

C 9021 5

Nr. 4 / Montag, 5. 11. 90

DM 13,50

sfr 13,50; öS 100,-

# GEO WISSEN

## ARKTIS+ANTARKTIS

POLARFORSCHUNG

**Das lockende  
Nichts**

KLIMA

**Wenn es dem Eis  
zu warm wird**

ÖKOLOGIE

**Leben unter Null**

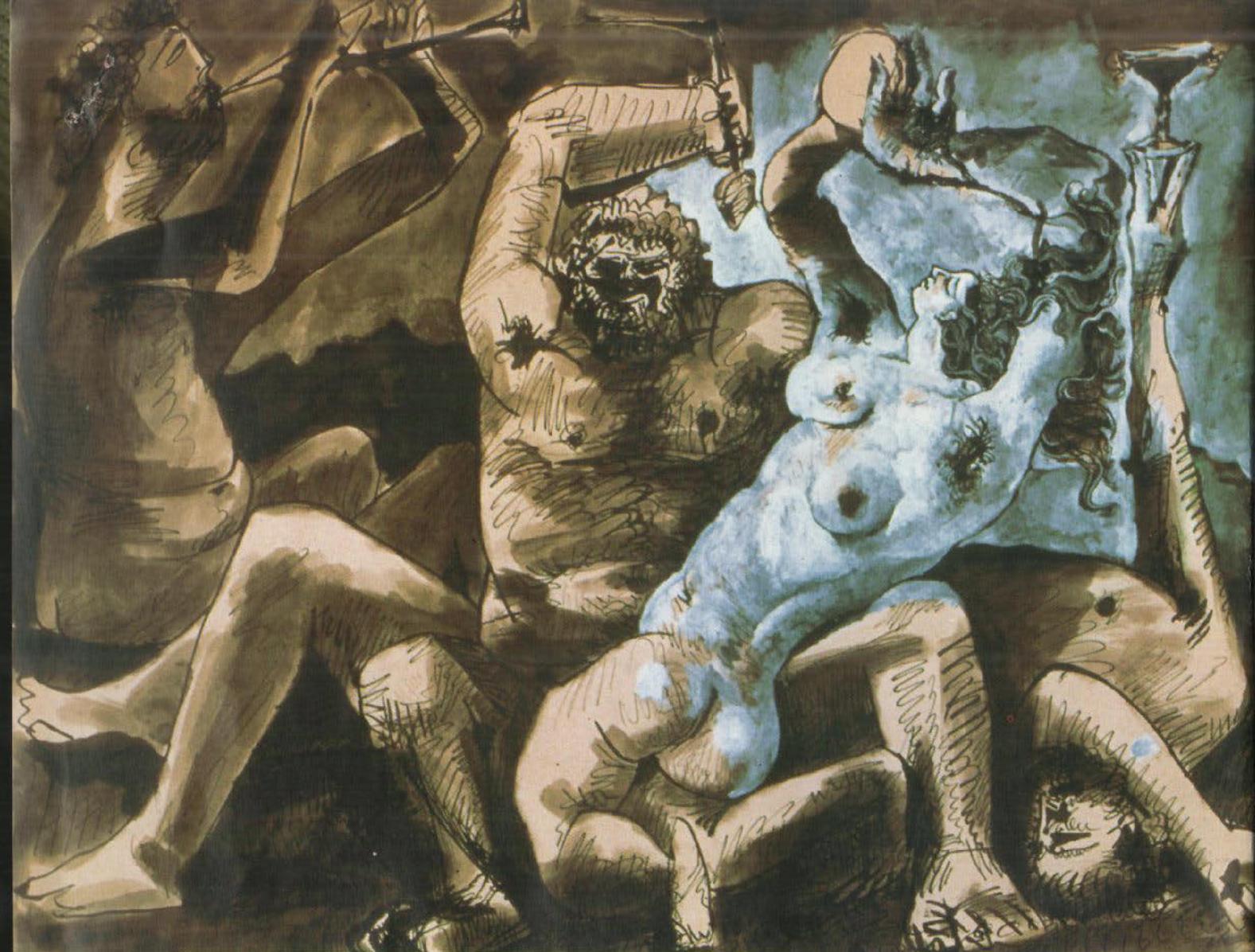
VÖLKER

**Kulturen, die der  
Kälte trotzen**

GEO-EXPEDITION

**Der lange Weg nach  
Gondwana**





Meisterzeichnung vom Jahrhundertmaler: Picassos „Bacchanal“ (50 x 66 cm, 1955) aus dem Nachlaß der Künstlerwitwe

# So schön können Steuern sein

Vor elf Jahren kassierte der französische Staat von den Kindern Pablo Picassos statt Erbschaftssteuern Tausende von Kunstwerken — den Grundstock des Picasso-Museums in Paris. Aus dem Nachlaß der Malerwitwe Jacqueline gehen jetzt weitere 350 erlesene Werke an Museen in Frankreich. In der November-Ausgabe zeigt ART die besten Arbeiten, schildert das Auswahlverfahren und berichtet, wo die Bilder künftig zu sehen sind. ART debattiert außerdem die Chancen der Künstler in der ehemaligen DDR, untersucht die Bedeutung der Schrift in der

aktuellen Kunst und porträtiert den Schweizer Maler Rolf Iseli. ART, eine der größten Kunstschriften der Welt, informiert allmonatlich umfassend über Malerei und Plastik, Fotografie, Design, Architektur und Archäologie.

Jeden Monat  
bei Ihrem  
Zeitschriftenhändler

B. 1  
November 1990  
100. 10

Das Kunstmagazin: Wenn Maler  
viele Worte machen ■ Deutsche Kunst  
nach der Einigung ■ Ein Besuch bei  
Rolf Iseli ■ Drei Giganten des  
Kunstbetriebs ■ Venus und Mars

PREISARTIKEL:  
GEWINNEN SIE  
REISEN  
ZUM KUNST  
MARKT

Bild: G. B. GÖTTSCHE LOWE

Bilder,  
die Picasso  
für sich  
behält:



*liebe Leserin, lieber Leser,*

## GEO WISSEN

Verlag Gruner + Jahr AG & Co., Warburgstraße 50, 2000 Hamburg 36, Redaktion: Warburgstraße 45, 2000 Hamburg 36. Postanschrift für Verlag und Redaktion: Postfach 30 20 40, 2000 Hamburg 36. Telefon: 0 40/4 11 81. Telefax: 0 40/41 18 22 53. Telex: 2 1 952-16 u. 1740277 gigeo. Telex: 402277-GJGEO.

### CHEFREDAKTEUR Hermann Schreiber

### STELLVERTRETENDER CHEFREDAKTEUR Emanuel Eckardt

### ART DIRECTOR Erwin Ehret

### REDAKTIONSLICHTER Günter Haaf

### GESCHÄFTSFÜHRende REDAKTEURE Ernst Artur Albaum (Text), Christiane Breustedt (Bild)

### TEXTREDAKTION

Dr. Erwin Lausch, Dr. Hanns Luczak, Martin Meister,

Dr. Manfred Pietschmann

Reporter: Dr. Jürgen Neffe

Red. Assistent: Angelika Janssen

### BILDREDAKTION

Josef Hurban

### LAYOUT

Franz Braun (Leitung), Johannes Dönges,  
Vera Hülsmann, Andreas Krell

### SCHLUSREDAKTION

Hinnerk Seelhoff, Dr. Friedel H. Bastein, Jürgen  
Brüggemann, Manfred Feldhoff, Peter Jordan,

Hans-Werner Kühl

Assistent: Hannelore Koehl

### MITARBEITER

Hanns-Joachim Neubert (Dokumentation)

Alfred Barthel, Dr. Gerhard Beese, Erika Brettschneider, Prof.  
Dr. Paul Crutzen, Stuart Franklin, Albert Gerdes, Prof. Dr.  
Harald Grafe, Johana Grolle, Prof. Dr. John Houghton,  
Donald Dale Jackson, Christian Jungblut, Charlotte Kerner-  
Kämpf, Prof. Dr. Jens Meincke, Dr. Hans Oerter, Susanne  
Paulken, Dr. Kristian Schlegel, Christopher Schrader,  
Dr. Beatrix Stoepel, Barnabas Thwaites,  
Holger Everling, Jörg Kühn (Grafiken)

### GEO-BILDARCHIV

Birgit Heller, Gundula Guhl-Lerche, Peter Müller

### FARBIMPIMATUR: Norbert Kunz

### GEO-BÜROS

Moskau: Helga Engelbrecht, Kutusowskij Prospekt 7/4,  
Kw 314, Tel. 2 43 42 64.

New York: Brigitte Barkley, Ruth Eichhorn, Wilma Simon,  
685 Third Avenue, 22nd Fl., New York, N.Y. 10017,  
Tel. (212) 599-4040/43/44/45

Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:

Günter Haaf

### VERLAGSLEITER: Heiner Eggert

ANZEIGENLEITER: Rolf Grimm  
(verantwortlich für Anzeigen)

VERTRIEBSLEITER: Frank Reiners

HERSTELLER: Bernd Zahn

### GEO-Wissen-LESER-SERVICE

Gruner + Jahr AG & Co

Postfach 10 25 25, 2000 Hamburg 1

Postscheckkonto Hamburg 240 00-209

BLZ 200 100 20

Tel. 0 40/41 18 33 24

Schweiz: GEO-Wissen-Leser-Service, 6045 Meggen  
Tel. 041-37 36 78

Heftpreis: DM 13,50 · ISBN-Nr.: 3-570-06873-0

Buchhandelsfassung Preis: DM 19,80 · ISBN-Nr.: 3-570-01030-9

Auslandspreise: Schweiz sfr 13,50; Österreich 65 100,-;

übriges Ausland auf Anfrage.

© 1990 Gruner + Jahr, Hamburg

ISSN-Nr.: 0933-9736

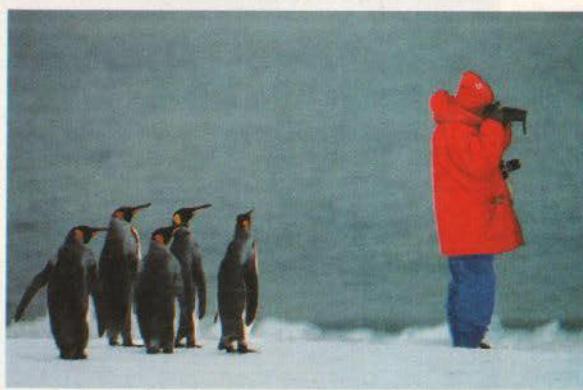
Anzeigenpreisliste Nr. 4 vom 1. 1. 1990.

Bankverbindung: Deutsche Bank AG, 2000 Hamburg 1,

Konto-Nr. 03 22 800

Repro: Werner Hirte KG., Hamburg

Druck: Mainpresse Richterdruck, Würzburg



larstern". Deshalb schrieb er, der segelnde Inselfriese, natürlich auch gern das Portrait des Multifunktionsschiffes, dieses „Dorfs mit Kiel und Ruder“.

Noch länger auf südpolaren Gewässern – und gelegentlich auch an Land – war unser englischer Mitarbeiter Stuart Franklin an Bord des Greenpeace-Schiffes „Gondwana“. Er half plakatemaend mit beim „Protest im Frost“, ohne seinen kühlen Blick als schreibender Fotograf zu verlieren.

**A**uch Christian Jungblut, GEO-Lesern durch viele Reportagen bekannt, hat sein Quantum polarer Kälte abbekommen, allerdings am anderen Ende der Erde. Er lebte mehrere Monate mit den Polar-Eskimos im Nordwesten Grönlands und lernte – oft zitternd, aber immer staunend – dabei, wie diese Überlebenskünstler nicht nur der Kälte trotzen, sondern überdies jede Menge Spaß an ihrem Dasein haben.

Mit beiden Polargebieten hatte GEO-Wissen-Bildredakteur Josef Hurban Kontakt – auf seine Weise. Eines Tages bekam der Wiener, der seine Profession in Paris und New York lernte, innerhalb kurzer Zeit per Telefax zwei Antworten auf seine Fragen nach bestimmten Fotos: eine aus Grönland, vom dänischen Eisbärjäger Ivars Silis, die andere vom Fotografen Colin Monteath aus Neuseeland. Einen solchen Nord-Süd-Spagat fand dann doch auch unser Josef bemerkenswert.

Herzlich Ihr

*Günter Haaf*  
Günter Haaf

---

**ESSAY****Banges Warten auf die Wärme**

Sommerliches Tauwetter erlaubt sogar kleinen Schiffen, bis an die eisstarrende Küste der Antarktis vorzustoßen. Höhere Temperaturen, ausgelöst durch den Treibhauseffekt, aber auch Wirtschaft und Tourismus gefährden die Polargebiete.

Seite 6



---

**GEO-EXPEDITION****Der lange Weg nach Gondwana**

Drei Monate lang operierte das deutsche Forschungsschiff »Polarstern« im Südpolarmeer. GEO-Wissen-Reporter Manfred Pietschmann ging in der Antarktis von Bord: Als Mitglied einer geowissenschaftlichen Expedition suchte er acht Wochen lang auf dem Inlandeis nach Spuren des Superkontinents Gondwana.

Seite 30



---

**UMWELT****Protest im Frost**

Wenn »Greenpeace« zum weißen Kontinent aufbricht, sind spektakuläre Aktionen gewiß: Sperrenholz-Attrappen sollten gegen den Bau einer Landebahn durch ein Pinguinbrutgebiet und für den geforderten »Weltpark Antarktis« demonstrieren helfen.

Seite 62

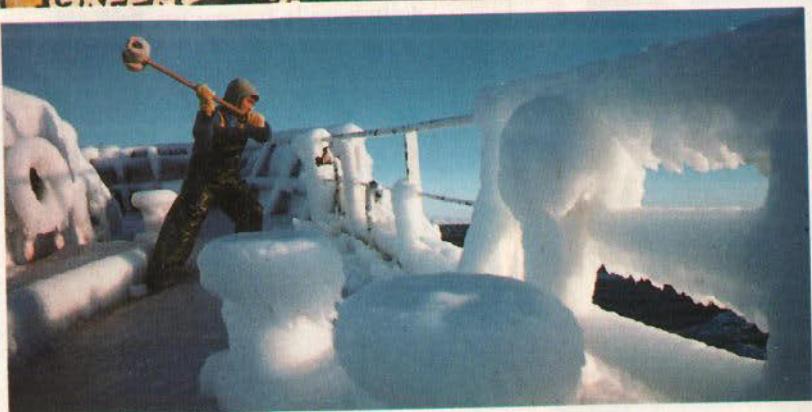


---

**KLIMA****Wenn es dem Eis zu warm wird**

Allerdings eisklopfende Matrosen könnten einen Vorteil in der befürchteten Erwärmung der Erde durch den Treibhauseffekt sehen: Die Polargebiete – die Kühlaggregate der globalen Wettermaschine – werden von der Klimawende besonders stark betroffen sein. Die Folgen wird die Menschheit weltweit zu spüren bekommen.

