain in der Wüste von Nevada oder im niedersächsischen Gorleben. Allein in den USA wird für 30 000 Tonnen abgebrannter Brennelemente eine Ruhestätte gesucht, wo sie ein paar tausend Menschengenerationen lang mit Sicherheit keinen Schaden anrichten; jedes Jahr kommen 2000 Tonnen dazu.

Deshalb tüftelt Charles Hollister nach wie vor an seiner Methode, die sicherer – und zehnmal billiger – sei als jede Landvariante. Inzwischen präsentiert er Versionen, die eine genaue Platzierung der Behälter ermöglichen sollen, um sie notfalls wiederfinden zu können.

Dabei sind die Böden der Ozeane seit jeher Friedhöfe der besonderen Art. Die „Wrecks Section“ des britischen hydrographischen Dienstes listet 57 435 Wracks auf. Auf dem Meeresgrund ruht der filmreife Schrott der „Titanic“, aber auch „heißes Eisen“ wie die Trümmer der amerikanischen Atom-U-Boote „Scorpion“ und „Thresher“ und der russischen „Komsomolets“, die



Ozeane sind seit jeher Friedhöfe der besonderen Art: Am Boden des Pazifik nahe Neuguinea rostet ein japanisches Flugzeug vor sich hin, das im Zweiten Weltkrieg abgeschossen worden ist. Im russischen Nordmeerhafen Murmansk verrotten in Wohnblocknähe Atom-U-Boote samt radioaktivem Inventar

am 7. April 1989 vor Norwegen zugrunde gegangen ist.

Keineswegs alle Fremdkörper im Meer sind unbeabsichtigt versunken. Vielmehr galt die hohe See lange Zeit als ideale Endstation für manche Relikte. Am 21. Juni 1919, eine Woche vor Abschluß des Versailler Friedensvertrags, befahl beispielsweise Konteradmiral Ludwig von Reuter die Selbstvernichtung der in der Bucht von Scapa Flow bei den Orkney-Inseln requirierten deutschen Kriegsflotte. Nach dem Zweiten Weltkrieg kippten Militärs im großen Stil deutsche Munition – dar-

unter auch Giftgasgranaten – in die Ostsee.

Außerdem wurden nach Angaben des Hamburger Meeresforschers Hjalmar Thiel insgesamt 137 000 Tonnen chemischer Waffen im Nordatlantik in Tiefen zwischen 500 und 4500 Metern versenkt. Auch in Friedensperioden rutschten brisante Abfälle auf den Meeresgrund: Bis 1982 wurden mehr als 200 000 Fässer schwachradioaktiver Abfälle aus Medizin, Forschung und Industrie westlich vor Nordspanien in über 5000 Meter Tiefe „entsorgt“.

Einige Länder, darunter USA und Kanada, initiierten



1972 schließlich die „London Convention“, zuerst als „London Dumping Convention“ – also „Versenkungs-Abkommen“. Aber obwohl dieses von Anfang an auf die „Vermeidung der Meeresverschmutzung durch die Einbringung von Abfällen und anderem Material“ zielte, galt die Nutzung des Weltmeers als Müllschlucker noch keineswegs als verboten: Die „Entsorger“ mußten lediglich die Erlaubnis der national zuständigen Behörden einholen.

Erst Ende der siebziger Jahre begann das Umdenken, angeregt durch spektakuläre Greenpeace-Aktionen

wie die Blockade britischer Atom-müll-Frachter und später die von Dünnsäure-Verklappungsschiffen der deutschen Firma Kronos-Titan. 1983 vereinbarten die „Convention“-Mitgliedsstaaten eine zweijährige Pause beim Versenken radioaktiven Abfalls; es folgten Einschränkungen für die Verklappung und Hochseeverbrennung von Industriemüll. Seit 1993 sind alle drei Praktiken prinzipiell verboten.

Schlupflöcher bietet die „London Convention“ allerdings bis heute. So sind Militärfahrzeuge vom Abkommen ausgenommen. Daß Portugal 1994 ein Transport-

schiff mit 2200 Tonnen Munition 215 Seemeilen vor der eigenen Küste versenkt hatte, war somit Rechts. Außerdem sind nicht alle Meeresanrainer dem Vertrag beigetreten. Zum Beispiel Israel: Bis Anfang 1999 ließ die Düngefabrik Haifa Chemicals jährlich 60 000 Tonnen eines hochgiftigen Gemischs mit Quecksilber, Blei, Cadmium, Arsen und Chrom in internationalen Gewässern verklappen.

Die größte Gefahr für die marinen Ökosysteme könnte indes auch das strikteste Abkommen gegen Müllversenkung nicht bannen. Ob Schwermetalle, Kohlenwas-

serstoffe, Pestizide, Phosphat und Nitrat – drei Viertel der Schadstoff-Fracht im Meer sind der alltäglichen Verschmutzung zuzuschreiben. Schätzungsweise 2,5 Millionen Tonnen Öl gelangen jährlich in die Ozeane – die Ladung von sechs Supertankern. Durchschnittlich nur vier Prozent davon gehen auf das Konto von Havarien.

Ein weiterer Teil gerät beim Normalbetrieb von Schiffen und Bohrinseln ins Wasser. Allerdings stammt der meiste Unrat aus einer Unzahl diffuser Quellen: aus Abwasserkanälen und Kläranlagen-Ausläufen, die ihre Fracht über Flüsse ins Meer

schicken, oder aus der Luft – wenn Abgase von Autos, Ölheizungsanlagen und Chemieküchen abregnen.

Daß Dauereinleitungen so gravierend sein können wie spektakuläre Versenkungen, haben Wissenschaftler inzwischen auch für radioaktive Substanzen nachgewiesen. Als Anfang der neunziger Jahre bekannt wurde, daß die Sowjets seit 1959 gewaltige Mengen Atommüll inklusive abgewrackter Reaktoren im arktischen Meer deponiert hatten, löste das Beunruhigung und Empörung in westlichen Ländern aus.

Doch mittlerweile hat ein Team um die Hamburger Ozeanographen Jan Backhaus und Ingo Harms berechnet, daß das gesamte wild verklappte Inventar etwa jener Radioaktivitätsmenge entspricht, welche die Wiederaufbereitungs-Anlage im englischen Sellafield Jahr für Jahr legal einleitet. Die Konzentration an Radionukliden der Elemente Caesium-137 und Plutonium in der Arktis sei sogar bisher „durchweg niedriger als zum Beispiel in der Irischen See, der Nordsee und der Ostsee“.

Diese Erkenntnis belegt allerdings keineswegs die Ungefährlichkeit des russischen Mülls, sondern, wie sehr das Risiko der Wiederaufbereitungs-Anlage unterschätzt worden ist.

Chronisch eingetragene Schadstoffe bleiben dabei nicht auf die Oberflächen-



schichten des Meeres begrenzt; sie verteilen sich im gesamten Wasserkörper. Plutonium aus den Atombombentests in der Südsee wiesen Meeresforscher im mittleren Atlantik in mehr als 4000 Meter Tiefe nach. Und hochgiftige organische Chlorverbindungen wie polychlorierte Biphenyle (PCB) sind fern von ihren Produktionsorten im arktischen Ozean präsent. Ob und wie diese Substanzen das Leben dort beeinflussen, ist unerforscht.

Charles Hollister geht nach wie vor davon aus, daß die Auswirkungen geringer sind,

wenn brisante Schadstoffe kontrolliert in den dicken Tonschichten des Meeresbodens deponiert würden. Er setzt noch zehn Jahre Forschungsbedarf an, bevor ein endgültiges Urteil über die Endlager-Variante möglich sei.

Nicht alle Befürworter des Konzepts sind so gewissenhaft. „Eine Millionen-Dollar-Technik wartet auf Sie!“ lockt die „Oceanic Disposal Management Inc.“ (ODM) mit Sitz auf den Virgin Islands und mit einer Kontaktadresse im schweizerischen Lugano. Die Firma wirbt

Nach der Vorstellung des amerikanischen Geologen Charles Hollister sollte hochradioaktiver Müll im Meeresboden seine ewige Ruhe finden. Die strahlenden Behälter würden durch ein kilometerlanges Rohr in vorbereitete Löcher rutschen und mit Tonsedimenten bedeckt werden

schon seit 1993 um Kapitalgeber für die Tiefseeversenkung und bewirbt sie als angeblich „sichere technische Lösung des Atommüll-Managements“. Bei der ODM-Methode werden Abfallbehälter in Torpedoform von Schiffen aus ins Meer geworfen – ohne genaue Platzierung und ohne die Chance, sie wieder zu orten. Schlicht durch ihr Eigengewicht sollen sie sich selbsttätig in den Untergrund bohren.

Nach Recherchen von Greenpeace tourte Giorgio Comerio, technischer Direktor der ODM, durch afrikanische Länder und ehemalige Ostblockstaaten, um Partner zu gewinnen. Mit einem der Staaten sind die Verhandlungen nach ODM-Selbstdarstellung schon weit gediehen: mit Nordkorea. Seit 1995 berieten „Experten“ des Unternehmens mit dortigen Behörden über den Bau einer 1200-Mitarbeiter-Fabrik für die Behälter. Mit der Versenkung vor der nordkoreanischen Küste hätte von Frühjahr 1998 an begonnen werden sollen.

Ob der Vertrag tatsächlich zustande gekommen ist, war nicht zu ermitteln: Manfred Nauke, der Leiter des Büros der „London Convention“, hat zwar mehrfach nachgefragt. Doch vergebens: Nordkorea ist dem Abkommen nicht beigetreten.

Hanne Tügel, 45, ist GEO-Redakteurin

DAS BESTE VON GEO

GEO Wissen-Kalender 2000 Innen-Welten

Winzige Lebewesen, mikroskopisch kleine Kristalle oder auch menschliche Nervenzellen eint ein Schicksal: Sie sind verkannte Schönheiten. Den Beweis dafür präsentiert der neue GEO Wissen-Kalender. Was die Magier des Unsichtbaren hier mit größtem technischen Aufwand herbeigezaubert haben, ist ebenso fremdartig wie faszinierend.

Format 50 x 45 cm

Preis DM 49,- / öS 358,- / sFr 45.50

Best.-Nr.: K 1460

NEU

INNEN-WELTEN



OCTOBER
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

GEO WISSEN-KALENDER 2000



AUGUST
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

Die Planeten

Eine Chronik der spektakulären Erkundungen im Universum. Mit neuesten Forschungsergebnissen, modernsten Computergraphiken und den Highlights der Fotografie. Begleitbuch zur ARD-Serie „Abenteuer Universum“ (Dezember, 3. Programme).

Format 25 x 27,9 cm, ca. 240 Seiten,

durchgängig farbig illustriert

Preis DM 48,- / öS 350,- / sFr 44.50

Best.-Nr.: G 0521

Lieferung ab Oktober

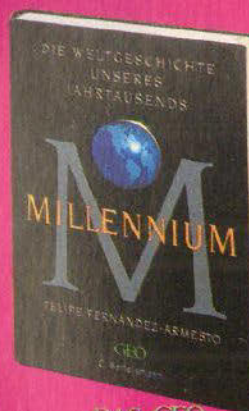
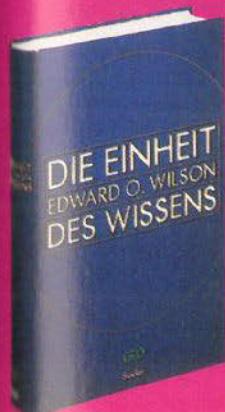
Die Einheit des Wissens

Seit der Antike träumt die Menschheit den Traum von der absoluten Erkenntnis. Der amerikanische Ameisenforscher und Evolutionsbiologe Edward O. Wilson hat ein ganzes Forscherleben in diesen Traum investiert. In seinem neuesten Buch, in den USA längst ein Bestseller, versucht er zu erklären, wie sich alle biologischen, physikalischen und sozialen Phänomene dieser Welt mittels weniger Grundgesetze deuten lassen.

Format 13,5 x 21,5 cm, ca. 448 Seiten

Preis DM 49,90 / öS 364,- / sFr 46,-

Best.-Nr.: G 0510



DAS GEO
MILLENNIUM
BUCH

Millennium

Die Weltgeschichte unseres Jahrtausends

Ein Jahrtausend erzählte Weltgeschichte(n) – voller Wissen, Phantasie und Sinnlichkeit. In einem fast 900 Seiten starken, präzise recherchierten Werk holt der mehrfach ausgezeichnete Oxford-Historiker Felipe Fernández-Armesto ungewöhnliche Kulturen, Menschen und Alltagsgeschichten ans Licht: eine Chronologie des unbekannten Jahrtausends, ein Gemälde der Weltkulturen in ganz neuen Farben.

Format 16 x 24 cm, ca. 880 Seiten mit über 300 s/w-Abbildungen

Preis DM 69,90 / öS 510,- / sFr 63,-

Best.-Nr.: G 0509

GEO-Shop

www.geo.de

BESTELLEN SIE
JETZT
MIT DER KARTE
AUF SEITE 147

DER SEEMANN IN 16 JAHREN KAUM EIN

Europas Reedereien heuern fast nur noch billige Mannschaften von anderen Kontinenten an. Der Indonesier Nawazir etwa schuftet »in der Maschine« eines Kreuzfahrtschiffes – klaglos und ohne jeden Neid

Als Nawazir mit zehn Jahren zum erstenmal aus den Bergen Sumatras an die Küste nach Padang fuhr und dort das Meer anbränden sah, empfand er es als lärmend und unermeßlich groß. Er fragte: „Was ist dort hinten?“ Und der Vater antwortete: „Dort ist Wasser, nur Wasser und sonst nichts.“

Als Nawazir mit 18 Jahren zum erstenmal auf einem Schiff fuhr, als Kadett von Indonesien nach Japan, erschien ihm der Ozean grausam. Er verursachte ihm tagelange Übelkeit und unbezwingbaren Brechreiz. Die Beschwerden waren so stark, daß Nawazir lieber sterben wollte. Er beschloß, sich nie wieder aufs Meer zu wagen. In Yokohama aber, mit festem Boden unter den Füßen und all den aufregend fremden Menschen um sich herum, vergaß Nawazir seinen Vorsatz und heuerte wieder an.

Ein paarmal noch wollte er für immer vor dem nassen Element fliehen, bis er endlich gelernt hatte, die Seekrankheit zu bändigen – indem er Brot aß, wenn ihm am übelsten war, und indem er arbeitete, statt sich in die Koje zu legen.

Gefragt, wo er es während der vielen Seereisen am schönsten gefunden habe, antwortet der 46jährige: „Schön ist es, wenn man von einem Berg hinunter in ein Tal blickt und Bäume und Häuser sieht.“

Und das Meer?

„Das Meer kann doch nicht schön sein. Da ist doch nur Wasser.“

Nawazir lebt auf dem Ozean, aber dort, wo er ihn nicht sieht. Auf dem Kreuzfahrtschiff „Europa“ führt er das



**NAWAZIR
AUS SUMATRA**

AN DIE MENSCHEN ÜBER MIR
DENKE ICH NIE

BLICK AUF DIE SEE

VON CHRISTIAN JUNGBLUT

Dasein eines maritimen Höhlenmenschen und wartet tief unten im Schiffsbauch als Tagelöhner die mächtigen Maschinen. Seine Sphäre ist ein ohrenbetäubend dröhnendes und wummern des Dickicht aus öglänzendem Metall: rundstämmige Kessel, bauchige Separatoren, Hauptmaschinen, Hilfsmaschinen, Hebel, Schieber und ein wildwucherndes Geäst von Rohren.

Seit 16 Jahren hält Nawazir die „Europa“ in Fahrt. Rund 50mal hat das Schiff in dieser Zeit den Globus umrundet und ungefähr 5000 Häfen besucht – auf Fidschi ebenso wie in Alaska, St. Petersburg ebenso wie Istanbul.

In welchem der schönen Häfen ist Nawazir einmal von Bord gegangen?

Er runzelt die Stirn. „Hm, in letzter Zeit war ich gar nicht an Land...“

Und länger zurück?

„Vor einem Vierteljahr. In Sydney. Aber da bin ich nur zur nächsten Telefonzelle gegangen, um meine Frau anzurufen.“

„Kessel reinigen“ oder „Kolben eins ziehen“ lautet die Order für Nawazir, wenn das Schiff in einen Hafen einläuft. Während der meist achtstündigen Liegezeit muß er im Maschinenraum alle Überholarbeiten vornehmen, die bei Fahrt auf See nicht möglich sind. Für Landgänge bleibt keine Zeit. Um sechs Uhr morgens, beim Einlaufen, legt Nawazir das Werkzeug zurecht und bereitet das Tageswerk vor. Um acht Uhr, wenn die Passagiere über die Gangway das

Schiff verlassen, klettert er durch eine kleine Luke ins Innere der Hauptmaschine, die fast so groß ist wie ein Einfamilienhaus. Er windet sich durch die Öffnung hinein wie ein Zwerg in den Dieselmotor eines Lastwagens.

Ein Höllenschlund: 50 Grad heiße und fettig riechende Luft weht ihm entgegen. In dem dunklen, eisernen Gewölbe tastet sich Nawazir über den glitschigen Boden vorwärts. Warmes Öl tropft auf ihn herab. Manchmal knackt das Metall, als ob alles auseinanderbräche.

Die Stimmen seiner Kollegen draußen dringen dumpfer und dumpfer an sein Ohr. In einer Art Kamin angelangt, wuchtet er schließlich an dem riesigen Bolzen des Pleuels, löst ihn und sucht wieder seinen Weg zurück. Von

einem Flaschenzug angehoben, bewegt sich der tonnenschwere Kolben millimeterweise aus dem Motorblock. Nawazir schuftet unablässig.

Als die Passagiere um vier Uhr nachmittags zurückkehren, erbebt das Schiff vom Probelauf der Maschine. Und beim Ablegen, wenn sich die Gäste zum Aperitif einfinden und von ihren Erlebnissen an Land schwärmen, wankt Nawazir zum Essen in die Mannschaftsmesse und danach in die Koje.

„Ich sehe die Passagiere meist nur, wenn ich nach Monaten einmal über die Gangway das Schiff verlasse oder am Ende des Urlaubs wieder an Bord komme. Ich denke nie an sie“, sagt Nawazir. Passagiere sind für ihn „die reichen

Menschen dort oben“. Ihm und seinen Kollegen aus dem Maschinenraum ist es verboten, die Gästedecks zu betreten.

Doch Nawazir hat ohnehin kein Bedürfnis, durch die festlich illuminierten Salons und Säle zu schlendern. „Ich bin hier, um zu arbeiten“, sagt er ohne jeden Groll oder Neid, „und die Passagiere haben viel Geld für eine schöne Zeit bezahlt und wollen uns nicht sehen.“

Ganz selten, wenn einmal nicht soviel zu tun ist, geht Nawazir während einer Frühstückspause nach draußen und blickt über die Reling zum Land hinüber. Doch Hafenanlagen sehen überall gleich aus. Meist fragt er dann einen ebenso Ausschau haltenden Kollegen: „Wo sind wir jetzt?“ Und wenn der den Ortsnamen nennt, denkt Nawazir: „Ach so, Papeete.“ Oder: „Schon wieder Havanna.“ Und er vergißt es gleich wieder. Ihm ist es egal, wo die „Europa“ gerade ist und wohin sie fährt. Für Nawazir ist nur wichtig, daß sie fährt.

Nur einmal war er beim Einlaufen doch aufgeregt – als das Schiff nach Padang kam, dorthin, wo Nawazir das Meer zum erstenmal gesehen hatte. Er nahm sich frei, zog seine beste Hose an und empfing seine Familie – seinen Vater, die Schwester und vier Brüder. Der Ingenieur, die Hausfrau, der Tischler, der Schuldirektor, der Marineoffizier und der Autoteilehändler drängten sich in der winzigen Kammer des weitgereisten Nawazir und überschütteten ihn mit Fragen.

Und... beneideten sie ihn?

Nawazir lacht und sagt: „Ich bin doch nur ein armer Seemann.“

**IHM IST
EGAL, WOHN
DIE „EUROPA“
FÄHRT**

Jahrtausendlang empfanden Menschen das offene Meer als Bedrohung. Seine Wogen verschlangen erst ihre Boote, dann stolze Schiffe mit Mann und Maus. In seinen unergründlichen Tiefen schienen furchterregende Ungeheuer zu hausen. Im Alten Testament warnt der Herr Hiob vor dem drachenähnlichen Leviathan: „Aus seinem Rachen fahren Fackeln, und feurige Funken schießen heraus. Aus seinen Nüstern fährt Rauch wie von einem siedenden Kessel und Binsenfeuer... Er macht, daß die Tiefe brodelte wie ein Topf, und rührt das Meer um, wie man Salbe mischt.“

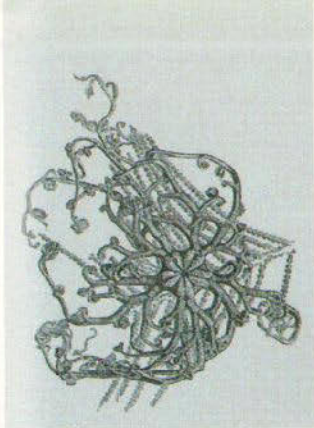
Für die Griechen der Antike waren die Ozeane schlicht abyssos – grundlos. Dies schien sich zu bestätigen, als Fernando Magellan 1521 im Zentralpazifik vergebens versuchte, mit einer Kanonenkugel, die er an einem 731 Meter langen Seil hatte befestigen lassen, den Boden auszuloten. Er erklärte das Meer kurzerhand für unermesslich tief.

Der Mythos der Seeungeheuer hielt sich bis in die Neuzeit. 1539 illustrierte der schwedische Bischof Olaus Magnus die erste detaillierte Karte von Nordeuropa mit zahlreichen Meeresmonstern. Nach und nach jedoch entmystifizierte die aufkeimende Naturwissenschaft die sagenumwobenen Tiere. Dazu bedurfte es oft des Zufalls wie der Strandung eines Blauwals 1692 im Firth of Forth in Schottland. Oder des Fundes eines bizarren Riemenfisches, 1771 an der norwegischen Küste

HISTORIE

DIE EROBERUNG DER TIEFE

**DIE SYSTEMATISCHE ERKUNDUNG DER IRDISCHEN
WASSERSPHÄRE BEGANN IM 19. JAHRHUNDERT.
ABER ERST HIGH-TECH-TAUCHBOOTE UND ROBOTER
BRACHTEN ENTSCHEIDEND LICHT IN DAS DUNKEL**

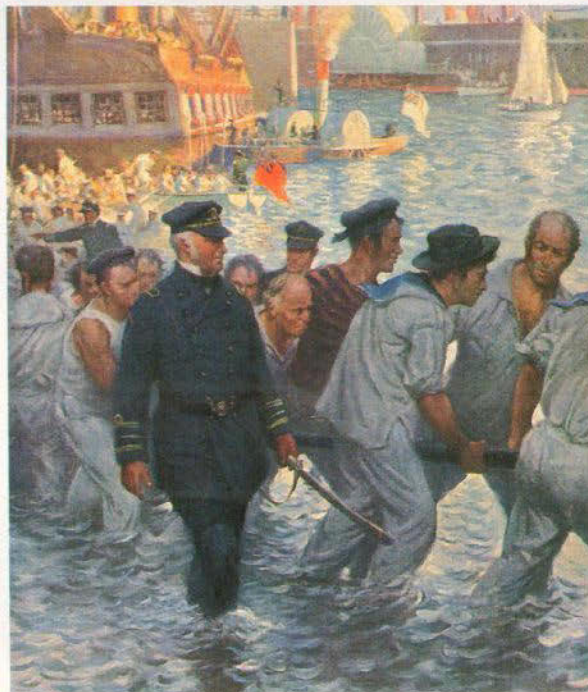
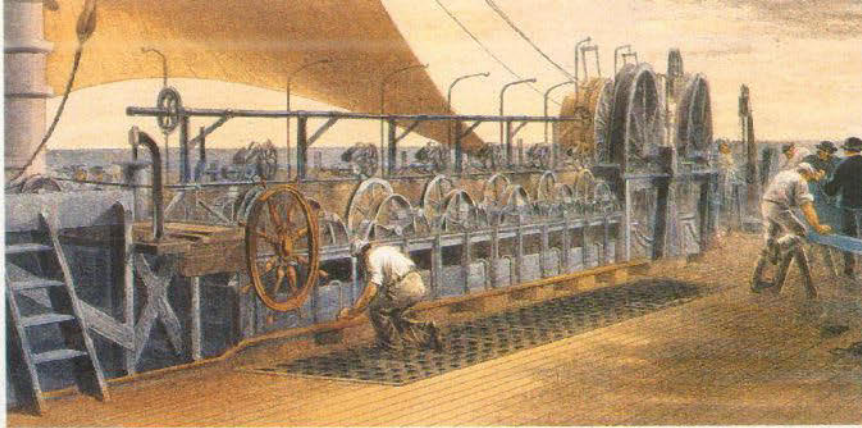


1818

Der englische Polarforscher Sir John Ross läßt im eisigen Nordatlantik einen Greifarm an einem Tau bis in mehr als 1,8 Kilometer Tiefe hinab. Beim Herausholen kommen Würmer und ein Medusenhaupt (siehe Zeichnung oben) zutage

1843

Der Engländer Edward Forbes stellt fest, daß die Zahl der Arten mit der Tiefe abnimmt. Andere Wissenschaftler leiten daraus ab, das Meer unterhalb von 600 Metern sei eine leblose – azoische – Wüste. Dort unten fehlten Strömungen, die lebensnotwendigen Sauerstoff nachlieferten



1858

Das erste transatlantische Telegraphenkabel geht in Betrieb. Schon nach wenigen Monaten versagt es. 1866 verlegt die »Great Eastern« einen neuen Strang (Foto ganz oben), der am 27. Juli Neufundland erreicht (Foto oben)

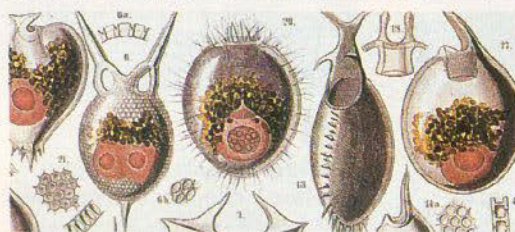
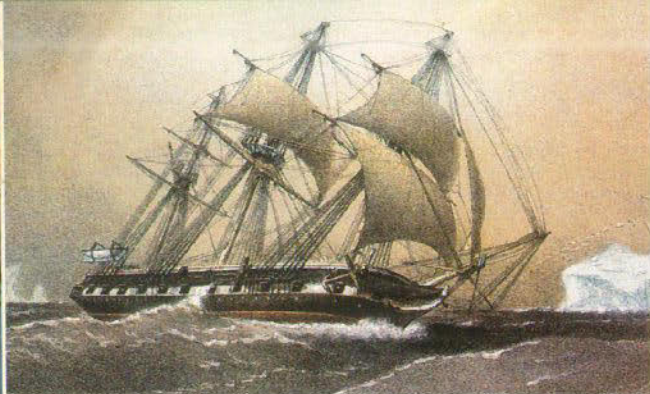
1859

Charles Darwin veröffentlicht sein epochales Werk »Die Entstehung der Arten«. Darin erläutert er, daß Spezies über lange Zeiträume unverändert bleiben könnten, wenn sie in einer stabilen Umwelt lebten. Die Tiefsee gilt vielen als ein solcher, über Äonen beständiger Ort. Angestoßen von diesen Ideen, setzt eine intensive Suche nach lebenden Fossilien im Meer ein



1870

In seinem Abenteuerroman »20 000 Meilen unter dem Meer« läßt Jules Verne das Tauchboot »Nautilus« bis auf den Ozeangrund in rund 16 Kilometer Tiefe vorstoßen – und beflügelt damit die Phantasie der Menschen bis heute wie kaum ein anderer. Seine technischen Visionen erweisen sich als erstaunlich zutreffend. Mit seinen biologischen Fiktionen liegt der Autor allerdings daneben: Ganz im Sinne der Theorie von einer azoischen Zone findet die »Nautilus«-Besatzung unterhalb einer bestimmten Grenze kein Leben mehr



1872-76

Auf einer Weltumsegelung mit dem britischen Schiff »Challenger« entdecken Forscher unterseeische Gebirgsketten und 4717 bislang unbekannte Arten aus Tiefen bis zu 5,5 Kilometer, darunter See-lilien, Riesenwürmer und Radiolarien (untere Abbildung). Der Expeditionsleiter Wyville Thomson resümiert: »Die Verteilung der Lebensformen hat kein Tiefenlimit«

1912

Angeregt durch die »Titanic«-Katastrophe, entwickelt der deutsche Physiker Alexander Behm das Echolot zur Entfernungsmessung. Dabei werden Schallwellen ausgesandt, an einem Objekt reflektiert und wieder empfangen. Aus den Laufzeiten der Signale lassen sich genaue Distanzen errechnen



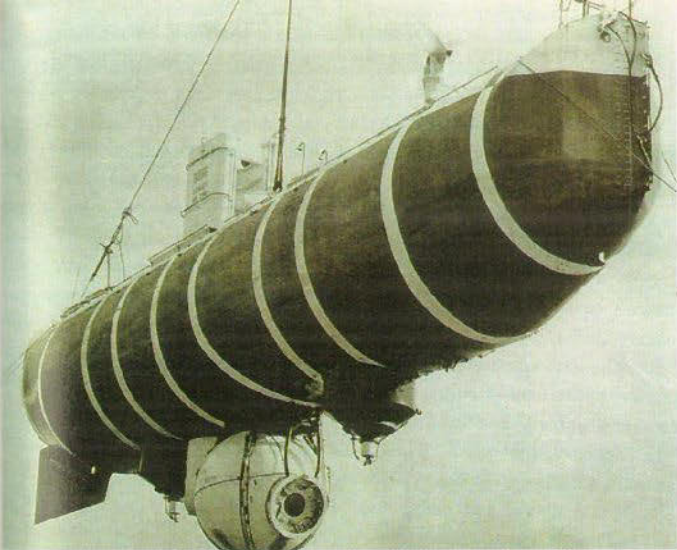
1930

William Beebe und Otis Barton tauchen in einer Stahlkugel, die an einem Seil abgelassen wird, 427,8 Meter unter den Meeresspiegel – so tief wie niemand zuvor. »Diese Fische hatten nicht nur ein halbes Dutzend Schuppen, sondern sie erstrahlten wie in einer schimmernden Rüstung«, schreibt Beebe über die Pionierfahrt, »Garnelen und Quallen trieben an uns vorbei wie Flocken nie geahnter Schneestürme«



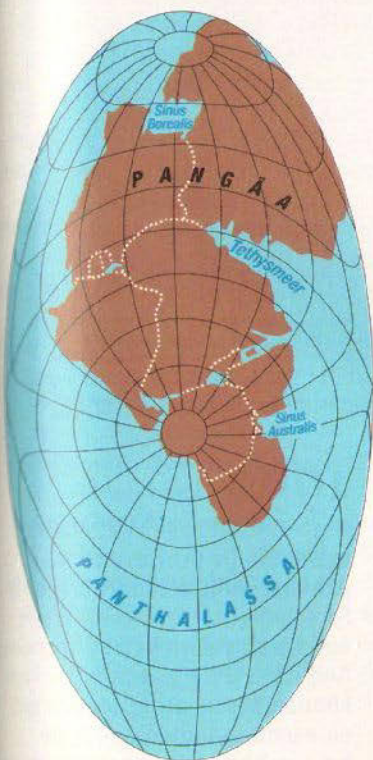
1938

Am 22. Dezember läuft der Kutter »Nerine« in den Hafen der süd-afrikanischen Stadt East London mit einem Quastenflosser an Bord ein, einer zoologischen Jahrhundertssensation. Diese Fischgruppe, die schon zu Zeiten der Dinosaurier die Ozeane bevölkerte, galt als seit 65 Millionen Jahren ausgestorben. 1987 gelingt es dem deutschen Meeresbiologen Hans Fricke erstmals, Quastenflosser in deren Lebensraum zu filmen