Seite 76

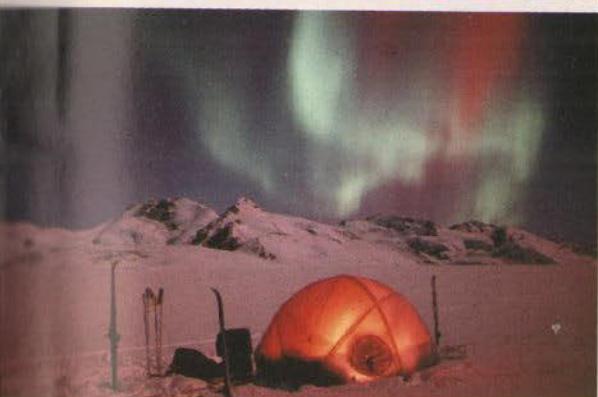




## EISZEITEN

### **Die Kälte kam vom Dach der Welt**

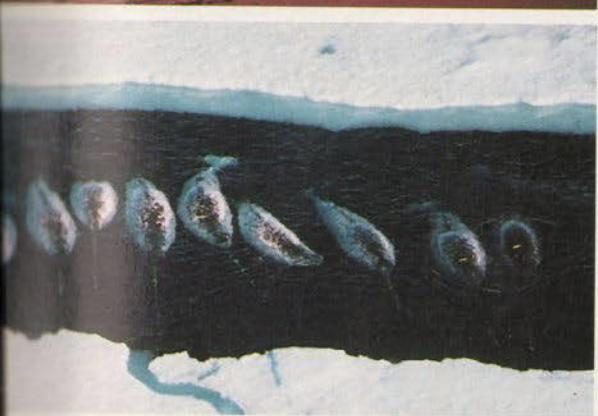
In Tibet und den angrenzenden Gebirgen fand der deutsche Geograph Matthias Kuhle Beweise für eine neue Theorie der Eiszeit-Entstehung. Einst begruben Gletscher auch weite Teile Deutschlands, wo sie unübersehbare Spuren hinterließen. Seiten 90 und 96



## MAGNETFELD

### **Auroras Tanz im Sonnenwind**

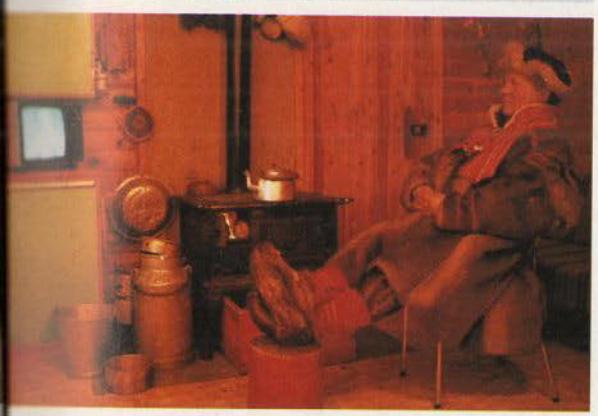
Die flackernden Farbvorhänge der »Aurora borealis« – des Nordlichts – übertreffen jede Lasershows um Größenklassen: Sie sind – wie das Zittern der Kompaßnadel – sichtbare Kapriolen des irdischen Magnetfeldes. Seite 104



## ÖKOLOGIE

### **Leben unter Null**

In den Eissäumen des Arktischen Ozeans werden Wasserstellen zu Oasen, in denen sich auch Narwale versammeln. Wie sich Pflanzen und Tiere in den Polargebieten behaupten und wie der Mensch dort ins ökologische Gleichgewicht eingreift, schildern sieben Beiträge. Seite 114



## VÖLKER

### **Kulturen, die der Kälte trotzen**

Ob in pelzverbrämten Anorak der Inuit oder hinterm Ofen einer Sammen-Hütte im Norden Skandinaviens: Die Menschen der über 30 arktischen Völker wissen mit dem Frost zu leben. Nun haben sie begonnen, sich gegen die Herren aus dem Süden zu wehren. Seite 136

<b>Banges Warten auf die Wärme</b>	6
------------------------------------	---

<b>Nord-Süd-Konflikt im Niemandsland</b> Kann die Antarktis Weltpark werden? Was will der neue Club der Arktis-Staaten?	24
--	----

<b>Der lange Weg nach Gondwana</b>	30
------------------------------------	----

<b>Die eisige Ernte</b> Erste Ergebnisse der deutschen Südpolar-Expedition 1989/90	42
---	----

<b>Pendeln zwischen den Polen</b> Die »Polarstern« ist der »Rolls-Royce« der Forschungsschiffe	46
---	----

<b>Bibbern für die Wissenschaft</b> In einem einzigartigen US-Labor wird die Wirkung von Kälte auf den Menschen erforscht	54
--	----

<b>Protest im Frost</b>	62
-------------------------	----

<b>Wenn es dem Eis zu warm wird</b>	76
-------------------------------------	----

<b>Dem Schwund auf der Spur</b> Neue Erkenntnisse über die Ursachen der polaren Ozonlöcher	86
---	----

<b>Die Kälte kam vom Dach der Welt</b>	90
--	----

<b>Die Zeit, als Deutschland Eisland war</b> Seenplatten und Findlinge sind Zeugen einer dramatischen Erdgeschichtlichen Epoche	96
--	----

<b>Auroras Tanz im Sonnenwind</b>	104
-----------------------------------	-----

<b>Leben unter Null</b>	114
-------------------------	-----

<b>Kulturen, die der Kälte trotzen</b>	136
--	-----

<b>Endlos der Tag und endlos die Nacht</b> Wie Menschen nördlich des Polarkreises leben	152
--	-----

<b>Das lockende Nichts</b> Vom Polar-Pionier bis zum Pauschaltouristen: Über die magische Anziehungskraft der Pole	158
---	-----

<b>Von Albedo bis Zirkumpolarstrom</b> Ein Glossar wichtiger Begriffe der Polarforschung	174
---	-----

<b>Enzyklopädie der Ignoranz</b> Drei renommierte Fachleute antworten	184
--	-----

<b>Continuo: Es stand in GEO-Wissen</b> Zwei Klima-Experten nehmen erneut Stellung	186
---	-----

<b>Literatur, Bildnachweis</b>	188
--------------------------------	-----

<b>Vorschau</b>	189
-----------------	-----

<b>Titelfoto: Ben Osborne</b>	
-------------------------------	--

# Banges Warten

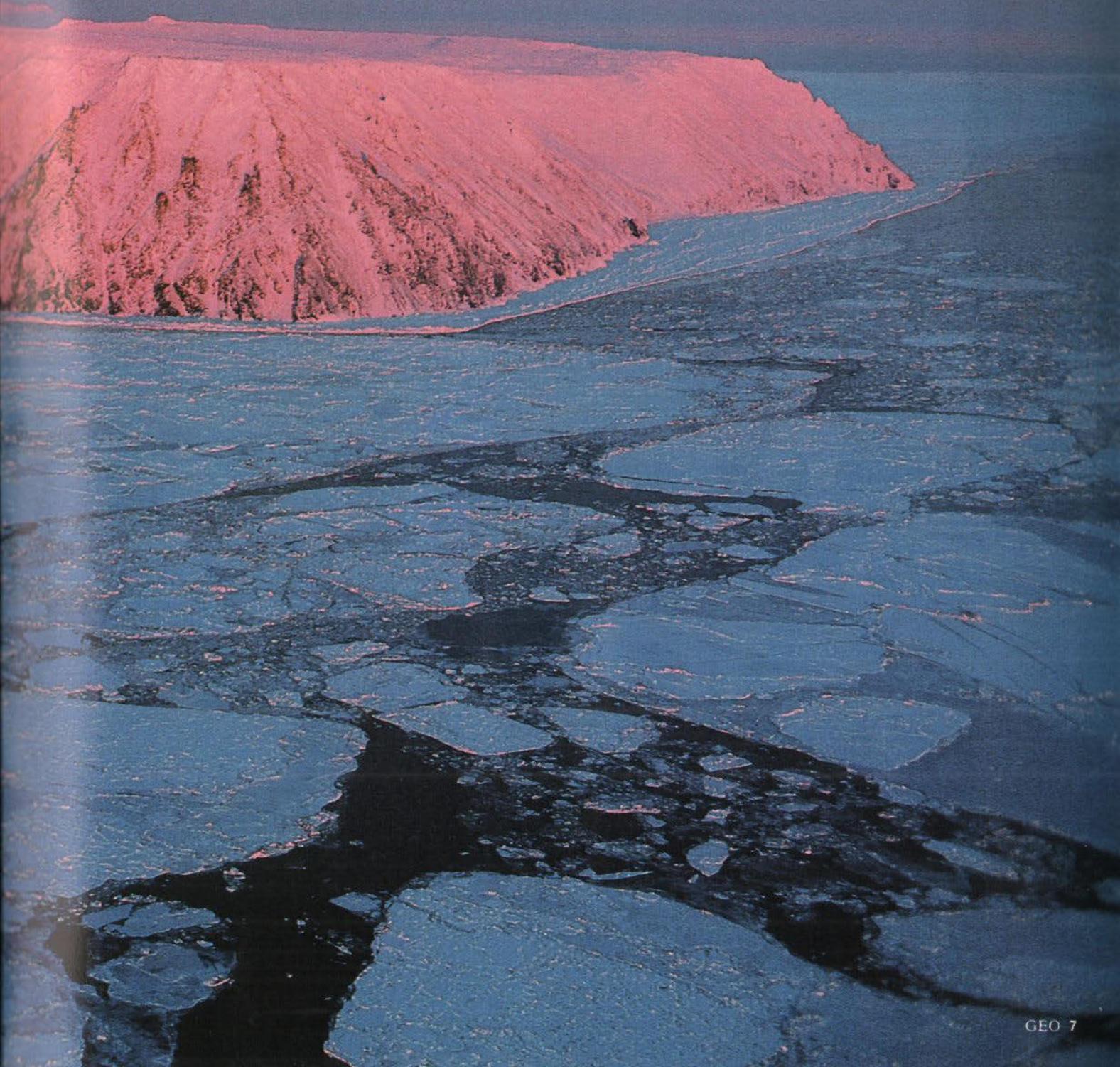


# auf die Wärme

Tauwetter im doppelten Sinn hat, stellvertretend  
für die Polargebiete, die Kleine und Große Diomedes-Insel

erfaßt: Nicht nur die Frühjahrssonne, auch die politische Großwetterlage läßt das Eis zwischen dem ameri-  
kanischen (vorne) und sowjetischen (hinten) Eiland in der Bering-Straße schmelzen.

Noch wärmer könnte es am pazifischen Tor zur Arktis werden,  
wenn der »Treibhauseffekt« die Erde aufheizt

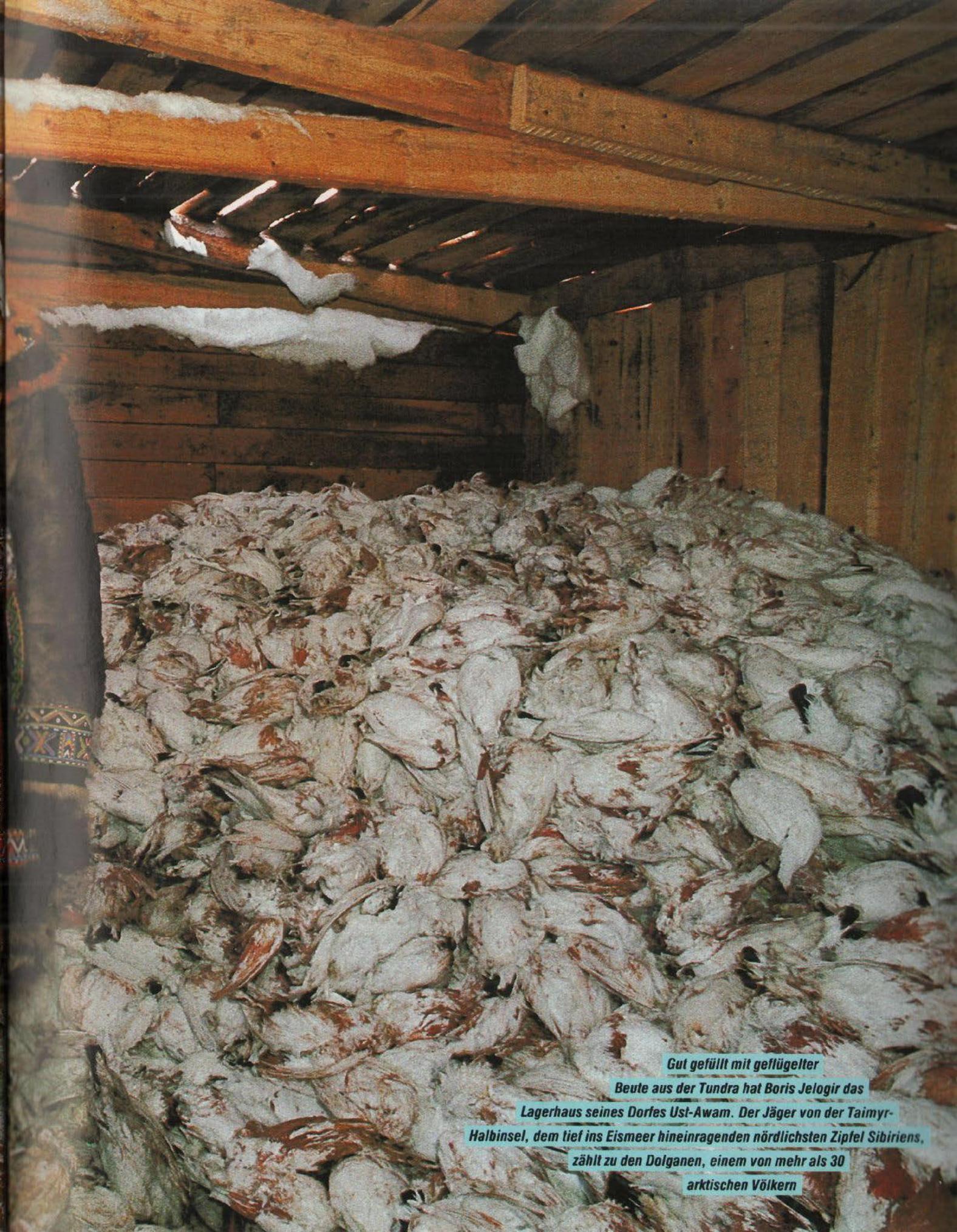


**Unbefleckt ist das Südpolargebiet nur auf den  
ersten Blick. Auch wenn sich der zweimastige Schoner einer privaten  
Expedition zwischen den Eisbergen und -schollen der Marguerite Bay vor der Antarktischen  
Halbinsel verliert: Wagemutige Reisende aus dem verschmutzen  
Norden haben ihre Spuren längst hinterlassen**









Gut gefüllt mit geflügelter

Beute aus der Tundra hat Boris Jelogir das

Lagerhaus seines Dorfes Ust-Awam. Der Jäger von der Taimyr-Halbinsel, dem tief ins Eismeer hineinragenden nördlichsten Zipfel Sibiriens, zählt zu den Dolganen, einem von mehr als 30 arktischen Völkern