1960

Am 23. Januar tauchen der Schweizer Jacques Piccard (links) und der Amerikaner Don Walsh an Bord der Bathysphäre »Trieste« 1000 Kilometer östlich der Philippinen ins Challengertief des Marianengrabens hinab. Bis heute ist kein Mensch mehr so weit vorgestoßen: 10 916 Meter unter Normalnull. Durch winzige Plexiglas-Luken erkennen sie einen Fisch. Die Aquanauten bleiben 20 Minuten am Grund



1961

Die amerikanischen Geologen Harry Hess und Robert Dietz entdecken, daß der Meeresboden sich neu bildet, und entwickeln die Theorie der Plattentektonik, nach der die Erdoberfläche aus aneinandergrenzenden, driftenden Schollen besteht. Hess und Dietz bestätigen damit die heftig umstrittene Kontinentaldrift-Theorie des deutschen Geophysikers Alfred Wegener aus dem Jahr 1912



1964

Der Kalte Krieg heizt die Eroberung des Weltraums, aber auch der Tiefsee an: Die US-Navy baut das Tauchboot »Alvin«, das viele wichtige Missionen unternimmt. Zunächst konzipiert bis etwa 2000 Meter Tauchtiefe, erhält das Fahrzeug 1973 statt der Stahlkabine eine Druckkapsel aus Titan. Es kann dadurch zunächst 4000 und nach weiteren Umbauten 1994 bis 4500 Meter tief ins Meer vordringen. Demnächst soll der Veteran womöglich für 6000 Meter aufgerüstet werden – aus Prestigegründen. »Wir wollen an der Spitze sein, so einfach ist das«, sagt der Direktor der Woods Hole Oceanographic Institution, die die »Alvin« betreibt

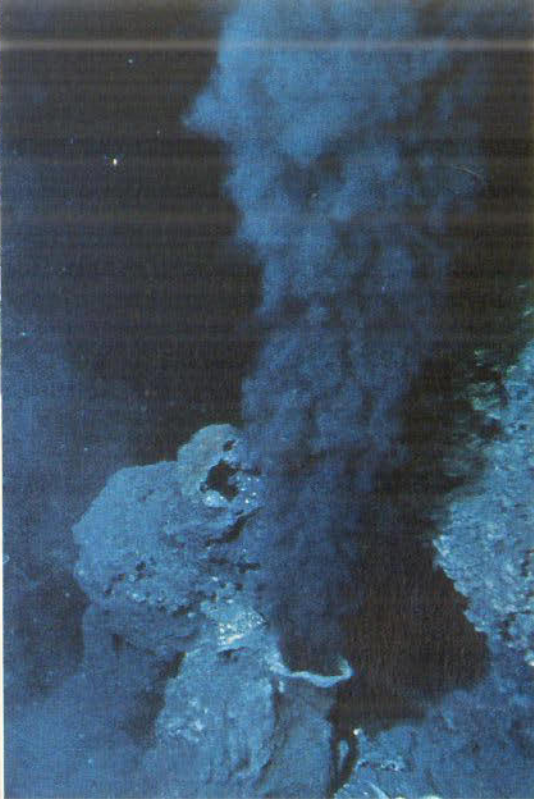
1966

»Alvin« und ein Navy-Roboter bergen eine amerikanische Wasserstoffbombe, die nach einer Flugzeugexplosion vor der spanischen Küste ins Mittelmeer gestürzt ist



1974

Ein französisch-amerikanisches Forschungsteam taucht südwestlich der Azoren in einen Graben des mittellatlantischen Rückens. Es findet dort völlig unerwartet frische Lava, die zwischen den auseinanderstrebenden Kontinentalplatten aufsteigt und neuen Meeresboden bildet



1977

stößt die »Alvin« nahe der Galápagos-Inseln, knapp 2500 Meter unter dem Meeresspiegel, auf heiße Quellen. Um diese herum gedeiht eine Vielzahl völlig unbekannter Arten von Bakterien, Würmern, Krebsen und Fischen. Die aufsehenerregende Entdeckung dieser Tiefsee-Oasen ist der Anfang einer neuen Forschungsrichtung: 1979 sichteten Wissenschaftler durch die Luken der »Alvin« »Schwarze Raucher«, Türme aus Mineralienablagerungen, aus denen 350 Grad heißes Wasser strömt und die ebenfalls eine charakteristische Lebensgemeinschaft unterhalten. 1984 macht das amerikanische Tauchboot im Golf von Mexiko kalte Quellen aus, besiedelt wiederum von einem ähnlichen Artenspektrum

1982

Die Vereinten Nationen verabschieden die Internationale Seerechtskonvention. Sie erklärt die Mineralien des Meeres zum Erbe der gesamten Menschheit. Der Vertrag tritt 1994 in Kraft



1985

Robert Ballard (Foto links) spürt das Wrack der »Titanic« auf. Die kommerzielle Ausschachtung des zerrissenen Stahlrumpfes verstärkt den Mythos um den Luxusliner. Ein Film, aufgenommen von russischen Tauchbooten, bringt 1991 den Schiffstorso erstmals auf die Leinwand. Eine Wanderausstellung mit Wrackteilen und persönlichen Fundstücken fasziniert die Massen. Die Vermarktung des Unglücks gipfelt in der erfolgreichsten Verfilmung der Schiffskatastrophe durch James Cameron 1997

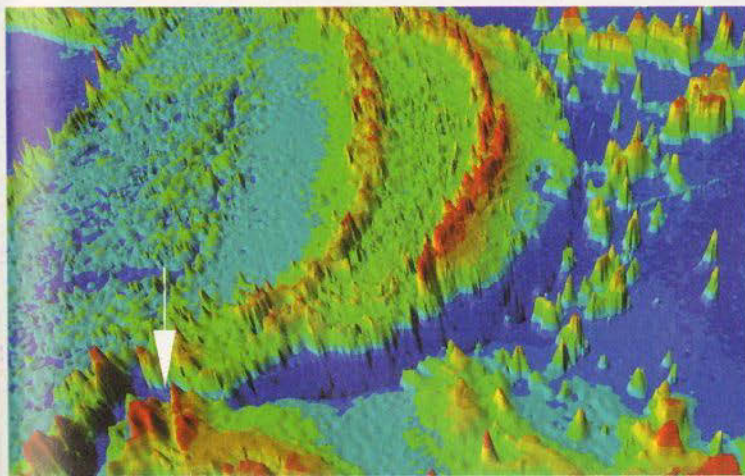


1988

Die Sowjetunion beteiligt sich mit zwei Tauchbooten, »MIR-1« (Foto links) und »MIR-2«, am Wettlauf in die Tiefe. Bereits 1985 ist das Französische Forschungsinstitut zur Nutzung der Meere (Ifremer) mit der »Nautile« (Foto links unten) ins Rennen eingestiegen. Die drei Fahrzeuge erreichen eine Tiefe von 6000 Metern. Als jüngste Entwicklung der Flotte bemannter Tauchvehikel läuft 1989 die japanische »Shinkai 6500« vom Stapel. Sie verschiebt die Leistungsgrenze um weitere 500 Meter nach unten. Forscher wollen damit jene Zone erkunden, in der vor Japans Ostküste viele verheerende Erdbeben entstehen

1990

Nach dem Ende des Kalten Krieges stellt die US-Navy bislang geheime Militärtechnik für zivile Forschung zur Verfügung. Dank eines weltweiten Netzes hochempfindlicher Unterwassermikrofone können Wissenschaftler nun auf eine umfassende Weise Wale belauschen und Ausbrüche unterseeischer Vulkane verfolgen



1995

Am 24. März taucht der japanische Roboter »Kaiko« 10 911 Meter und 40 Zentimeter ins Challengerief des Marianengrabs (Pfeil) hinab. In diesem Jahr veröffentlicht die US-Navy

auch Gravitationswerte der Erde, die ursprünglich die Zielgenauigkeit amerikanischer Interkontinentalraketen verbessern sollten. Ozeanographen erstellen daraus einen Meeresboden-Atlas von enormer Präzision: Er zeigt die Topographie mit einer Auflösung von sechs Kilometern



1998

Deutschen und amerikanischen Wissenschaftlern gelingt es unabhängig voneinander, jeweils bis zu zwei Meter hohe Mineralienschlote, »Schwarze Raucher«, vom Ozeangrund zu bergen. Die australische Firma Nautilus Minerals sichert sich Abbaurechte für 5000 Quadratkilometer Meeresboden vor Neuguinea. Dort liegen Erze mit hohen Kupfer-, Silber- und Goldgehalten. Die Uno fürchtet zunehmend einen Raubbau in der Tiefsee und will ein System von Schutzgebieten einrichten



1999

Der neue Ifremer-Tauchroboter »Victor 6000« holt bei einer Fahrt in die Grönlandsee im Auftrag des Bremerhavener Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung Bodenproben aus 5500 Meter Tiefe



ERDGESCHICHTE

DAS AUFGETÜRMTE

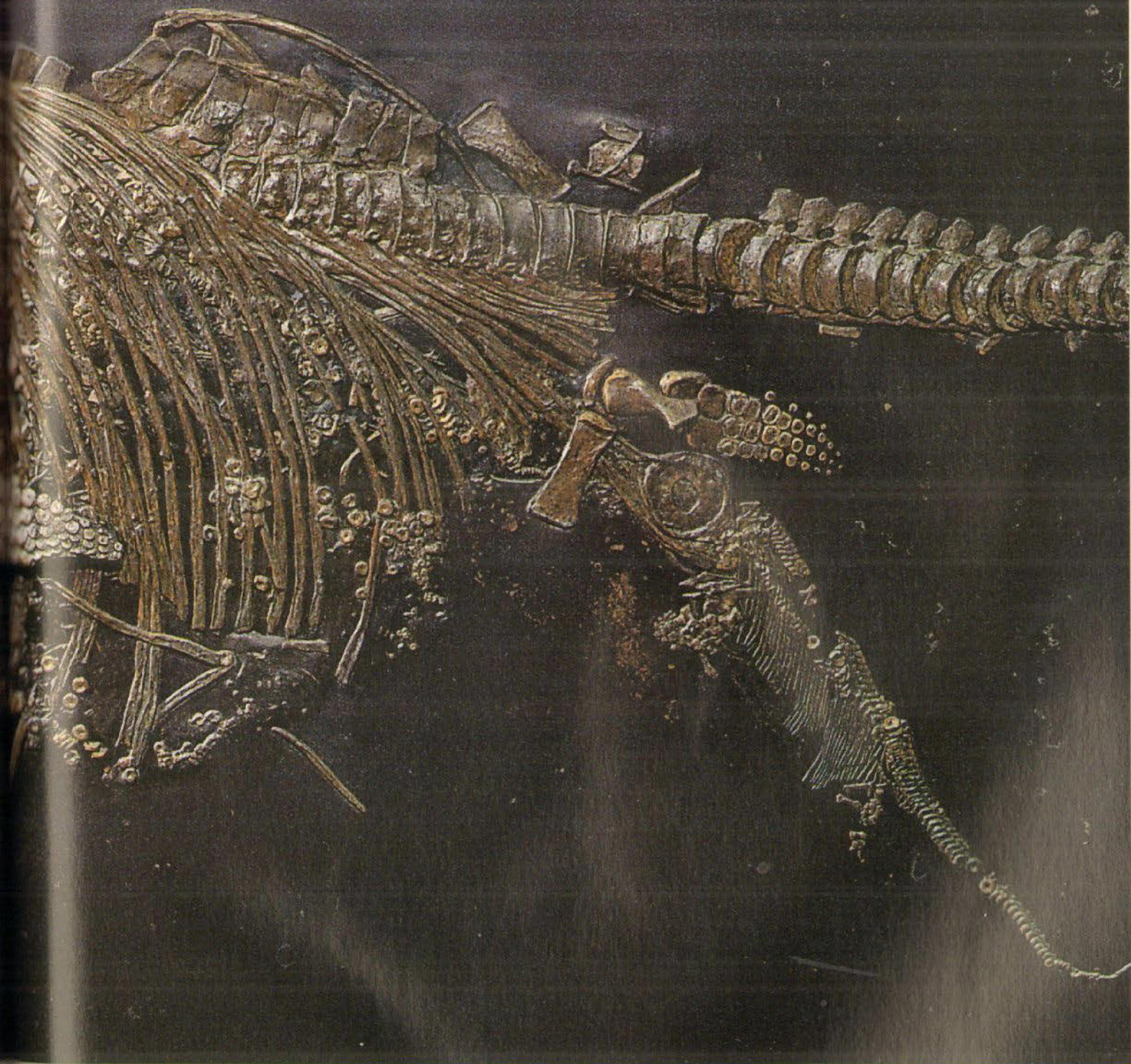
WORÜBER EINST WELLEN WOGTEN, DAS RAGT HEUTE IN DIE WOLKEN. WIE DIE SÜDTIROLER DOLOMITEN SIND WELTWEIT GEBIRGE ODER AUCH FELSIGE WÜSTEN VOM GRUND DES OZEANS GESTIEGEN – EMPORGEDRÄNGT DURCH DIE GEWALTIGEN KRÄFTE IM INNEREN DER ERDE



MEER



FISCHSAURIER IM SCHWABEN



LAND

Aus den Ölschiefer-Lagerstätten im schwäbischen Holzmaden kam dieses zwei Meter lange Ichthyosaurier-Weibchen zutage, das sterbend noch ein Junges gebär. Ein Pracht-

stück unter den Holzmadener Funden ist auch die filigrane Seelilie – ein marines Tier, dessen Kelche auf meterhohen Stielen sitzen. Die schwarzen Steinplatten sind

entstanden aus Faulschlamm am Grund eines abgeschlossenen Meeresbeckens

Wir gehen einer wallenden See entgegen, deren Ufer wir nie erreichen: Ständig zerrinnt das Blau vor uns und fließt in der Ferne neu zusammen. Nur handballgroße schwarze Kugeln, die auf der vermeintlichen See tanzen, bleiben schwer vor unseren Füßen liegen. Es sind „Loboliten“ – versteinerte Schwemborgane von Seelilien, die vor 500 Millionen Jahren hier lebten. Auch die meterlangen, längst zerbrochenen Stiele und die darauf kelchförmig angeordneten Fangarme dieser Meerestiere bedecken zuhauf die Felswüste.

Das Blau des Himmels, das sich auf der heißen Luftschicht über dem Boden der Sahara in Südost-Marokko spiegelt, suggeriert gleichsam die fortwährende Existenz jenes Ur-Ozeans, in dem die bizarren Kreaturen einst mit den Strömungen drifteten.

Daß unsere Expedition heute den ehemals schlammigen und sandigen Grund des Meeres trockenen Fußes überquert, ist eine Folge der ungeheuren Dynamik der vermeintlich festgefühten Erdkruste. Deren riesige Platten hoben und senkten sich über Jahrmilliarden hinweg vielfach – aus Meer wurde Land, wurde Meer, wurde Land... Und das nicht nur in Afrika. Relikte von Meeresgetier finden sich sogar, wie Bergsteiger immer wieder verwundert berichten, weltweit auf den höchsten Gipfeln. Denn dort, wo ozeanische und kontinentale Schollen kollidieren, falten sie sich zu gewaltigen Massiven auf.

Steinernen Seiten eines erdgeschichtlichen Tagebuchs gleich liefern die Schicht um Schicht abgelagerten Skelette, Schalen und Panzer von Meereskreaturen unerschöpfliche Informationen über die Vergangenheit unseres Planeten – insbesondere über die Entwicklungsgeschichte des Lebens. Das meiste, das heute über die Evolution bekannt ist, haben Forscher aus marinen Sedimenten abgeleitet.

Mit meinen Begleitern, Paläontologen der Universität Hamburg, schreite ich über die Höhenstufen des Wüstengebirges wie auf einer riesigen Treppe

durch die Erdgeschichte. Auf der Ebene des Silur belegen Strömungsrippeln die einstige Existenz eines küstennahen Wattenmeeres. Der zu Stein verfestigte Schlick offenbart feinste Details – etwa, wie sich vor 420 Millionen Jahren Würmer bei der Nahrungssuche durch den Boden gewühlt haben. Ähnlich heutigen Wattwürmern haben sie in regelmäßigen Abständen den unverdaulichen Sand in kleinen Häufchen ausgeschieden. Daneben finden sich filigrane Kriechspuren von Schnecken und Trilobiten, urtümlichen Gliederfüßern.

Doch unser eigentliches Ziel erhebt sich mehrere Stufen darüber: ein halbes Dutzend zuckerhutförmiger Felsen. Als wir die massiven Kegel erreichen, wird offenbar, daß sie sich aus unzähligen Verästelungen und Knollen unterschiedlichster Korallen zusammensetzen. Diese haben hier vor fast 400 Millionen Jahren, im Devon, inmitten eines tropisch warmen Meeres ein gewaltiges, atollähnliches Riffsystem errichtet. Obwohl das marine Bauwerk seit Jahrmillionen den Kräften der Verwitterung ausgesetzt ist, hat es diesen, im Gegensatz zu den Ablagerungen außenherum, widerstanden; denn es besteht aus einem besonders harten kristallinen, Dolomit genannten Kalk.

Noch heute sind alle Lebenszonen im Riff, aber auch um das Riff, detailliert zu studieren. In den Sedimenten, die sich im offenen Meer vor der immensen Formation bildeten, wimmelt es von Tausenden unterschiedlicher Tiere. Farbenprächtige spiralförmige Gehäuse von Goniatiten und langgestreckte

von Orthoceren – beides entfernte Vorfahren heutiger Tintenfische – hat der unablässig blasende sandbeladene Wind hochglanzpoliert. In ehemaligen Strömungsrinnen liegen klotzige Schädel urtümlicher Panzerfische.

Die Außenskelette von Trilobiten haben sich hier in solchen Massen angesammelt, daß sie stellenweise drei Meter mächtige Bänke bilden. Staunend betrachte ich mit der Lupe die über Jahrmillionen bis ins kleinste Detail erhaltenen Facettenaugen dieser Gliederfüßer. Blind starren die von durchscheinenden Quarzkristallen ersetzten Linsenkörper heute in die Wüste.

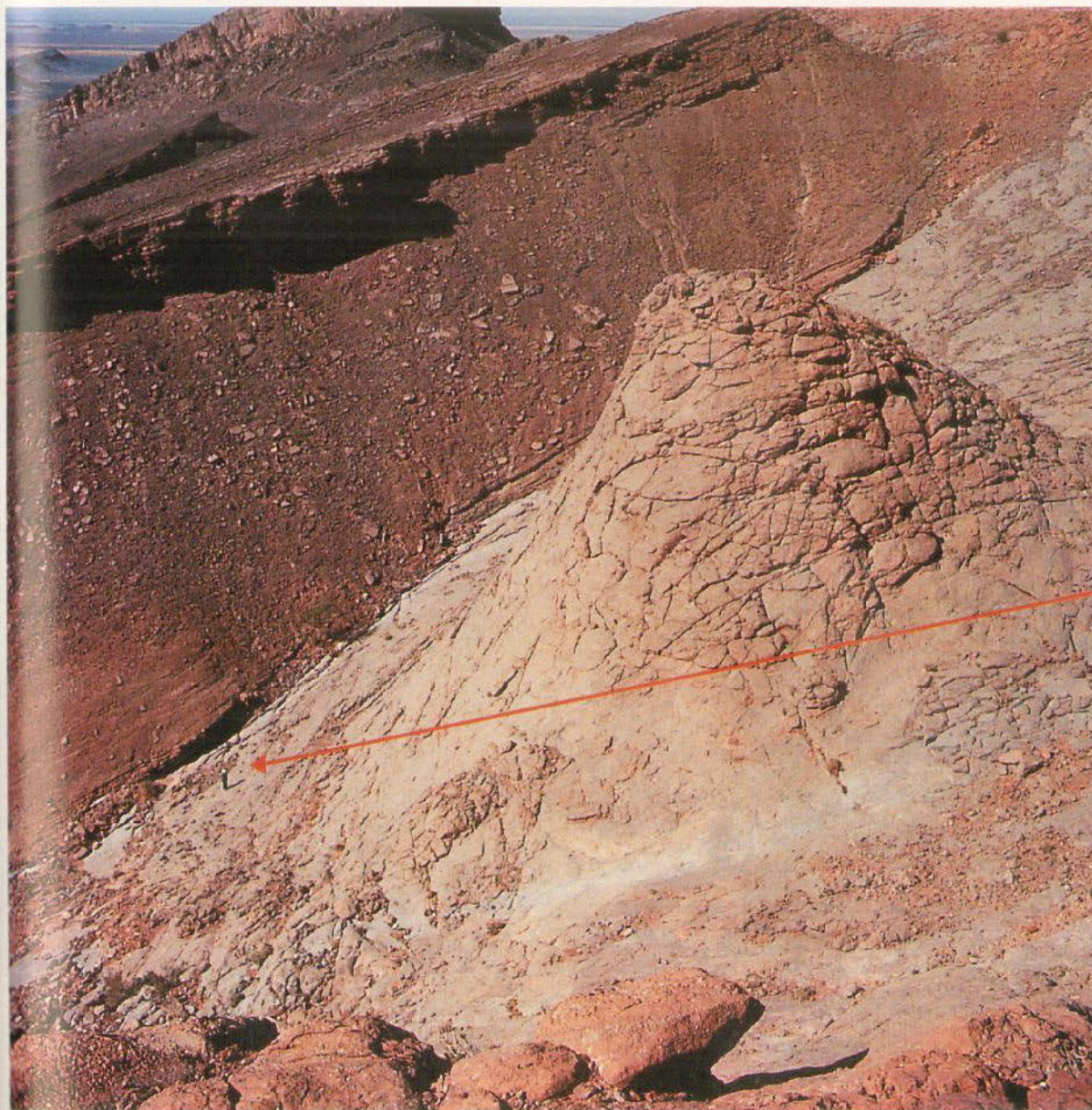
Am Fuß der kompakten Wand entdecken wir das Rübenriff, so benannt nach den etwa fünf Zentimeter langen rübenförmigen Einzelkorallen, die hier ihren Lebensraum hatten. Wo die Kalkskelette noch im Sediment eingebettet sind, weisen sie fast alle in dieselbe Richtung – und zwar in die der einstigen Strömung. Dank dieser tierischen Baumeister können Paläontologen die Zirkulationen am Grund längst vergangener Meere rekonstruieren.

Darüber hinaus bildet jede Einzelkoralle quasi einen Kalender, an dem sich Erstaunliches über die Vergangenheit ablesen läßt: Diese Hohltiere, die noch heute in warmen Meeren vorkommen, bauen ihr Kalkskelett im Rhythmus der Jahreszeiten auf. Diese spiegeln sich in einer Folge von Wülsten und Einschnürungen wider – entsprechend den Jahresringen von Bäumen.

Unter dem Mikroskop offenbart sich, daß jeder Jahresring zusätzlich in Ta-



Über Millionen Jahre hinweg blieb das Facettenauge eines Trilobiten – hier mit dem Rasterelektronenmikroskop aufgenommen – detailgenau erhalten

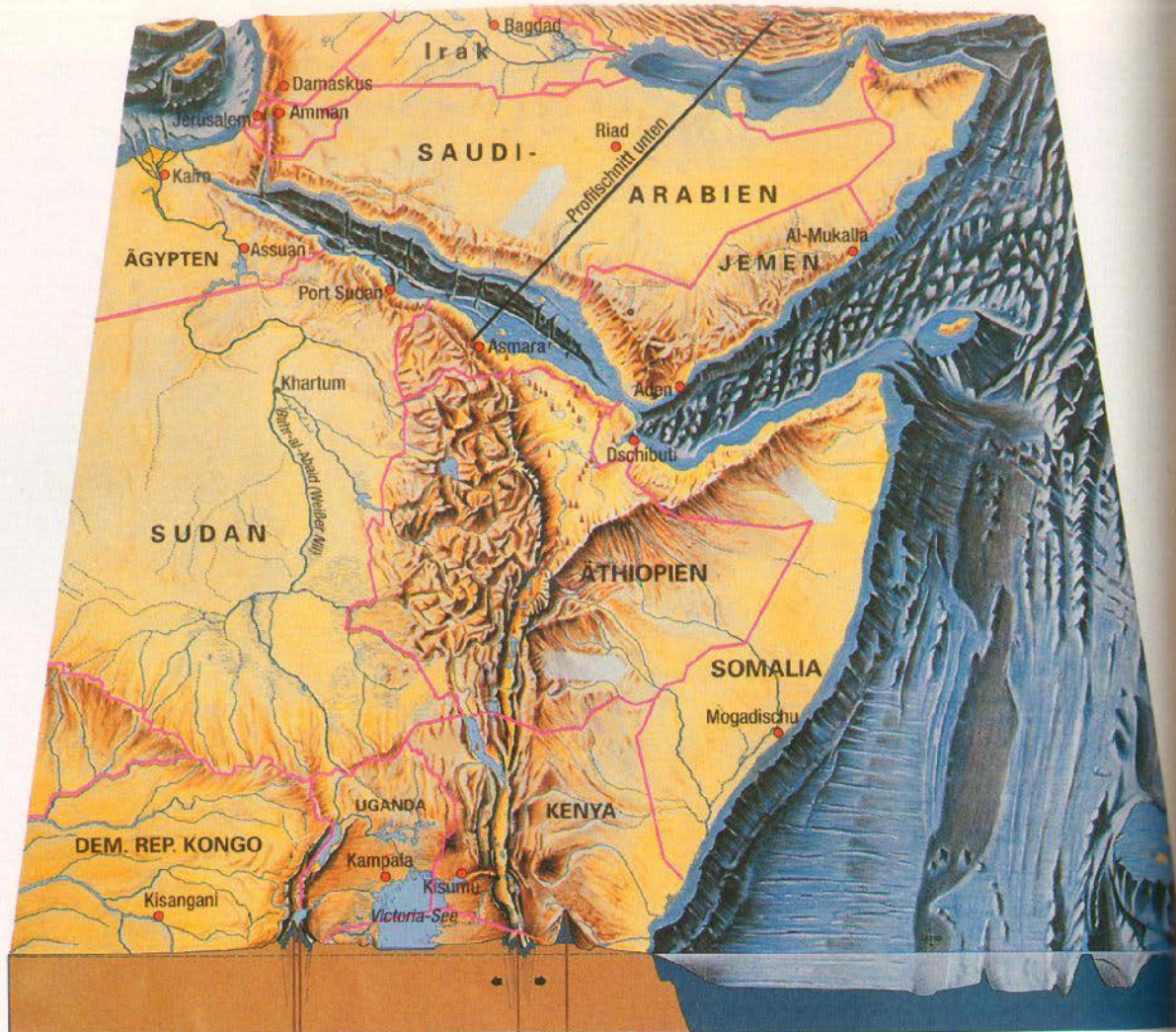


In Südost-Marokko hat die Erosion unter dunkelbraunen, schräg verkippten Meeresedimenten den Kegel eines Korallenriffs freigelegt. An dessen Fuß kann eine **Forscherin** mit bloßem Auge die verästelten Skelette der tierischen Baumeister (Foto links unten) erkennen. In den umgebenden Sedimenten finden sich gewundene Gehäuse von Goniatiten und geradlinige von Orthoceren – beides entfernte Vorfahren heutiger Tintenfische

KORALLEN IN DER SAHARA

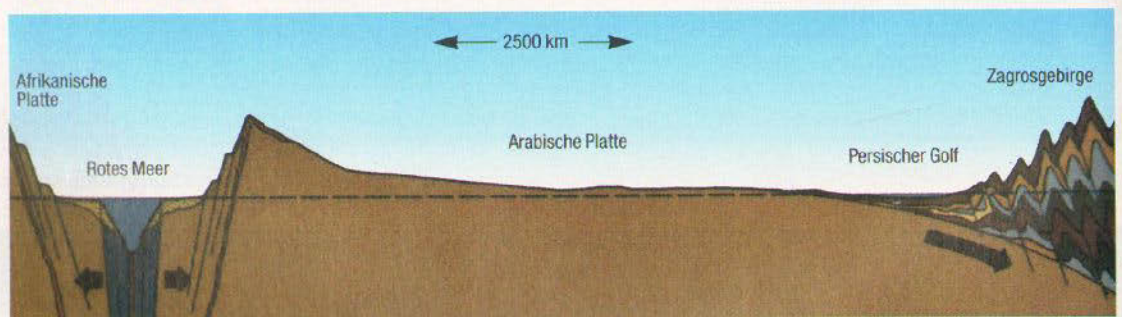


Das Rote Meer, der Golf von Aden und der afrikanische Grabenbruch zeigen einen gewaltigen sternförmigen Riß in der Erde an, der sich im Norden zu einem neuen Ozean weitet. Dort, im Roten Meer, drängt Basalt empor und bildet neue Kruste



ZEUGNIS VON DER GEBURT EINES OZEANS

Die Arabische Platte preßt den Persischen Golf zusammen. Dessen Boden wird dabei unter den asiatischen Kontinent gedrückt, der sich am Rand zu einem Gebirge aufaltet



gesringe unterteilt ist. Denn bei Anbruch der Nacht stoppt das Tier seine Kalkproduktion und nimmt sie erst am Morgen wieder auf. Als Forscher diese Marken bei fossilen Einzelkorallen auszählten, ergab sich ein verblüffendes Ergebnis: Vor nahezu 400 Millionen Jahren hatte ein Jahr 395 Tage. Da die Umlaufzeit der Erde um die Sonne sich

in der Zwischenzeit nicht verändert hat, bedeutet dies, daß die Tage damals kürzer waren, und zwar um zwei Stunden. Das wiederum liegt daran, daß die Erde sich einst schneller um ihre Achse drehte als heute. Physiker können diese Verlangsamung erklären: Die Gravitation des Mondes, die das Wasser der Ozeane anzieht und so das Auf und Ab der

Gezeiten verursacht, und Fliehkräfte wirken als Rotationsbremse. Ebbe und Flut lassen die Meere gewissermaßen immer auf der Erde-Mond-Achse ausbeulen, und der Zusammenprall der Küsten mit den Flutbergen bewirkt, daß die Erde sich immer langsamer dreht.

Die Kräfte, die uns dieses faszinierende Fenster in die Urzeit öffnen, ha-



Schwarzes Gestein auf der Satellitenaufnahme von der Küste Omans bildete einst den Boden des Persischen Golfs. Die ozeanischen Basalte sind auf die nach Nordosten driftende Arabische Platte aufgeschoben worden

ben ihren Ursprung tief in der Erde. Der Unterbau der Sahara besteht wie der aller Kontinente aus Graniten. Diese Urgesteine wurden vor über einer Milliarde Jahren durch Faltungen der Erdkruste und magmatische Vorgänge zu einer riesigen, weitgehend starren Platte zusammengebacken. Doch mächtige Strömungen im darunterliegenden hei-

ßen, zähplastischen Erdmantel ließen die Scholle in ein Mosaik kleinerer Stücke zerbrechen. Einige Einzelplatten wurden dabei emporgehoben, andere sanken so tief ab, daß sie sich mit Seewasser füllten.

Oft überfluteten Meere 50 bis 60 Millionen Jahre lang die saharischen Becken. Sand, Schlamm und Schutt-

massen, durch Wind und Flüsse vom damaligen Festland eingetragen, lagerten sich zusammen mit den Schalen von Meereslebewesen auf dem Grund der flachen Ozeane ab. Die Sedimente verfestigten sich zu mehreren hundert Meter dicken Gesteinsschichten. Die gleichen Kräfte, die wiederholt große Teile Afrikas hatten absinken lassen, hoben sie eines Tages auch wieder empor. Die Meere wichen zurück oder trockneten aus. Über ihren Sedimenten setzten sich Ablagerungen des Festlands ab, etwa Sandwogen aus wüstenhaften Klimaphasen – und in der nächsten Epoche folgten wiederum Meeressedimente.

Manche Gebiete der Sahara sind bis heute achtmal überflutet worden und wieder trockengefallen. So legte sich Schicht um Schicht übereinander, wie bei einem Sandwich, mindestens 600 Millionen Jahre lang. Mit ihrem enormen Gewicht sanken die Sedimentationsbecken in das zähflüssige Magma des Erdmantels ein, so daß das steinerne Sandwich an einigen Stellen der Sahara bis zu 6000 Meter dick geworden ist.

Beim Auf und Ab zerbrachen die Schichtformationen jedoch immer wieder in riesige Brocken, die sich gegeneinander verkippten und verschoben. Gegenwärtig überragen diese Sedimentblöcke als inselartige Hochplateaus und Gebirgszüge die weiten Ebenen der Sahara. Eines der eindrucksvollsten Beispiele für diese Vorgänge konnte ich kürzlich auf einer Expedition in den Tschad studieren. Dort erheben sich die steilwandigen marinen Klötze des entlegenen und wenig erforschten Ennedi-Gebirges bis zu 1450 Meter hoch, und ihre Oberfläche ist stellenweise mit versteinertem Meeresgetier geradezu gepflastert.

Die Sahara birgt indes nicht nur fossile Organismen als Reminiszenzen an frühere Ozeane, sondern auch urzeitliches Wasser selbst. Im Jahre 1947 entdeckte der französische Hydrogeologe Justin Savornin in Algerien einen – wie er es nannte – „appareil hydraulique“, ein Grundwasserreservoir, fast doppelt so groß wie Deutschland, mit einem geschätzten Inhalt von mehreren Milliarden Kubikmetern.

Der Fund löste sofort wilde Spekulationen über die mögliche Nutzung die-



DEUTSCHLANDS NASSE VERGANGENHEIT

In den Steinbrüchen von Solnhofen entdeckten Arbeiter beim Spalten von Kalkplatten fossile, ehemals mit Schuppen gepanzerte Meeresfische. Die Lagerstätten im Altmühltal gaben reiche Funde frei – 700 Tierarten aus der Zeit des Oberjura. Damals bedeckte ein Randmeer des Tethys-Ozeans weite Teile Süddeutschlands. Auch davor und danach stand Mitteleuropa wiederholt unter Wasser. Aus der Epoche des Zechstein etwa stammen mächtige Salzstöcke wie der von Gorleben



ZECHSTEIN (VOR 260 MILLIONEN JAHREN)



UNTERJURA (VOR 200 MILLIONEN JAHREN)



Beim Straßenbau nahe der peruanischen Küste südlich von Nazca haben Bagger in 200 Meter Höhe zwischen Vulkanasche-Schichten Muschelbänke angeschnitten. Fast unzerstört sind die Schalen beim Emporwachsen der Anden mit angehoben worden



MUSCHELBÄNKE IN DEN ANDEN

ser Vorräte aus. Visionäre wollten die Sahara unverzüglich in einen riesigen Gemüsegarten verwandeln. Das Grundwasser bildet jedoch keineswegs ein unterirdisches Meer, das sich so einfach anzapfen ließe. Vielmehr füllt es in der Sahara wie fast überall auf der Erde ausschließlich Poren und Klüfte jener Gesteine, die den oberen Bereich der Erdkruste ausmachen.

Doch je mehr Informationen die Hydrogeologen seit Sarvornins Entdeckung erbohrten, desto ernüchterter wurden die Bewässerungs-Enthusiasten. Denn selbst das süßeste Grundwasser enthält noch so viel Salz, daß es – sofern damit bewässert würde – angesichts der enormen Verdunstung in der Wüste in nur wenigen Jahren auf den Feldern dicke Krusten hinterließe. Eine andere Gefahr droht inzwischen weiter im Norden, an der afrikanischen Küste, tatsächlich. Durch Raubbau an lokalen fossilen Süßwasservorkommen ist deren Niveau so weit gesunken, daß vom Mittelmeer her Seewasser in die leeren Speichergesteine eindringt. Aus vielen Brunnen fließt daher nur noch Salzwasser.

All jene vielfältigen Zeugnisse urzeitlicher Meere in der Sahara sind keinesfalls eine regionale Besonderheit.

Auch dort, wo heute Deutschland liegt, dehnten sich wiederholt Ozeane. So drang vor rund 260 Millionen Jahren das Zechstein-Meer von Norden in weite Teile Europas vor. Als es austrocknete, hinterließ es bis zu 1000 Meter mächtige Salzflöze, die unter anderem den Salzstock von Gorleben bilden. Im Unterjura sanken Fische zuhauf auf den Grund einer See, die weitflächig Mitteleuropa überflutete. Die Relikte der Tiere tauchten zum Beispiel in Holzmaden wieder auf. Im Oberjura, vor etwa 150 Millionen Jahren, erstreckte sich in Süddeutschland eine Lagune des Tethys-Weltmeeres. In den berühmtesten Fundgebieten dieser Epoche, den Plattenkalken von Solnhofen und Eichstätt, kamen mehr als 700 Tierarten zutage, darunter Tintenfische, Quallen und der Urvogel *Archaeopteryx*.

Meist bleiben die Fossilien jedoch unter der Vegetation verborgen, nur selten sind sie in Steinbrüchen erschlossen. Am häufigsten öffnet sich der Blick in die Urzeit eben in Wüsten – und auf den kahlen Graten von Hochgebirgen. Wie aber gelangen die Reste mariner Kreaturen auf die Gipfel?

Dort, wo die schweren, basaltischen ozeanischen Erdkrustenplatten unter



URJURA (VOR 150 MILLIONEN JAHREN)

die Kontinente abtauchen und wieder aufschmelzen, werden die auf ihnen mitdriftenden, spezifisch leichteren Sedimente quasi abgehobelt und stranden. Die in diesen Zonen vorherrschenden vulkanischen Kräfte verbacken das steinerne Treibgut dann mit dem Festland.

Auch Charles Darwin wurde auf seiner Weltreise mit dem Forschungsschiff „Beagle“ Zeuge dieses Phänomens. In Chile nördlich von Valdivia erlebte er ein heftiges Erdbeben. Durch die Erschütterung hatte sich, so stellte er fest, die Küstenlinie gehoben. An einer Stelle fand die Schiffsmannschaft massenweise faulende Muscheln. Sie hafteten noch auf dem felsigen Untergrund, befanden sich jetzt aber mehr als drei Meter über der höchsten Wasserstandslinie. In den Anden, unter die sich die Nazca-Platte schiebt, entdeckte Darwin sogar weit ältere Muschelbänke, zunächst in 300 Meter und dann sogar in 4200 Meter Höhe.

Ich selbst habe vor einigen Jahren hoch in den kanadischen Rocky Mountains einen Steinbruch besucht, der eine einzigartige Einsicht in den Ur-Ozean vor 600 Millionen Jahren bietet. Im „Burgess Shale“ ruhen fossile Lebewesen, zu denen auch unsere allerfernsten stammesgeschichtlichen Vorfahren gehören (siehe GEO Nr. 5/1992).

Bei einem anderen tektonischen Gewaltakt kann sogar der Boden der Tiefsee zu einem Gebirge emporwachsen – bei der Kollision von Kontinentalplatten. Als beispielsweise Afrika nach Norden driftete, schloß sich der alte riesige Meerestrog der Tethys. Und beim Vordringen schob das Krustenelement ein gewaltiges Riff aus dem Ozean in die Höhe: die Dolomiten, die einen bedeutenden Teil der Südalpen ausmachen. Weiter im Osten preßte die ebenfalls nordwärts treibende indische Platte wie ein gigantischer Bulldozer Sedimente, Atolle und Inseln der Tethys zum Himalaya und Tian-Shan-Gebirge zusammen.

Ein aktuelles Beispiel dafür, wie Meeressedimente sich zu kontinentalen Massiven türmen, ist im Nahen Osten zu beobachten: Das Rote Meer zeugt von der Geburt eines neuen Ozeans. An seinem Grund verläuft ein gewaltiger Riß in der Erdkruste, der sich um einige

Zentimeter pro Jahr weitet. Dadurch erhält die Arabische Platte laufend Zuwachs und bewegt sich nach Nordosten. Auf ihrem Weg schiebt sie die Reste eines alten, tektonisch abgestorbenen Ozeans, des Persischen Golfs, zusammen. Dessen Boden wird dabei unter die Eurasische Scholle gedrückt und staucht beim Abtauchen den Rand des Kontinents. Die Ketten des Zagrosgebirges im Iran und die dort häufigen Erdbeben belegen diese Unterwanderung.

Die mächtigen Sedimentschichten, die sich während langer Zeit im Golf abgelagert haben, sind indes zu leicht, um im Erdmantel zu versinken. Sie werden im schweren basaltischen Untergrund zu Füßen des Zagrosgebirges zusammengequetscht und Salzeinlagerungen zu mächtigen Domen emporgepreßt. Diese bilden undurchlässige Schichten, unter denen sich das ebenfalls in den Sedimenten enthaltene Erdöl sammelt – immerhin die größten irdischen Lagerstätten dieses fossilen Energieträgers.

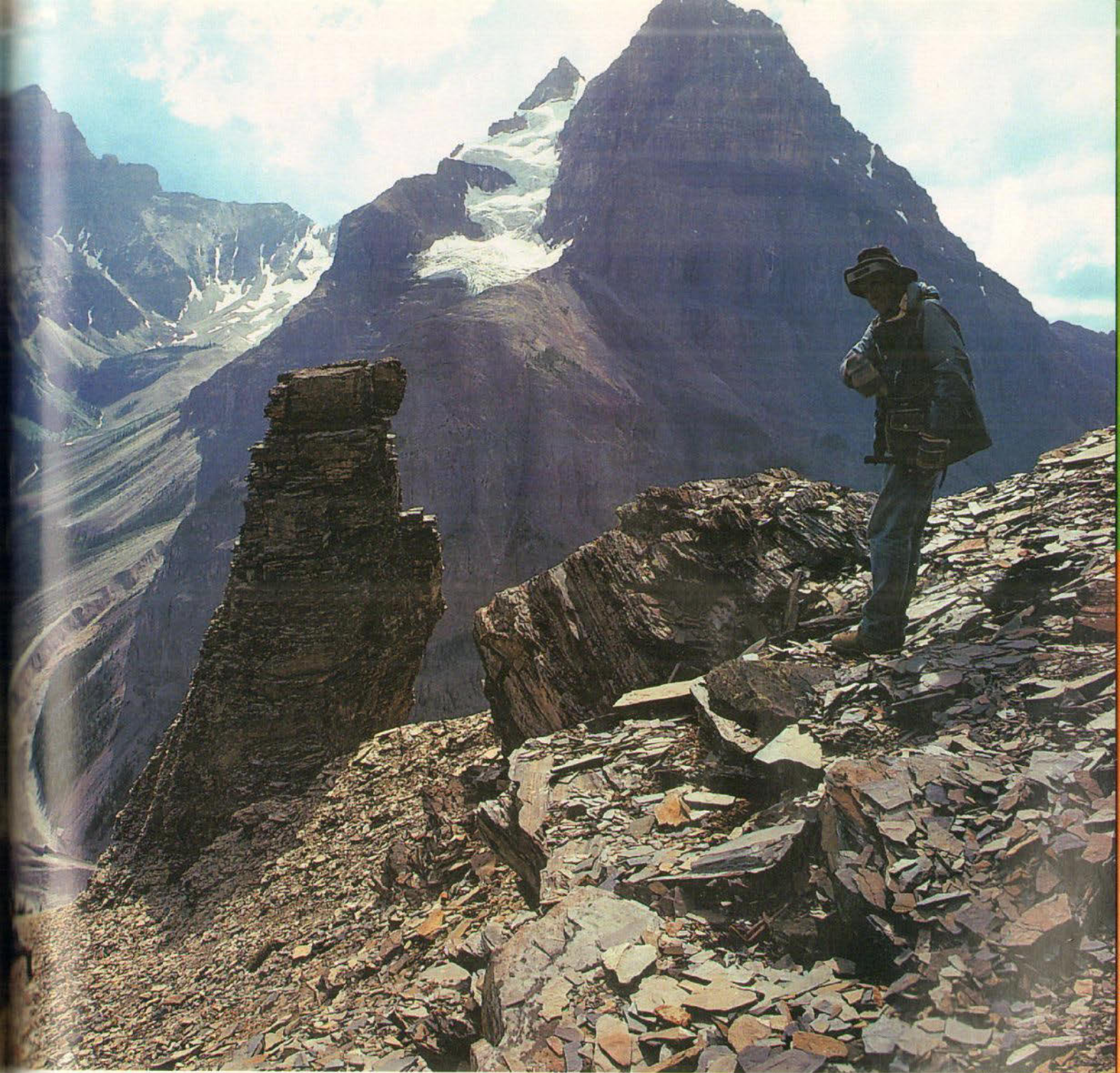
In etwa zehn Millionen Jahren wird die Arabische Platte den Persischen Golf völlig geschlossen haben. Wie in der Gegenwart die Indische, so wird sich auch die Arabische Scholle noch ein Stück weit in den asiatischen Kontinent rammen, bis ihre Bewegungsenergie erschöpft ist. An der Schweißnaht der Krustenteile wird sich dann ein hohes Faltengebirge erheben.

Die Ozeane nagen also nicht nur beständig an den Küsten, sondern die vielfältig in ihnen lebenden Organismen schaffen auch neues Land. Über undenkliche Zeiten haben sie durch den Aufbau von Skeletten und Schalen Gigatonnen an Kalkgestein produziert. Gefaltet und getürmt, bildet dieser marine Baustoff einen beträchtlichen Anteil der Kontinente – gut 30 Prozent.

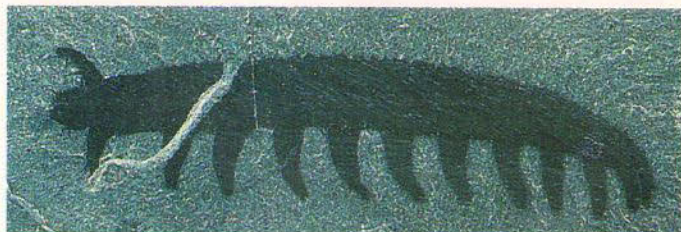
Und nach wie vor wogen die steingewordenen Meere im Rhythmus der Gezeiten. Denn die Anziehungskraft des Mondes hebt auch die Platten der Kontinente an – ein paar Zentimeter nur, aber immerhin.

GEO-Redakteur **Uwe George**, 59, hat über die Jahre hinweg die meisten Regionen, an denen Relikte urchiniger Meere spektakulär zutage treten, selber bereist.





EIN FENSTER ZUM UR-MEER IM HOCHGEBIRGE



In den kanadischen Rocky Mountains fanden Forscher in Sedimentgesteinen, die sich vor 600 Millionen Jahren auf dem Grund des Ur-Ozeans abgelagert und später bis zu 4000 Meter hoch aufgetürmt haben, eine Vielzahl bizarrer Fossilien. Kreaturen wie die fünf Zentimeter lange *Aysheaia* dokumentieren eine Evolutionsphase, in der bei einer Art Urknall viele neue Körperbaupläne entstanden sind

Die ganze Welt in **GEO** – für Sie selbst oder als Geschenk!



Ihr Dankeschön! **Das Multi-Tool**

Robustes Multifunktionswerkzeug mit 6 austauschbaren Kreuz- und Schlitzschraubendreher-Aufsätzen, Zange, Säge, Feile, Messer sowie Flaschen- und Dosenöffner aus rostfreiem Edelstahl. Verpackt in einem schwarzen Nylonetui mit Gürtelschnalle. (ca. 17 x 6 x 1,3 cm)

Gratis!



Ihre Abo-Vorteile:

✓ Sie sparen im Abo rund 14% gegenüber dem Einzelheft-Kauf.

✓ Sie können Ihr Abonnement jederzeit kündigen.

✓ Wir verschicken jedes Heft einfach und bequem frei Haus.

✓ Unser Dank für Ihre Bestellung: Das Multi-Tool gratis.



GEO
WISSEN-KALENDER 2000

6 x GEOLino und der GEOLino-Kalender „Verrückt & Abgedreht“ jetzt zum tollen Kombi-Preis von **zusammen nur DM 49,80** (Sie sparen DM 17,30)

GEO-Shop



GEO WISSEN-Kalender 2000: INNEN-WELTEN

Winzige Lebewesen, mikroskopisch kleine Kristalle oder auch menschliche Nervenzellen eint ein Schicksal: Sie sind verkannte Schönheiten. Den Beweis dafür präsentiert der neue GEO WISSEN-Kalender.

Gleich auf der Rückseite ankreuzen.

Bitte mit
DM 1,-
freimachen
oder faxen
an:
07132 / 96 91 91

Antwort

GEO
Versandservice
Postfach 600
74170 Neckarsulm

☒ **Ja**, ich bestelle die unten angekreuzten Artikel. Als Dank für mein Interesse erhalte ich das Multi-Tool gratis*.

Anschrift des Bestellers:

Name, Vorname des Bestellers (Bitte auf jeden Fall ausfüllen!)

Straße, Nr.

PLZ

Wohnort

Nur GEOLino ☐ für mich (18880) ☐ als Geschenk (18881)
erscheint 6 x jährlich zum Preis von z. Zt. DM 4,90 pro Heft.

GEOLino-KOMBI ☐ für mich (18878) ☐ als Geschenk (18879)

6 GEOLino-Hefte und der GEOLino-Kalender 2000 „Verrückt & Abgedreht“ zum Kombi-Preis von zusammen DM 49,80 (Gesamtersparnis DM 17,30)

* Leider können wir pro Besteller nur eine Zugabe verschenken. Sie können das Multi-Tool in jedem Fall behalten.

Anschrift des Geschenkempfängers:

Name, Vorname des Geschenkempfängers

Straße, Nr.

PLZ

Wohnort

gewünschte Zahlungsweise:

☐ Ich zahle bequem per Bankeinzug.

Bankleitzahl

Kontonummer

Geldinstitut

☐ Ich zahle gegen Rechnung.

Bitte keine Vorauszahlung leisten. Rechnung abwarten. Preise für Lieferung ins Ausland auf Anfrage.

Datum

☒ 1. Unterschrift des Bestellers

Widerrufsrecht: Diese Bestellung kann ich beim GEO-Leserservice, 20080 Hamburg, innerhalb einer Woche schriftlich widerrufen. Die Frist beginnt einen Tag nach Absendung der Bestellkarte. Zur Wahrung der Frist reicht die rechtzeitige Absendung des Widerrufs.

☒

2. Unterschrift des Bestellers

☒ **Ja**, ich bestelle die unten angekreuzten Zeitschriften. Als Dank für mein Interesse erhalte ich das Multi-Tool gratis*.

Anschrift des Bestellers:

Name, Vorname des Bestellers (Bitte auf jeden Fall ausfüllen!)

Straße, Nr.

PLZ

Wohnort

GEO WISSEN ☐ für mich (18797) ☐ als Geschenk (18798)
erscheint 2 x jährlich zum Preis von z. Zt. DM 13,50 pro Heft.

GEO SAISON ☐ für mich (18876) ☐ als Geschenk (18877)
erscheint 10 x jährlich zum Preis von z. Zt. DM 7,50 pro Heft.

GEO SPECIAL ☐ für mich (18874) ☐ als Geschenk (18875)
erscheint 6 x jährlich zum Preis von z. Zt. DM 12,80 pro Heft.

GEO ☐ für mich (18799) ☐ als Geschenk (18800)
erscheint 12 x jährlich zum Preis von z. Zt. DM 9,50 pro Heft.

* Leider können wir pro Besteller nur eine Zugabe verschenken. Sie können das Multi-Tool in jedem Fall behalten.

Anschrift des Geschenkempfängers:

Name, Vorname des Geschenkempfängers

Straße, Nr.

PLZ

Wohnort

Befristung des/der Geschenkabos.

☐ jederzeit kündbar ☐ limitiert auf 12 Monate

gewünschte Zahlungsweise:

☐ Ich zahle bequem per Bankeinzug.

Bankleitzahl

Geldinstitut

Kontonummer

☐ Ich zahle gegen Rechnung. (Bitte keine Vorauszahlung leisten. Rechnung abwarten. Preise für Lieferung ins Ausland auf Anfrage.)

Datum

☒ 1. Unterschrift des Bestellers

Widerrufsrecht: Diese Bestellung kann ich beim GEO-Leserservice, 20080 Hamburg, innerhalb einer Woche schriftlich widerrufen. Die Frist beginnt einen Tag nach Absendung der Bestellkarte. Zur Wahrung der Frist reicht die rechtzeitige Absendung des Widerrufs.

☒

2. Unterschrift des Bestellers

GEO-Shop

Anschrift des Bestellers:

☒ **Ja**, ich bestelle folgende Artikel aus dem GEO-Shop:
(Zutreffendes bitte ankreuzen)

Vorname, Name des Bestellers

Straße, Nr.

PLZ Wohnort

18873

Rückgaberecht: Ich erhalte diese Bestellung für 10 Tage zur Ansicht und habe innerhalb dieser Zeit volles Rückgaberecht. Lieferung erfolgt nur solange der Vorrat reicht. Die Lieferung erfolgt im Inland gegen Rechnung zzgl. eines Versandkostenanteils in Höhe von DM 3,50 pro Bestellung für Hefte bzw. DM 6,50 pro Bestellung für alle anderen Artikel. Ins Ausland erfolgt die Lieferung gegen Vorkasse per Eurocheck zzgl. eines Versandkostenanteils in Höhe von DM 5,- pro Bestellung für Hefte bzw. DM 12,- pro Bestellung für alle anderen Artikel.

Datum: ☒ Unterschrift des Bestellers

GEO-Schuber:

- ☐ Schuber aus Acryl (G 0430) DM 18,50
☐ Schuber aus Hartkarton (G 0412) DM 16,50

GEO-Kalender:

- ☐ GEO WISSEN-Kalender „INNEN-WELTEN“ (K 1460) DM 49,-
☐ GEO-Kalender „Küstenzauber“ (Ab 11. Dezember DM 98,-) (G 1261) DM 84,-
☐ GEOLino-Kalender „Verrückt & Abgedreht“ (G 1262) DM 25,80

GEO-Bücher:

- ☐ Neuf! Die unendliche Reise (Lieferung ab Oktober) (G 0518) DM 98,-
☐ Neuf! Die Planeten (Lieferung ab Oktober) (G 0521) DM 48,-
☐ Millennium (G 0509) DM 69,90
☐ Einheit des Wissens (G 0510) DM 49,90

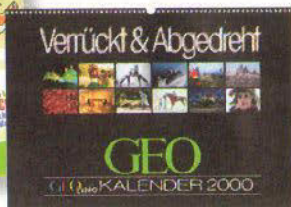
bereits erschienene GEO WISSEN-Hefte:

- Preis je Heft DM 13,50
- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Nahrung & Gesundheit* (K 9421) | <input type="checkbox"/> Kindheit & Jugend* (K 9523) |
| <input type="checkbox"/> Chaos & Kreativität* (K 9303) | <input type="checkbox"/> Körper, Bewegung, Gesundheit* (K 9724) |
| <input type="checkbox"/> Arktis & Antarktis (K 9004) | <input type="checkbox"/> Das 21. Jahrhundert ** (3209501) |
| <input type="checkbox"/> Verkehr & Mobilität (K 9102) | <input type="checkbox"/> Fotografie ** (3209602) |
| <input type="checkbox"/> Die programmierte Natur (K 9103) | <input type="checkbox"/> Die Sinne (K 9701) |
| <input type="checkbox"/> Ärzte, Technik, Patienten* (K 9522) | <input type="checkbox"/> Evolution (K 9802) |
| <input type="checkbox"/> Risiko, Chancen, Katastrophen (K 9201) | <input type="checkbox"/> Sex, Geburt, Genetik (K 9801) |
| <input type="checkbox"/> Intelligenz & Bewusstsein* (K 9420) | <input type="checkbox"/> Pillen, Kräuter, Therapien (K 9301) |
| <input type="checkbox"/> Lernen, Schule, Denken (K 9901) | |
- * Nachdrucke ** als GEO-Extra erschienen

GEOLino



6 x GEOLINO und der GEOLINO-Kalender
jetzt zum tollen Kombi-Preis von
zusammen nur **DM 49,80**
(Sie sparen DM 17,30)



Bitte mit
DM 1,-
freimachen
oder faxen
an:
040 / 3703 56 57

Antwort

GEOLino
Leserservice

20080 Hamburg

Die GEO-Familie



Bitte mit
DM 1,-
freimachen
oder faxen
an:
040 / 37 03 56 57

Antwort

GEO
Leserservice

20080 Hamburg

040 / 3703 3803

Noch einfacher bestellen Sie per Telefon: Bitte geben Sie dabei jeweils die Bestellnummer an, die in Klammern hinter jedem Artikel steht. Vielen Dank!

...per Fax:
040 / 3703 5657
...oder E-Mail:
abo-service@guj.de

Widerrufsrecht
zum Verbleib bei Ihnen:
Diese Bestellung kann ich innerhalb einer
Woche nach Absendung
der Karte beim GEO Leserservice, 20080
Hamburg schriftlich widerrufen. Zur
Wahrung der Frist genügt die rechtzeitige
Abendung des Widerrufs.



AHOIII!

So wirst Du zum Schrecken der sieben Meere.



Wie ein kleiner Südamerikaner gleichzeitig **Pilot, Cowboy und Tierforscher** wurde.....



Warum wahre **Filmhelden** immer unsichtbar bleiben.....

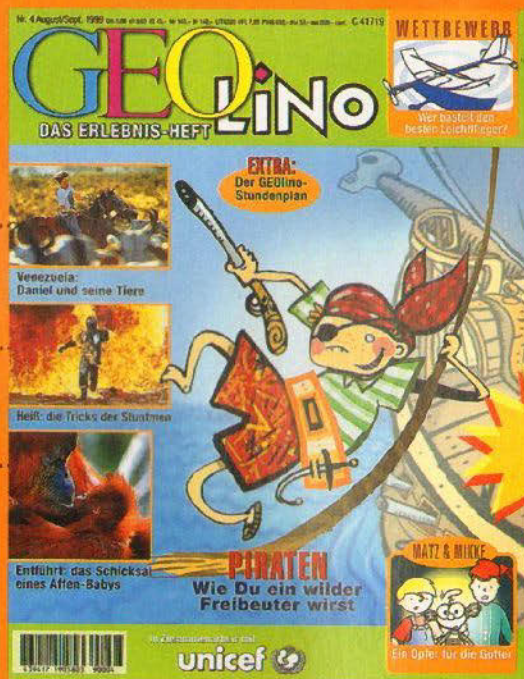


Wohin zu viel **Affenliebe** führen kann.....

Neues von Matz und Mikke und vieles mehr!



www.geolino.de



Mit tollem
Stundenplan!

GEO Lino Wissen macht Spaß

Das neue Kinderheft von GEO. Jetzt im Zeitschriftenhandel.

DIE ANWÄLTIN MEHR RECHTE FÜR DAS

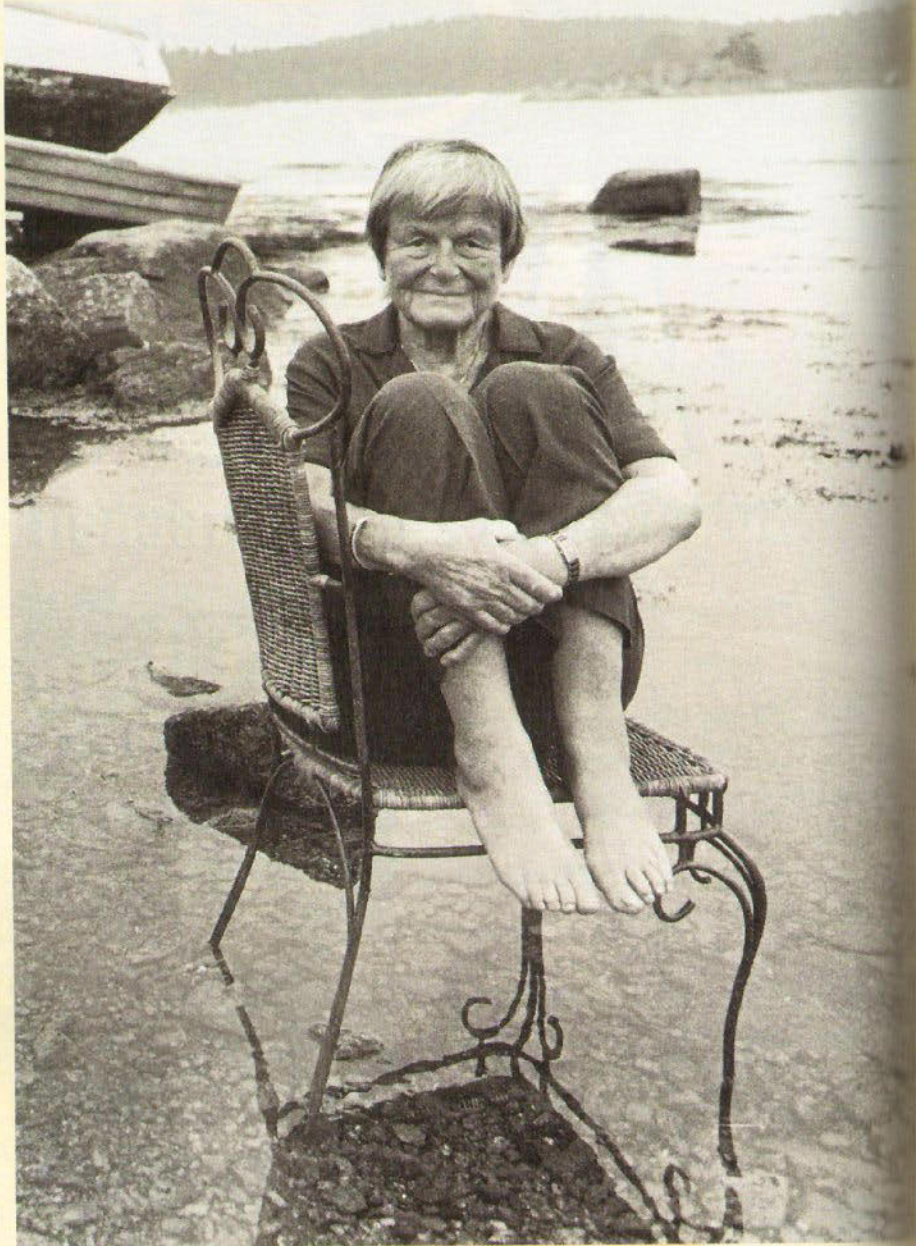
Nicht der Name ihres Vaters – sie selbst hat sich berühmt gemacht: Die Seerechtsexpertin und jüngste Tochter Thomas Manns setzt sich seit Jahr und Tag für strikten internationalen Schutz der Meere ein

Nein, über ihre Familiengeschichte spricht sie nur widerwillig. „Das gehört sich nicht“, sagt Elisabeth Mann Borgese und schüttelt streng den grauen Schopf. Daß sie die jüngste Tochter Thomas Manns ist und mit 81 Jahren das letzte lebende Kind des legendären Schriftstellers: Na und, „was heißt das schon?“ Ungeduldig ruckelt die kleine Dame in ihrem knautschigen Filzanzug auf dem Bürostuhl herum. Können wir nicht von was anderem reden? Von der Gefährdung der Ozeane zum Beispiel?

Jahrzehntelang hat sich die international wohl anerkannteste Meeresschützerin dieser Tage allen Fragen nach ihrer prominenten Herkunft „absolut verweigert“. Dabei ist es meist das erste und oft das einzige, das vor allem Deutsche an ihr interessiert. Wie war es, mit dem berühmten Vater aufzuwachsen? War er wirklich ein Despot? Hat sie alles gelesen, was er geschrieben hat?