**Trübe Aussichten an der Nordküste**

**Alaskas: Schwarzer Qualm aus abgefackeltem Gas**

**verpestet die reine Luft über der Prudhoe Bay. Nicht nur Öl- und Erdgasförderung gefährden**

**die fragile arktische Natur: Aus den Industriezentren Asiens, Amerikas**

**und Europas gelangen – mit Luft- und Meereströmungen –**

**Schadstoffe bis zum Nordpol**







**Unorthodox sind die Aktionen, mit denen**

**Greenpeace für die Einrichtung eines »Weltparks« am Südpol streitet.**

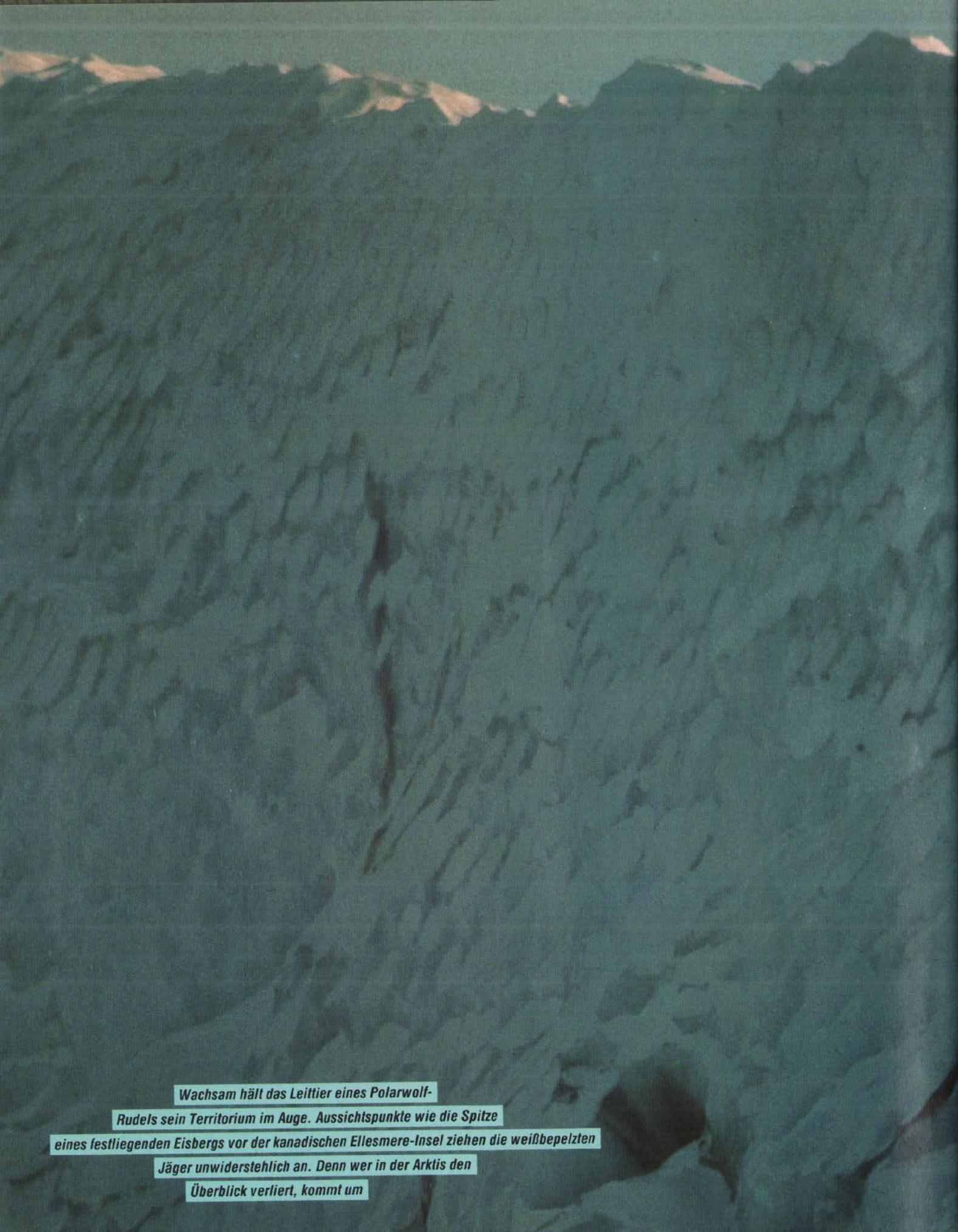
**»Ich spiele für die Wale«, sagt der holländische Zimmermann Bas – und entlockt seiner Gitarre**

**seltsame Klänge. Vom Hubschrauberdeck der »Gondwana«, die im antark-**

**tischen McMurdo-Sund ankert, warten er und Sarah aus**

**Neuseeland auf vorbeischwimmende Zwergwale**





*Wachsam hält das Leittier eines Polarwolf-*

*Rudels sein Territorium im Auge. Aussichtspunkte wie die Spitze*

*eines festliegenden Eisbergs vor der kanadischen Ellesmere-Insel ziehen die weißbepelzten*

*Jäger unwiderstehlich an. Denn wer in der Arktis den*

*Überblick verliert, kommt um*





**Äußerst selten ergibt sich in  
südpolaren Gewässern die Gelegenheit zu  
einem warmen Bad. Touristen von Bord der »World Discoverer« nutzen die Chance  
am vulkanisch erhitzten Strand von Deception Island  
vor der Antarktischen Halbinsel**



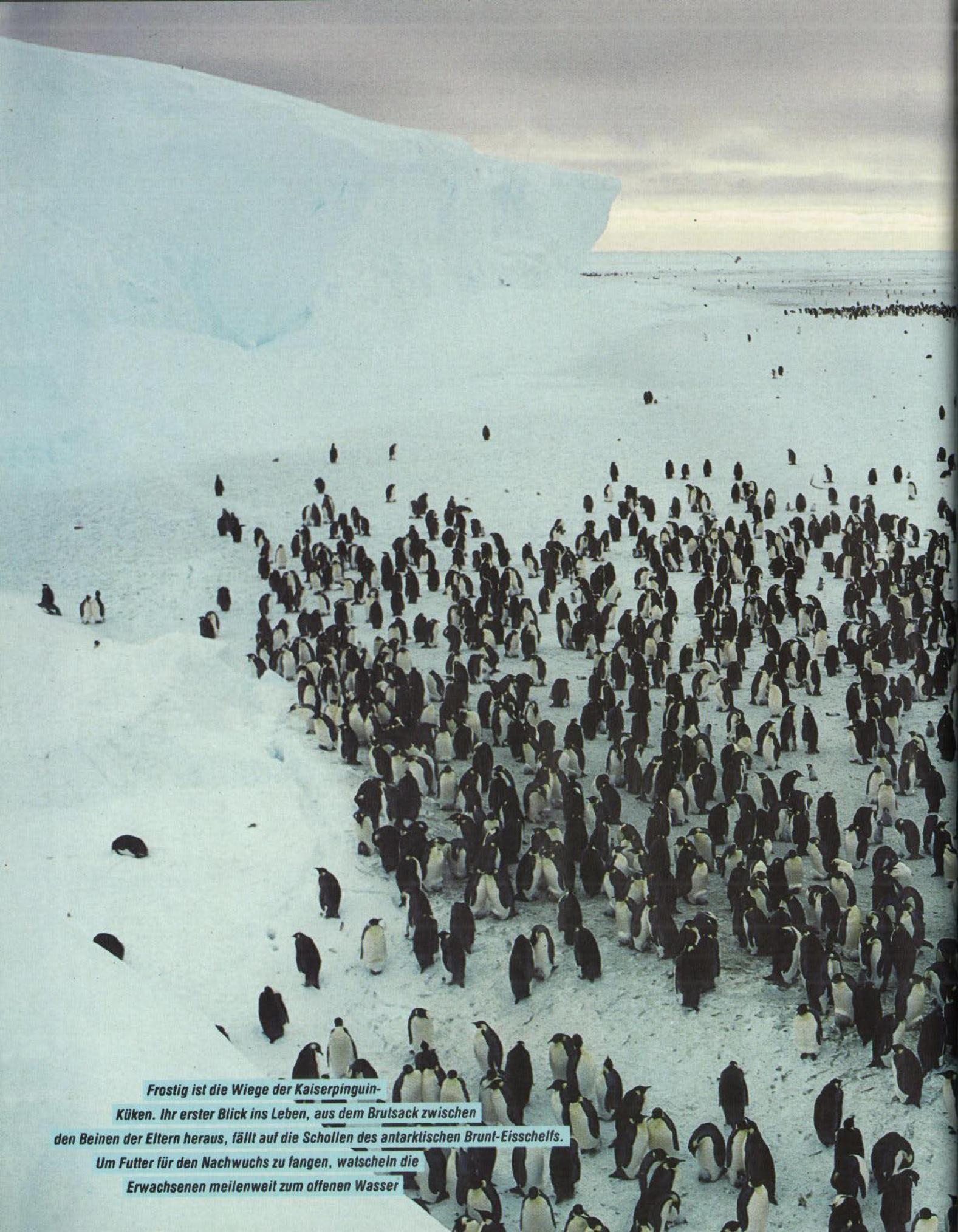


Gestreift von Ereignissen der

Erdgeschichte treibt ein rundgeschmolzener

Eisberg in der südpolaren Marguerite Bay. Die vergängliche Skulptur – vermutlich mit Ascheschichten aus prähistorischen Vulkanausbrüchen versetzt – ist winzig im Vergleich zu den gigantischen antarktischen Taleisbergen





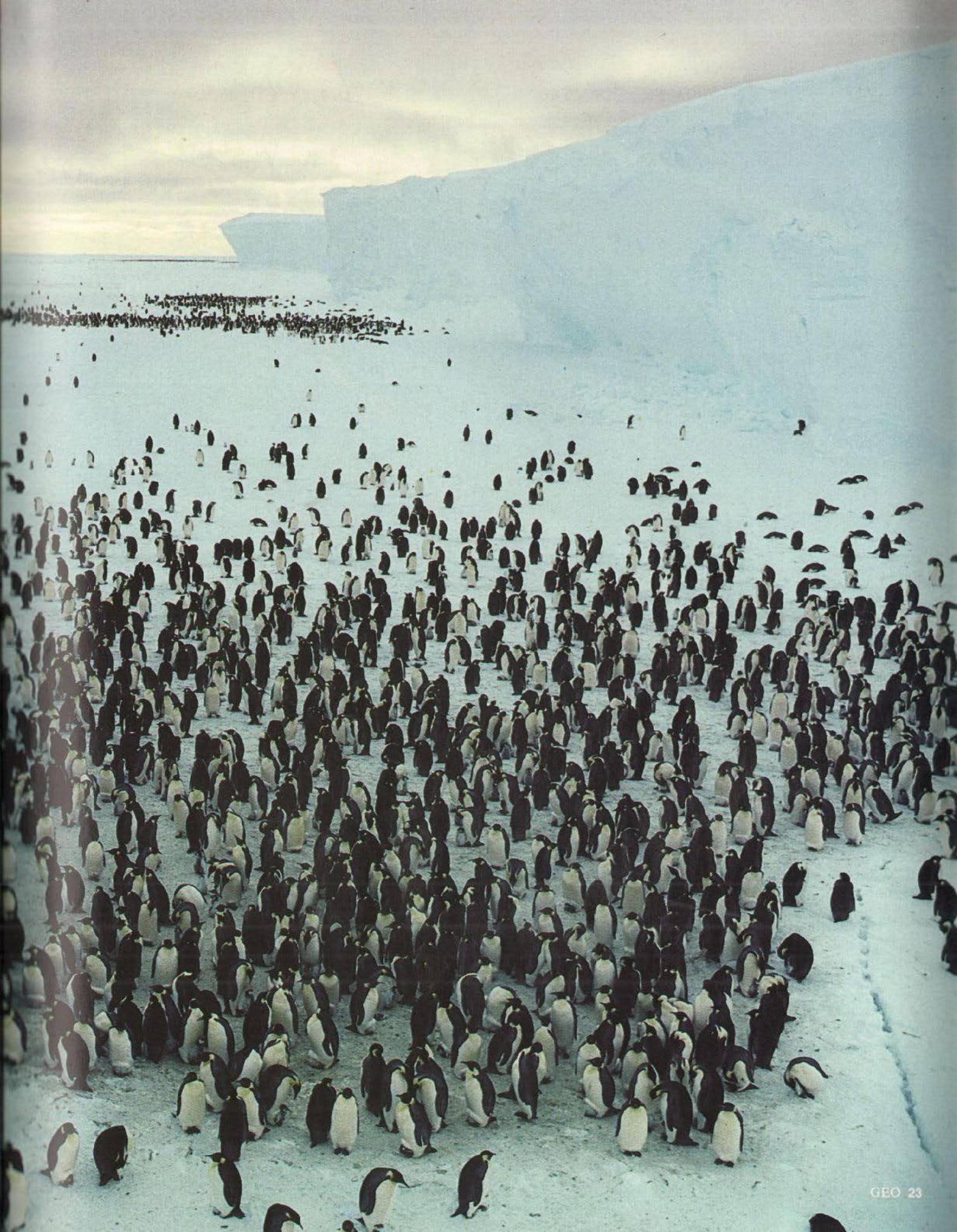
**Frostig ist die Wiege der Kaiserpingu-**

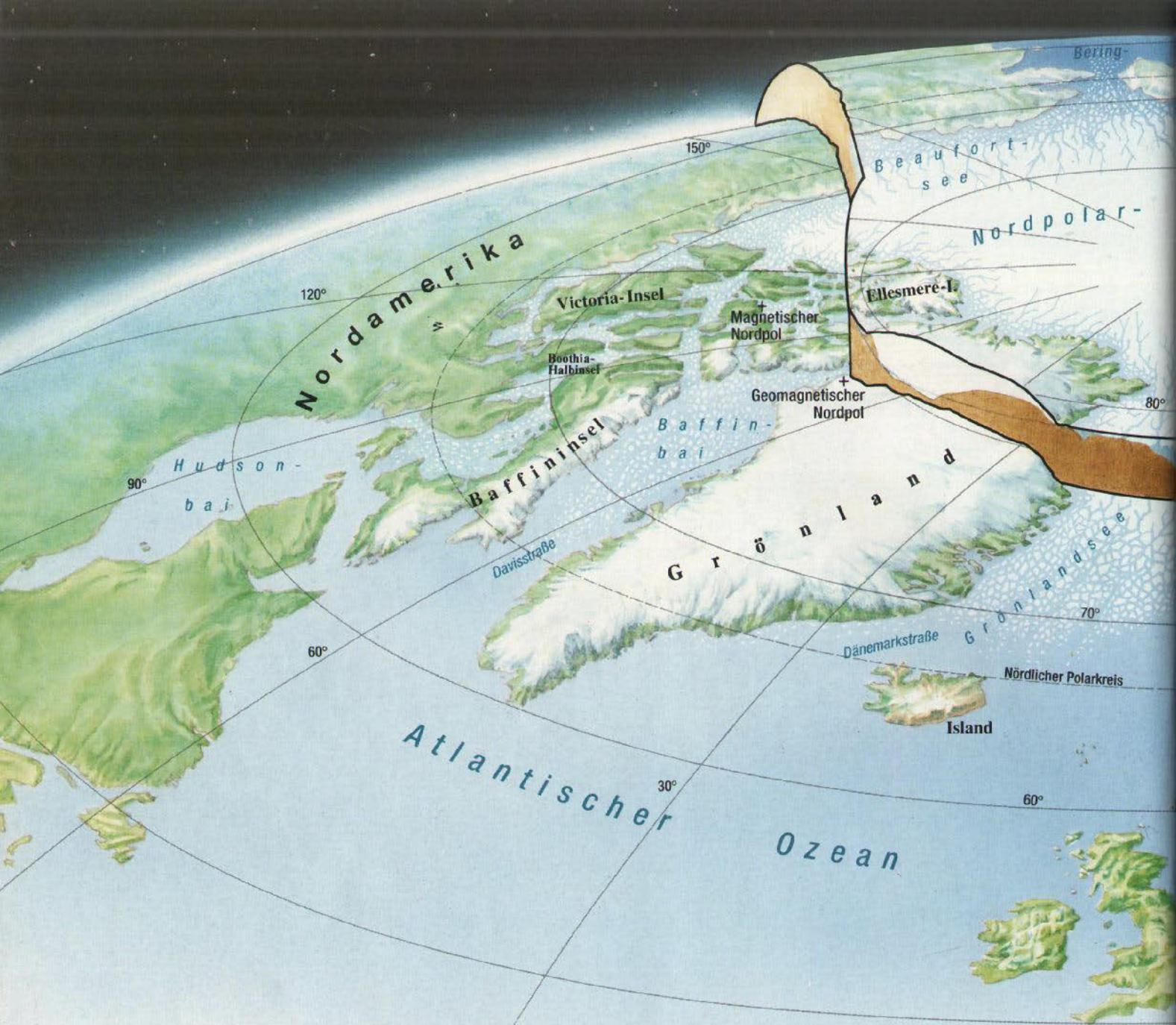
**Küken. Ihr erster Blick ins Leben, aus dem Brutsack zwischen**

**den Beinen der Eltern heraus, fällt auf die Schollen des antarktischen Brunt-Eisschelfs.**

**Um Futter für den Nachwuchs zu fangen, watscheln die**

**Erwachsenen meilenweit zum offenen Wasser**





## Arktis und Antarktis: **Nord-Süd-Konflikt im Niemandsland**

**B**inen besseren Ort hätte die kanadische Regierung in ihrem Riesenland kaum finden können: Für das konspirative Treffen zur Gründung eines exklusiven Clubs wählte sie Resolute auf Cornwallis Island, nahe des magnetischen Nordpols im Wasser-, Eis- und Fels-Labyrinth des Arktischen Archipels versteckt.