Natürlich hat sie alles gelesen, aber schon vor langer Zeit im Keller verstaubt und seitdem selten angerührt. Sie hat ja soviel anderes zu tun. Nicht einmal ein Foto des Vaters hängt in ihrem Holzhäuschen hier an der kanadischen Atlantikküste, wo sie ihr Zuhause gefunden hat. Schließlich wollte sie ihr Leben nicht im Schatten einer Weltberühmtheit führen wie ihre Geschwister Erika, Klaus, Golo, Monika und Michael. „Meine Karriere“, stellt Elisabeth Mann Borgese klar, „sollte keinesfalls auf dem Namen meines Vaters aufbauen.“

Also – ihre Karriere, die sie selber berühmt gemacht hat. „Das Meer ist



**ELISABETH
MANN BORGESE**

DER TERRESTRISCHE BEGRIFF
DES EIGENTUMS DARF FÜR DAS
MEER NICHT GELTEN

NASSE UNIVERSUM!

VON CALVIN ROTH

mein Leben“, sagt sie. Noch in ihrem hohen Alter bewältigt sie mühelos eine Aufgabenlast, die sie sich freiwillig aufbürdet. Sie ist Gründungsdirektorin des International Ocean Institute, das sich der ökologischen Rettung der Weltmeere widmet. Sie lehrt an der Dalhousie University im kanadischen Halifax Politik und internationales Seerecht. Die Professorenwürde hat sie in einem Alter erworben, in dem andere an Ruhestand denken: mit 62 Jahren. Sie ist bis heute aktives Gründungsmitglied des Club of Rome, in dem sie 1970 die einzige Frau war. Sie gehört der World Academy of Arts and Sciences an. Sie berät die Vereinten Nationen. Sie berät die Weltbank. „Soll ich noch mehr aufzählen?“

Zeit ist offenbar ein Fremdwort in der Biographie dieser Frau. Nach dem Abitur Diplom als Konzertpianistin. 1938 mit den Eltern in die USA emigriert. Im Jahr darauf den mehr als doppelt so alten Historiker Giuseppe Antonio Borgese geheiratet. Zweifache Mutter. Witwe mit 34 Jahren. Eine Ehe ist sie nie wieder eingegangen.

Sie hat Novellen und Theaterstücke verfaßt. Wurde politisch aktiv: „Ich war eine schwärmerische Sozialistin.“ Auf dem Weg über Forschungen an neuen Konzepten internationaler Zusammenarbeit fand Elisabeth Mann Borgese 1972 schließlich mit der Gründung des International Ocean Institute ihre Berufung. 1979 ließ sie sich in einer idyl-

lischen Felsenbucht nahe Halifax nieder. Nebenher hat sie mit erstaunlichem Erfolg versucht, einem Schimpansen das „Lesen“ und „Schreibmaschine-schreiben“ beizubringen und Hunden das Klavierspielen – Menuette von Mozart und Motive von Bach. Zwischendurch schrieb sie das Libretto für eine Oper.

Ein Leben, vorangetrieben vom unbändigen Drang, „alte Perspektiven zu überwinden und neue Universen zu entdecken“. Das größte Universum aber hat die Vielerfahrene im Meer entdeckt. Vier Monate im Jahr ist sie unterwegs, um Regierungen und Wirtschaftsunternehmen davon zu überzeugen, daß die Ozeane nicht nur eine „feuchte Fortsetzung des Festlands“ seien, sondern „Ursprung allen Lebens“. Und zu dessen Rettung fordert sie nichts Geringeres als eine „maritime Revolution“: ein globales Rechtssystem, das sich vom herkömmlichen „terrestrischen“ Begriff des Privat- und Staatseigentums löst. „Weder Fische noch Umweltverschmutzung“, sagt sie, „halten sich an Grenzen und Gesetze.“ Eine neue, bessere „Weltordnung“ also strebt sie an, für die das Meer als Laboratorium dienen soll.

Klar, daß die dem Wasser verschriebene Zeitschrift „Mare“, die seit gut zwei Jahren in Deutschland erscheint, die Unterstützung Mann Borgeses gefunden hat und daß diese gelegentlich darin ihre Vorstellungen publiziert.

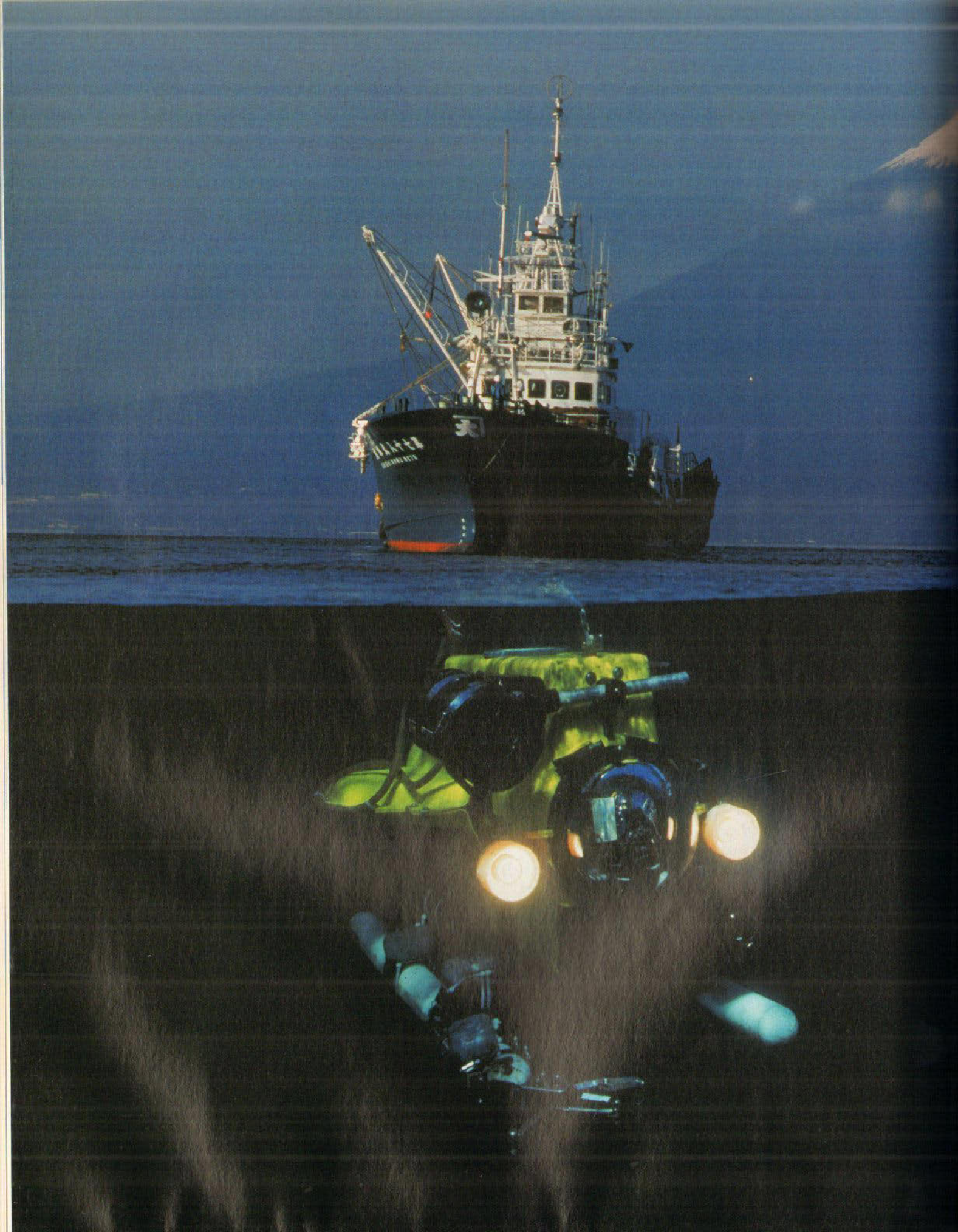
Ihr Ozean-Institut mit Hauptsitz Malta hat inzwischen Filialen in zwölf Staaten und ein Jahresbudget von vier Millionen Dollar. Doch Elisabeth Mann Borgese ahnt, daß es trotzdem noch ein langer Weg ist bis zum Ziel. Wenn sie dann Pessimismus und Melancholie aufkommen spürt, setzt sie sich an die Maschine und schreibt. Drei neue Novellen liegen unveröffentlicht im Schrank – Fabeln über eine düstere Zukunft, in der ganze Nationen ausgelöscht werden oder den Menschen Flügel wachsen und sie dann doch ins Unglück stürzen.

Womit sie dann doch an ihre literarische Familiengeschichte anknüpft. Neulich hat sie sogar, ungern erst und darauf mit wachsender Faszination, eine Reise in die eigene Vergangenheit unternommen. Anlaß war eine Fernseh-Serie über ihren Vater, für die der Regisseur Heinrich Breloer sie um Beratung gebeten hatte. Mehrmals ist sie dafür nach Deutschland gefahren.

Dort reiste sie durch ein „fremdes Land“, grübelte am Strand von Travemünde und wanderte nach langer Zeit wieder einmal in Lübeck durchs „Buddenbrookhaus“ – wo ihr dann „fast die Tränen kamen“. Und sie brach mehrmals öffentlich ihr sonstiges Schweigen über die Manns – um „einen Haufen Blödsinn“ richtigzustellen, der über ihren Vater geschrieben worden sei.

Und würde sie selbst einmal ihre Erinnerungen aufschreiben? Da lacht Elisabeth Mann Borgese laut. „Um Gottes Willen. Da habe ich viel Wichtigeres zu tun.“ Sich um das Meer zu kümmern vor allem.

ZEIT IST IN IHRER BIOGRAPHIE EIN FREMDWORT





Selbst die moderne Wissenschaft tut sich schwer, das Verhalten von 1,4 Milliarden Kubikkilometer Wasser vorherzusagen. Jetzt, während der »dritten Entdeckung« der Meere, versuchen Forscher mit einer Armada von Meßrobotern und Satelliten die Dynamik der Ozeane zu enträtseln

OZEANOGRAPHIE

IM REICH DER WIRBEL UND DER STRÖME

VON ERWIN LAUSCH

Wie von Geisterhand gesteuert, schwimmen Gleiter mit Stummelflügeln durch das Meer. Gelegentlich kommen sie an die Oberfläche, nehmen Verbindung auf mit Kommunikationssatelliten im Orbit und funken eine endlose Flut von Daten an eine Bodenstation: über Strömungsrichtung und -geschwindigkeit, über Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoff- und Kohlendioxid-Konzentration. Monatelang ruhen „Observatorien“ am Ozeangrund und registrieren kontinuierlich Wasser- und Stoffaustausch mit dem Sediment. Eine Flotte von Forschungsschiffen ist unablässig unterwegs. Und eine Armada von Raumsonden beobachtet aus dem All rund um die Uhr den Blauen Planeten.

Dieses gewaltige Aufgebot an Technik und Personal dient der gegenwärtigen, der dritten Entdeckung der Ozeane. Die erste, das Ergebnis abenteuerlicher Fahrten ins Unbekannte, war im wesentlichen 1775 vollendet: James Cook hatte geklärt, daß es keinen vom Pol bis in die gemäßigten Breiten reichenden Südkontinent gibt, die Erde also ein Planet der Meere ist. Die zweite Entdeckung ist Forschern wie dem Amerikaner Matthew Maury zu verdanken, die von Mitte des 19. Jahrhunderts an systematisch große Wind- und Meeresströmungen zu erfassen, Tiefen auszuloten und die marinen Lebewesen zu studieren begannen.

Der dritte Vorstoß gilt nun der komplizierten Dynamik der flüssigen Sphäre. Früher erschien dem Menschen das Meer nur an der Oberfläche bewegt.

Unterhalb der Wellen vermuteten sie ewige Ruhe. Heute hingegen sprechen Fachleute vom „turbulenten“ Ozean: Alles fließt und zwar in zahlreichen Stockwerken in unterschiedliche Himmelsrichtungen. Kaltes, salzreiches Wasser sinkt ab und steigt anderswo wieder auf. Strömungen, Winde, Temperaturen, Nährstoff- und Energieflüsse variieren von Jahr zu Jahr – häufig in bislang unerklärlichen Mustern.

Und die Ozeane agieren nicht isoliert. Sie wechselwirken vielmehr intensiv mit dem Untergrund und insbesondere der Atmosphäre. Wer beispielsweise die Folgen des vom Menschen angeheizten Treibhauseffekts errechnen will, der muß das Meer studieren.

Zum großen Überblick verhelfen Forschern die Satelliten. Und zwar solche, die in 400 bis 1000 Kilometer Höhe die Erde von Pol zu Pol umrunden, während der Globus sich unter ihnen im Tagesrhythmus dreht. Die Kameras dieser künstlichen Erdtrabanten filtern jeweils unterschiedliche Spektralbereiche aus dem von der Erdoberfläche reflektierten Sonnenlicht heraus. Aus feinsten Farbunterschieden ist etwa der Chlorophyllgehalt der Meere und daraus die Menge des Phytoplanktons abzuleiten. So können Wissenschaftler Algenblüten von der Entstehung bis zum Erlöschen verfolgen. Außerdem enthüllen Satelliten zum Beispiel die Ausbreitung von Ölteppichen nach einer Tankerhavarie.

Die wärmesensiblen Infrarot-„Augen“ moderner Geräte können Unterschiede der Oberflächentemperatur von einem Zehntelgrad Celsius erkennen. Diese Daten bilden eine wertvolle Informationsquelle für Klimaforscher. So ergaben Satellitenmessungen im Frühjahr 1997, daß sich der tropische Ostpazifik rasant erwärmte: Ein außergewöhnlich starker El Niño war im Anzug. Bei dieser alle drei bis sieben Jahre eintretenden Klima-Anomalität dehnt sich warmes Wasser, das die Passatwinde sonst vom Kontinent weg nach Westen treiben, bis an die peruanische Küste aus und verhindert, daß kälteres Wasser aus der Tiefe aufsteigt. Indonesien und Australien können als Folge unter Dürren leiden, während große Teile Süd-

amerikas von heftigen Niederschlägen heimgesucht werden.

Faszinierende Blicke auf die Ozeane eröffnen auch Radarsatelliten, die unabhängig von Sonnenlicht selbst durch dicke Wolken spähen. Indem sie die Meeresoberfläche mit Mikrowellen abtasten, erfassen sie deren durch Wellen verursachte „Rauigkeit“. Solch eine Information läßt sich in Windgeschwindigkeiten umrechnen, und so kann innerhalb eines einzigen Tages eine Windkarte des gesamten Globus erstellt werden – eine wesentliche Voraussetzung für verlässliche Wettervorhersagen.

EDDIES BRINGEN DIE „WÜSTEN“ IM WELTMEER ZUM BLÜHEN

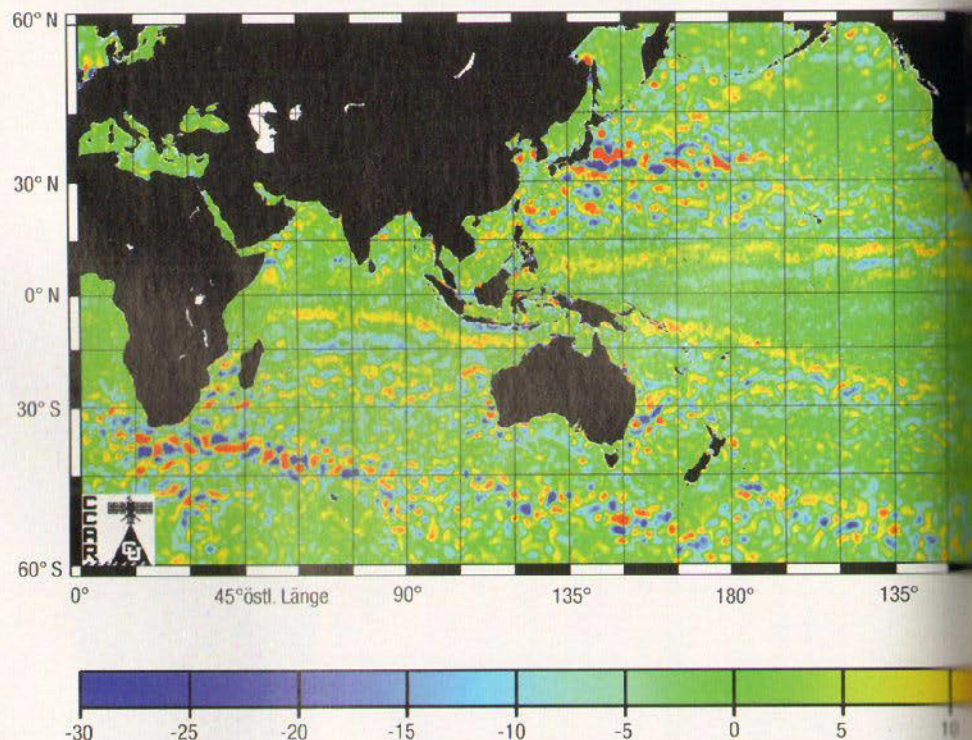
Radarsatelliten messen ihre Entfernung zum Wasserspiegel bis auf wenige Zentimeter genau. Sie haben auch enthüllt, daß gewaltige Strömungswirbel mit mehreren hundert Kilometer Durchmesser, sogenannte Eddies, etwa im Nordatlantik und im Indischen Ozean nordwestlich von Australien entstehen. Wie Kaffee, der in einer Tasse umgerührt wird, bilden die rotierenden Wassermassen in der Mitte eine Delle

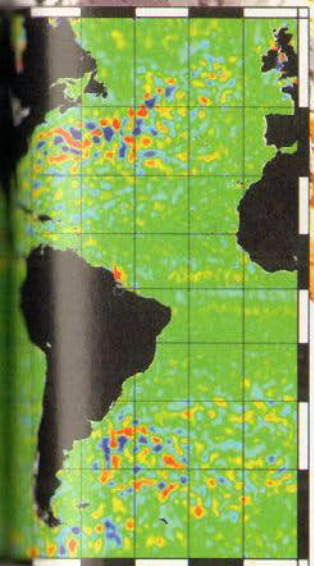
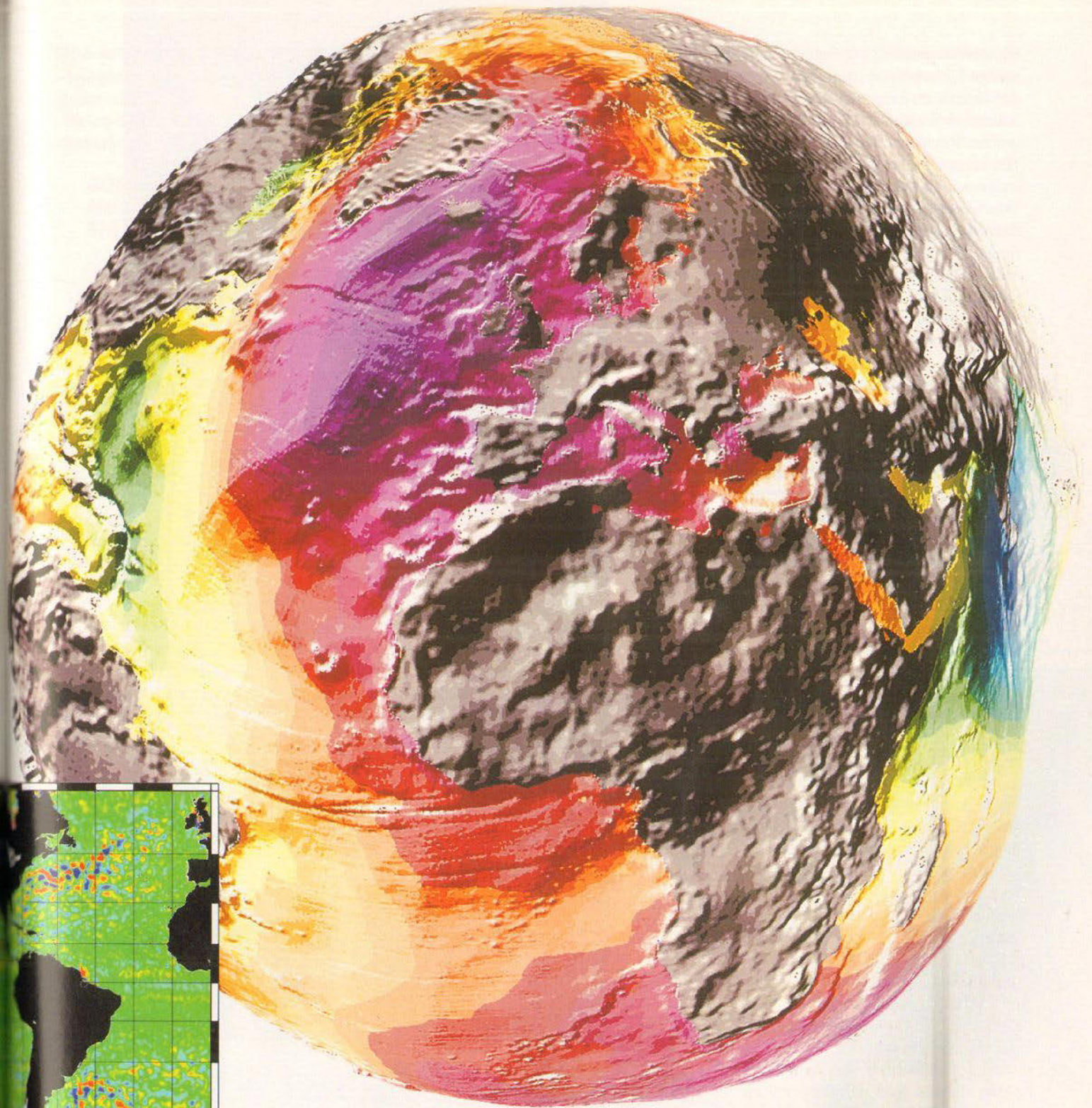
und am Rand einen Berg – mit Höhendifferenzen von bis zu 60 Zentimetern.

Diese Eddies schweifen umher und tragen maßgeblich zur Durchmischung der Ozeane bei. Inzwischen sehen Meereskundler in diesen Wirbeln auch die Ursache eines lange rätselhaften Phänomens: daß die „Wüsten“ im Weltmeer blühen. In tropischen und subtropischen Regionen „hungert“ das Phytoplankton, weil warmes und somit relativ leichtes Wasser über kühlerem, nährstoffreichem schwimmt und zwischen beiden Schichten nur ein sehr geringer Austausch stattfindet. Die einst in der oberen, warmen Zone vorhandenen Nährstoffe müßten eigentlich im Lauf der Zeit aufgezehrt werden. Trotzdem gedeiht in diesen Meeresregionen mehr Plankton, als eigentlich zu erwarten wäre.

Eine amerikanische und eine europäische Forschergruppe haben jetzt unabhängig voneinander Belege dafür gesammelt, daß heranwirbelnde Eddies das ausgelaugte Wasser mit Pflanzennährstoffen versorgen – in bescheidenem, aber dennoch ausreichendem Maß.

Anhand von Radardaten könnten Ozeanographen prinzipiell auch das





45° westl. Länge

0°

20 25 30

Die Dellen und Buckel der Erde

Statt perfekter Kugel eher eine Kartoffel: Die ungleichmäßige Verteilung dichter Gesteine im Inneren der Erde bewirkt eine unterschiedliche Anziehung des Wassers und läßt die Ozeane sich ein- oder ausbeulen – bis zu 110 Meter unter und 85 Meter über den

berechneten Wert (stark überhöht dargestellt). Satellitenaufnahmen (links) zeigen, daß der Meeresspiegel auch in kleinerem Maßstab variiert: durch Strömungswirbel, die durch die blauen Weiten rotieren

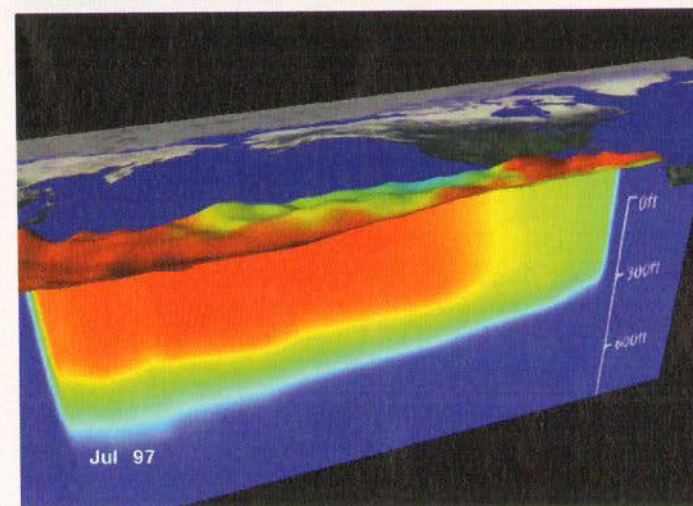
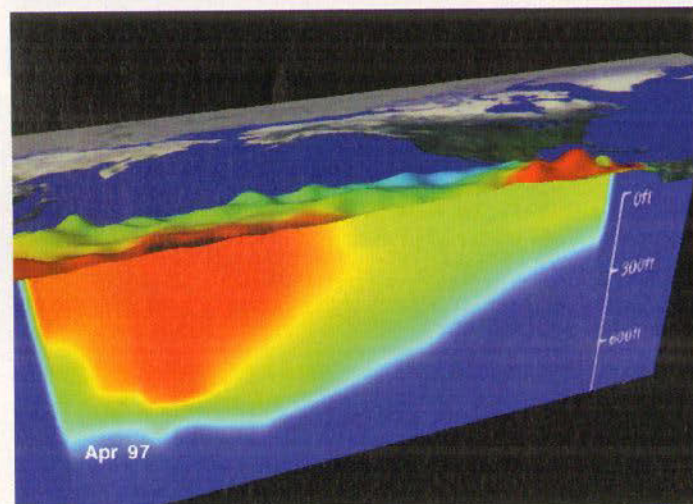
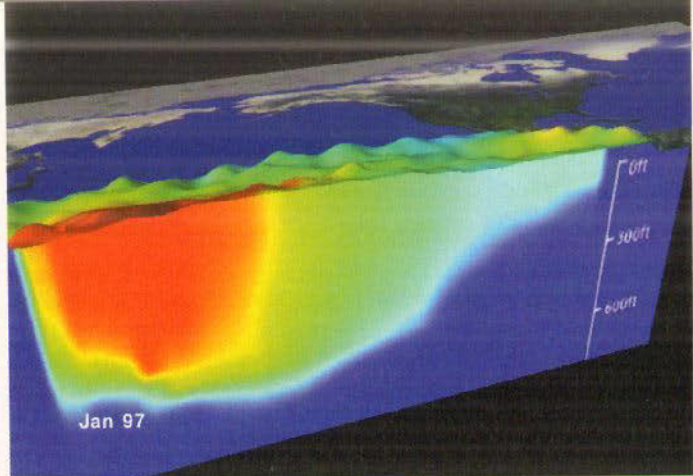
Muster der großen globalen Meeresströmungen bestimmen. So erhöhen etwa der Golfstrom im Atlantik und der Kuroshio im Westpazifik den Meeresspiegel zur Rechten ihrer Fließrichtung auf 100 Kilometer Länge um einen Meter – aufgrund des Gleichgewichts zwischen Druckkräften und Ablenkung durch die Erdrotation, die „Coriolis“-Kraft. Allerdings kompliziert das unregelmäßige Schwerfeld unseres Planeten die Auswertung. Denn durch die ungleiche Verteilung dichter Gesteine im Erdinnern wird das darüberliegende Wasser unterschiedlich stark angezogen.

Schon aus diesem Grund ist der Meeresspiegel stellenweise bis zu 85 Meter aufgewölbt (nördlich von Australien) und bis zu 110 Meter eingeebult (vor der Südspitze Indiens). Zudem pausen sich große unterseeische Gebirgszüge sowie Tiefseegräben mit einigen Metern Höhenunterschied auf die Wasseroberfläche durch. Obendrein beeinflussen die Unregelmäßigkeiten des irdischen Schwerfelds die Satellitenbahnen.

Das alles überlagert sich zu einer komplexen Mischung von Parametern, die sich allesamt auf die Meßgenauigkeit auswirken. Derzeit reicht vor allem das Wissen über das Erdschwerfeld nicht aus, um die Strömungen perfekt auszurechnen. Von neuen „Spähern“, die in Kürze starten sollen, erhoffen sich die Wissenschaftler jedoch Fortschritte.

Das Grundmuster der Fluten an der Oberfläche ist immerhin bekannt: In jedem der drei Weltmeere – Atlantik, Pazifik und Indischer Ozean – kreist das Wasser in einem riesigen Ringsystem jeweils oberhalb und unterhalb des Äquators – unter dem Einfluß der Erdrotation im Norden im Uhrzeigersinn, im Süden entgegengesetzt. Dazu kommt der Zirkumpolarstrom, der die Antarktis umrundet.

Die Dimensionen der Hauptmeeresströme lassen jene der Wasserläufe an Land weit hinter sich. Der Golfstrom etwa transportiert 55 Millionen Kubikmeter Wasser pro Sekunde, der Antarktische Zirkumpolarstrom im Jahresmittel gar 125. Das Gesamtvolumen aller Flüsse wird dagegen auf nur eine Million Kubikmeter pro Sekunde geschätzt. Die Geschwindigkeit der Oberflächen-



DER RASCHE ZUG DER WÄRME



Aus Satelliten- und Bojen-Daten haben Wissenschaftler rekonstruiert, wie bei dem El Niño von 1997 warmes Wasser vom West- in den Ostpazifik vorgedrungen ist. Rot zeigt höhere, Blau tiefere Temperaturen an

ströme in den Meeren, die mehrere hundert Meter tief reichen, beträgt gewöhnlich zwischen 200 Meter und zwei Kilometer, in Ausnahmefällen sogar 15 Kilometer pro Stunde.

BOJEN DRIFTEN MONATELANG DURCH DIE TIEFEN

Bei genauerem Hinsehen sind die Verhältnisse im bewegten Meer noch viel verwickelter, als jenes Grundmuster suggeriert. Die Ringsysteme sind nicht in sich geschlossen. Wassermassen strömen von außen zu und nach außen ab, dabei kleinere Zirkulationen bildend. Immer wieder schnüren sich Schlingen ab und bilden Eddies, die vom Hauptstrom wegrotieren, sich aber vielleicht später wieder mit diesem oder einem anderen Wasserlauf vereinigen.

Noch unübersichtlicher als an der Oberfläche ist die Dynamik in der Tiefe. Dort werden auch Satelliten künftig

keinen Durchblick verschaffen. Denn Meerwasser leitet die für die Informationsgewinnung genutzten elektromagnetischen Wellen – sichtbares und Infrarot-Licht, Mikro- und Radiowellen – kaum oder gar nicht. Das Reich der Finsternis muß direkt vermessen werden. Schiffe spielen nach wie vor eine Hauptrolle bei dieser Erkundung: Forscher schicken Videokameras, Temperatursonden, Wasserschöpfer, Tauchboote und Roboter in die Tiefe. Allerdings setzen sie auch mehr und mehr Geräte ein, die autonom und automatisch die dunklen Weiten durchstreifen.

Solche Sonden driften monate- oder jahrelang in programmierten Tiefen dahin und senden regelmäßig akustische Signale aus, die von Wasser gut geleitet und daher noch in großer Entfernung aufgefangen werden können. Sie setzen Wissenschaftler in die Lage, die „Floater“ zu orten und Geschwindigkeit und Verlauf von Strömungen zu rekonstruieren.

Oder umgekehrt: Die in der Wassersäule schwebenden Sonden registrieren während ihrer Reise sekundengenau Schallimpulse, die auf dem Meeresboden verankerte Lautsprecher abgeben. Nach einer festgelegten Zeit werfen die Geräte Ballast ab, tauchen auf und senden ihre Aufzeichnungen via Satellit zur Bodenstation. Aus den Laufzeiten der Signale von verschiedenen Quellen können Wissenschaftler die Positionen der Sonden berechnen und die Strömung nachzeichnen.

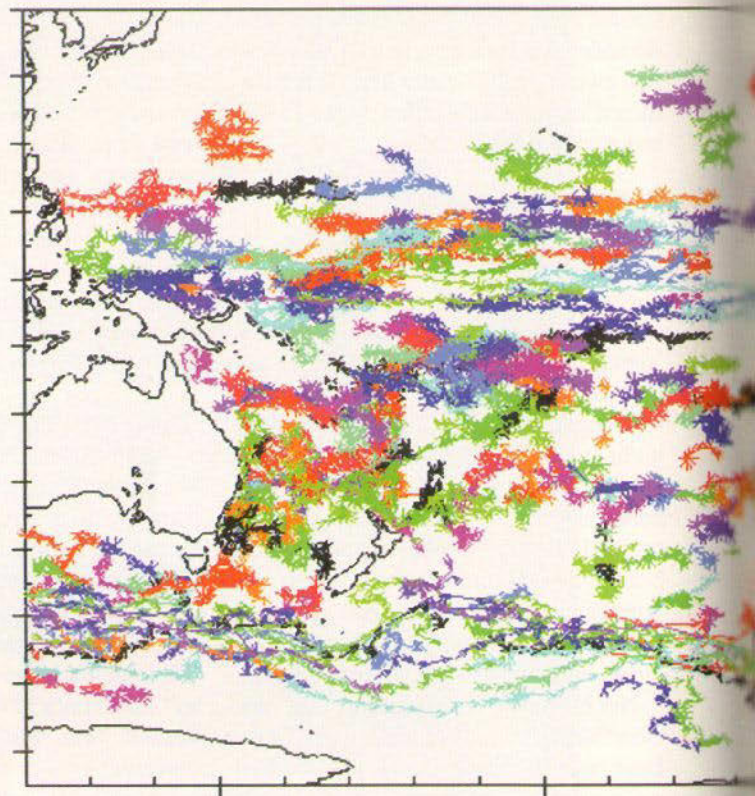
Dank dieser Methode haben zum Beispiel amerikanische Ozeanographen enthüllt, wie sich Mittelmeer und Atlantik mischen: Während an der Oberfläche kühles Wasser durch die Straße von Gibraltar gen Osten fließt, ergießt sich darunter ein warmer und aufgrund seines hohen Salzgehalts schwerer Strom nach draußen. Früher glaubten Forscher, der Abfluß breite sich diffus in den Weiten des Atlantik aus. Doch dann entdeckten sie in 1000 Meter Tiefe

Liebesleben

Wenn Romeo auf Julia trifft,
dann gibt es unter Wasser zum Glück immer ein Happy-End.
Und damit unserem Romeo bei seinem Antrag nicht die Puste ausgeht, bekommt er dank
TetraMin alle natürlichen Spurenelemente und lebenswichtigen Vitamine, die er hierfür braucht.
Da kann selbst die standhafteste Julia nicht widerstehen.

TetraMin. Bringt Leben ins Wasser.





Die wirren Wege der Sonden

Treibsonden wie jener, die hier von einem Forschungsschiff in den Atlantik gefiert wird, verdanken Wissenschaftler wertvolle Informationen über die Dynamik der irdischen Wasserschale. Die Bojen driften zum Teil jahrelang in

unterschiedlichen Tiefen durchs Meer. Anhand deren Positionssignale können Ozeanographen die zurückgelegten Strecken wie in dieser Karte nachzeichnen und in »vielfahrenen« Routen Strömungen erkennen

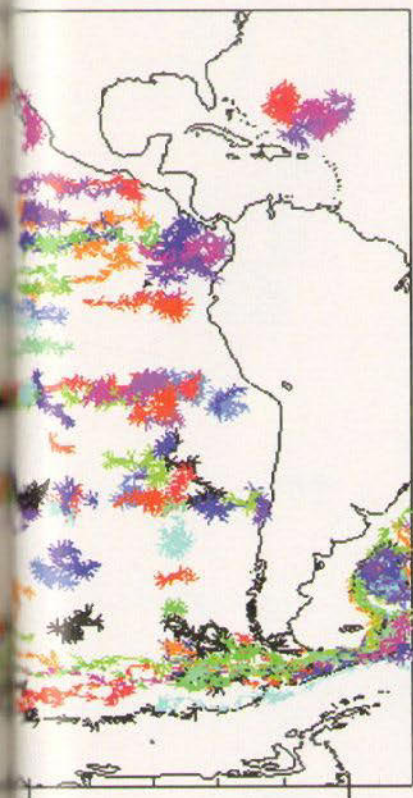
riesige, im Uhrzeigersinn rotierende Wirbel – typischerweise 100 Kilometer im Durchmesser und ungefähr 800 Meter hoch. Diese Linsen enthalten Mittelmeerwasser, und ihr Kern ist bis zu vier Grad wärmer und um ein Promille salzreicher als die Umgebung. Sie bilden sich im Ostatlantik vermutlich vor der Küste Portugals und reisen Tausende von Kilometern weit, bis sie sich auflösen – zum Teil erst nahe den Bahamas.

In mehrere Stockwerke unterteilt wie vor Gibraltar ist die Wassersäule in allen Weltmeeren. Im Nordatlantik wälzt sich

in 2000 bis 3000 Meter Tiefe wenige Grad Celsius kaltes Wasser südwärts, das in der Labradorsee von der Oberfläche abgesunken ist. Dieselbe Richtung nehmen etwas kältere Ströme aus der Grönlandsee und der Norwegischen See. Der hohe Norden, wo pro Sekunde 15 bis 20 Millionen Kubikmeter Wasser in einer gigantischen Kaskade mehrere tausend Meter in die Tiefe stürzen, fungiert als eine der beiden großen Lungen für die Ozeane. Das dort absinkende sauerstoffreiche Wasser belüftet die marine Unterwelt und versorgt sie mit Nährstoffen. Als Nordatlantisches Tie-

fenwasser durchzieht es alle Meere und ist selbst im Nordpazifik noch nachzuweisen, wo es einige Jahrhunderte nach dem Abstieg ankommt.

Die zweite große Lunge liegt in der Antarktis, vor allem im Weddellmeer. Dort sinkt kaltes, salzreiches Wasser am steilen Kontinentalabhang ab und schiebt sich in der untersten Etage als Antarktisches Bodenwasser nordwärts – überraschend schnell, wie Messungen Bremer und Kieler Wissenschaftler jüngst gezeigt haben. Keine 40 Jahre benötigt der eisige Strom, bis er den Äquator überschritten hat. Früher hatten



Forscher mehr als 100 Jahre dafür angesetzt.

Meereskundler haben in den vergangenen Jahren aber nicht nur über Wasserströme Faszinierendes herausgefunden, sondern auch über Stoffflüsse in den Weltmeeren. Im Rahmen des internationalen Programms JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study) haben sie zum Beispiel gemessen, wie intensiv Atmosphäre und Ozean das Treibhausgas Kohlendioxid austauschen. Dabei stellte sich heraus, daß der Atlantik die weitaus wichtigste CO₂-Senke ist. Er schluckt 60 Prozent dessen, was die Meere weltweit aufnehmen. Indischer Ozean und die Gewässer rund um die Antarktis absorbieren je 20 Prozent; im Pazifik halten sich Aufnahme und Abgabe die Waage.

Mit großem Aufwand haben Forscher auch untersucht, wieviel Kohlenstoff in Form winziger Partikel – Kiesialgen und Kotballen von Kleinkrebsen – aus den produktiven Ozeanschichten nach

unten rieselt. Mit Hilfe sogenannter Sinkstoff-Fallen haben sie dabei festgestellt, daß der Niederschlag jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt und daß die Krümel nicht, wie früher angenommen, Monate unterwegs sind, sondern innerhalb weniger Tage oder Wochen den mehrere tausend Meter tiefen Ozeanboden erreichen.

Die Tiefen der Meere sind für die Ozeanographen zwar durchsichtiger geworden. Doch trotz der Mühen hat das Datennetz noch weite Maschen. Die Informationen reichen längst nicht aus, um Klimatologen jene Grundlage zu liefern, die diese für ihre Modellrechnungen über die Zukunft des Treibhauses Erde dringend benötigen. Die Ozeane, klagen Meeresforscher, seien nach wie vor weniger gut bekannt als die erdabgewandte Seite des Mondes. Die allerdings besteht auch nur aus Oberfläche.

Der ehemalige GEO-Redakteur **Dr. Erwin Lausch**, 70, ist Spezialist für geowissenschaftliche Themen. Er ist auch Autor des Buches „Der Planet der Meere“ in der GEO-Bibliothek.

Nachtleben



Auch wenn es dunkel wird, ist mit dem bunten Treiben unter Wasser noch lange nicht Schluß. Für so viel Vitalität und Farbenpracht brauchen Fische deshalb das richtige Futter: TetraMin mit allen natürlichen Spurenelementen und lebenswichtigen Vitaminen. Und damit ist die Sperrstunde gegessen.

TetraMin. Bringt Leben ins Wasser.





OZEANARIEN

SICH FÜHLEN WIE EIN

SIE HABEN NICHTS MEHR GEMEIN MIT MEERESMUSEEN, DIE IN KLEINEN GLASKÄSTEN FISCHE ZUR SCHAU STELLTEN. DIE NEUE GENERATION VON GROSSAQUARIEN INSZENIERT IN HAUSHOHEN BECKEN KOMPLETTE LEBENSÄRÄUME. GEO WISSEN STELLT HERAUSRAGENDE BEISPIELE VOR



FISCH

MONTEREY

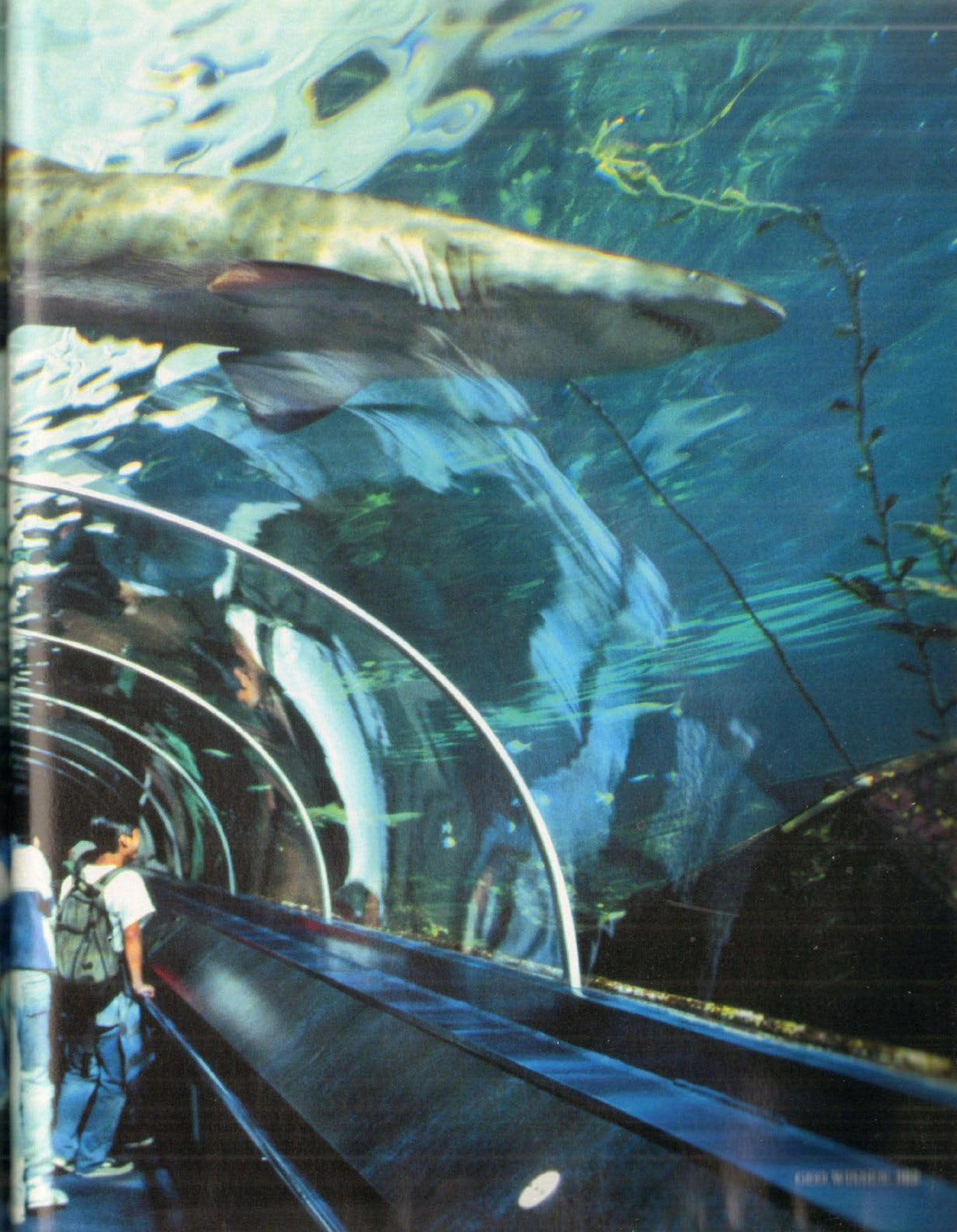
Das nasse Element im Cinemascope: Vier Millionen Liter Meereswasser wecken im Monterey Bay Aquarium (MBA) südlich von San Francisco die Illusion, in einen grenzenlosen Ozean zu blicken. Ein glitzernder Schwarm Gelbflossen-Thunfische zieht vorüber, gelegentlich passiert von Haien und einem runden Sonnenfisch. In anderen Becken treiben ätherische

Gallertwesen oder füttern Taucher die Bewohner eines Kelp-Waldes. An der Stelle, wo einst Arbeiter Sardinen in Dosen füllten, öffnet heute das MBA das Fenster zur verborgenen Pflanzen- und Tierwelt der kalifornischen Küste: von den flachen Zonen bis vier Kilometer tief hinab in einen Unterwasser-Cañon der Bay. Das Vorbild aller modernen Aqua-Parks hält auch hier den Weltrekord: Es stellt ungefähr 50 Tiefsee-Arten zur Schau

SYDNEY

Verkehrte Welt: Nicht die Fische, sondern die Menschen stecken im Glaskasten. Während die Besucher des Aquariums im australischen Sydney durch eine Ozean-Landschaft wandern, schwimmen bis zu dreieinhalb Meter lange Ammenhaie und Stechrochen über sie hinweg. Auch die vielseitige, im Hafen der Stadt vertretene Unterwasser-Fauna läßt sich trockenen Fußes erkunden: Meeraale lugen aus Röhren, kleine Haie und Schildkröten gleiten zwischen algenbewachsenen Tauen dahin. In einem nachgebildeten Great Barrier Reef wimmeln Anemonenfische

zwischen ihren nesselnden Wirten, den Aktinien, sind Kaiser- und Skorpionfische in ihrem tropischen Element. 650 einheimische Spezies sind in dem Wasserpark vertreten, darunter die Bewohner des Murray und des Darling River, des größten Flußsystems Australiens: In ihm leben 30 Fischarten, die sämtlich nur hier vorkommen





TIMMENDORFER STRAND

Aug in Aug mit dem Schuppentier: Der Heringskönig, der sich dem neugierigen Blick einer Besucherin präsentiert, verdankt seinen Namen St. Petersfisch einer Legende. Ihr zufolge fand der Apostel Petrus ein Goldstück im Maul eines von ihm gefangenen Exemplars. Und seither tra-

gen alle Petersfische auf jeder Körperseite einen dunklen Fleck – die Stellen, an denen Petrus einst den Fisch ergriff. In den Kunstwelten des »Sea Life« in Timmendorfer Strand präsentieren 30 Aquarien die Fauna nordischer Gewässer – insgesamt 90 Fischarten.

Aus bemoostem Felsgestein sprudelt auch Süßwasser und speist einen Teich voller Karpfen, Schleien und Störe; eine Seespinne stakst durch

ein Strandbecken; Knurrhähne und Makrelen kreisen in einem »Hafen«; in »offener See« schwimmen Steinbutt und Hundshai. Wie Unterwasser-Drachen schweben Rochen durch ein flaches Becken. Manche durchstoßen die Oberfläche mit ihrer spitzen Schnauze, betrachten die Besucher – und lassen sich kraulen



BREST

Der Seehase frißt dem Taucher aus der Hand. »Es ist das Männchen, das die jeweils rund 200 000 vom Weibchen ausgestoßenen Eier betreut und verteidigt«, erklärt der Aquanaut in Océanopolis im nordwestfranzösischen Brest über Mikrofon. Auch wer im Trockenen steht, kann sich

in die Meeresperspektive hineinversetzen: In den Helm ist eine Kamera eingebaut, deren Bilder über Monitore laufen, und alles, was der Besucher auf diese Weise sieht, wird auch gleich kommentiert – nach dem hier geltenden Motto: »Erzähl mir das Meer«. Das Aquarium, eines der modernsten Europas, zeigt in sorgfältig rekonstruierten Lebensräumen die

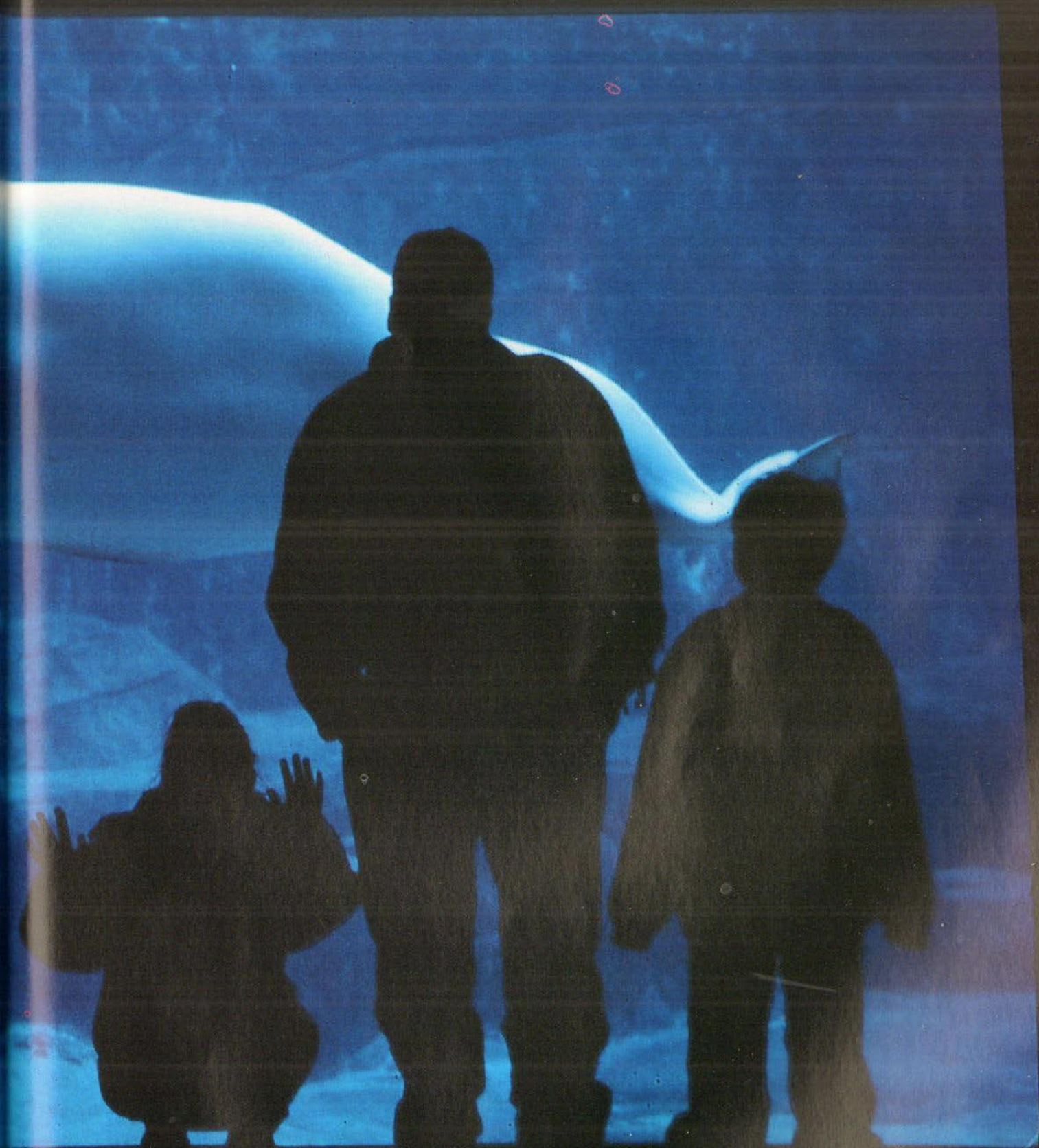
maritime Welt vor der bretonischen Küste. Daneben informieren Ausstellungen über Wasserkreislauf und Gezeiten sowie die Verletzlichkeit des atlantischen Ökosystems. Angesichts des großen Erfolgs werden zu Ostern 2000 zusätzlich ein Polar- und ein Tropen-Pavillon eröffnet



VANCOUVER

Whale watching an Land: In engen Runden zieht im Meerrespark von Vancouver an der kanadischen Pazifikküste ein Weißwal am Publikum vorüber, das die eleganten Schwimmbewegungen des Riesen in Ruhe betrachten kann. Eigentlich lebt dieser Meeressäuger zwischen und unter arktischen Eisschollen in großen Gruppen. Kanadas bedeutendstes Aquarium zeigt neben Bewohnern einheimischer Gewässer auch Importe aus tropischen Meeren und dem Amazonas. Wer aber ungebändigte Wale beobachten möchte, kommt eher im offenen Ozean vor Vancouver auf seine Kosten: Dort tauchen Orcas, Pott- und Grauwale aus den Fluten – und liefern ein großartiges Schauspiel in freier Natur

Die Adressen der vorgestellten Aquarien finden Sie auf Seite 179





Dass Saddam Hussein bei seinem letzten Auftritt einen italienischen Maßanzug trug, lässt Sie gleichgültig. Entsetzlich finden Sie, dass er seinen 4-jährigen Sohn zum Foltern mitnimmt, dass er seinen Töchtern die Enkel stiehlt und dass er seinen Opfern Löcher in die Knochen bohrt, während er ihre Gliedmaßen in Säurebottichen auflöst. Warum und wieso, lesen Sie ab 17. September in der neuen Zeitschrift Biografie.

NEU!

CLEOPATRA · KATE MOSS · PHILIPP II.

OKTOBER 1/99 DM 6,-

ISSN 0935-5036 (Print) 0935-5037 (Internet)

Biografie

MENSCHEN ERLEBEN!

EIN MAGAZIN VON **PM**



**SADDAM
HUSSEIN**

Wovor
fürchtet
sich dieser
Mann?



**EVA
BRAUN**

So
wurde
sie
Frau
Hitler



**VINCENT
VAN GOGH**

Malen
bis zum
Wahnsinn



**RICHARD
GERE**

Pretty
Buddha!

MADONNA
**DIE BEFLECKTE
JUNGFRAU**



In der neuen Zeitschrift Biografie finden Sie Menschen aus Geschichte und Gegenwart. Sie begegnen Personen, die berühmt, berüchtigt, mutig, tapfer, hinterhältig oder bösartig sind. Vorbilder, Feindbilder, Verlierer, Sieger oder Stars. Aus Politik, Wirtschaft, Sport, Kunst, Wissenschaft, Film und Showgeschäft. In Biografie können Sie **Menschen erleben**.

Neu. Jetzt im Handel.

NOVA

AUS FORSCHUNG UND TECHNIK

KORALLEN

Fatale Blässe

Weltweit sterben Korallenriffe in nicht gekanntem Umfang

1998 war für Korallen das bislang schlimmste je von Menschen beobachtete Jahr: Unabsehbar viele haben ihre Farben verloren, die von ihrem aktiven Leben zeugen. Vor Bahrain und den Malediven erbleichten bis zu 95 Prozent der Organismen, im Meer vor Kenya und Thailand 50 bis 70 Prozent. So das Ergebnis des ersten globalen Überwachungspro-

gramms, das Wissenschaftler vor zwei Jahren mit Unterstützung von Sporttauchern gestartet haben. Insgesamt gilt inzwischen über die Hälfte aller Riffe weltweit als gefährdet, etwa ein Zehntel als schwer geschädigt oder völlig zerstört.

Korallen verblassen, wenn sie die Algen – sogenannte Zooxanthellen – verlieren, die sie als „Untermieter“ mit Nährstoffen versorgen und die den sonst bleichen Polypen Farbe verleihen. Ohne ihre Symbiosepartner gehen über kurz oder lang auch die „Hausherren“ zugrunde.

Die meisten Experten führen das massenhafte Verblässen der Korallen auf die starke Erwärmung weiter Meeresbereiche in den vergangenen beiden Jahren zurück. Das Siechtum der Riffe sei eine Folge des Klimaphänomens El Niño/La Niña, bei dem sich Strömungsverhältnisse im Pazifik umkehren, zunächst ungewöhnlich warmes Wasser in den Ostpazifik strömt und dann in den Westen zurückschwappt.

Beim letzten, besonders ausgeprägten El Niño/La Niña 1997/98 haben Wissenschaftler anhand der Temperaturmessungen von Satelliten aus die tatsächlich eingetretene Korallenbleiche sogar vorausgesagt.

Wie ungewöhnliche Wärme den fragilen Lebensgemeinschaften zusetzt, fand jüngst ein Forscherteam von der University of Georgia heraus. Demnach verlieren Zooxanthellen schon bei einem Grad Celsius über dem Durchschnittswert ihre Fähigkeit zur Photosynthese. Statt Zucker produzieren sie aggressive Moleküle – „freie Radikale“. Als Re-

Dokument des Niedergangs: Im Januar 1998 sind die Riffe auf den Malediven noch voller Leben. Wenige Wochen später haben Korallen vielerorts ihre Farbe verloren (kleines Foto). Das Erbleichen ist oft der Anfang vom Ende der Tierkolonien



aktion stößt der Polyp die vergifteten Algenzellen ab.

Zwar bedeutet das Erbleichen der Korallen nicht unbedingt deren Todesurteil – vielfach nehmen die Tiere die Symbiose bei sich normalisierender Wassertemperatur wieder auf. Doch in den vergangenen Jahren hielt sich die Badewannenwärme vielerorts zu lange, so daß vor allem schnell wachsende Korallenarten offenbar den Hitzetod gestorben sind.

Dabei ist das Riffsterben an sich keineswegs neu, sondern seit 1870 bekannt. Damals überwogen allerdings andere Ursachen. Zum Beispiel können Sturmwoogen Korallenbauten zertrümmern. Im Pazifischen und Indischen Ozean räumt regelmäßig der räuberische Dornenkronen-Seestern die Riffe ab. Und immer wieder wüten Korallenkrankheiten. All das haben die bunten Lebensgemeinschaften jahrmillionenlang überstanden.

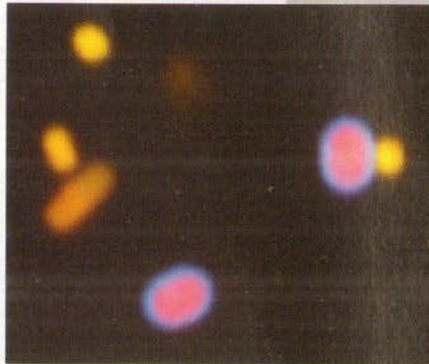
Neuerdings werden jene Stressfaktoren jedoch durch menschlichen Einfluß verschärft. Der Fischfang mit Zyanid oder Dynamit verheert die Riffe. Hobbytaucher zertrampeln Polypenkolonien oder brechen Korallenäste ab. In einigen Küstenregionen ersticken Massen von Sediment, die bei Bauarbeiten ins Meer geleitet werden, die empfindlichen Tiere, und andernorts dienen die Kalkgebilde sogar als Baumaterial.

ÖKOLOGIE

Wächter der Vielfalt

Viren beeinflussen das marine Ökosystem erheblich

Selten genug, daß Forscher ein gutes Wort über Viren verlieren – jene oft mysteriösen Kreaturen, die Tollwut und Aids, Ebola und Herpes auslösen. Doch „im Meer sichern sie die Vielfalt des Lebens“, glaubt Curtis Suttle von der University of British Columbia in Vancouver. Und zwar indirekt über die Vielfalt des Phytoplanktons. Denn diese einzelligen Organismen, die in den lichtdurchfluteten Ozeanschichten mittels Sonnenenergie Kohlendioxid in Biomasse verwandeln, bilden das Fundament der marinen Nahrungspyramide.



Als sich 1989 in der Adria eine Plankton-Art bei einer Algenblüte ausufernd vermehrt, müssen Netze die Strände schützen. Gebremst wird solch Massenzuwachstum häufig durch Viren. Unterm Mikroskop verraten sich die infektiösen Partikel auf pink-angefärbten Blaualgen-Zellen durch bläuliches Leuchten

Sobald sich eine Phytoplankton-Spezies etwa in einer Algenblüte ausufernd vermehrt, verhindern Viren das drohende Monopol und bewahren die Diversität. Das funktioniert, weil die winzigen Parasiten jeweils auf bestimmte Arten spezialisiert sind. Und weil sich die infektiösen Partikel wie bei einer Grippewelle unter Menschen dann besonders gut ausbreiten können, wenn viele potentielle Opfer eng beieinander leben.

Die Existenz mariner Viren haben Biologen erst vor zehn Jahren entdeckt. Dabei schwimmen in einem Teelöffel Meerwasser zehn bis hundert Millionen solcher Keime. Unser Auge würde sie allerdings erst erfassen, wenn sich 23 Milliarden von ihnen zu einem Krümel vereinigten.

Viele Meeresviren ähneln in ihrer Gestalt einer Mondfähre, alle kommen mit wenigen Genen aus, die in eine schützende Hülle aus Eiweiß verpackt sind. Sie verfügen weder über einen eigenen Stoffwechsel, noch über irgendeine Art Wahrnehmung. Zur Vermehrung sind sie auf andere Lebewesen angewiesen, denen sie

ihr Erbgut injizieren und deren Zellmaschinerie sie auf die Produktion neuer Parasiten umprogrammieren. Am Ende „lysiert“ das Plankton: Es platzt und setzt die virale Brut frei.

Daß die Minimalisten unter den Mikroorganismen im marinen Ökosystem kräftig mitmischen, ist unbestritten. Unklar ist hingegen noch immer das Ausmaß. Einigen Studien zufolge gehen 75 Prozent des Massensterbens nach einer Algenblüte auf das Konto einer Lysis, die neben anderen Faktoren eben maßgeblich Viren bewirken.

Jedenfalls hat das wachsende Wissen über die Parasiten alte Vorstellungen von Nahrungs- und Stoff-Flüssen über den Haufen geworfen. Bisher sind Forscher davon ausgegangen, daß tierische Einzeller Phytoplankton abgrasen. Doch offensichtlich zweigen aus der Nahrungskette im marinen Ökosystem Seitenschleifen ab, mit den mikroskopischen Trittbrettfahrern in zentraler Position.

Curtis Suttle hat dafür experimentelle Belege: Nachdem sein Team sämtliche Viren aus einer Probe Meerwasser entfernt hatte,

Wissenschaftler vom Massachusetts Institute of Technology im amerikanischen Cambridge simulieren unterseeische Berg-rutsche in einem Testbecken



stoppte das Plankton sein Wachstum. „Wir hatten nicht gewußt“, meint der Biologe, „daß ozeanische Mikroorganismen von den Nährstoffen des abgetöteten Planktons leben.“

Die Wirkung der Viren reicht dabei bis in die Tiefsee: Die Zelltrümmer, die bei der Lyse frei werden, sind sehr klein, verharren schwebend in der obersten Wasserschicht und gehen damit den Organismen am Meeresboden als Futter verloren.