Auf dem Flugplatz des von Inuit und Bleibergwerksarbeitern bewohnten Fleckens landeten im Sommer 1990 die Vertreter von acht Staaten, deren Territorien ins Nordpolargebiet ragen. Kanadier und US-Amerikaner, Sowjets und Skandinavier\* waren nach Resolute gekommen, um nach Jahrzehntelan-



Kern des Nordpolargebietes ist der Arktische Ozean mit einer Fläche von gut zwölf Millionen Quadratkilometern. Auf ihm liegt – auch im Sommer – größtenteils ein meterdicker Deckel aus Packeis. Der Schnitt zeigt die Tiefen des Polarmeeres und das bis zu 3,5 Kilometer mächtige Inlandeis Grönlands. Überall innerhalb des Polarkreises geht die Sonne am 21. Juni nicht unter

gem Tauziehen am 28. August das „International Arctic Sciences Committee“ (IASC) zu gründen – eine Vereinigung, die künftig die wissenschaftliche Erforschung der Arktis koordinieren soll.

Mit dabei, wenn auch nur als Beobachter, saß eine Handvoll Delegierter aus polferneren Ländern wie Großbritannien und Frankreich, Japan und Deutschland. Sie wollen in Zukunft wenigstens als nicht stimmberechtigte Mitglieder beteiligt sein, wenn es darum geht, dem froststarrenden Arktischen Ozean seine Geheimnisse zu entreißen.

Die kaum beachtete Gründung des Arktis-Clubs ist eine von zwei womög-

\* Finnland, Schweden, Norwegen, Island und – in Vertretung Grönlands – Dänemark

lich historischen Wendemarken polarer Politik. Mit ihr, so hoffen Wissenschaftler wie Professor Gotthilf Hempel, Deutschlands Vertreter in Resolute und Direktor des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven, wird das Kühlhaus der nördlichen Hemisphäre nach Jahrzehntelanger militärstrategischer Geheimniskrämerei endlich von allen Seiten zugänglich.

Der zweite Wendepunkt wird die „16. Konsulartagung“ der 19 Mitgliedsstaaten des Antarktisvertrages vom 7. bis 18. Oktober 1991 in Bonn sein. Dann kann der Vertrag nach 30 Jahren Laufzeit vereinbarungsgemäß zum erstenmal revidiert werden.

Auch wenn die kalendarische Nähe beider Ereignisse eher zufällig ist und die geographische Distanz zwischen den zur Diskussion stehenden Regionen größer nicht sein könnte: In der Sache sind beide innig verknüpft und von aktueller, globaler Brisanz. Seitdem politisches Tauwetter den Kalten Krieg beendet hat, ist anstelle des ideologischen Ost-West-Konflikts eine Art klimatologischer Nord-Süd-Konflikt ins Zentrum der weltpolitischen Diskussion gerückt.

Die Sorge vor einem tatsächlichen Tauwetter in den Polargebieten, ausgelöst durch den von Menschen verstärkten Treibhauseffekt, bewirkt zusammen mit der Angst vor den Folgen sich

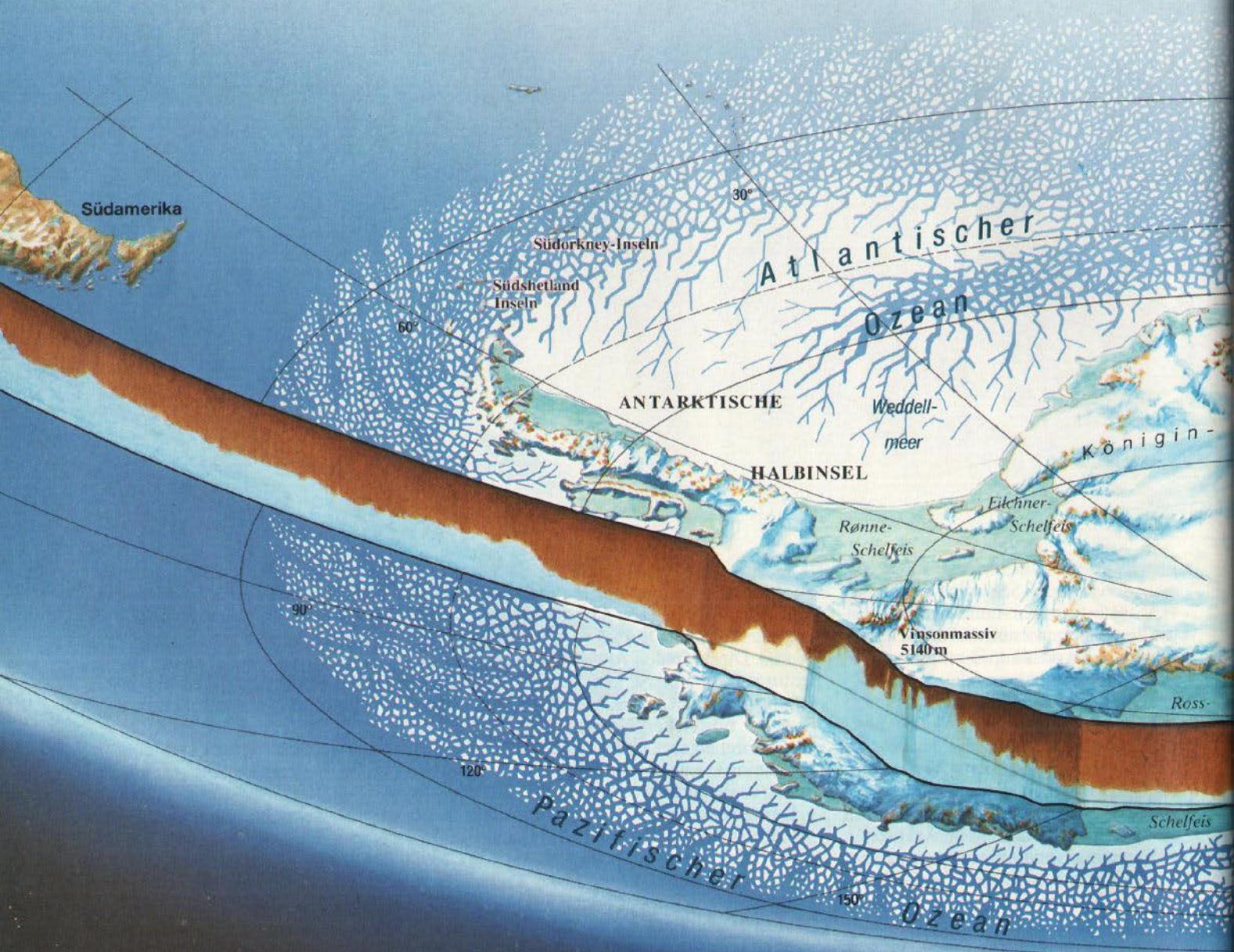
weitender „Ozonlöcher“ über Süd- und Nordpol einen dramatischen Bewußtseinswandel. Mehr noch als die Tropen, diesen Heizkesseln der globalen Wettermaschine, werden die Kühlaggregate des Planeten den Verlauf der befürchteten Klimawende bestimmen: An den Polkappen kann sich, wenn abschmelzendes Eis den Meeresspiegel ansteigen lässt, das Schicksal ganzer Nationen entscheiden. Deshalb sind Erkenntnisse über die Vorgänge im Eis, im Wasser und in der Luft der Arktis und Antarktis nicht länger nur von akademischem Interesse. Sie dienen zusehends als Argumente in einem weltpolitischen Streit um Abgase und Energieverbrauch.

**F**ast schon im Schatten der Klima-Frage liegen zwei weitere Problembereiche: der Umwelt- und Naturschutz in den ökologisch besonders empfindlichen Polargebieten sowie deren wirtschaftliche Nutzung durch Bergbau, Fischerei und Tourismus. Nicht zuletzt deshalb geht es bei den Treffen von Arktis- und Antarktis-Club auch um Macht und Einfluß im eisigen, größtenteils noch herrenlosen Sechstel der Erde:

- Kern der Antarktis ist das Nordpolarmeer mit gut zwölf Millionen Quadratkilometern – ein riesiges, bis zu 4500 Meter tiefes Becken, auf dem auch im Sommer fast überall ein meterdicker

Deckel aus Packeis liegt. Dazu kommen knapp zwei Millionen Quadratkilometer Inlandeis auf Grönland. Zum Nordpolargebiet zählen auch die rund 20 Millionen Quadratkilometer großen Permafrostgebiete auf den angrenzenden Kontinenten und Inseln – Tundra- oder Taiga-Regionen, in denen der Boden im Sommer nur oberflächlich taut.

- Kern der Antarktis ist der gut 13 Millionen Quadratkilometer große südpolare Kontinent, der mit Abstand kälteste (bis minus 89,2 Grad Celsius), windigste, trockenste und – mit durchschnittlich 1830 Metern – höchste Erdteil. Dessen bis zu 4776 Meter mächtige Gletscher bergen 91 Prozent allen Eises



auf der Erde. Würden sie schmelzen, steige der Meeresspiegel um rund 70 Meter. Umgeben ist diese insulare Bastei der Eiszeit im Sommer von vier, in manchen Wintern von 20 Millionen Quadratkilometern Packeis.

**A**n den eisstarrenden Flanken der Polkappen scheiterten bis ins 20. Jahrhundert alle Versuche von Forschern und Abenteuerern, jene beiden imaginären Punkte zu erreichen, an denen die Drehachse der Erde die Oberfläche des Planeten durchstößt: Erst 1909 stand Robert Peary am Nordpol; zwei Jahre später stieß Roald Amundsen zum Südpol vor.

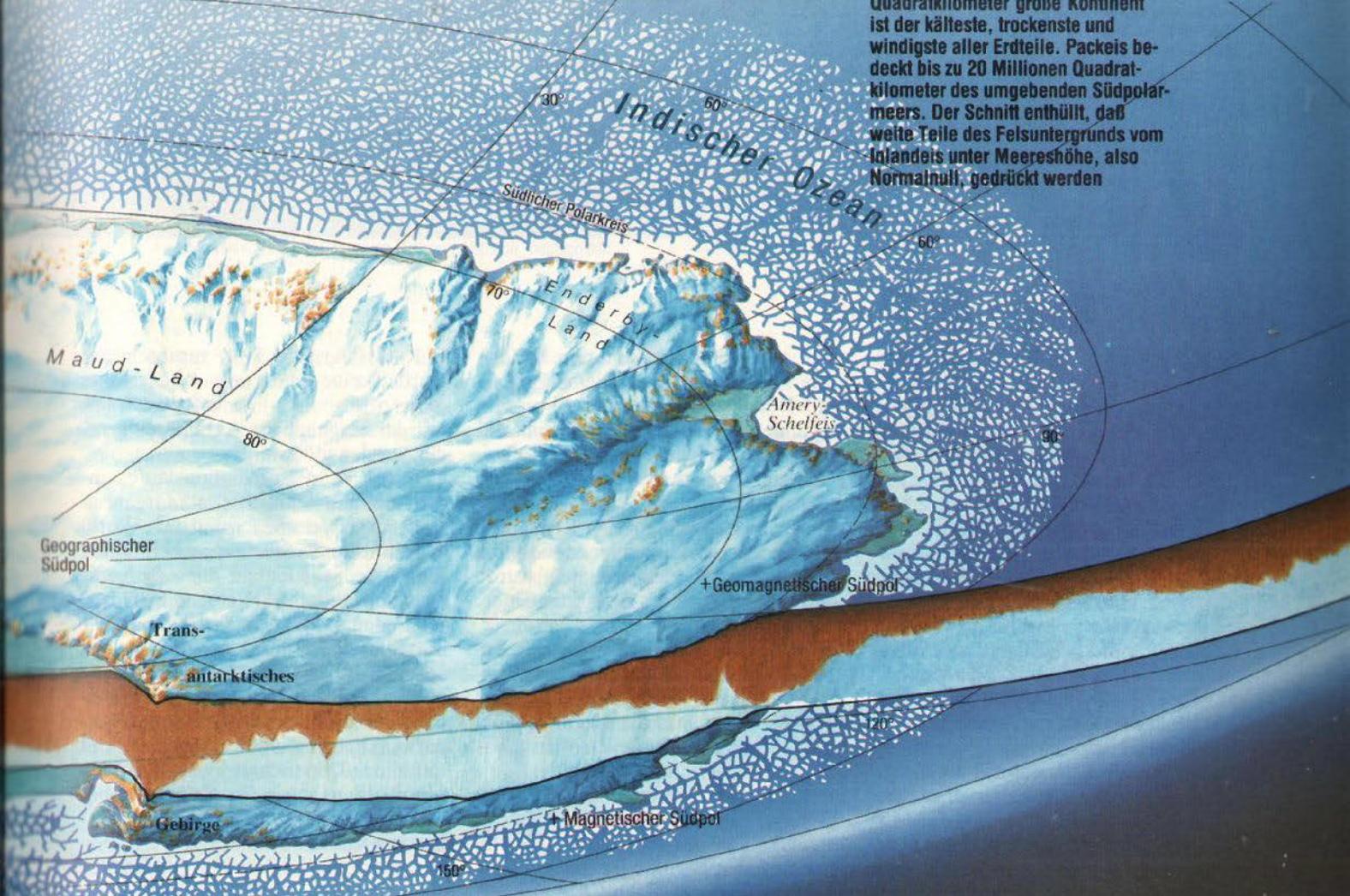
Verlässliche, flächendeckende Details über die Polargebiete lieferten allerdings erst die systematischen wissenschaftlichen Expeditionen der letzten Jahrzehnte. Mit dem „Internationalen Geophysikalischen Jahr“ (IGY) 1957/58 hatte ein Großangriff auf die Geheimnisse der Antarktis begonnen, dessen Motivation keineswegs nur akademischen Interessen entsprungen war: Es ging auch darum, schwelende territoriale Konflikte zu entschärfen. So kam es, daß ausgerechnet während des Kalten Krieges die Supermächte USA und Sowjetunion im Eisschrank der Erde politisch an einem Strang zogen: Sie, die selbst keine Ansprüche auf antarktisches Territorium hatten, woll-

ten auch keine solche Forderungen anderer Staaten anerkennen.