Letztlich könnte dieser Effekt gar globale Folgen haben. Denn alles Biomaterial, das aufgrund des Virusbefalls an der Oberfläche verweilt, wird nicht am Ozeangrund deponiert und wird somit

nicht dem Kohlenstoffkreislauf entzogen. Statt dessen fressen Bakterien die Planktontrümmer und „veratmen“ den darin enthaltenen Kohlenstoff zu CO_2 , das aus dem Meere ausgast und somit den Treibhauseffekt befördert.

Andererseits setzt die von Viren verursachte Lysis aus Plankton die Schwefelverbindung Dimethylsulfid frei. Dieses wird in Stoffe umgewandelt, die als Kondensationskerne für die Bildung von Wolken fungieren. Solche strahlend weißen Gebilde jedoch reflektieren vermehrt Sonnenlicht und wirken damit dem Treibhauseffekt entgegen.

GEOLOGIE

Wenn Hänge ihren Halt verlieren

Unterseeische Berggrutsche formen Ozeanböden und lösen oft Katastrophen aus

Mehr als 2000 Menschen fielen am 17. Juli 1998 im Nordwesten Papua-Neuguineas einer mächtigen Flutwelle zum Opfer. Als deren Ursache galt zunächst ein Seebeben mit einem Epizentrum 25 Kilometer vor der Küste. Ein Forscherteam um José Borrero von der University of Southern California in Los Angeles ist aber jetzt zu einem anderen Schluß gekom-

men: Die wirkliche Ursache war ein unterseeischer Bergsturz in der Bismarck-See. Die Sogwirkung der abrutschenden Sedimente setzte den Tsunami in Gang.

So etwas haben Geologen schon häufiger beobachtet – etwa am 18. November 1929, als Erdstöße die Große Bank von Neufundland schüttelten. Die abbrechenden Hänge lösten einen Trübstrom aus, der mit 65 km/h über den Ozeanboden jagte, etliche Tiefseekabel zerriß und erst nach 1500 Kilometern erlahmte. Der gleichzeitig angeschobene Tsunami war noch vor den Azoren und Portugal zu registrieren.

Manchmal geraten aber auch Gesteinsmassen ohne Anstoß durch Kräfte aus dem Erdinneren in Bewegung, wie vor etwa 20 000 Jahren im westlichen Mittelmeer. Aus dem damals gletscherbedeckten Hinterland hatten die Flüsse Ebro, Rhône und Var reichlich Feinmaterial vor die Küste geschwemmt. Zunächst zementierte vermutlich Methanhydrat den labilen Boden. Das eisähnliche Wasser-Gas-Gemisch entsteht unter hohem Druck und bei tiefen Temperaturen, in größeren Meerestiefen hält es sich sogar bei knapp über null Grad. Zerfällt Methanhydrat jedoch im Sediment, so lockern die freiwerdenden Gasblasen dessen Gefüge.

Das könnte im späten Pleistozän geschehen sein: Der Eispanzer auf dem Festland hatte riesige Wassermassen gebunden. Der Meeresspiegel war dadurch um 120 Meter unter den heutigen gesunken. Infolge des deswegen geringeren Drucks lösten sich die Gashydrate auf, und die Berghänge verloren ihren Halt. Folge: 500 Kubikkilometer Sedimente rauschten in die Tiefe. Der Geologe Guy Rothwell vom englischen Southampton Oceanography Centre fand kürzlich im Meeresbecken nahe den Balearen Relikte der Lawine: eine acht bis zehn Meter dicke Ablagerung, mehr als zehn Meter tief im Boden.

Instabile Methanhydratfelder waren offensichtlich auch Ursache des gewaltigsten bislang bekannten Bergsturzes – der Storegga-Rutschung vor Mittelnorwegen. In mehreren Phasen stürzten am südlichen Rand des Vøring-Plateaus fast 5600 Kubikkilometer Meeresboden in die Tiefe. Während die erste Lawine vor gut 40 000 Jahren schätzungsweise bis zu fünf Gigatonnen Methan in die Atmosphäre freisetzte, erzeugte der zweite Abgang vor 6000 bis 8000 Jahren einen Tsunami, der noch mit Wucht an die etwa 900 Kilometer entfernte Küste Schottlands prallte.

Damit künftig schneller vor Flutwellen gewarnt werden kann, errichtet Edward Bernard vom Pacific Marine Environmental Laboratory in Seattle gemeinsam mit Kollegen derzeit ein Überwachungsnetz vor der nordamerika-

nischen Pazifikküste. Die in der Tiefsee verankerten Drucksensoren sind hochempfindlich, 6000 Meter unter der Oberfläche können sie noch Meeresspiegelschwankungen von einem einzigen Zentimeter registrieren. Die Messungen werden als akustische Signale an eine Treibboje geschickt, von dort wiederum über Satelliten an Landstationen, und dort filtern Rechner schließlich gefährliche Tsunamis aus den Daten heraus.

U M W E L T

Leckagen im Lager

Natürlicher Ölaustritt verschmutzt den Golf von Mexiko

Schon häufig flogen Piloten der US-Küstenwache stundenlang übers Meer und hielten Ausschau nach einem Schiff, das den kilometerlangen schillernden Streifen unter ihnen verursacht hätte. Vergebens!

Denn die weitaus meisten Ölfilme im Golf von Mexiko sind Folge der einzigartigen Geologie dieses Meeresbeckens. Durch Risse und Spalten in Deckschichten über den ausgedehnten Kohlenwasserstoff-Lagerstätten perlen Öl und Gas an die Wasseroberfläche.

Ian MacDonald von der Texas A&M University schätzt, daß etwa 100 Lecks jährlich fast rund vier Millionen Liter jener fossilen Stoffe in den Ozean entlassen – und das seit mindestens einer Million Jahre. Zum Vergleich: Die 40 Millionen Liter, die sich 1989 nach dem Stranden des Tankers „Exxon Valdez“ in den Prince William Sound vor Alaska ergossen, lösten eine veritable Umweltkatastrophe aus. Durch die natürlichen Leckagen ist der Schätzung MacDonalds zufolge im Golf von Mexiko und wohl auch in anderen Förderregionen genausoviel Öl ausgetreten, wie der Mensch den dortigen Reservoirs bislang abgezapft hat.



Aus Rissen und Spalten am Grund des Golfs von Mexiko perlen Kohlenwasserstoffe. Um die Erdgas-Quelle herum haben sich Röhrenwürmer angesiedelt

Anders als an Verschmutzungen durch Tankerunglücke – viel Dreck in kurzer Zeit – haben sich die Lebewesen etwa im Golf von Mexiko an die seit langem anhaltende, chronische Emission angepasst. An unterseeischen Kohlenwasserstoff-Quellen sind mittlerweile sogar ähnlich reiche Lebensgemeinschaften entdeckt worden wie rund um die Thermal-schlote der Tiefsee, um die „Schwarzen Raucher“: Bakterien gewinnen aus dem Schwefelwasserstoff im Öl oder im Erdgas Energie zum Aufbau ihrer Biomasse. Und von dieser nahren sich wiederum andere Meeresbewohner.

TREIBHAUSGASE

Ab in den Orkus

Forscher testen die Deponierung des Verbrennungsprodukts CO₂ in der Tiefsee

Warum den Umweg über die Atmosphäre nehmen, fragten sich Wissenschaftler. Warum das Kohlendioxid, das aus Kraftwerks-schlotten quillt und maßgeblich zum Treibhauseffekt beiträgt, nicht direkt im Ozean versenken, der ohnehin gigantische Mengen davon schluckt?

Die Techniken, CO₂ aus den Abgasen „herauszufiltern“, exi-

stieren bereits. Zum Beispiel läßt es sich unter Druck verflüssigen. Der Haken an dem Verfahren: Es verschlingt bei einem konventionellen Kohlekraftwerk zwischen 27 und 37 Prozent des Energieausstoßes.

Nach langen Labortests haben Forscher die Deponierung von CO₂ nun im kleinen Maßstab im offenen Meer ausprobiert. Ein Team um Peter Brewer vom kalifornischen Monterey Bay Aquarium Research Institute ließ etwa 3600 Meter unter der Meeresoberfläche einige Liter flüssiges Kohlendioxid in ein Becherglas strömen.

Die Hoffnung der Wissenschaftler war, das Kohlendioxid für Jahrtausende am Ozeangrund lagern zu können. Das CO₂ sollte auf den Grund sinken und regelrechte Seen bilden, die sich wie ein im Winter zufrierender Teich mit einer eisähnlichen Schicht aus sogenanntem Kohlendioxid-hydrat überzögen. Dieses entsteht tatsächlich – ähnlich dem als potentieller Energieträger gehandelten Methanhydrat –, wenn Wassermoleküle unter hohem Druck und bei niedrigen Temperaturen ein Kristallgitter bilden und in Hohlräumen das Treibhausgas einlagern.

Doch es kam anders: Zur Enttäuschung der Forscher bildete

Etwa 3600 Meter unter dem Meeresspiegel ließen Forscher flüssiges Kohlendioxid in ein Becherglas strömen. Das aber schwappte über, weil sich aus Wasser und CO₂ Hydratbrocken bildeten, die die Flüssigkeit verdrängten



sich keine Hydratschicht. Vielmehr sanken Hydratbröckchen auf den Boden des Becherglases, woraufhin die Flüssigkeit answoll, überquoll und von der Strömung davongetragen wurde. „Die permanente Deponierung von CO₂ am Meeresboden ist also wohl unrealistisch“, konstatierten die Wissenschaftler.

Ein anderes, noch ehrgeizigeres Experiment ist für Sommer 2001 vor der Küste Hawaiis geplant: Bei einem internationalen Projekt, das vom Pacific International Center for High Technology Research in Honolulu koordiniert wird, wollen Ingenieure und Forscher bis zu einem Kilogramm CO₂ pro Sekunde durch eine fünf Zentimeter dicke Pipeline 1000 Meter tief in den Pazifik pumpen. Dies entspricht etwa sieben Promille des Kohlendioxid-Ausstoßes eines 500-Megawatt-Kohlekraftwerks. Der Theorie folgend sollte sich das CO₂ tröpfchenweise im Tiefenwasser verteilen. Erst wenn dieses wieder an die Oberfläche gelangt, kommt auch das Treibhausgas wieder in Kontakt mit der Atmosphäre. Und das, meinen die Experten, sei je nach Strömung frühestens in einigen Jahrhunderten der Fall.

Außerdem erhofft man sich durch dieses Experiment Erkenntnisse darüber, wie erhöhte Kohlendioxid-Gehalte im Wasser etwa durch Erniedrigung des Säurewertes auf Meeresbewohner wirken.

PHARMAKOLOGIE

Die blaue Apotheke

Das Meer erweist sich als Reservoir neuartiger Heilmittel

Die Natur liefert oft genug die besten Problemlösungen. So haben die Wirkstoffe von fast der Hälfte der meistverkauften Arzneimittel eigentlich ihren Ursprung in Bakterien, Pflanzen und Tieren. Seit einiger Zeit rücken bei der Suche nach heilsamen Substanzen nun mehr und mehr marine Organismen in den Fokus der Forscher. Von ihnen erhofft man sich Waffen gegen Erreger, die zunehmend resistent auf gewohnte Medikamente reagieren, und gegen Krankheiten wie Krebs oder Alzheimer, gegen die Mediziner bislang noch kein Rezept haben.

Neuentdeckte Bakterienstämme aus dem Ozean werden dem Mikrobiologen Russel Hill vom Center of Marine Biotechnology in Baltimore zufolge bereits in der ersten Dekade des nächsten Jahrhunderts „Quellen wichtiger pharmazeutischer Verbindungen sein“. Das Augenmerk des Wissenschaftlers gilt insbesondere den Aktinomyzeten, einer Gruppe von Bakterien, aus deren Landformen rund zwei Drittel der heute gängigen Antibiotika stammen. Mikroben, die einem Wirksamkeitstest unterzogen werden sollen, hat Hill bereits aus den unterschiedlich-

sten Lebensräumen isoliert – Sedimenten in Flußmündungen, Meeresboden vor Hawaii und der Umgebung heißer Tiefsee-Quellen.

Der Optimismus der Pharmakologen gründet sich auf den Artenreichtum der Ozeane und darauf, daß deren Geschöpfe einen anderen evolutionären Weg hinter sich haben als Landbewohner. In Anpassung an ihr wäßriges, zum Teil dunkles und unter hohem Druck stehendes Milieu haben sie eigene Überlebensstrategien und Stoffwechselprozesse entwickelt. Während zum Beispiel terrestrische Lebewesen überwiegend mit leichtflüchtigen Botenstoffen chemisch kommunizieren, die sich im Medium Luft gut verteilen, tauschen marine Kreaturen Nachrichten vorzugsweise durch direkten Kontakt oder über wasserlösliche Substanzen aus.

Wie aber sollen Pharmakologen die besten Kandidaten aus der Unmenge von Spezies herausfinden? Denn anders als bei der Suche nach neuen Wirkstoffen aus dem Regenwald können sie sich hier nicht am Wissen von Heilern und Medizinern orientieren. Im Meer, das hat sich immerhin herausgestellt, sind die Aussichten auf wirkmächtige Substanzen besonders hoch bei seßhaften, also nicht fluchtfähigen Tieren.

Diese wehren sich dank raffinierter Gifte gegen Freßfeinde und eine Überwucherung durch andere Organismen. Die Aufmerksamkeit der Wissenschaftler richtet sich daher vor allem auf drei Tiergruppen: auf Schwämme, Moostierchen – auch Bryozoen genannt – und Manteltiere, zu denen etwa Seescheiden zählen.

Die größten Hoffnungen setzen Krebsforscher derzeit auf einen Extrakt aus dem kalifornischen Moostierchen *Bugula neritina*. Der Wirkstoff wird bereits an ausgewählten Patienten mit Brust-, Hautkrebs und Leukämie getestet. Gegen Tumorzellen haben sich außerdem Verbindungen aus dem karibischen Manteltier *Ecteinascidia turbinata* und einer australischen Koralle als wirksam erwiesen.

Auf dem Weg in die Apotheke am weitesten fortgeschritten ist wohl ein aus Kegelschnecken ge-

wonnenes Schmerzmittel, mit dem derzeit klinische Studien an einer großen Zahl von Patienten laufen. Der Stoff, mit dem die Weichtiere ihre Beute innerhalb von Sekunden lähmen, wirkt 100- bis 1000mal stärker als Morphin.

Haben Pharmakologen ein neues Wirkstoffmolekül identifiziert, beginnen aber oft erst die Probleme. Ohne ausreichende Rohstoffressourcen ist beispielsweise eine Medikamentenproduktion nicht zu realisieren. Da die lebenden Lieferanten, wenn überhaupt, meist nur unter großem Aufwand und hohen Kosten der Natur entnommen werden können, müssen sie gezüchtet werden – ein oft sehr schwieriges Unterfangen. Überdies stammen viele der etwa

in Schwämmen entdeckten Stoffe gar nicht von diesen selbst, sondern von bakteriellen Symbionten. Wer diese „Untermieter“ getrennt vom „Haus Herrn“ vermehren will, muß das Verhältnis der beiden, das gegenseitige Geben und Nehmen, genauestens kennen.

Als Ausweg versuchen Chemiker, die komplexen Strukturen der Wirkmoleküle unter Aufbietung all ihrer Synthesekunst nachzubauen – was etwa beim schmerzstillenden Gift der Kegelschnecke gelungen ist.

Trotz seines enormen Potentials garantiert das Meer allerdings keinen prompten Erfolg. Das zeigt der Fall Didemnin. Die Substanz aus der Seescheide *Trididemnum solidum* war auf dem besten Weg, das erste aus dem Meer gewonnene Krebsmedikament zu werden. Nach mehrjähriger Entwicklung mußten Mediziner die Tests abbrechen: Das Mittel hatte gravierende neurologische Nebenwirkungen.

GERÄUSCHE

Radau im Meer

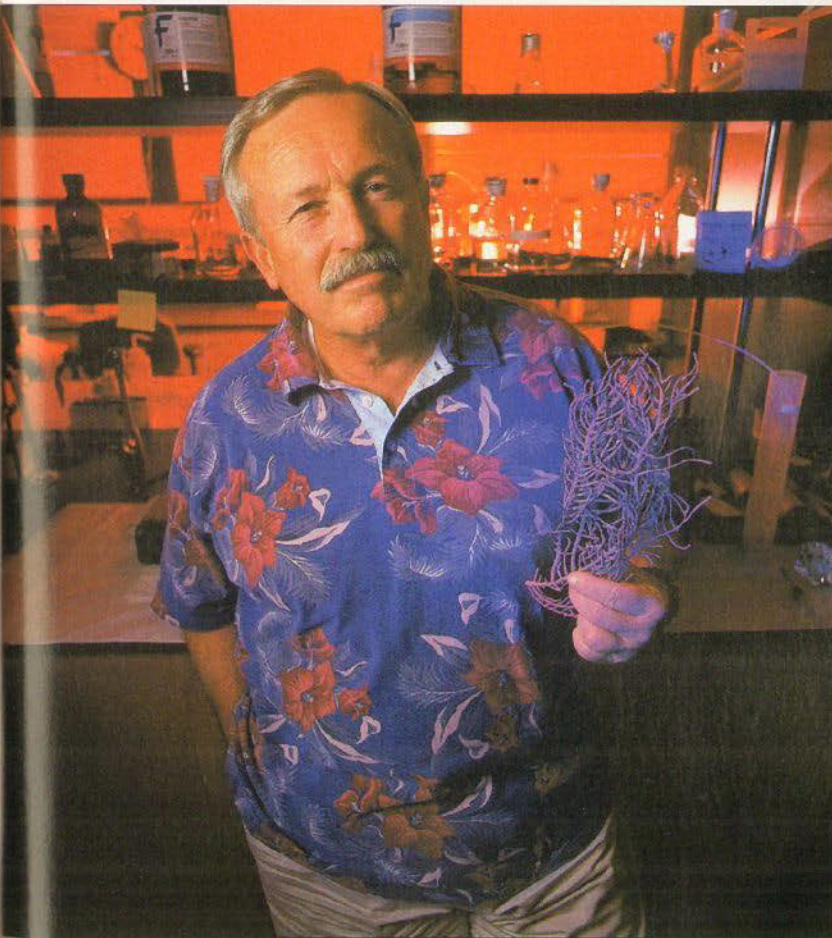
Die Lärmverschmutzung der Ozeane nimmt von Jahr zu Jahr zu. Die Folgen für Meerestiere sind umstritten

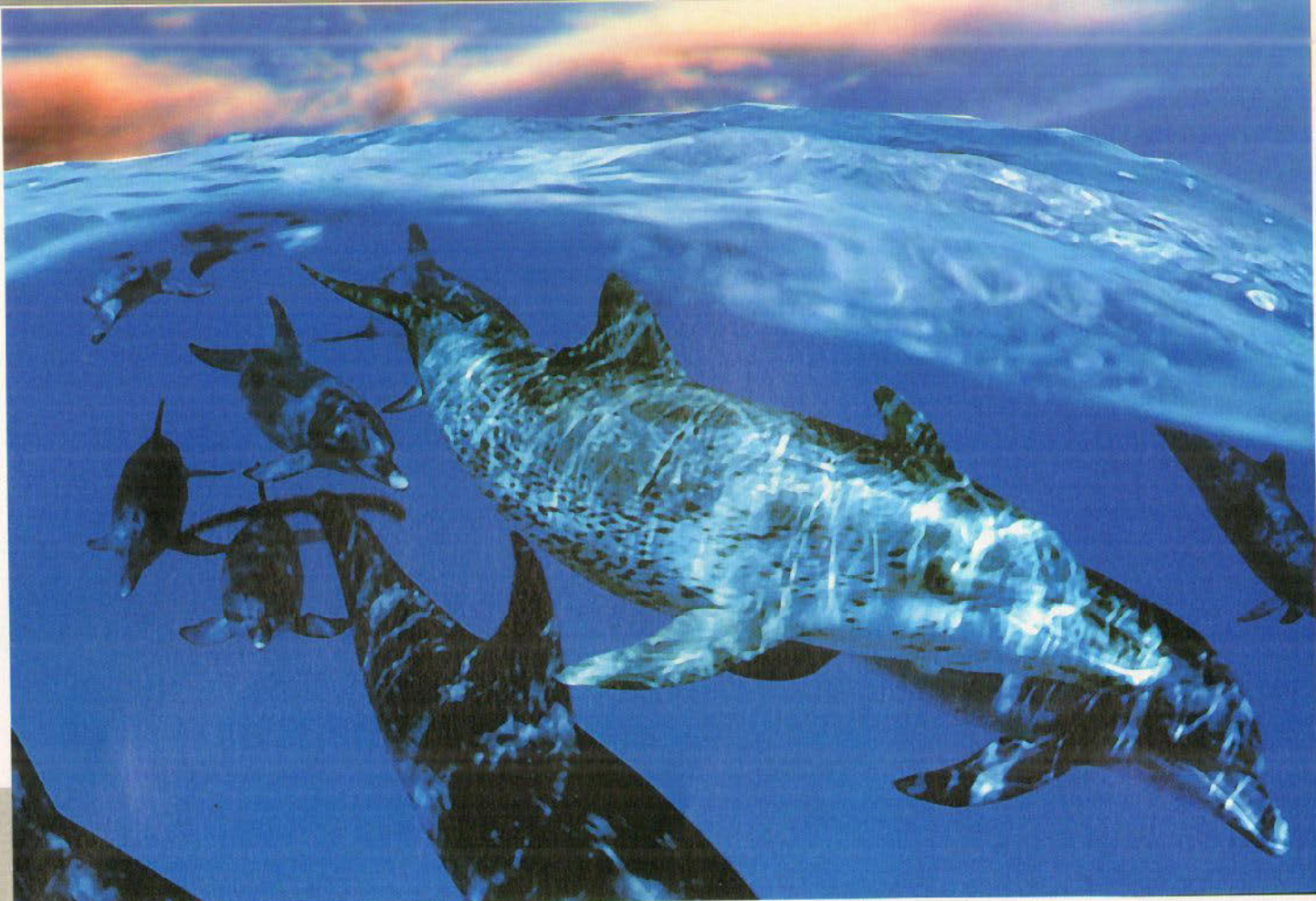
Jacques Cousteau nannte die Ozeane „stille Welt“. Doch da hatte er sich getäuscht. Geräusche aller Art durchdringen die meist finsternen Weiten – natürliche und menschengemachte, leise und sehr laute.

Daß Wissenschaftler mittlerweile das ganze Spektrum der Unterwasser-Töne erforschen können, verdanken sie dem Ende des Kalten Kriegs. Denn seit Anfang der neunziger Jahre dürfen sie Teile eines gigantischen unterseeischen Horchsystems der US-Marine nutzen.

Um über die Aktivitäten sowjetischer U-Boote auf dem laufenden zu sein, hatte die Navy in den fünfziger Jahren damit be-

Medizinische Hilfe aus dem Meer: Die Weichkoralle in der Hand des Biologen William Fenical hemmt Entzündungen. Auch daß die Bakterien in der Laborschale – sie stammen aus dem Meeresboden – gegen Infektionen helfen, gilt als möglich. Stoffe aus der Seescheide *Ec-teinascidia turbinata* zerstören Tumorzellen



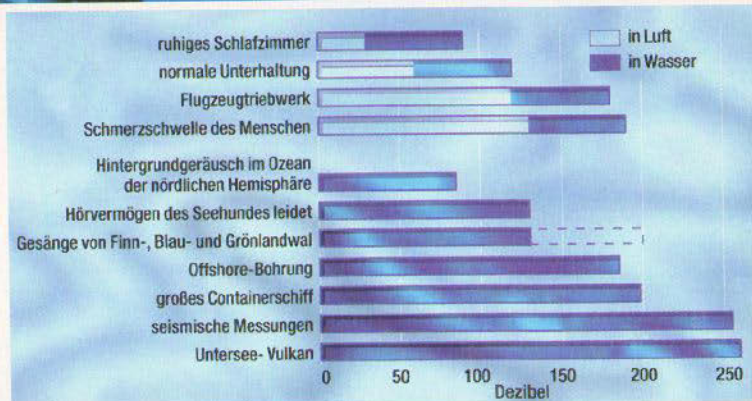


Von wegen stille Welt: Die Ozeane sind erfüllt von leisen und sehr lauten Geräuschen, etwa den »Gesprächen« der Fleckendelphine in dieser Fotomontage

gonnen, Tausende von Mikrofonen auf dem Grund der Weltmeere auszulegen. Was diese See-„Wanzen“ empfangen, lief in einem Abhörzentrum im US-Bundesstaat Virginia zusammen.

Heute lauschen Wissenschaftler dank der Anlage SOSUS (SOUND SURVEILLANCE SYSTEM) den Tönen, die den Militärs dazwischenfunken. Sie hören, wie Eisberge bersten, wie der Meeresboden bebt, wie unterseeische Vulkane grummeln und explodieren. Auch das Rauschen der Wellen dringt nach unten. Und wenn Regen auf die Oberfläche pladdert, braust es in der Tiefe.

Wie die Fauna an Land lärmen auch Meerestiere. Von wegen stumme Fische. Fast jede Art erzeugt typische Laute: Krötenfische etwa glucksen, andere Spezies trommeln beim Beutefang. Krebse zirpen, wenn sie wie Grillen Teile ihrer harten Schalen aneinanderreiben, Garnelen der Gattungen *Synalpheus* und *Alpheus* knallen durchdringend mit ihren überdimensionierten Sche-



Werte charakteristischer Schalldrücke nach dem Luft- und nach dem Wasserstandard

ren. Walrosse rufen glockenartig. Wale bellen, schnattern, klicken und singen. Dabei können sie einen Schalldruck bis zu 200 Dezibel erzeugen. An Land wären das 138 Dezibel. Ursache für diese Differenz: Aus historischen Gründen nutzen Akustiker für Luft und Wasser verschiedene Standards als Basis für die Intensität eines Tons.

Wissenschaftler, die das Meer abhören, wissen nicht immer, wer oder was da schallt. Manchmal müssen sie sich damit begnügen, mysteriösen Geräuschen le-

diglich Spitznamen zu geben – etwa „das Echo“, „der Zimmermann“, „das Woof-Woof“ oder „die T-Welle“. Letztere ist ein ungewöhnlich reiner, sekunden- bis minutenlanges Ton, den Erdbebenforscher in Polynesien aufgefangen haben. Und sie vermuten heute, daß Gasblasen aus einem aktiven Vulkan im Südpazifik ihn anstimmen.

Da Töne natürlichen Ursprungs die Ozeane seit Jahrmillionen füllen, hat sich die Tierwelt ihnen angepaßt. Sorgen bereitet Wissenschaftlern jedoch, daß Lärm

aus technischen Quellen immer weiter vordringt. Verhältnismäßig leise ist es – wenn nicht gerade die Erde bebt oder Vulkane ausbrechen – in abgelegenen Gewässern wie dem Südpazifik. In vielbefahrenen Meeren der nördlichen Hemisphäre hält sich dagegen vielerorts ein weitgehend menschengemachtes Hintergrundgeräusch von der Stärke eines lauten Flüsterns.

Direkt an den Entstehungsorten dieser akustischen Dauerberieselung dröhnt es sogar. Schiffsschrauben sausen und Dieselmotoren wummern. Ölprospektoren zünden unterseeische Sprengungen. Bohrinseln klicken und vibrieren ohrenbetäubend laut.

Auch das Militär macht Krach. Die Nato zum Beispiel hat ein sogenanntes Niederfrequenz-Sonarsystem entwickelt, das mit Hilfe sehr lauter und tiefer Schallwellen U-Boote orten soll. Und sogar Wissenschaftler beteiligen sich an der marinen Lärmverschmutzung. Mit 195 Dezibel senden sie aus Unterwasser-Lautsprechern vor San Francisco und Hawaii Töne in den Pazifik. Da warmes Wasser Schallwellen schneller leitet als kaltes, sind aus deren Ausbreitungsgeschwindigkeit Temperaturen zu errechnen. Mit Hilfe dieser Methode hoffen sie, eine globale Erwärmung des Ozeans bereits frühzeitig feststellen zu können.

Wie der menschengemachte Lärm auf Meerestiere wirkt, ist wenig erforscht. Einiges weist jedoch darauf hin, daß er ihnen schadet. Zum Beispiel wachsen Garnelen und manche Fischarten

langsamer als normal und vermehren sich ungewöhnlich schlecht, wenn der Schalldruck in ihren Aquarien um 20 oder 30 Dezibel erhöht wird. Grauwale, denen Forscher Bohrsinsel-Getöse vorspielten, änderten daraufhin ihre Wanderrouen. Und als die Nato im Mai 1996 vor Griechenland ein neues U-Boot-Ortungssystem testete, strandeten in der Gegend wenige Tage später zwölf Cuvier-Schnabelwale. Derartiges war im Ionischen Meer seit 1981 nicht vorgekommen.

Selbst das niederfrequente Dauergebrummel der Schiffe richtet womöglich Schaden an. Forscher vermuten, daß es die Kommunikation von Bartenwalen stört. Denn tiefe Töne breiten sich im Wasser wesentlich weiter aus als hohe – und das Schiffsdrehören liegt ausgerechnet im Frequenzbereich, in dem sich diese Meeressäuger verständigen.

Die Autoren von Super-Nova:
Klaus Bachmann,
Axel Bojanowski,
Martina Keller,
Jörg-Uwe Kerstein, Jens Lubadeh, Susanne Paulsen, Klaus Wilhelm

LITERATUR

ÜBERBLICK/ EINFÜHRUNG

Meereskunde

Jörg Ott, Ulmer, 1996
Wer ein Buch sucht, das ihm Entstehung der Meere, ozeanische Zirkulation, marine Lebensräume und Nutzung des nassen Universums knapp und präzise beschreibt, ist mit dem „Ott“ bestens bedient. Zum Schmökern lädt der Band allerdings wenig ein – Autor und Verlag präsentieren den Stoff sehr kompakt und ohne Fotos.

Die dynamische Welt der Ozeane

Spektrum der Wissenschaft Spezial, 1998
Versammelt Aufsätze von Wissenschaftlern über die Lebensgemeinschaften der Tiefsee-Quellen,

den Einfluß der Ozeane auf das Wetter, die Bedrohung der Meere durch Überdüngung und Fischerei. Komprimierte und zuverlässige Informationen.

The Universe Below

William Broad, Touchstone, 1998
Der Wissenschaftsredakteur der „New York Times“ konnte für den Band auf jahrelange Berichterstattung über den „Kosmos unter Normalnull“ zurückgreifen. Er skizziert die Geschichte der Tiefsee-Forschung, nimmt den Leser mit auf eine Tauchfahrt zu heißen Quellen und läßt ihn bei der Erkundung der mittleren Tiefen per Roboter dabei sein. Ein brillantes Lesebuch.

Ozeane – Kosmos voller Wunder

Michele und Howard Hall, Frederking & Thaler, 1998

Parallel zu Filmarbeiten für die gleichnamige amerikanische Fernsehserie entstand dieser Fotoband mit exzellenten Tieraufnahmen. Die beiden „Emmy“-Preisträger Michele und Howard Hall schildern anschaulich spannende Situationen und Erlebnisse, aber auch Schwierigkeiten während der Dreharbeiten unter Wasser.

Mare – Die Zeitschrift der Meere

dreiviertel verlag, erscheint zweimonatlich
Papiergewordene Hommage an das Meer. Wer beim ersten Erscheinen der Zeitschrift im April 1997 glaubte, die Themen rund um den Ozean würden sich rasch erschöpfen, hat sich gründlich geirrt. Jede Ausgabe überzeugt erneut durch

ungewöhnliche Perspektiven. Auch die Gestaltung macht „Mare“ zu einer Perle auf dem Zeitschriftenmarkt.

MEERESBIOLOGIE

Biologische Meereskunde

Ulrich Sommer, Springer, 1998

Ein Lehrbuch, dessen Autor sich der komplexen Materie mit dem Blick eines Ökologen nähert. Im Vordergrund stehen Freßbeziehungen, Symbiosen, Nahrungsnetze, Nährstoff- und Energieflüsse. Pointierte Einleitungen und Zusammenfassungen sowie Kästen mit Merksätzen erleichtern das Lernen.

Meeresbiologie

Pierre Tardent, Thie-me, 1993

Gut lesbare Einführung in die Biologie der Meeresbewohner. Der Autor beschreibt die wichtig-



Bildnachweis nach Seiten. Anordnung im Layout: l. = links, r. = rechts, o. = oben, m. = Mitte, u. = unten

Titel: Jeff Rotman; kleines Foto: Christoph Gerigk

Seite 3: Sabine Sütterlin; o.: Gilla Bachmann; u.

Seite 4: Al Giddings/Al Giddings Images; o.: The Granger Collection, New York; m. o.: Don Dixon; m.; Roland Seitre; m. u.: Siegmund Munk; l. u.: Hilla Kipper; r. u.

Seite 5: Sandro Vannini/Corbis/Picture Press; o.: Zefa/Schäfer; m. o.: GeoForschungsZentrum Potsdam; l. m. u.: Bruce Robison; r. m. u.: Kokusai Cable Ship Co. Tokyo/Tom Jütz; u.

DER KOSMOS UNTER NULL

Alexis Rosenfeld/Photocéans; 8/9: David Doubilet; 10-13: Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung Bremerhaven; 14/15: Kevin Raskoff/ Monterey Bay Aquarium Research Institute; 16/17: Al Giddings/Al Giddings Images; 18/19: AP Photo/Discovery Channel; 20/21

EIN KOSMISCHER GLÜCKSFALL

Don Dixon Illustrationen; 24/25, 31: Tom van Sant/Geosphere Project, Santa Monica/Science Photo Library/Agentur Focus; 26: USGS, Flagstaff; 27: M-Sat/ESA; 32: Lunar and Planetary Institute/VAR; 33

DIE REISE DER GIGANTEN

Roland Seitre; 34-43

PORTRAIT BALLARÉ

Gregory Heisler/Corbis Outline; 44

WEHE, WENN DER HEIZER STREIKT

NASA/Goddard Space Flight Center; 46: Wolfgang Kaehler/Corbis/Picture Press; 48: Richard Cummins/Corbis/Picture Press; 49: Stephanie Maze/Corbis/Picture Press; 52

TAUCHFAHRT ZUM QUELL DES LEBENS

Ralph B. White; 54/55: John D. Donnelly/Woods Hole Oceanographic Institute; 56: Emory Kristof/National Geographic Image Collection; 57, 59, 63 l. u.: J. R. Delaney, D. S. Kelley et al./University of Washington/School of Oceanography/Fotomosaik von D. Yoergler und M. Elend; 61 l.: Craig S. Cary/University of Delaware; 61 r. o.: WHOI; 61 r. m., 63 l. o., 65 l.: Al Giddings/Al Giddings Images; 61 r. u.: Peter Tyson; 62 l.: Carl D. Wirsén; 62 r.: Al Royce/National Geographic Image Collection; 63 r.: Jim Atkins/WHOI; 65 r.

DIE GREIFER AUS DER UNTERWELT

Flip Nicklin/Minden Pictures/Save-Bild/Jeff Rotman/Bearbeitung Andreas Knoche; 66/67: Richard Ellis; 66 u.: Richard Ellis/N. Wyeth/Courtesy Free Library of Philadelphia; 68: David Paul; 69

PORTRAIT AUTISSIER

Jacques Vapillon; 70

DER HEISSE DRAHT DURCH DIE KALTE SEE

The Granger Collection, New York; 72/73, 76: Matthew Brady/Corbis/Bettmann; 74: Bildarchiv Preußischer Kulturbesitz; 75 l. o.: Mary Evans Picture Library; 75 r.: Culver Pictures, Inc.; 75 u., 80: The Science Museum, London/Science & Society Picture Library; 77-79: Corbis/Bettmann; 81

DER GRIFF NACH NEPTUNS SCHATZEN

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover; 82/83 o.: Peter Herzog/Technische Universität Bergakademie Freiberg; 82 r. und l. u.: Stefan Pielow/Agentur Focus; 86: The Cousteau Society/The Image Bank; 87 o.: Yngve Rokke/The Image Bank; 87 u.: Geomar; 88 o., 89

DIE GESCHÖPFE DER FINSTERNIS

Peter David/Planet Earth Pictures; 90/91, 94: Edith Widder/Harbor Branch Oceanographic Institution, Inc.; 91, 97 r. o. und l. m.: Norbert Wu; 92, 95 m. o., 97 m. und l. u.: Bill Curtsinger; 93: Gregg Dietzman/Planet Earth Pictures; 95 l. u.: Paulo de Oliveira/Planet Earth Pictures; 95 r. u.: aus: A. Hardy, The open Sea, Houghton Mifflin, 1955; 96 o.: Roger Seapy/California State University of Fullerton; 96 u.: George Matsumoto; 97 l. o.: Marsh Youngbluth/Harbor Branch Oceanographic Institution, Inc.; 98: Monterey Bay Aquarium Research Institute; 99

WAR UNSER AHN EIN WASSERTIER? Martin Tom Dieck; 100

DER GEBORNE AQUANAUT

Sammlung Hans Fricker; 102-107: J. Schauer/MPV Seewiesen; 108: André Rival; 109

IM DREIECK DES VERDERBENS

Thorina Rose; 110-119

ENDSTATION OZEAN

Sammlung Hans Fricker; 120-124 o.: Alan McDonald/Katz Pictures/Agentur Focus; 120/121 u.: David Doubilet/National Geographic/Premium; 122 u.: Jewgenij Kondakow; 123 u.

PORTRAIT NAVAIR

Walter Schels; 126

DIE EROBERUNG DER TIEFE

Aus: Deep-Sea Biology, J. D. Gage & P. A. Tyler; 129 l. o.: Science Museum, London/Science & Society Photo Library; 129 r. o.: Culver Pictures, Inc.; 129 l. m.; Corbis/Bettmann/Picture Press; 129 r. m. und u., 131 l. m.; National Maritime Museum Picture Library; 130 l. o.: Wildlife Conservation Society; 130 m. o. und m. u.; Archiv Smith; 130 r.; Mary Evans Picture Library; 130 l. m.; Manfred Mahn; 130 l. u.; Robert D. Ballard; 131 l. o.: Jörg Kuhn; 131 r. o.; Emory Kristof/National Geographic Image Collection; 131 r. m.; WHOI; 131 r. u., 132 l.; Ken Marshall/Courtesy of Madison Press Books; 132 r. o.; Perry Thorvik/National Geographic Image Collection; 132 m. o.; Ralph White/Corbis/Picture Press; 132 m. u. und u.; JAMSTEK; 133 l. o.; Peter Tyson; 133 r. o.; Geomar/Weinrebe/Scripps Institute of Oceanography; 133 l. u.; Kages/Alfred Wegener Institut; 133 r. u.

DAS AUFGETÜRMTE MEER

Sandro Vannini/Corbis/Picture Press; 134/135: Peter Hendricks/Agentur Focus; 136/137: Reinhart Wolf/Bilderberg; 136: Gerhard Albert; 138: Uwe George; 139, 144/145: Earth Sat; 141: Jonathan Blair/Corbis/Picture Press; 142: Loren McIntyre; 143

PORTRAIT MANN BORGESE

Nancy Ackerman; 150

VERMESSENES MEER

David Doubilet; 152/153: Colorado Center for Astrodynamic Research; 154: GeoForschungsZentrum Potsdam; 155: NASA/Greg Shirah; 156 (3): Philip L. Richardson/WHOI; 158: Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory/NOAA; 158/159

SICH FÜHLEN WIE EIN FISCH

Kevin Candland; 160/161: Paul A. Souder/Corbis/Picture Press; 162/163: SeaLife Timmendorf; 164: Christoph Gerigk; 165: Zefa/Schäfer; 166/167

SUPERNOVA

Pascal Kobelt/Photocéans; 170: Sergio Montanari/kan; 171 o.: Amy Chan und Curtis Suttle/MBARI; 171 u.: George Steinmetz; 172: Ian McDonald/Texas A&M University; 173: MBARI; 174: Michael Sexton; 175 l. und r. o.: Stephen Frink/Waterhouse Stock Photography; 175 r. u.: James D. Watt/Innerspace Visions/Digitale Komposition; 176 o.

VORSCHAU

180: Frans Lanting; o., m. u.: Reiner Klingholz; l. u.: Christian Ziegler; r. u.

KARTEN/INFO-GRAFIKEN

Harald Blanck; 28/29, 84, 85 u.: Joseph Smyth, University of Colorado/Andreas Kreil; 30: Hugo Bezdek/Woods Hole Oceanographic Institute; 46-53 u.: WHOI/Harald Blanck; 50 o., 51 o.: Arne Körtzinger/Douglas Wallace/Institut für Meereskunde, Kiel/Harald Blanck; 53 o.: Siegmund Munk; 56, 58, 60: Günther Edelmann; 84/85 m., 131 l. u., 140, 142, 143, 156: New Scientist; 88 u., 176 u.: Charles Hollister/WHOI/Nicole Krohn; 124 u.: Hendrik Dorgaten; 177, 178

Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Fotos übernehmen Verlag und Redaktion keine Haftung.

© GEO 199, Verlag Gruner + Jahr, Hamburg, für sämtliche Beiträge.

Einem Teil der Auflage liegen Prospekte für Betty Darling Tee Company, Maire, GEO, GEO SAISON, PM, Capital bei.

sten marinen Lebensgemeinschaften und skizziert die Anpassungen der Organismen an die Besonderheiten des flüssigen Elements.

Marine Biology

James Nybakken, Addison-Wesley, 1997

Von den Grundlagen der Meeresbiologie bis zu Umweltverschmutzung und Treibhauseffekt behandelt dieses umfassende Lehrbuch alle marinen Forschungsgebiete. Die Kapitel sind übersichtlich und mit vielen anschaulichen Diagrammen und Zeichnungen ergänzt. Ein idealer Begleiter für Studenten.

The Aquatic Ape Hypothesis

Elaine Morgan, Souvenir Press, 1997

„Die glaubwürdigste Theorie der menschlichen Evolution“ verheißt der Untertitel von Morgans neuestem Buch zu der kühnen Hypothese, die Menschheit habe in grauer Vorzeit einmal eine Phase des Wasserlebens durchgemacht. Durch ihren pointierten, gleichwohl sachlichen Stil schafft es die Autorin, auch das ungläubigste Kopfschütteln schon nach wenigen Seiten in Interesse zu verwandeln.

TIEFSEE-QUELLEN

Deep-Ocean Journeys

Cindy Lee Van Dover, Addison-Wesley, 1996

Sehr persönliche Berichte über Tauchfahrten zu den Hydrothermal-Quellen der Tiefsee. Die Amerikanerin vereint dabei zweierlei Perspektiven: Sie war die erste und einzige Pilotin des Tauchschiffs „Alvin“, und mittlerweile erforscht sie als Wissenschaftlerin die bizarren Lebensgemeinschaften am Meeresgrund.



Handbook of deep-sea hydrothermal vent fauna

Daniel Desbruyères/Michel Segonzac (Ed.), Ifremer, 1997

Die Herausgeber haben zusammengetragen, was über die Fauna rund um die warmen und heißen Quellen in der Tiefsee bekannt ist. Herausgekommen ist ein Panoptikum von fast 300 Spezies, jeweils mit knappem Steckbrief.

WALE

The Year of the Whale

Victor B. Scheffer, Lyons & Burford, 1996

Eine Art Wissenschafts-Roman: die Beschreibung des ersten Jahres im Leben eines jungen Pottwals, auf der Basis zahlreicher Fakten aus Wal- und Meeresforschung. Spannend und informativ zugleich – allerdings auch in der Neuauflage nicht immer auf dem aktuellen Stand des Wissens.

Die Wale

Hermann Sülberg, GEO im Verlag Gruner + Jahr, 1993

Der GEO-Klassiker über Wale und Delphine: Zehn opulent bebilderte Kapitel über Walforschung und Walfang in Geschichte und Gegenwart.

GEOLOGIE

Die ozeanischen Rücken

Adolphe Nicolas, Springer, 1995

Wie entstehen Ozeane? Was geschieht an den untermeerischen Rücken? Wie ist Meeresboden an Land gelangt, und was können wir aus seiner Untersuchung lernen? Der Band läßt kaum eine Frage rund um die Geologie der Meere unbehandelt. Viele anschauliche Grafiken machen ihn auch für Laien zu einer Fundgrube.

The New Solar System

Kelly Beatty, Carolyn Petersen, Andrew Chaikin (Ed.), Sky Publishing, 1999

Was Sie sich beim Blick ins Universum schon immer kaum vorstellen konnten – mit diesem prächtigen Band wird es vertraut. Neueste, detailgetreue Aufnahmen von Planeten, Monden, Asteroiden und Kometen, prächtige Fiction-Illustrationen von der Geburt unseres Sonnensystems, einleuchtende Grafiken und Tabellen und eine klare Gliederung des wahrlich universalen Stoffs lassen nur einen Wunsch offen: daß das seit 1981 erscheinende Standardwerk bald auch auf deutsch vorliegt.

ENTDECKUNG/HISTORIE

Lockende Meerestiefen

Norbert Gierschner, Müller Rüschkönig, 1999

Versammelt Auszüge aus Originalberichten über historische Tauchfahrten. Der Leser kann teilhaben an der Expedition des amerikanischen Zoologen William Beebe, der 1934 in einer Stahlkugel 923 Meter

Tiefe erreichte. Und natürlich an der Rekordreise des Schweizers Jacques Piccard mit der „Trieste“ hinab in den Marianengraben, zur tiefsten Stelle unseres Planeten.

Tiefsee

Robert Ballard, Herbig, 1998

Unterhaltsamer Streifzug durch die Geschichte der Tiefsee-Forschung, geschrieben von einem, der bei vielen spektakulären Expeditionen mit dabei war. Leidet etwas durch die manchmal penetrante Selbstdarstellung des Autors.

Das Goldschiff

Gary Kinder, Malik, 1999

Im September 1857 versank vor der Ostküste der USA der Raddampfer „Central America“ mit 21 Tonnen puren Goldes an Bord. 130 Jahre später machte sich ein Team von Tüfclern und Wissenschaftlern auf die Suche nach dem Wrack. Spannendes Protokoll einer erfolgreichen Schatzsuche.

UMWELTSCHUTZ

The Oceanic Circle

Elisabeth Mann Borgese, United Nations University Press, 1998

Ein Perspektivenwechsel tut not, meint Elisabeth Mann Borgese. Wir sollten nicht die Kontinente, sondern vielmehr die Meere ins Zentrum unserer Weltsicht rücken. Dazu listet die Autorin die physikalische, ökologische, klimatische, ökonomische und kulturelle Bedeutung der See auf.

Erscheint im Herbst 1999 unter dem Titel „Mit den Meeren leben“ bei Kiepenheuer & Witsch.

MYTHEN

Das Bermuda-Dreieck

Charles Berlitz, Knauer, 1993

20 Millionen Leser können nicht irren. So informativ wie Erich von Däniken, so spannend wie die „Akte X“. Eben ein Klassiker. Wer Atlantistheorien mag, wird das Bermuda-Dreieck verehren.

Seeungeheuer

Richard Ellis, Birkhäuser, 1997

Der Autor präsentiert ein Kabinett mariner Monster von Seeschlangen über Seejungfrauen und Oktopussen bis zum Duo Riesenkalmar-Pottwal. Prallvoll mit historischen Fakten und Zitaten, gegengeschnitten mit modernem meeresbiologischem Wissen.

The Search for the Giant Squid

Richard Ellis, Lyons Press, 1998

Der amerikanische Autor Richard Ellis, Experte für große Meerestiere und Seemonster, hat sein neues Buch komplett dem Riesenkalmar *Architeuthis* gewidmet. Herausgekommen ist die wohl umfangreichste Datensammlung über das legendäre Tier.

BELLETRISTIK

Seestücke

James Hamilton-Patterson, btb/Goldmann, 1998

Der Autor bereiste jahrelang die Meere, sammelte Seefahrtsgeschichten, wissenschaftliche Erkenntnisse, literarische Zeugnisse und Anekdoten. Aus all dem mixt er faszinierende Storys über die Vermessung des Ozeanbodens, die Suche nach Schiffswracks, die industrielle Fischerei. Geschichten, von denen

der Leser nicht genug bekommen kann.

20 000 Meilen unter dem Meer

Jules Verne

Unzählige Meeresforscher hat das Buch bewogen, ihren Berufsweg einzuschlagen. Zahllose Jugendliche fasziniert noch heute der 1870 erschienene Band. Und es ist immer wieder eine Lektüre wert, wie Kapitän Nemo den Naturforscher Professor Arronax im Tauchboot „Nautilus“ auf den Grund des Atlantik entführt.

Moby Dick

Herman Melville

Pflichtstoff für alle Walfans, -Experten und solche, die es werden wollen. Was der große amerikanische Schriftsteller und Ex-Walfänger über Biologie und Verhalten der Pottwale geschrieben hat, ist zum Teil noch heute gültig. Ganz abgesehen davon, daß Herman Melvilles Roman ein Klassiker der Weltliteratur ist.

ADRESSEN DER AQUARIEN

Monterey Bay Aquarium, 886 Cannery Row, Monterey, CA 93940-1085, USA; Tel. 001-831-648-4800, E-mail via: www.mbayaq.org/mail/mail.htm

Océanopolis, Port de Plaisance du Moulin Blanc, BP 411, 29275 Brest, Frankreich; Tel. 0033-2-98344040; E-mail: dir.public@oceanopolis.com
Von September 1999 bis Ostern 2000 bleibt Océanopolis wegen Bauarbeiten geschlossen

Sea Life Timmendorfer Strand, Kurpromenade 5, D-23669 Timmendorfer Strand; Tel. 04503-3588-88

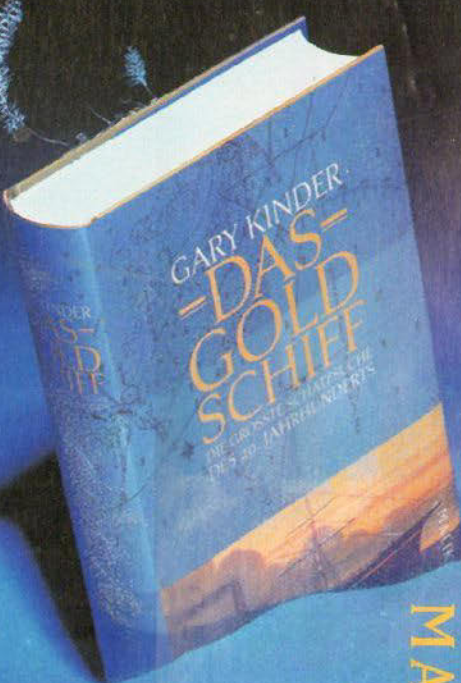
Sydney Aquarium, Aquarium Pier, Darling Harbour NSW 2000, Australien; Tel. 0061-2-9262 2300, E-mail: mail@sydneyaquarium.com.au

Vancouver Aquarium, PO Box 3232, Vancouver, British Columbia, Canada V6B 3X8; Tel. 001-604-659-3474, E-mail: information@vanaqua.org

DER GRÖSSTE SCHATZ, DER JE GEHOBEN WURDE, GOLD

131 Jahre lang lag einer der kostbarsten Schätze der Welt unerreichbar in den Tiefen des Atlantiks: Gold im Wert von einer Milliarde Dollar – begraben im Wrack der Central America. Mitte der 80er Jahre begannen drei Männer mit der Suche nach dem verschollenen Schiff und bargen schließlich den größten Schatz, der je gehoben wurde. Dieses Buch schildert die Tragödie des Schiffs und seine sensationelle Bergung.

586 Seiten, DM 39,80
Jetzt überall, wo es Bücher gibt!

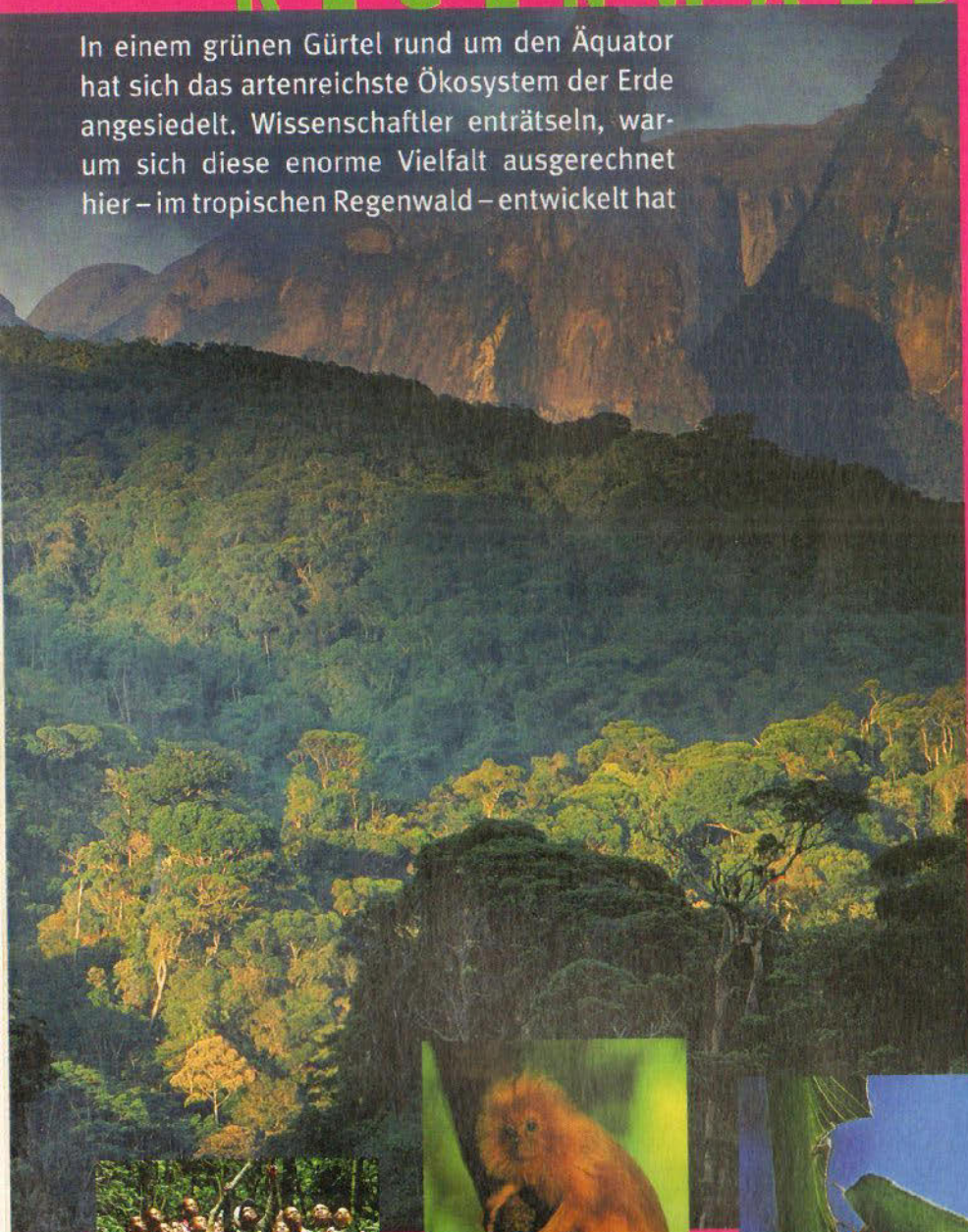


MALIK

Das Heft erscheint am 14. Februar 2000

REGENWALD

In einem grünen Gürtel rund um den Äquator hat sich das artenreichste Ökosystem der Erde angesiedelt. Wissenschaftler enträtseln, warum sich diese enorme Vielfalt ausgerechnet hier – im tropischen Regenwald – entwickelt hat



GEO fördert **SCHUTZ-PROJEKTE** – zum Beispiel im Budongo-Forest, dem größten Urwald von Uganda



Ausgewilderte **GOLD-LÖWENÄFFCHEN** in der Mata Atlantica, dem atlantischen Bergregenwald Brasiliens



BLATTSCHNEIDER-AMEISEN leben zu Millionen in einem Staat mit ausgeklügeltem Sozialsystem

Alles über das Regenwaldhaus zur Expo in Hannover

Gruener + Jahr AG & Co, Druck- und Verlagshaus, Am Baumwall 11, 20459 Hamburg. Postanschrift für Verlag und Redaktion: 20444 Hamburg. Telefon (040) 3703-0. Telefax (040) 3703-5648. CompuServe: 75410, 1601; Internet: 75410.1601@compuserve.com; GEO-Explorer: <http://www.geo.de/>

CHEFREDAKTEUR
Peter-Matthias Gaede

GESCHÄFTSFÜHRENDE REDAKTEURE
Erwin Ehret (Art Direction), Ruth Eichhorn (Bild), Dr. Reiner Klingholz (Text)

ART DIRECTOR: Andreas Knoche

GESTALTUNG UND LAYOUT
Franz Braun

MITARBEITER DIESER AUSGABE:
Klaus Bachmann (Textredaktion)
Ernst Artur Albaum, Dr. Wolfgang Blum, Axel Bojanowski, Dr. Eva Danulat (Dokumentation), Lothar Frenz, Uwe George, Dr. Hans Haltmeier, Hansjörg Heinrich, Christian Jungblut, Martina Keller, Jörg-Uwe Kerstein, Andrian Kreye, Dr. Erwin Lausch, Claus-Peter Lieckfeld, Jens Lubbadh, Günther Mack, Martin Meister, Wolfgang Michal, Christoph Neidhart, Hanns-J. Neubert, Susanne Paulsen, Andrea Pelz, Angelika F. Pfalz, Dr. Manfred Pietschmann, Ines Possemeyer, Cay Rademacher, Johanna Romberg, Calvin Roth, Kathy Sawyer, Patrick Schmelzer, Claus-Peter Sesin, Hanne Tügel, Klaus Wilhelm

REDAKTIONSASSISTENZ
Ursula Arens, Angelika Fuchs

BILDREDAKTION
Elisabeth Degler, Bärbel Edse, Christian Gargerle

SCHLUSSREDAKTION
Manfred Feldhoff, Jürgen Brüggemann, Dr. Friedel H. Bastein, Hans-Werner Kühl, Hinnerk Seelhoff. Assistenz: Hannelore Koehl

DOKUMENTATION: Jörg Melander
KARTOGRAPHIE: Günther Edelmann

GEO-BILDARCHIV
Gunda Lerche, Peter Müller

Redaktionsbüro New York:
Wilma Simon, Brigitte Barkley, Barbara Bylek, 375 Lexington Avenue, New York, NY 10017-5514, Tel. (212) 499-8100, Fax (212) 499-8105, e-mail: geomag@interport.net

Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:
Dr. Reiner Klingholz

VERLAGSLEITER: Dr. Jürgen Althans, Dr. Gerd Brüne (Stellv.)

ANZEIGENLEITER: Dr. Gerd Brüne (verantwortlich für Anzeigen)

VERTRIEBSLEITER: Jan Schweke
MARKETINGLEITER: Florian Wagner
HERSTELLER: Peter Grimm

GEO-Wissen-Leser-Service
Deutschland: Gruener + Jahr AG & Co
GEO-Wissen-Leser-Service, 20080 Hamburg,
Schweiz: GEO-Wissen-Leser-Service, 6002 Luzern
Österreich: GEO-Wissen-Leser-Service,
DPV Wien, Postfach 7, A-1140 Wien
Übriges Ausland:
GEO-Wissen-Leser-Service, DPV,
Postfach 101602, D-20010 Hamburg
Jahresabonnement übriges Ausland auf Anfrage

GEO-Service-Telefon
(Abonnement, Nachbestellung älterer Ausgaben, Bücher von GEO, GEO-Kalender, Register, Schubser etc.)
Deutschland: Tel: (040) 37 03 40 41; Fax: (040) 37 03 56 57; e-mail: abo-service@guj.de
Schweiz: Tel: (041) - 317 33 33; Fax: (041) - 317 33 89
Österreich: Tel: (0222) - 91 07 63 26; Fax: (0222) - 91 07 63 18
Übriges Ausland: Tel: ++4940-37033929; Fax: ++4940-37035625

Heft-Preis: DM 15,80 - ISBN-Nr. 3-570-19207-5
© 1999 Gruener + Jahr, Hamburg
ISSN-Nr. 0933-9736

Anzeigenabteilung:
Anzeigenverkauf: Anke Wiegel, Tel. (040) 3703 2932, Fax (040) 3703 5773
Anzeigendisposition: Carola Kirschmann, Tel. (040) 3703 2393, Fax (040) 3703 5608
Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 10 vom 1. Januar 1999
Bankverbindung: Deutsche Bank AG Hamburg, Konto 0322800, BLZ 200 700 00
Repro: Peter Becker GmbH, Würzburg
Offsetdruck: TUSCH-Druck Ges.m.b.H. A-7201 Neudorf

Südafrika

Schluß mit der Schwarz-weiß-Malerei! Entdecken Sie die wahre Größe dieses wunderschönen Landes. Von den Gärten am Indischen Ozean bis zu den Wüsten Karoo und Kalahari. Und natürlich zeigen wir Ihnen auch die schönsten Safari-Camps mit Löwen- und Elefantengarantie.



DAS REISEMAGAZIN GEO SAISON

Neue Horizonte

Südafrika

Entdecken, erfahren, genießen

ITALIEN
Weine, Weingüter,
Weinreisen
mit großem
POSTER

NEPAL
Zu Gast in einem kleinen Dorf
UTRECHT
Die berühmte Antiquitäten-Messe
GUADELOUPE: Tauchen mit Kindern

Antiquitäten in Utrecht

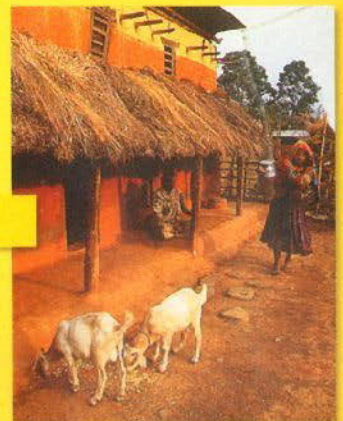
Vorsicht, Suchtgefahr! Wen die Sammelleidenschaft packt, der kann ihr leicht verfallen. In der alten holländischen Studentenstadt Utrecht, selbst schon ein Schmuckstück mit vielen Antiquitätengeschäften, findet im November wieder die große Sammler-Messe statt.



Wo brüllt denn hier der Löwe?

Nepal

Auf dem Foto sehen Sie die Hauptstraße von Nayanasthan. Die Bewohner des kleinen Dorfes laden Besucher aus dem Westen ein, ihren Alltag kennenzulernen. Mit Büffelmelken, Reisdreschen und einem denkwürdigen Besuch beim Schamanen.



GEO SAISON

SCHÖNER REISEN MIT GEO

www.geosaison.de

Ab 22. September
im Handel

LEBENSRAUM TIEFSEE

Tausende von Metern unter der Wasseroberfläche gedeihen Oasen fulminanten Lebens. Abgeschnitten vom Sonnenlicht, profitiert diese Anti-Welt vom heißen, chemikalienbeladenen Atem der Erde, der aus Mineralienscloten strömt. Die rechte Posterseite gibt die Artengemeinschaft nahe Galápagos wieder, die linke zeigt Arten an westpazifischen und atlantischen »Smokers«

Leuchtkrake; 20 cm
Stauroteuthis syrtensis



Schlötgarnele; 9 cm
Alvinocaris markensis



Schlötgarnele; 5 cm
Chorocaris vandoverae



Vampirkrake; 25 cm
Vampyroteuthis infernalis



Vipernfisch; 30 cm
Claiodius sloani

Staatsqualle; 40 m
Siphonophora

Scharlach-Garnele; 6 cm
Acanthephyra purpurea



Pettwal; 20 m
Physeter macrocephalus



Schwarzangler; 13 cm
Melanocetus johnsoni

Riesenkalmar; 22 m
Architeuthis sp.