Die guten Erfahrungen während des IGY festigten die Allianz im Frost. 1959 schlossen die beiden Supermächte zusammen mit den sieben Staaten, die früher schon Ansprüche auf antarktisches Gebiet erhoben hatten (siehe Karte Seite 28), und drei weiteren interessierten Nationen den Antarktisvertrag. Er trat am 23. Juni 1961 in Kraft.

Mit dem Abkommen wurden die Land- und Eisflächen südlich des 60. Breitengrades zur nichtmilitärischen Zone erklärt. In ihr sind einzige friedliche wissenschaftliche Aktivitäten erlaubt; Forschungsstationen stehen allen Vertragsparteien offen. Alle wis-

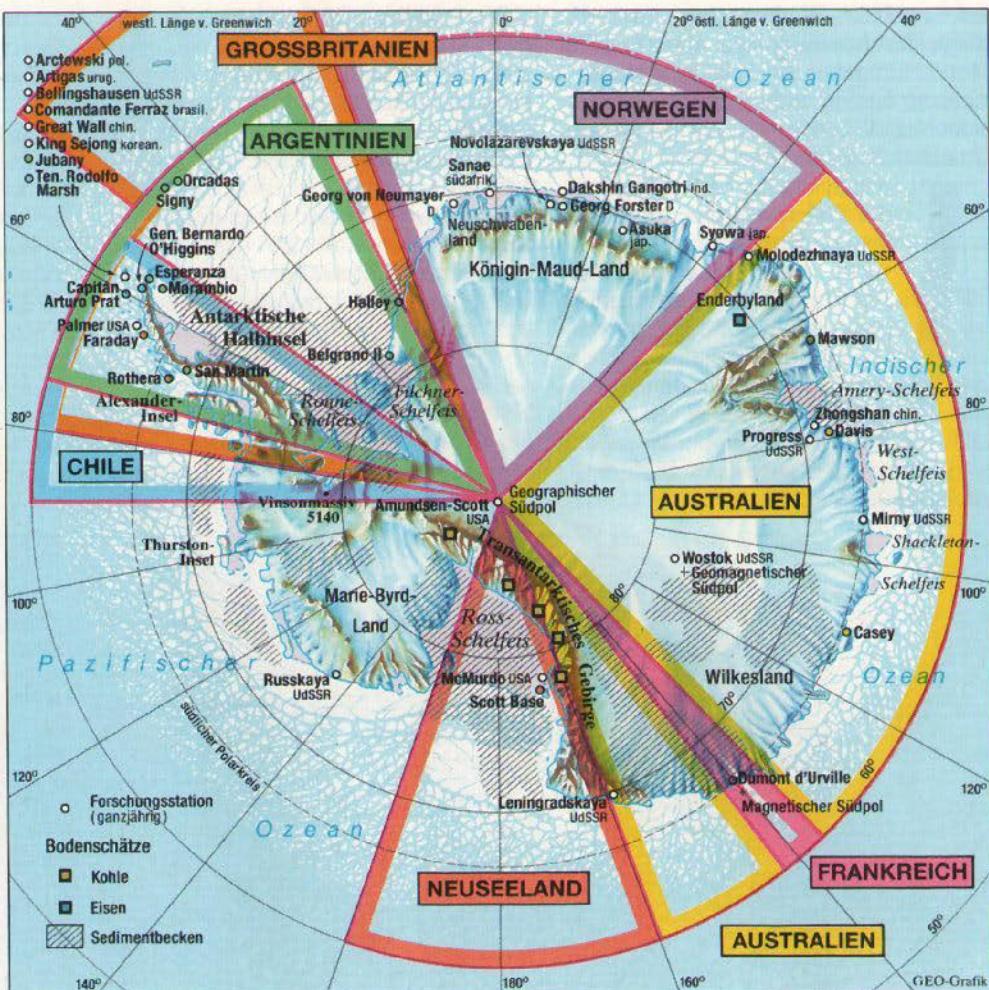
## Die frostige Last drückt den Weißen Kontinent tief ins Innere der Erde



Auf der Antarktis sind neun Zehntel allen Eises auf der Erde angehäuft – bis zu einer Dicke von 4776 Meter. Der gut 13 Millionen Quadratkilometer große Kontinent ist der kälteste, trockenste und windigste aller Erdteile. Packeis bedeckt bis zu 20 Millionen Quadratkilometer des umgebenden Südpolarmeers. Der Schnitt enthüllt, daß weite Teile des Felsuntergrunds vom Inlandeis unter Meereshöhe, also Normalnull, gedrückt werden

## Der Streit um die Torte liegt auf Eis

Zwar haben sieben Staaten in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts territoriale Ansprüche auf – teils überlappende – Sektoren der Antarktis gestellt (farbige »Tortenstücke«). Aber mit dem »Antarktisvertrag«, den zwölf Nationen im Jahr 1959 schlossen, sind diese Ansprüche erst einmal auf Eis gelegt. Die 19 voll stimmberechtigten Mitglieder des »Antarktis-Clubs« unterhalten ganzjährig besetzte Forschungsstationen; eine Auswahl ist auf Seite 29 abgebildet. Im Herbst 1991, beim nächsten Treffen des »Clubs« in Bonn, eröffnet sich zum ersten Mal nach 30 Jahren Laufzeit die Option, den Vertrag zu modifizieren. Einige bekannte Bodenschatzvorkommen sind in der Karte eingezeichnet; »Sedimentbecken« gelten als öl- und gashöfliche geologische Strukturen



senschafterlichen Ergebnisse werden veröffentlicht. Bedingung für eine Vollmitgliedschaft im „Club“ und zugleich Eintrittspreis für neue Partner ist ein „wesentlicher“ wissenschaftlicher Beitrag – zu leisten etwa mit einer ganzjährig besetzten Antarktis-Station.

Diplomatisch geschickt hat das Abkommen bestehende Gebietsansprüche auf Eis gelegt: Sie werden weder an- noch aberkannt. Deshalb ist bis heute ungeklärt, ob die Antarktis als „Terra communis“ allen Unterzeichnern gehört oder als „Terra nullius“ keines Herren Land ist, ähnlich dem Meeresboden außerhalb der 200-Meilen-Wirtschaftszonen.

Solange die Antarktis nur mühselige und teure Forschung versprach, hielten sich Interessenten für eine neue Mitgliedschaft im „Club“ auffällig zurück. Erst als in den siebziger Jahren Nahrungs- und Rohstoffkrisen die „Grenzen des Wachstums“ andeuteten, wäh-

rend vom Südpol potentielle biologische Ressourcen – vor allem „Krill“ – und Bodenschätze gemeldet wurden, begannen sich Nationen wie China, Indien und Brasilien, Italien und die beiden deutschen Staaten ernsthaft um eine Aufnahme zu bemühen. Die Bundesrepublik erfüllte mit der Errichtung der Georg-von-Neumayer-Station die Aufnahmebedingungen und wurde 1981 Vollmitglied des Antarktis-Clubs; die DDR folgte 1987.

**T**riebkraft für den Beitritt war neben nationalem – und wissenschaftlichem – Prestige vor allem die Hoffnung, bei einer eventuellen wirtschaftlichen Ausbeutung des Weißen Kontinents den Fuß mit in der Tür zu haben. In der Tat erarbeitete der „Club“ in zähen Verhandlungen eine „Konvention zur Regelung des Abbaus antarktischer mineralischer Rohstoffe“

(CRAMRA), die 1988 verabschiedet wurde: keine Änderung, sondern eine „Ergänzung“ des Antarktisvertrags, mit der bergbauliche Aktivitäten geregelt werden sollten.

Gegen diese Konvention laufen internationale Umweltschutz-Organisationen wie Greenpeace und der „World Wildlife Fund“ Sturm: Sie befürchten schwerste Schäden an der empfindlichen antarktischen Natur – Schäden, die in der Arktis, vor allem in den Öl- und Gasfeldern Sibiriens und Alaskas, schon sichtbar sind. Statt Ausbeutung plädieren die Umweltschützer vehement für die Einrichtung eines „Welt-parks Antarktis“, der allenfalls – und mit aller ökologischen Vorsicht – Wissenschaftlern sowie einer möglichst begrenzten Zahl von Touristen zugänglich sein sollte.

Auch wenn im Vorfeld der Bonner Konsulartagung die Wogen des Protests noch hoch schlagen: CRAMRA ist



Station »Great Wall«, China



Scott Base, Neuseeland



Palmer Station, USA



»Bellingshausen«, UdSSR



Amundsen-Scott-Südpolstation, USA



Williamsfield Air Base, USA



World Park Base, Greenpeace



McMurdo Station, USA



»Dumont d'Urville«, Frankreich



»Esperanza«, Argentinien



»Mawson«, Australien



Halley Station, Großbritannien



»Arctowski«, Polen



Georg-von-Neumayer-Station, Deutschland



»Teniente Rodolfo Marsh«, Chile



»Terra Nova«, Italien

schon so gut wie tot. Frankreich und Australien hatten schon 1988 ihr Veto gegen das Rohstoffabkommen eingelegt. Neuseeland, ursprünglich einer der Initiatoren, ist inzwischen ebenfalls strikt gegen die Ausbeutung antarktischer Rohstoffe. Und auch in den USA ist ein deutlicher Umschwung in Richtung auf einen Naturpark kontinentalen Ausmaßes am Südpol spürbar. Einzig Großbritannien und Japan schienen im Frühherbst 1990 das Abkommen noch zu unterstützen. Aber dies wird nicht für eine Ratifizierung von CRAMRA reichen. Hinter der Wende steht neben ökologischer vor allem wirtschaftliche Einsicht: Der Abbau antarktischer Bodenschätze lohnt auf lange Zeit nicht.

Womöglich geht nun das Bonner Treffen aus wie das Hornberger Schießen: Es bleibt alles beim alten. Dann gilt weiterhin der Antarktisvertrag von 1959, gelten weiterhin seine seither beschlossenen, ergänzenden Natur-

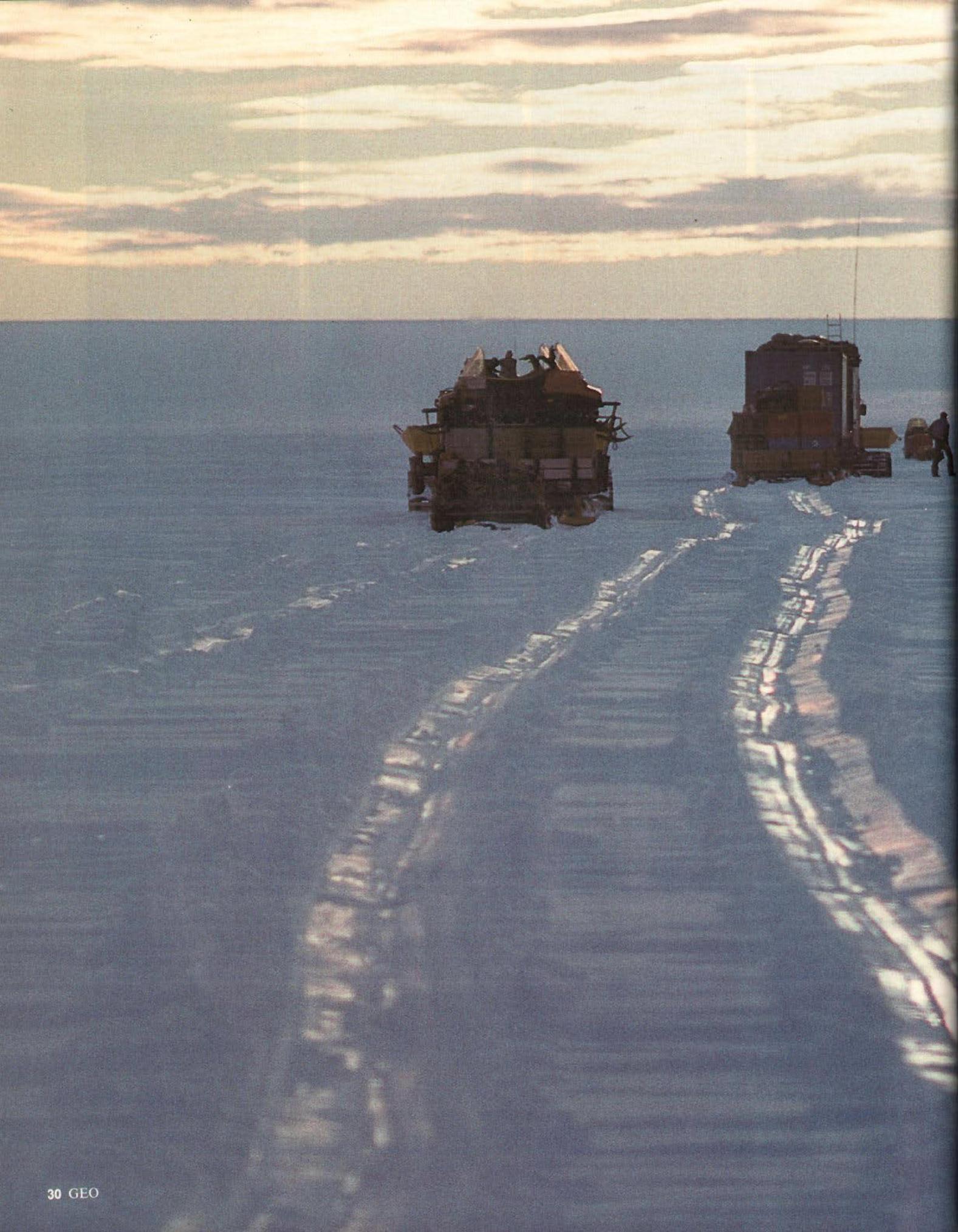
schutzbestimmungen. Die Bedeutung der Antarktis für die globale Umwelt wird allerdings künftig höher eingeschätzt werden als je zuvor.

Der Schreck, vom Menschen verursachte Klimaänderungen könnten den weißen Riesen am Südpol in Bewegung bringen, sitzt tief – und beschert den Polarforschern einen neuen Boom. Gefragt sind jetzt vor allem Daten über die Dynamik des Eises: Nimmt es ab oder wächst es, wie derzeit in Südgrönland, sogar an? Und warum tut es das?