Pelikanaal; 60 cm
Eurypharynx pelecanoides

Tiefseengler; 25 cm
Luciognathus seccostoma



Geisterchimäre; 1,3 m
Hydrolagus pallidus



Moridondorsch; 1,2 m
Lepidion schmidti



Tiefeneberfisch; 22 cm
Neocyttus helgae



Schlötgarnele; 5 cm
Rimicaris exoculata



Schlöt-Seeanemone; 2 m
unbeschriebene Art



Steinkrebse; 7 cm
Paralomis lamsteel



Schlötgarnele; 5 cm
Rimicaris exoculata



Asselspinner; 50 cm
Colossendeis colossus



Grubenaal; 25 cm
Thermobiotus mytiligellon



Bärtelge Seequappe; 36 cm
Gaidropsarus n. sp.



Bartwurm; 30 cm
Siphonobranchia laevis



Schlöt-Stachelschnecke; 5 cm
Alikinancha huxleyi



Schlöt-Furchenkrebse; 12 cm
Munidopsis moranillo



Schuppenwurm; 2 cm
Thermophilone filiformis



Schlöt-Entenmuschel; 6 cm
Neolepeta zelandica



Schlöt-Seeackee; 3 cm
Eucyrtopsidius ental



Schlötschnecke; 10 cm
Iremia nautilei



Sekarkel; 5 cm
Benthogone rosea



Spiral-Bartwurm; 30 cm
Aloyia spiralis



Schuppenwurm; 5 cm
Thermopolinae branchiata



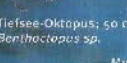
Eingeweidefisch; 65 cm
Catoxys laticeps



Seelilie; 10 cm
Bathyrinus gracilis



Muschel; 14 cm
Calyptogena sayae



Muschel; 7 cm
Calyptogena fausta



Grenadierfisch; 3 m
Coryphaenoides sp.



Seigel; 7 cm
Echinus alexandri



Riesenschnecke; 14 cm
Eurythenes gryllus



Tiefsee-Anglerfisch



Einhornfisch: 12 cm
Bregmaceros maculandii

Schwarzer Schlinger: 15 cm
Chiasmodon niger

Schwarzer Schlinger
nach Mahlzeit

Kronentaube: 20 cm
Periphylla periphylla

Tiefseangler: 25 cm
Lasiognathus soccostoma

Tiefseangler: 25 cm
Borophryne opogon

Fangzahn: 15 cm
Anoplaster cornuta

Tiefseangler: 13 cm
Gigantactis macronema

Eingeweidefisch: 85 cm
Bassogigas gillii

Tiefsee-Schwamm: 50 cm
Chondrocladia sp.

Portugieser Haik: 1,2 m
Centroscymnus coelestis

Schwamm: 30 cm
Cladorhiza concrescens

Speermaul-Grenadierfisch: 50 cm
Coelotryncus cf. labialis

Seeanemone: 8 cm
Acteostella callosa

Seeanemone: 3 cm
Parasicyonis ligulata

Schuppenspinne: 3 cm
Lepidodactylus fimbriatus

Schlangenstein: 10 cm
Ophiocentrotus

Napfschnecke: 3 cm
Rhynchopelta concentrica

Tiefsee-Kammuschel:
Hydrobia ulvae

Schlitz-Ringelwurm: 10 cm
Hesolira bergi

Porzellanwurm: 50 cm
Amblyopone porcelana

Riesenbartwurm: 1,5 m
Riftia pachytrila

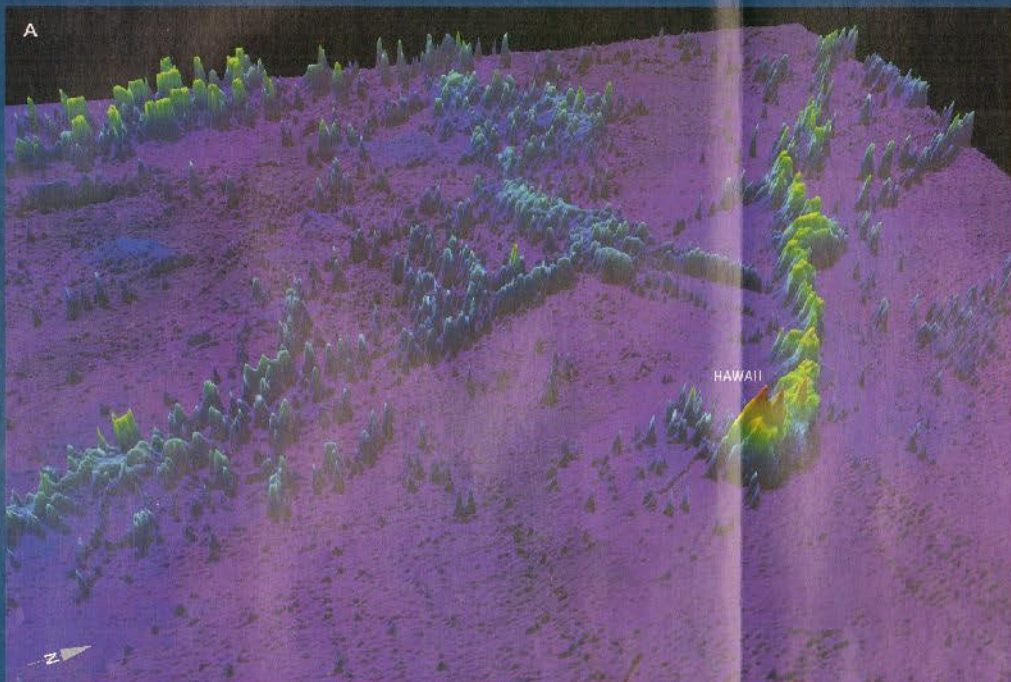
Schlitz-Furchenkreb: 5 cm
Munidopsis subquadrata

Kleine Schlitzkrabbe: 3 cm
Bythograea leucops

Schlitz-Aalmutter: 27 cm
Thermodon

DAS LAND UNTER DEM MEER

Durch eine im Mittel 3700 Meter hohe Wassersäule unseren Blicken entzogen, erstrecken sich am Meeresgrund faszinierende Landschaften: endlos weite Ebenen, mehrere tausend Meter steil aufragende Berge, den halben Globus umspannende Höhenrücken. Nachdem das US-Militär Anfang der neunziger Jahre bis dato geheime Daten freigegeben hatte, erarbeiteten Wissenschaftler daraus einen Atlas von erstaunlicher Präzision



SEEHANDEL

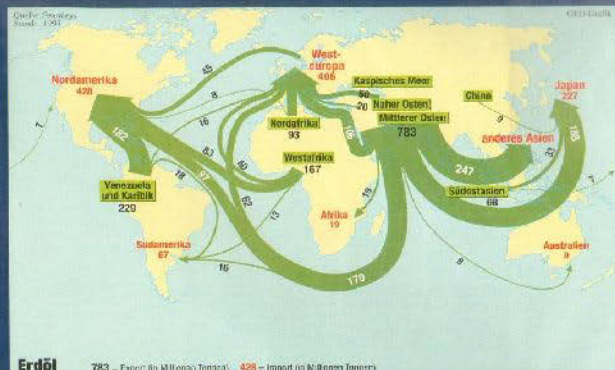
MOTOR DER GLOBALEN ARBEITSTEILUNG

Etwa 90 Prozent des Welt Handels, dem Gewicht nach gerechnet, nehmen den Weg über die Meere. 1997 waren dies 5,064 Milliarden Tonnen. Riesige Mengen von Getreide reisen im Schiffsbauch von der amerikanischen Ostküste via Panama-Kanal in den Fernen Osten. Bananen von Südamerika nach Europa, Autos von Japan nach Nordamerika, und ab und zu trägt ein Frachter skurrilerweise auch Kiwis von Italien nach Neuseeland. Den Löwenanteil macht jedoch das Erdöl aus – jede zweite Tonne des globalen Waren-austausches ist jenes flüssige Gold. Stückgut, darunter etwa Maschinen, summiert sich auf 750 bis 850 Millionen Tonnen, von denen knapp 50 Prozent in Containern verpackt sind. Die Entwicklung zeigt dabei einen deutlichen Trend: Der Welthandel hat in den vergangenen Jahren weit stärker zugenommen als das globale Bruttoinlandsprodukt. Wissenschaftler vom Bremer Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik führen das auf die zunehmende wirtschaftliche Verflechtung der Länder zurück. Weltweite Arbeitsteilung erfordert eben stärkeren Güteraustausch. Zugleich sind die Kosten für Seetransporte geringer geworden – Folge der grenzenlosen Konkurrenz. Wer hierzulande einen Computer aus Asien für 3000 Mark kauft, zahlt, so hat der Seeverkehrswissenschaftler Berthold Volk von der Fachhochschule Oldenburg kalkuliert, etwa ein Prozent davon für die Seefracht – also rund 30 Mark. Vor zehn Jah-

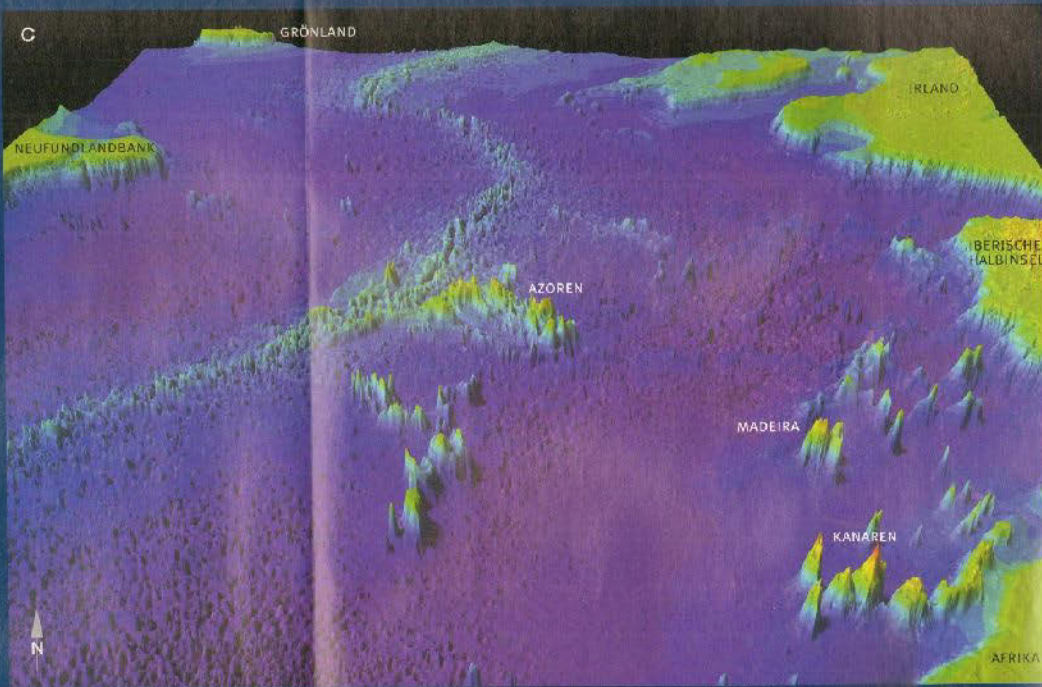
ren betrug der Anteil der Seetransportkosten am Ladenpreis noch um die zehn Prozent. Heute sei es billiger, einen Computer von Korea nach Hamburg zu liefern als von Hamburg nach Bremen. Der entscheidende Vorteil des Seetransports liegt in der schier enormen Größe der Schiffe. Mit deren Zunahme sinken die Lohn- und andere Fixkosten pro Tonne Fracht. Auf der wichtigen Route Europa-Ostasien fahren heute doppelt so große Containerschiffe wie vor fünf Jahren. Die Besonderheiten des Seeverkehrs führen auch zu manchem Paradox. Zum Beispiel ist keineswegs immer die kürzeste Strecke die billigste. Kohle etwa kommt um die halbe Welt aus Australien nach Europa. Die USA sind zwar viel näher, aber in australischen Häfen können dreibis viermal größere Frachter beladen werden. Oder: Pro Tonne Öl kostet es weniger, mit einem Riesentanker vom Mittleren Osten um Afrika herum nach Europa zu schippeln als mit einem kleineren Schiff durch den Suezkanal. Veränderungen von Routen und Frachtströmen spiegeln oft die Verschiebung weltpolitischer und weltwirtschaftlicher Gewichte wider. So ergaben sich Ende der siebziger Jahre infolge des zweiten Ölpreisschocks neue Transportwege. Um weniger abhängig vom Mittleren Osten zu sein, suchten Ölkonzerne Lagerstätten in anderen Weltregionen. Die Vorkommen in der Nordsee, vor Alaska und im südkinesischen Meer wurden zum Ausgangspunkt neuer Öltransport-Routen.

Auch die jüngste Asienkrise hat ihre Spuren hinterlassen. Infolge des Währungsverfalls in Ländern wie Südkorea und Malaysia haben sich nach Einschätzung des Kieler Instituts für Weltwirtschaft deren Importe drastisch reduziert. Da sich aber die Wettbewerbsfähigkeit dieser Länder durch die Devisenabwertung erhöht hat, konnten einige von ihnen 1998 ihre Exporte im Gegenzug kräftig ausweiten. Währungskurse und Zollgesetze haben die Ströme im Autohandel verschoben. Einst hatten zum Beispiel japanische Unternehmen Teile ihrer Produktion in wichtige Absatzregionen wie Nordamerika und Europa ausgelagert – wegen hoher Importzölle auf das „Luxusgut“ Auto und wegen niedrigerer Löhne an den neuen Standorten. Seit Japans Währung an Wert verloren hat, sind die ehemals teuren Werke im Mutterland wieder günstiger geworden und holen einige Firmen die Produktion zurück. Nicht zuletzt der billige Seetransport ermöglicht es etwa der Automobilindustrie, die weltweite Arbeitsteilung voranzutreiben. Die Unternehmen beziehen mehr und mehr Einzelteile bei Zulieferern aus Übersee. Reifen, Batterien, Einspritzpumpen und Elektronik beispielsweise schiffen aus unterschiedlichsten Ländern nach Japan, wo etwa Toyota sie in seine Wagen einbaut. Die für Europa bestimmten Endprodukte reisen dann auf einem riesigen Auto-Transporter um die halbe Welt nach Bremerhaven. Bei VW ist es ähnlich: Motoren aus Salzgitter gehen über Emden auf dem Seeweg nach Mexiko und kommen dort beim „New Beetle“ unter die Haube. Nach einer Transatlantik-Reise rollen fertige Käfer in Emden wieder an Land.

Angelika F. Pfalz



Ströme, an denen Volkswirtschaften hängen: Ausgewiesen sind nur die wichtigsten interkontinentalen Warenflüsse. Aufgrund von weiteren Einfuhren kann die Summe der Einzelwerte vom angegebenen Gesamt-Import abweichen



FANGZÜGE BIS ZUR LETZTEN FLOSSE

[illegible]

Die Daten-Autobahn am

Seekabel mit Glasfasern haben den Kupferleitungen, aber auch der Satellitentechnik ein Geflecht »optischer Drähte« umschlungen, auf denen mit Lichtgeschwindigkeit

ÜBERTRAGUNGSTECHNIK

Telefonieren und Surfen per Licht

In Glasfaserkabeln jagen gleichzeitig Hunderttausende von Telefongesprächen und Informationspaketen quer durch den Atlantik oder das Mittelmeer. Trotzdem kommt es zu keiner babylonischen Sprachverwirrung. Denn mit Hilfe moderner Digital-Technik werden die Daten sauber voneinander getrennt. Wer in Deutschland eine Nummer in den USA wählt,

Schwingungen zunächst digitalisiert. Ein Konverter wandelt sie in Bits und Bytes, so wie Musik für eine CD aufbereitet wird. Anschließend setzt eine Laser-Diode – ähnlich der, die in CD-Playern den Lesestrahler erzeugt – die Informationen in Lichtpulse um. Denn Glasfasern können nur Licht leiten, keinen elektrischen Strom. Damit das Licht nicht entkommt, variiert die Brechkraft des feinen Fadens. Sie ist im Zentrum geringer, in den Außenbereichen stärker. So werden die Strahlen an den Rändern reflektiert. Zudem wählen die Hersteller die Dicke des »optischen Drahtes« derart, daß sich nur die benutzten Wellenlängen darin optimal fortpflanzen können. Auch dieser Trick sorgt dafür, daß das Licht in der feinen Faser quasi gefangen ist. Nachdem die Daten die Seekabel am Grund des Ozeans durchquert haben, wird der Prozeß jenseits des Atlantik umgekehrt: Wo die Glasfaser in ein konventionelles Kupferkabel »mündet«, wandelt eine Photo-Diode die Lichtpulse zurück in elektrische Impulse, die

schließlich im Telefon des Angerufenen landen. In der Übersee-Telefonie und im Verkehr zwischen Vermittlungsstellen haben Glasfasern die herkömmlichen Kupferkabel fast völlig verdrängt. Denn sie können vieltausendmal mehr Daten pro Zeiteinheit transportieren. Grund: Licht schwingt mit weit höherer Frequenz als die schnellsten per Kupfer übertragbaren elektromagnetischen Signale. Und je größer die Zahl der Schwingungen, desto mehr Bits lassen sich pro Sekunde übermitteln. Die Kunst besteht darin, diese enorme Kapazität auf möglichst viele Gespräche und Datenströme etwa von Faxgeräten und PCs zu »verteilen« – ohne daß diese einander stören. Dazu verschachtelt eine Elektronik die Informationspakete zeitlich ineinander – jedes erhält ein ultrakurzes »Zeitenfenster«. Auf der Gegenseite setzt ein

Partnersystem, das mit dem ersten synchron arbeitet, die Informationsteile wieder zu den ursprünglichen Datenströmen zusammen. »Multiplexing« nennen Experten diese Verschachtelungstechnik. Daß durch die Faser schießende Licht liegt im Infrarotbereich – ist also mit bloßem Auge nicht sichtbar. Techniker wählen die Wellenlänge von rund 1,5 Tausendstelmmillimeter, weil sie im Glas am wenigsten gedämpft wird. Um die Übertragungskapazität weiter zu erhöhen, schicken sie durch neuere Glasfaserkabel gleichzeitig Licht in mehreren Wellenlängen, die alle eng beieinander liegen und sich gegenseitig nicht stören. Entsprechend erhöht sich die Zahl der nutzbaren Kanäle. Neuere optische Leiter arbeiten mit 32 Kanälen. Labormuster bringen es bereits auf 120. Den Telefontkunden kann's freuen: Je mehr Daten durch das Glas sausen, desto niedriger werden die Gesprächsgebühren. *Claus-Peter Sesin*

Glasfasern zusammenzuspleißen bedeutet Feinarbeit. Regelmäßig auf der Strecke eingebaute Verstärker (foto oben) verhindern, daß das Licht versiegt



gelangt meist über Kupferkabel in die nächste Vermittlungsstelle. Dort werden die im Mikrophon der Sprechmuschel von analogen Telefonapparaten erzeugten elektromagnetischen

KABELKONSTRUKTION

Starker Strang mit haarfeinem Innenleben

Trotz ihrer enormen Übertragungsleistung sind Glasfasern gerade doppelt so dick wie ein Haar – sie messen lediglich einen Viertelmmillimeter. Zu ihrer Herstellung wird eine Silicium-Verbindung verbrannt, die entstehenden Glaspartikel scheiden sich zu Stäben ab. Diese werden zum Schmelzpunkt erwärmt und haarfein ausgezogen. Würde ein solch filigraner Faden »nackt« auf dem Meeresgrund verlegt, wäre er im Nu zerstört. Denn dort zerren Strömungen, schaben Riffkanten und reißen Schiffsanker. Deshalb werden die Fasern aus hochtransparentem Quarzglas aufwendig verpackt – bis die Seekabel teilweise armid sind. In deren Zentrum läuft ein Kunststoffrohr, in dem eingebettet in weiche, schützende Masse, mindestens zwei Glasfasern stecken; jeweils eine für Hin- und Rückweg einer Botschaft. Darum liegt ein Kupfermantel, um den herum mehrere Lagen von Zugentlastungsdrähten und Isolierschichten sowie ein Außenmantel für mechani-

sche Stabilität sorgen. Das Kupfer transportiert zugleich den Strom für Verstärker, die alle 50 bis 80 Kilometer in den Leitungsstrang eingebaut sind. Ohne sie würde das Licht nach spätestens 400 Kilometern »versiegen«. Um das zu verhindern, verstärken jene »optischen Repeater« die Impulse jeweils mittels eines lokalen Lasers. Bevor Spezialschiffe ein Seekabel legen können, muß

die Route genau geplant werden. Entsprechend der ermittelten Topographie und Geologie fertigen meist meeresnahe Werke die Kabel. Sie spleißen auch schon die Verstärker ein. Danach wird der dicke Strang waagrecht in »Tanks« gelagert. In Küstennähe und, falls er

forderlich, in Wasser bis zu 1000 Meter Tiefe gräbt ein Pflug das Kabel – zum Schutz vor Ankern und Fischernetzen – in den Boden ein. In größeren Tiefen verlegen die Schiffe es direkt auf dem Grund; die äußere Armierung kann dort feiner sein, sofern keine Felsen

stören. Weil die Tanks nur eine begrenzte Menge Kabel fassen, werden jeweils neue Teillabschnitte über eine Spezialmuffe angesetzt. Mit solchen Adaptern können Reparaturschiffe auch zerissene Stränge wieder zusammenspleißen. *Claus-Peter Sesin*

Massiv armierte Kabel kommen lediglich im Küstenbereich zum Einsatz. In der Tiefsee werden dünnere Stränge – etwa in der Stärke der hellen Kunststoffisolierung – verwendet. Die dicken würden unter dem eigenen Gewicht reißen

KONTROLLKABEL MIT ROJER

ZUGTROSSE

SEEKABEL

KABELPFLUG

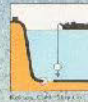
GLASFASERN

KUPFERROHR

ZUGENTLASTUNGSDRAHTE

KUNSTSTOFFISOLIERUNG

BEWEHRUNGSDRAHTE



Ozeangrund

Technik beim Telefon- und Datenverkehr längst den Rang abgelaufen. Heute ist der Erdball von Vernetzung die Bits der globalen Kommunikationsgesellschaft kursieren



Moderne Kabelschiffe können in der Tiefsee mehrere tausend Kilometer Seekabel innerhalb weniger Wochen legen. Dabei läuft der Glasfaserstrang aus den »Tanks« über ein Bremsrollensystem an Bug oder Heck ins Wasser

BREMSROLLEN

VERSTÄRKER

BOJE

KABELTANKS

Kabelschiff (Linienschiff)

TELEKOMMUNIKATION

400 000 Meilen unter dem Meer

Die Basis des Informationszeitalters liegt am Meeresgrund: Hunderttausende Kilometer Kabel werden derzeit und in nächster Zukunft durch die Ozeane verlegt. Hunderttausende sind schon in Betrieb. Ein Netzwerk, das den gesamten Planeten umspannt und als Rückgrat der Globalisierung dient.

Die Verlegungsmethode hat sich seit 1850, als die erste Telegraphenleitung zwischen England und Frankreich durch den Ärmelkanal gezogen wurde, nicht wesentlich verändert: Ein Schiff hält genauen Kurs entlang der von Geologen untersuchten und von Experten festgelegten Strecke und spult den Strang ins Meer ab.

Geändert hat sich dagegen die Technik des Kabels selbst. Glasfasern bewältigen heute ein Vielfaches dessen, was einst Kupferdrähte schafften. Die frühen Transatlantikverbindungen konnten mit Hilfe des Morse-Alphabets pro Minute acht Wörter übertragen. Von Neufundland nach Großbritannien kosteten die ersten 20 Wörter 100 Dollar in Gold.



Kabelrolle in einem »Tank«

für jedes weitere Wort wurden fünf Dollar berechnet. Heute laufen über ein Kabel mehrere hunderttausend Telefonate gleichzeitig, und ein transatlantisches Gespräch ist in den USA schon ab zwölf Cents, knapp 22 Pfennig, pro Minute zu bekommen. Selbst Satelliten spielen im heutigen Kommunikations-

geschäft angesichts der modernen Kabelqualität eine untergeordnete Rolle. Telefongesellschaften nutzen sie nur noch als Sendestation für Mobilnetze oder um allzu abgelegene Kundschaft, wie die Inselstaaten im Südpazifik oder Binnenländer wie den Tschad und die Mongolei, zu kontaktieren. Der Weg über das All ist zu langsam und zu teuer: Bei einem Anruf von Deutschland in die USA müssen die Signale zunächst vom Sender rund 36 000 Kilometer auf- und dann

36 000 Kilometer zum Empfänger absteigen. Das führt zu einer Verzögerung von einer guten Viertel Sekunde. Jeder, der einmal via Satellit telefoniert hat, weiß, wie mühsam eine Konversation über die sich ergebenden Pausen und Überlappungen ist. Lässt das Telefonat über eines der im Küstenbereich bis zu sieben Zentimeter dicken Kabel mit den haarförmigen Glasfasern, werden die Daten statt in elektrische in Lichtsignale umgewandelt und entlang einer Reihe von Verstärkern mit Lichtgeschwindigkeit übertragen. Am Ziel entschlüsselt der Empfänger die digitalen Blitze als Telefongespräch, Datenpaket oder Videobild. Dazu kommt, dass die Kosten der Satellitentechnik seit einem Jahrzehnt relativ hoch

geblieben sind. Vor allem der Transport ist teuer: Einen High-Tech-Trabant ins All zu schleppen kostet etwa 200 Millionen Mark. Und seit dem Unglück der Raumfähre »Challenger« 1986 und den kurz darauffolgenden Explosionen der unbemannten Titan-, Delta- und Ariane-Raketen sind obendrein horrenda Versicherungsprämien fällig. Die genauen Zahlen gehören im Konkurrenzkampf der Kommunikationskonzerne zum Betriebsgeheimnis.

Glasfasertechnik ist dagegen in den letzten Jahren rapide billiger geworden. Bei TAT-8, 1988 die erste Glasfaser-Verbindung über den Atlantik, kosteten Bau und Wartung 40 000 Dollar pro Gesprächskanal. Bei der Verlegung des TPC-5-Strangs von den USA nach Asien 1996 errechneten sich rund 2000 Dollar. Und für das USA-China-Kabel, das Mitte 1999 fertiggestellt werden soll, haben die Investoren rund 200 Dollar kalkuliert. Kein Wunder also, dass das Unterwassergeschäft boomt. Im Frühjahr 1998 durchzogen 368 500 Kilometer Glasfaser-Kabel die Meere. Bis Ende 1999 werden 286 900 Kilometer dazugekommen sein. Dabei wurde das »Project Oxygen« noch gar nicht mit eingerechnet. 320 000 Kilometer sollen bis zum Jahr 2001 weltweit 175

Länder in einer Art Super-Internet verbinden. Die Technik ist dabei längst noch nicht an ihre Grenzen gelangt. Die amerikanische Firma Lucent Technologies stellte 1998 ein System aus acht Glasfasern mit einer Übertragungsleistung von 3,2 Terabits vor. Das entspricht 48 Millionen gleichzeitigen Telefongesprächen.



Ein Kabelpflug schwebt am Heckgalgen gen Meeresboden

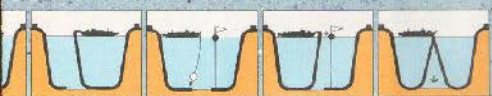
Die ungeheuren Kapazitäten der Netzwerke sind schon so gut wie verkauft. FLAG, die derzeit längste Glasfaser-Verbindung – über 28 000 Kilometer von England nach Japan –, kostete eineinhalb Milliarden Dollar. Die Investoren rechnen damit, dass sich das Projekt in vier Jahren amortisiert hat. Neueste Schätzungen pro-

phizieren der Kommunikationsindustrie fürs Jahr 2000 einen Umsatz von 1000 Milliarden Dollar. Der Telefonverkehr wird allerdings nur einen Bruchteil davon ausmachen. Während Ende der achtziger Jahre in den Industrieländern drei Viertel der Kommunikation über Kabel in Gesprächen bestanden, nimmt heute das

Internet schon 65 Prozent in Anspruch. Besonders das World Wide Web erfordert immer größere Kapazitäten. In den USA wird deshalb derzeit das Internet II über ein spezielles Kabelnetz aufgebaut, das dank einer enormen Bandbreite Videosignale in Echtzeit bewältigt. Bis jetzt hängen zwar nur Forschungsinstitute an diesem Geflecht, aber in fünf Jahren soll es der Allgemeinheit geöffnet werden. Und es gehört nicht viel Prophetengabe zu der Erwartung, daß Filme und Musik

per Unterseekabel schon bald in Echtzeit rund um den Globus laufen.

Andrian Kreye



Bei der Reparatur eines defekten Seekabels wird dieses mit einer Art Anker aufgefunden, durchtrennt und eines der Enden an Bord geholt. Die Störstelle wird lokalisiert, herausgeschnitten und das Kabel, mit einer Boje versehen, wieder versenkt. Dann hieven die Techniker das zweite Ende an Deck, setzen ein neues Kabelstück ein, bergen die andere Hälfte und verspleißen die Enden

GEO WISSEN Nr. 24
Kabelnetz: Klaus Bacher und
Grafik: Andreas Knochke
Illustration: Barbel Fuchs
Druck: Druckerei J. G. Meißner
Illustration: Tom Jans
Schlüsselwort: Mithras Feldhoff
v.i.S.d. Dr. Rainer Klinge

MEET THE WORLD WITH
Deutsche Telekom



GEO
WISSEN

OPTISCHE



Systems supplied by Alcatel
Hersteller Alcatel

Systems supplied jointly by Alcatel and others
Hersteller Alcatel und Partner

Other manufacturers' systems
Sonstige Hersteller

Circle denotes on undersea branching unit
Unterwasser-Äbweigung

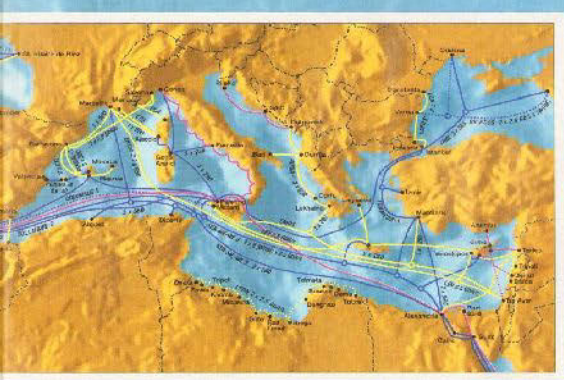
Broken line indicates system under construction
Seekabel im Bau

Planned systems
Seekabel in Planung

Unless otherwise stated, capacities show number of fibre pairs and systems in Miles.
Nennzahl des Seekabels, Anzahl der Fasern und Systeme in Meilen.
Anzahl der Wellenlängen (WDM), Wellenlängenpaare, Bit-Rate in Wellenlängen.



SEEKABEL SCHAFFEN DAS GLOBALE DORF





Ein Weltpark für die Wale

GREENPEACE

040/3 06 18-0

Jetzt anrufen, informieren, handeln.

Fax: 040/3 06 18-100

e-mail: mail@greenpeace.de

www.greenpeace.de

Greenpeace, Große Elbstr. 39

22767 Hamburg

© Armin Maywald/Greenpeace

01727