**N**un rückt auch die Arktis, bisher eher im Schatten des Südpolgebiets, ins umweltpolitische Rampenlicht: Sie könnte im Drama mit dem Klima die Hauptrolle spielen. Denn sollten ihre Permafrostgebiete zu tauen beginnen, könnten die dann entweichenden Sumpfgas-(Methan-)Mengen den Treibhauseffekt noch beschleunigen. Und

über die Stabilität des Packeisdeckels auf dem Arktischen Ozean ist alarmierend wenig bekannt. Vor allem das Meereis in der Grönlandsee hat eine womöglich entscheidende Funktion im weltweiten Klimageschehen: Nur hier, in der Labradorsee und im südpolaren Weddellmeer, sackt kaltes, salziges Wasser ab und treibt die globale „Tiefenwasser-Zirkulation“ an. Was geschieht, wenn dieser Motor des Unterseestroms gestört wird oder gar ausfällt? So viel ist sicher: Das klimatisch besonders begünstigte Europa hat am meisten zu verlieren.

„Die Schrecken des Eises und der Finsternis“, wie Christoph Ransmayr sein Buch über die Eroberer der Polargebiete betitelte, bekommen für uns eine neue, eine globale Dimension: Die Vorgänge in der Arktis und Antarktis sind nicht länger Kuriositäten an den beiden Enden der Welt. Sie sind ein Teil unserer Zukunft. *Günter Haaf*





Überschier endlose Inlandeis der Antarktis rumpeln im Südsommer 1989/90 die Raupenfahrzeuge eines deutschen Forscherteams. Kaum schneller als Fußgänger kriechen sie einem fernen Ziel entgegen: den »Heimefrontjella«, einem fast in Gletschern ertrunkenen Gebirgszug. Dort soll nach Zeugnissen eines erdgeschichtlichen Dramas gesucht werden – nach Belegen für den Zerfall des Superkontinents Gondwana

# **Der lange Weg nach Gondwana**

**G**egen den Zweitakter hat Tschaikowsky keine Chance. Die Pathétique, die mir das majestätische Panorama akustisch untermalen soll, geht im Geplärr des Ski-Doo-Motors unter. Ich halte an, ziehe erst den rechten Über-, dann den Unterhandschuh aus, nestle am Reißverschluß meines Parkas, öffne die Daunenweste darunter, wühle mich unter den Pullover und greife in die Hemdtasche. Dann schalte ich den Walkman aus und steige vom Motorschlitten.

Die weiße Masse unter meinen Füßen fließt. Nicht so rasch, daß ich es spüren könnte. Auch nicht so schnell wie manches Schelffeis, das sich mehrere Meter pro Tag ins Meer wälzt. Aber, das hat mir unser schwedischer Glaziologe Veijo Pohjola versichert, einige Meter pro Jahr immerhin. Dort, wo einzelne Felsen oder ganze Berggruppen dem schwerfälligen Strom im Weg liegen, würden Bremsspuren die unmerkliche Bewegung verraten: Da sähe das Eis dann aus wie ein krauses Laken.

Noch stehe ich – winzig wie eine Laus im Bett – an diesem 4. Januar 1990 auf dem glatteren Teil des Tuchs. Sanft wellt sich die gefrorene Landschaft nach allen Seiten bis zum schnurgeraden Horizont. „Als wäre die Erde doch eine Scheibe“, hat Manfred Degutsch gestern gesagt. Oder war es vorgestern? Seit unserer Ankunft in der Antarktis vor ein paar Tagen umkreist uns die Sonne ohne Unterbrechung, immer zwei Handbreit über dem Eis.

Nicht nur die Zeit, auch die Entfernung läßt sich nicht mehr bemessen. Sind die „Sastrugi“ – jene Firnrippeln, die der Ebene das Aussehen eines gefrorenen Ozeans verleihen – einen halben Meter hoch oder nur einige Zentimeter? Kein Grashalm, kein Strauch erleichtert dem Auge diese schwierige Aufgabe. Oft entpuppt sich eine flache Welle, die ich nur einige hundert Meter vor mir wähne, nach stundenlanger Fahrt als gewaltiger Eishang.

Hinter mir durchstoßen vier kleine schwarze Punkte das grelle Weiß. Es sind die Schlittenzüge des Unternehmens „Kottas-Traverse“, einer Expedition von sechs Geologen, acht Geophysikern, zwei Mechanikern, zwei Glaziologen, einem Mineralogen, einem Meteorologen und einem Reporter. Vor mir werden morgen die „Kottas-Berge“ über den Horizont

wachsen – die nördlichsten Gipfel eines Gebirges mit dem norwegischen Namen Heimefrontfjella.

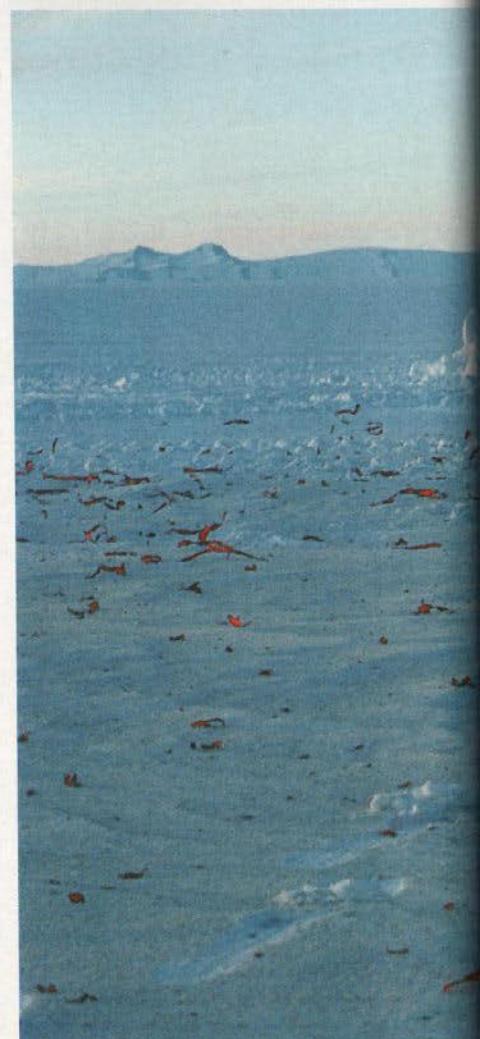
Von diesem Gebirgszug hatte ich noch nie etwas gehört, als Heinz Miller auf einen winzigen braunen Fleck der weißen Antarktis-Karte tippte. Dicht dabei, fast senkrecht über seinem Fingernagel, sah ich an der Schelfeiskante den Namen „Georg-von-Neumayer-Station“ (GvN) – die bundesdeutsche Forschungsbasis, an der unsere Expedition beginnen sollte. Fast sah es aus, als könnte man die Strecke zu den braunen Bergen an einem Tag zu Fuß bewältigen. Tatsächlich sind es 450 Kilometer.

Das war im Frühjahr 1989. Im Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven erläuterte mir Miller, Leiter der Abteilung Geophysik, in groben Zügen das polare Unternehmen, an dem ich als Reporter teilnehmen wollte. Nein, nicht als Reporter, korrigierte der Geophysiker sogleich, sondern als Helfer. Denn bei der knappen Zeit – „nur acht-einhalb Wochen!“ – braucht man jede Hand. Allein die Hin- und Rückfahrt zu den Heimefrontfjella kostet jeweils sieben Tage.

**»Im Klartext  
heißt das: Bohren  
und Sprengen«**

In diesem Gebirge hoffen Geowissenschaftler Hinweise darüber zu finden, wie die Antarktis einmal mit Südamerika, Afrika, Indien und Australien verbunden war und auf welche Weise der Superkontinent „Gondwana“ vor über 100 Millionen Jahren auseinanderbrach (siehe Seite 38). Dazu, erklärte Miller, werde der Gebirgsaufbau studiert – etwa durch die Kartierung der Gesteinstypen. Weil aber nur ein geringer Anteil der Heimefrontfjella eisfrei sei, müßten seismische Verfahren, mit denen Eis und Fels gleichsam „durchleuchtet“ werden, die Arbeit der Geologen ergänzen: „Im Klartext“, übersetzte Miller, „heißt das Bohren und Sprengen.“ Sprengungen auf dem Kontinent der Stille? Eine seltsame Vorstellung.

Das Abenteuer Antarktis begann schließlich am 16. Dezember im argentinischen Hafen Ushuaia auf Feuerland, als eine Barkasse 75 Forscher und Techniker an Bord der „Polarstern“ brachte. Das deutsche Polarforschungsschiff transportiert alljährlich im Dezember das neue Überwinterungsteam und Versorgungsgüter in die Antarktis. Wissenschaftler nutzen diese Fahrt regelmäßig zu einer dreimonatigen „Sommerkampagne“. Wie ein Autobus an Haltestellen setzt die „Polarstern“ einzelne Teams an verschiedenen Stellen der Schelfeiskante ab, um sie zu einem festgesetzten Termin wieder abzuholen (siehe Seite 46). Die Kottas-Gruppe sollte an der Georg-von-Neu-





**Seismische Sprengungen erlauben einen »Blick« durch kilometerdicke Gletscher hinab in die Erdkruste. Dazu müssen mit heißen Hochdruck-Wasserdampfstrahlen 60 Meter tiefe Löcher ins Eis geschmolzen werden. An deren Grund zünden dann exakt zur gleichen Zeit Dynamitladungen. Zurück bleiben zerfetzte Hülsen**

mayer-Station das Schiff als erste verlassen und als letzte wieder an Bord gehen.

Die alten Überwinterer auf „Gee-Vau-Enn“ empfingen uns mit beherrschter Freude, als wir durch den Treppenschacht in die Station hinabpolterten: 21 Mann wollten essen und trinken, verlangten Auskunft und Werkzeug, beanspruchten Fahrzeuge und Schlitten. Und wollten vor allem eins: so schnell wie möglich weg. In der Mittagswärme schwitzend packten wir Containerschlitten aus und um. Schorsch und Klaus, unsere Mechaniker, überprüften vier „Pistenbullys“ – Kettenfahrzeuge der Station, die uns als Zugmaschinen dienen sollten. Wir nahmen drei auf Schlitten montierte Wohncontainer in Beschlag, lernten Ski-Doo-Fahren und machten uns mit den Pistenbullys vertraut.

#### Ob mit oder ohne

#### Tschaikowsky: Zehn Stunden auf dem Ski-Doo werden lang

Und dann die Lebensmittel! Nie wieder lache ich über den Witz mit dem Kühlenschrank in der Antarktis. Wir erhielten tiefgefrorene Nahrungsmittel, die nicht auftauen und Getränke, die nicht gefrieren durften. Zudem sechs Tonnen eines Sprengstoffs, der – einmal unter minus 30 Grad Celsius gebracht – beim Auftauen so „umgänglich“ wird wie Nitroglycerin. Wir packten Getränke und Sprengstoff in einen beheizten Materialcontainer. Verteilten Hunderte von Klorollen, Schokoladetafeln, Suppenkonserven, Brot- und Bierdosen auf die Wohncontainer. Zurrten Stromgeneratoren, Nansen-Schlitten, Scott-Zelte, Survival-Bags und Eisbohrgerät auf den großen Lastschlitten fest. Dann, am 29. Dezember um 23 Uhr 50, fuhr der große Treck mit 21 Mann und 100 Tonnen Material endlich los – nach Süden, der nicht untergehenden Sonne entgegen.

Ob mit oder ohne Tschaikowsky: Zehn Stunden auf dem Ski-Doo werden lang. Und kalt. Denn, auch wenn es nur langsam vorangeht, der Fahrtwind treibt einem allmählich die Wärme aus dem Leib. Auf meine Frage, was ich denn anziehen solle, hatte ich den Rat „Alles, was du hast“ bekommen – und zunächst für einen Witz gehalten. Nun bin ich um jedes Stück froh: Baumwollsocken, Wollsocken, gesteppte Innenschuhe und gefütterte Polarstiefel; kurze Unterhose, lange Unterhose, Faserpelz-, Loden- und Daunenhose; Unterhemd, Oberhemd, Pullover, Daunenweste, Daunenparka; schließlich Motorradmaske, Schal, Mütze, Kapuze, Wollhandschuhe und Lederfäustlinge.

Ebenso vermummt sitzt Gerd Boldt auf dem flachen hölzernen Nansen-Schlitten

hinter dem Ski-Doo. Schweigend starrt der Geophysiker aus Münster während der Fahrt durch eine Glasscheibe in den Holzkasten vor ihm. Gelegentlich bedient er auch unser „Eskimo-Telefon“, eine Leine, deren Ende ich mir um die Schulter geschlungen habe. Wenn es zweimal ruckt, weiß ich, daß ich mehr als sieben Kilometer pro Stunde fahre – zu schnell für das empfindliche EMR-Gerät, das wir auf einer ausladenden Schlittenkonstruktion hinter uns herziehen. Der Apparat – EMR steht für „elektromagnetische Resonanz“ – registriert Schwingungen des Untergrundes, die ein elektronischer Schreiber in dem Holzkasten in ein feines Strichmuster umwandelt. So werden Dickeunterschiede des Eises bis in 800 Meter Tiefe sichtbar. Mit beunruhigender Deutlichkeit zeigt das Bild auch alte, zugewehrte Spalten, über die wir bisweilen hinwegfahren.

Von solchen Spalten droht offenbar keine Gefahr. Wie ein Gewölbe trägt die oft viele Jahre alte Füllung selbst großes Gewicht. Aber auch ein Kettenfahrzeug? Schorsch hat da keine Sorgen. Unser Bully-Spezialist, den das AWI eigens beim Hersteller „ausgeliehen“ hat, sitzt lässig, die nackten Füße gegen die warme Windschutzscheibe gestemmt, hinter dem Steuerhorn des dröhnen und klappernden Gefährts. Mit seinen breiten Ketten, erklärt der Mechaniker, erzeuge so ein vier-einhalf Tonnen schweres Ungetüm weniger Druck pro Fläche als ein Mann auf zwei Beinen. Selbst über eine Lage roher Eier würde er mit dem Ding hinwegfahren.

Schorsch plaudert gern beim Fahren – vom Job, der ihn sogar in japanische Skigebiete brachte, vom elterlichen Bauernhof oder seinem Haus, an dem er baut. Wenn draußen das eisige Nichts vorbeizieht, taut jeder irgendwann auf. Dann verrät sogar der spröde Ulli, der meist Geschichtsbücher liest oder spanische Vokabeln paukt, Persönliches. Und Christian, dem lockere Sprüche so leicht von den Lippen gehen, wird plötzlich ernst. Alle haben wir unsere Geschichten mit auf den weißen Kontinent gebracht.

Die Wissenschaftler oder Studenten, die den Hörsaal mit dem Freiluftlabor Antarktis vertauscht haben, haben nichts von draufgängerischen Polar-Heroen. Nicht einmal Gernot Patzelt, ein erfahrener Hochgebirgsforscher und Bergsteiger, der als „Pfadfinder“ unseren Treck in den wilden Süden führt. Abenteuer Antarktis? Wenn es nach ihm geht, werden wir keines erleben: „Abenteuer sind nur Zeichen für schlechte Vorbereitung.“

Sonnabend, 6. Januar. Zwei Tage fahren wir schon an den Bergen der Heimefrontfjella entlang. In den warmen Mittagsstunden erklimmen die Fahrzeuge mit ihren 25 Tonnen Last nur mühsam die weichgewordenen Firnhänge. Bei jedem steileren Anstieg starre ich jetzt durch die Seitenfenster auf die Ketten. Gas weg, so-



Ein Geologe kennzeichnet Gesteinsproben aus



Auf der Fahrt: Batteriewechsel bei -20 °C



Im Sprengbüro: Wie gut war der »Schuß«?



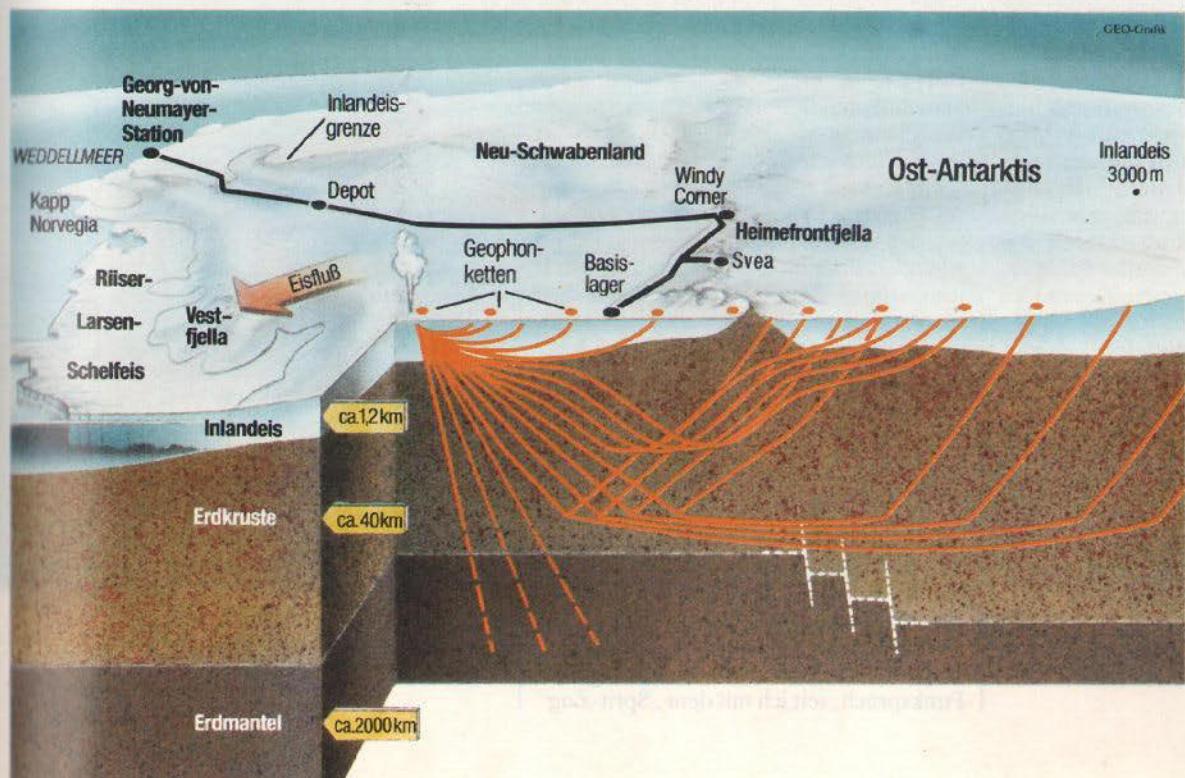
den Heimefrontfjella



Im Basislager: tonnenweise Material auspacken



Im Wohncontainer: Tagesbefunde eintragen



bald sie durchdrehen, schärfst Schorsch mir ein. Einmal schon habe ich den Pistenbully binnen Sekunden metertief eingegraben.

Der Mechaniker flucht über „das ganze unnütze Zeug auf den Schlitten“. Der Dieserverbrauch liegt bei vier Liter pro Kilometer. Keine Frage: Die Maschinen sind überlastet. Doch Gernot treibt uns an. Er will keine Schneedrift riskieren, die unsere Fahrt für Tage unterbrechen könnte. Und seine Rechnung geht auf. Am Abend, nachdem unser Treck gerade einen Hang erklimmen hat, sehen wir ihn ein paar Kilometer voraus im Schnee einen Purzelbaum schlagen. Wir haben das Basislager in der Heimefrontfjella endlich erreicht.

### Risse, in denen ganze Schlittenzüge verschwinden könnten

Gleich einem brüchigen Damm, der die gefrorenen Wassermassen nicht mehr aufzuhalten vermag, liegt der etwa 130 Kilometer lange Gebirgszug quer vor dem antarktischen Hochplateau. Zwischen seinen drei Hauptmassiven drängen mächtige, ganze Täler füllende Gletscher nach Nordwesten, dem 200 Kilometer entfernten Riiser-Larsen-Schelfeis entgegen. Dabei stürzen sie innerhalb von 30 Metern von etwa 2200 Meter Höhe hinab auf gut 1000 Meter und bilden Risse, in denen ganze Schlittenzüge verschwinden könnten. Der riesige, an seiner engsten Stelle noch über fünf Kilometer breite Eisstrom im Kibergdalen ist noch der harmloseste unter ihnen. Weil wir auf ihm am sichersten das Hochplateau erreichen, soll hier das geplante, 200 Kilometer lange seismische Profil die Heimefrontfjella von Nordwesten nach Südosten durchschneiden (siehe Grafik Seite 35).

Auf der Traverse herrschen strenge Regeln. Immer im Bereich der abgesteckten Trassen bleiben, lautet eine. Denn „der Gletscher“, sagt Gernot, „ist ein Misthund“. Streng befolgt wird auch die Trennung des Lagers in zwei Zonen: In der einen schaufeln wir Schnee zum Schmelzen in unsere Kochtöpfe, in der anderen liegt das „Klo“. An den Leitsatz aller Polarfahrer „Don't eat yellow snow“ möchten sich alle halten.

Eine dritte Regel heißt: Jeder Schönwettertag ist Arbeitstag. Deshalb verbringt das Kottas-Team eine eintägige „Pause“, die Gernot großzügig zugestanden hat, mit dem Abräumen der Schlitten und dem Einrichten eines Tanklagers. Computer sowie Kabel und Platinen, die aus Dutzenden von Kisten quellen, verwandeln das Camp in ein polares Silicon

Valley. Überall wird geschraubt, gelötet und getestet.

Morgen soll eine Vier-Mann-Gruppe zum 220 Kilometer entfernten Treibstoffdepot zurückfahren, um 105 Fässer Diesel und 18 Fässer Benzin zu holen. Gerhard Späths Geologengruppe wird 25 Kilometer vom Basislager entfernt ein Camp am Kibergdalen errichten, von wo aus die umliegenden Felsaufschlüsse kartiert werden sollen.

Unsere Geophysiker aus Münster übernehmen die „Reflexionsseismik“, die Informationen über die obersten Schichten des Eisuntergrundes liefern soll. Dazu werden die Forscher zunächst ihren „Eis-Streamer“ montieren – ein knapp sechs Kilometer langes Stahlseil mit 96 Geophonen. Diese Spezialmikrophone erlauben seismische Wellen. Ihre Signale werden per Kabel zu einer Meßstation auf einem Schlitten übertragen. Das ganze System ist beweglich: Je nachdem, wo die Geophysiker sprengen, wird der „Streamer“ mitsamt dem Meßschlitten in die richtige Position gezogen.

Die „Refraktionsseismik“ blickt tiefer, bis in den Erdmantel. Sie ist Sache der Geophysiker vom AWI. Die Gruppe aus Bremerhaven muß feste Meßstationen mit Geophonketten über die gesamte Profilänge verteilen, bevor sie sprengen kann.

Zwei Wissenschaftler aus dieser Gruppe haben zudem eigene Forschungsprogramme: Einer wird lokale Differenzen des Erdmagnet- und Erdschwerefeldes messen und damit die seismischen Ergebnisse ergänzen. Der andere – der Meteorologe Helmut Rott – will während der Expedition an verschiedenen Orten die Mikrowellen-Emission messen, die Firnschnee natürlicherweise abstrahlt. Seine Daten sollen helfen, die Meßwerte des künftigen ERS-1-Satelliten zu interpretieren (siehe Glossar-Kasten „Satelliten“).

Das Wort „Expedition“ hört der Meteorologe nicht gern: Von den Gefahren der klassischen Polarfahrten könne bei uns doch keine Rede sein. „Das hier“, meint er, „ist doch nur ein Arbeitsaufenthalt unter erschwerten Bedingungen.“ Da hat er wohl recht. Zwei der Pistenbullys sind mit Satelliten-Empfängern ausgerüstet, die ständig unsere Position liefern. Leistungsstarke Funkgeräte erlauben uns zweimal täglich Kontakt mit der „Polarstern“. Auf der deutschen „Filchner“-Sommerstation sind jetzt zwei Polarflugzeuge des AWI und ein Arzt stationiert. In Notfällen könnten wir – geeignetes Flugwetter vorausgesetzt – binnen dreieinhalb Stunden Hilfe erhalten. Aber mit Notfällen rechnet natürlich niemand.

Die schlechte Nachricht kommt ein paar Tage später über Funk. Gerhard Späth ist gestürzt und hat sich wahrscheinlich einen Knöchel gebrochen. Ein Flugzeug soll den Geologen abholen.

Es ist nicht der erste beunruhigende Funkspruch, seit ich mit dem „Sprit-Zug“

**Mit möglichst gleichmäßiger Geschwindigkeit zieht ein Skidoo den „EMR-Schlitten“ übers Eis. Ähnlich einem Echolot „leuchtet“ das Gerät mit elektromagnetischen Impulsen bis in 800 Meter Tiefe**



After dogsled teams were banned from racing in Canada, the country's top musher turned his expertise to racing A.D.L. dogsleds. He's won the national championship six times, including last year, and has had a hand in training many of the world's best mushers.

zum Treibstoffdepot unterwegs bin: eine weitere Woche im Pistenbully bei gleichbleibend sieben Kilometern pro Stunde. Vor ein paar Tagen haben wir die Meldung aufgefangen, daß der Bordarzt der „Polarstern“ kurz nacheinander zwei Patienten operieren mußte. Aus den verrauschten Nachrichten der „Deutschen Welle“ glauben wir zu entnehmen, daß angeblich die Wiedervereinigung Deutschlands bevorsteht. Und auch wir vom „Sprit-Zug“ berichten Sensationelles auf neun Megahertz: Um Haarsbreite wären wir in einer fünf Meter breiten Spalte gefahren.

Als wir im Basislager ankommen, ist Gerhard längst an Bord der Polarstern, montieren die Münsteraner ihren Streamer und kehrt die AWI-Gruppe soeben vom Auslegen ihrer Meßstationen entlang des Profils zurück.

Alle 20 Kilometer liegen je eine Geophonkette und ein Bandgerät, das die künstlichen Eisbeben registrieren soll. Vom Summernkammen aus, einem über 2200 Meter hohen Gipfel in der Mitte des Profils, schaltet eine „Master-Uhr“ per Funksignal zweimal täglich sämtliche Bandgeräte für sieben Minuten ein. Entweder um 18 oder um 22 Uhr muß die Sprengung erfolgen. Neun „Schüsse“ sind vorgesehen, drei bis vier an jedem Ende und zwei in der Mitte des Profils.

#### **Wer 60 Meter tief ins Eis bohren will, braucht Geduld und viel Gefühl**

Das sagt sich so leicht: neun Schüsse. Für jeden müssen etwa fünf Löcher gebohrt, mit durchschnittlich 600 Kilogramm Sprengstoff geladen, mit wasserfüllten Plastikschläuchen verdämmt und scharfgemacht werden. Ob das tägliche Rennen gegen die Master-Uhr zu gewinnen ist, weiß man nie.

Wer ein acht Zentimeter weites und 60 Meter tiefes Loch lotrecht ins Eis bohren will, braucht neben einem Drehstromgenerator, einer etwa 400 Liter fassenden, isolierten Wanne, einem Heißwasserbohrgerät mit zwei Dampfdruckerzeugern und ein paar Litern Sprit vor allem eine Stunde Geduld und viel Gefühl. Denn die Bohrlanze, aus deren Spitze mit einem Druck von über 100 bar heißer Wasserdampf schießt, muß frei hängen. Sobald sie sich querlegt, bohrt sie ins Ungewisse. Aber das merkt man erst beim Laden.

„Paßt scho“, sagt Alfons Eckstaller, wenn alle Dynamitstangen sauber bis un-

ten durchgerutscht sind. Dann sendet die Explosion seismische Wellen auch in die entfernteste Meßstation. Einer Stange, die irgendwo hängenbleibt, schickt der Bayer dagegen eine Serie von Flüchen nach. Denn die Energie dieser Ladung wird wirkungslos an der Oberfläche verpuffen. Ein neues Bohrloch mit neuer Ladung aber kostet wertvolle Zeit.

Wenn Alfons das Rennen um das letzte „Zeitfenster“ noch gewinnen will, muß er spätestens um 21 Uhr die Ladung scharfmachen. Kurz vor zehn, beim Gerätetesten im „Sprengbüro“, darf ihn dann niemand mehr ansprechen. Hektisch dreht er an Knöpfen, rauzt „Scheißglump, greisliches“, wenn irgendeine Anzeige nicht gleich reagiert und traktiert auch schon mal den 17 000 Mark teuren Acht-Kanal-Schreiber mit Fäusten. Wenn er schließlich „Jetzt“ ruft, drückt Uwe Nixdorf auf einen Knopf am Zündkasten. Dann bebt das Eis und fünf weißgelbe Fontänen schießen gen Himmel.

Montag, 29. Januar. Murphys Gesetz, nachdem schiefgeht, was nur schiefgehen kann, gilt offenbar auch auf dem weißen Kontinent. Schon beim Aufwachen höre ich, daß etwas nicht stimmt. Links knattert der Einstiegstunnel des Zeltes wie Cellophan im Wind. Rechts rieselt es, als würden feine Sandkörner auf ein Trommelfell geblasen: Schneetreiben. Die erste „Drift“ nach über 30 Tagen Antarktis. An Bohrbetrieb ist heute nicht zu denken. Dabei sind wir schon mehrere Tage im Rückstand. Für die Gruppe von Alfons wird es zeitlich allmählich eng.

Dennoch: Drifttag heißt Ruhetag – spät aufstehen, lange frühstückt und lesen, gemeinsam kochen und essen, lachen und trinken. Auch wenn es im Wohncontainer kaum wärmer ist als in einem Kühlschrank – die Stimmung ist alles andere als eisig.

Die grimmige Kälte auf dem antarktischen Hochplateau, am südöstlichen Ende des Profils, macht mir kaum noch etwas aus. Ich habe mich daran gewöhnt, daß nachts am Atemloch meines Schlafsacks lange Eisnadeln wachsen. Auch mit der reduzierten Morgentoilette habe ich mich abgefunden: Die Handvoll Schnee im Gesicht kostet bei minus 30 Grad schon genug Überwindung. Und den allgegenwärtigen Geruch von Schweiß und Diesel nimmt keiner mehr wahr. Kleine Tricks machen selbst das tägliche Geschäft erträglich: Im Windschatten eines Ski-Dos halte ich es mit heruntergelassener Hose leicht zwei Minuten aus.

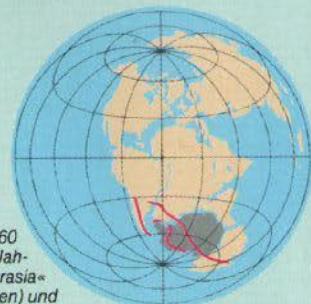
Nur an unsere unvermeidliche Hinterlassenschaft kann ich mich nicht gewöhnen. Wenn auch ein Teil des Mülls verbrannt und der Rest in leeren Fässern wieder mitgenommen wird: In 60 Tagen produzieren 20 Menschen knapp zwei Tonnen Kot und Urin. Nach jeder Sprengung ist ein halber Hektar Firn von roten Plastik-

## **Einst trug auch die Antarktis das grüne Kleid der Subtropen**

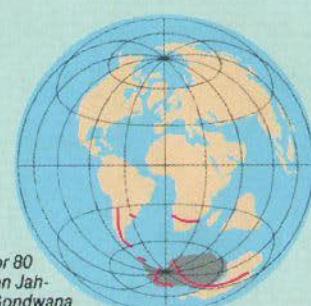
Einem globalen Puzzle  
gleich haben Geologen  
das Auseinanderdriften  
der Kontinente im Lauf  
der letzten 200 Millio-  
nen Jahre rekonstruiert



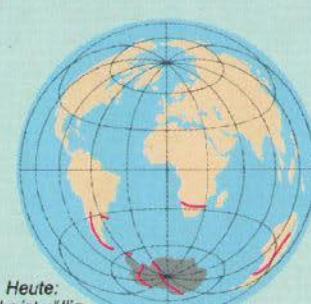
Vor 200  
Millionen Jah-  
ren: Pangaea.  
Die Streifen zeigen  
erzreiche geologi-  
sche Strukturen



Vor 160  
Millionen Jah-  
ren: »Laurasia«  
(oben) und  
»Gondwana«

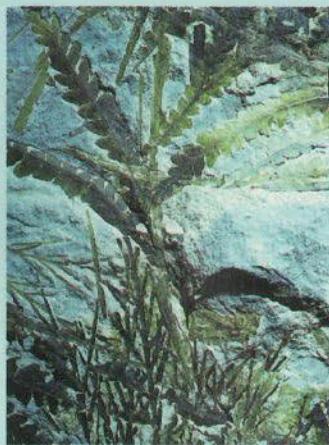


Vor 80  
Millionen Jah-  
ren: Gondwana  
zersplittet



Heute:  
Antarktika ist völlig  
isoliert

In den eisfreien »Dry Valleys« des Transantarktischen Gebirges ist seit mindestens zwei Millionen Jahren kein Niederschlag gefallen. Hier fanden Geologen viele versteinerte Zeugnisse der blühenden Vergangenheit Antarktikas. Typische Gondwanafossilien sind Farne der Gattung *Dicroidium* aus dem Trias (oben rechts), *Glossopteris* und Holz der Araukarie aus dem Perm (unten links) sowie der Ammonit *Maorites denticostatus*



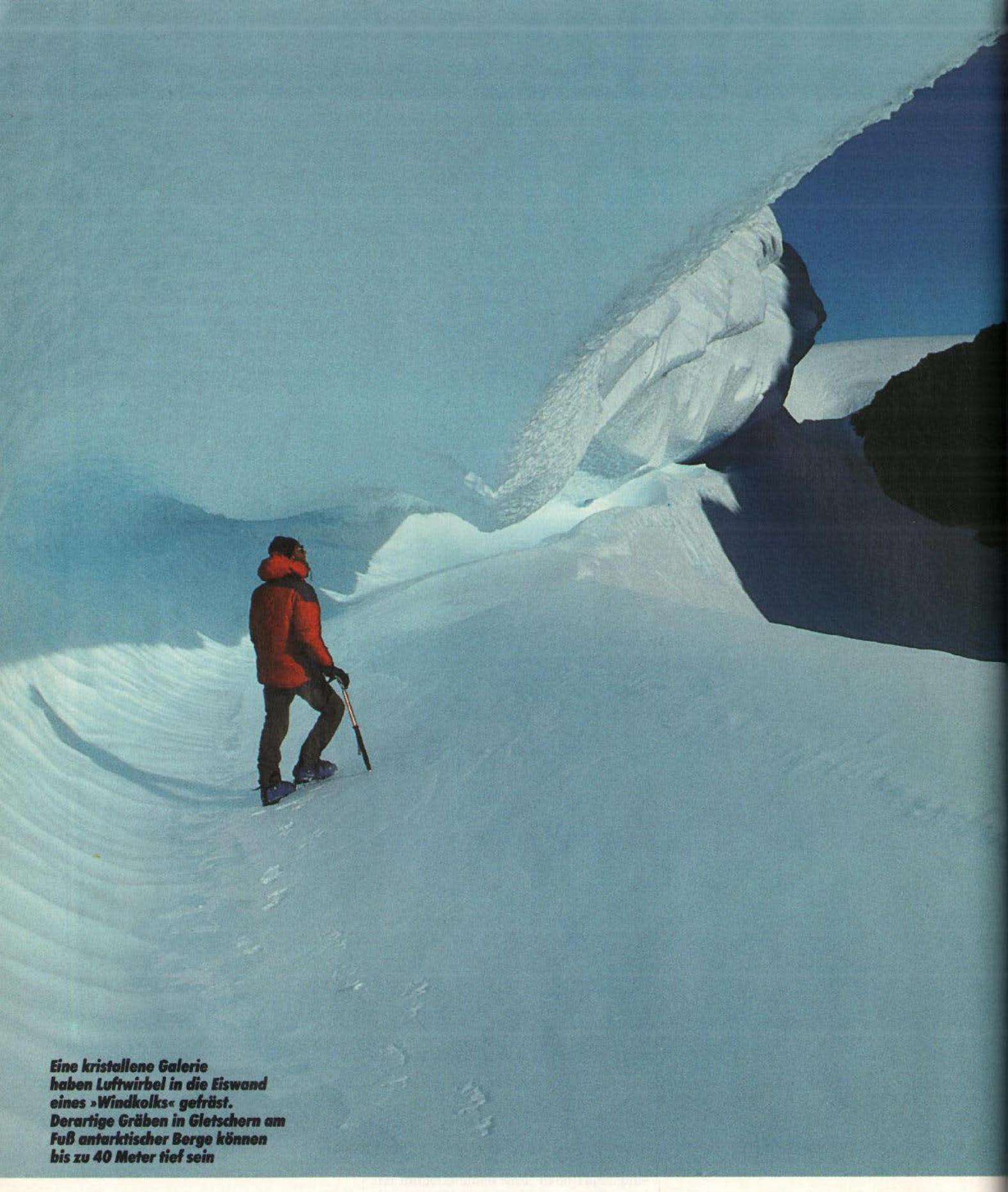
Zu einer Zeit, als alle Welt annahm, die Kontinente wurzelten unverrückbar in der Erdkugel, wagte der deutsche Meteorologe Alfred Wegener eine starke These: Am 6. Januar 1912 behauptete er öffentlich, alle Erdteile seien durch den Zerfall einer einzigen Landmasse entstanden und drifteten bis heute über die Oberfläche des Planeten. Entrüstet wies die Fachwelt die Idee zurück. Wegener starb 1930 auf dem grönlandischen Inlandeis, ohne Anerkennung für seine „Kontinentaldrift“ erfahren zu haben. Seine Hypothese ließ sich indes nicht so schnell zu den Akten legen: Wie

sonst hätten tropische Kohlenflöze ins arktische Spitzbergen oder eiszeitliche Spuren ins tropische Afrika kommen können?

Die von Wegener vorgezeichnete „koperikanische Wende“ der Geowissenschaften – die „Plattentektonik-Theorie“ – kam erst Ende der sechziger Jahre. Ozeanische Messungen des Erdschwefeldes hatten nahegelegt, daß in den Tiefseegräben ozeanische Erdkruste regelrecht ins Erdinnere abtaucht. Zudem ermöglichte die in erstarrtem Vulkangestein konservierte, unterschiedliche Ausrichtung des Erdmagnetfeldes vergangener Zeital-

ter – neben anderen geologischen Funden – die Drift der Kontinente zu rekonstruieren. Demnach zerbrach vor 200 Millionen Jahren der Urkontinent „Pangäa“ in zwei Hälften. Der südliche Teil, nach einer indischen Region „Gondwana“ genannt, begann sich vor rund 100 Millionen Jahren aufzuspalten – in Südamerika, Afrika, Antarktika, Australien, Madagaskar und Indien (siehe Karten-Sequenz). Die „Kottas-Traverse“ der deutschen Südpolar-Expedition 1989/90 sollte detaillierte Informationen liefern, wie die Antarktis einst mit der Südspitze

Afrikas zusammenhing. Nach vorläufigen Ergebnissen nimmt die Mächtigkeit der Erdkruste unter den „Heimefrontjella“ zur Küste hin um zehn Kilometer ab – ein Hinweis darauf, daß der Gebirgszug tatsächlich an der ehemaligen Nahtstelle zwischen den Gondwana-Bruchstücken liegt. □



**Eine kristallene Galerie  
haben Luftwirbel in die Eiswand  
eines ›Windkolkas‹ gefräst.  
Derartige Gräben in Gletschern am  
Fuß antarktischer Berge können  
bis zu 40 Meter tief sein**



fetzen übersäht. Und je mehr der schneidend kalte Wind zur Eile antreibt, desto mehr Diesel, Benzin und Motoröl fließt beim Tanken in den Schnee.

Samstag, 3. Februar: Zum letztenmal treffen alle Gruppen im Basislager zusammen. Die Geologen haben ihr Programm im Kibergdalen beendet und verlegen ihr Camp in einen Talkessel 33 Kilometer nordöstlich, zur schwedischen Sommerstation „Svea“. Die Reflexionsseismik zieht ihren Streamer am Basislager vorbei nach Nordwesten. Die Refraktionsseismik bricht nach einigen Reparaturen zum nordwestlichen Ende des Profils auf.

### Nachts präsentiert die eiskalte Schönheit noch einmal all ihre Reize

Bei einem Pistenbully ist die Standheizung defekt, bei einem anderen schon zum zweitenmal der Rahmen gebrochen. Eines der Antriebsräder verliert seine Zähne, und immer mehr Gummiräder können bei den starken Temperaturschwankungen den Druck nicht mehr halten.

Auch bei der Mannschaft ist allmählich die Luft raus. Neun Tage hat die AWI-Geophysik für ganze drei Schüsse gebraucht. Die Münsteraner liegen ebenfalls zurück, brauchen dringend einen Helfer und einen zweiten Dampfdruckerzeuger. Gernot fordert einen zweiten Versorgungsflug an, der den Mann und die Maschine sowie einige Ersatzräder bringen soll. „Ist das schon alles?“ krächzt es lakonisch aus dem Funkgerät.

Am nächsten Morgen kehren wir den Heimefrontjella den Rücken. 80 Kilometer vor uns, in der weißen Ebene, liegt das nordwestliche Ende der Traverse.

Allmählich kündigt sich das Ende des Sommers an. Die Sonne hat sich in eine fahle Scheibe verwandelt, als habe auch sie keine Lust mehr, rund um die Uhr in die leblose, leere Landschaft zu strahlen. Nachts präsentiert die eiskalte Schönheit noch einmal all ihre Reize. Wenn die Sonne für kurze Zeit den Horizont berührt, kleidet sie sich in ein hauchzartes Négligé aus orangefarbenem Driftschnee. Vergebens. Das anfängliche Gefühl kosmischer Weite ist Opfer des polaren Alltags geworden.

Die Arbeit geht gut voran. Aber meine Freude über jeden gelungenen Schuß entspringt der Sympathie für Alfons und seine Gruppe. Das wissenschaftliche Ziel bleibt mir fremd. Rechtfertigt das Interesse an dem zerfallenen Kontinent Gondwana wirklich den riesigen Aufwand dieser Forschungsinvasion? Flössen die Förderungsmittel für derartige Antarktis-Projekte auch so reichlich, wenn die Wissenschaftler nicht zugleich eine wichtige politische Prestigerolle innehätten – als Fahnenträger der Bundesrepublik Deutschland?

Auf dem Rückflug vom Basislager besuchen uns am 8. Februar die Polarflieger

der 1100 Kilometer entfernten Filchner-Station. Nachdem die „Polar 2“ auf ihren Kufen mitten ins Bohrcamp geglitten ist, steigen zwei Techniker aus und pumpen mit einem Kompressor die Räder unserer Bullies auf. Nach einer kurzen Kaffeepause steigt die Besatzung wieder ein. „Stell dir vor“, sagt einer beim Abschied, „du fliegst von Hamburg nach Mailand, um ein Fahrrad aufzupumpen.“

Tags darauf fällt im Nordwesten der letzte Schuß. Drei Stunden später verlässt ich mit Helmut Rott die Gruppe. Mit einem Ski-Doo fahren wir 170 Kilometer weit zu den Geologen. Alfons und seiner Gruppe gelingen wenige Tage danach die Sprengungen in der Mitte des Profils. Ihren Erfolg melden sie uns über Funk.

Dienstag, 20. Februar: Pünktlich brechen beide Geophysik-Teams das Basislager ab und machen sich auf den Rückweg. Die Geologen stoßen knapp 40 Kilometer nordöstlich zum Treck. Nach weiteren 60 Kilometern geht es nach Norden, immer geradeaus.

Als die Motoren an der Georg-von-Neumayer-Station endlich verstummen, haben Pistenbullys und Ski-Doos insgesamt 23 000 Kilometer zurückgelegt – mehr als eine halbe Erdumrundung – und dabei knapp 40 000 Liter Treibstoff und 180 Liter Öl verbraucht.

Mittwoch, 28. Februar. Erschöpft sitzen 20 stinkende Männer mit verfilzten Bärten am Abend im Gemeinschaftsraum der Station. Die Wissenschaftler sind mit der Ernte des 3,6 Millionen Mark teuren Unternehmens zufrieden. Auch Gernot. Was den Aufwand anlangt, macht er sich keine Illusionen: „Ich find's verrückt“, sagt er. „Ich hätte Hemmungen, so etwas zu konzipieren.“ Und, als wolle er einer Frage voreilen: „Es ist wohl schizoid, daß ich immer wieder herkomme.“ Das ist es wohl. Aber das Abenteuer Antarktis gibt es eben doch. Und es lockt. Trotzdem. □



Wann immer er konnte, suchte GEO-Wissen-Redakteur Dr. Manfred Pletschmann, 41, Kontakt mit den stets formell gekleideten Einheimischen, die – noch – jeden Antarktis-Touristen gastfreudlich aufnehmen.

# Die eisige Ernte



Kreuz und quer fuhr das deutsche Forschungsschiff »Polarstern« durch das Weddellmeer

grundes hilfreich sind, ist die „Polarstern“ mit dem derzeit modernsten Gerät zur Kartierung des Meeresbodens ausgerüstet: Mit dem Fächersonar-System „Hydro-sweep“ wurde während der gesamten Fahrt kartiert. Neben seiner Funktion als Orientierungshilfe für die Geowissenschaftler und Biologen sollte das Gerät bereits vorhandene Karten ergänzen – besonders im Bereich des „Wegener-Canyons“ (siehe Abbildung Seite 44).

Die marinen Geophysiker untersuchten mit seismischen, gravimetrischen und erdmagnetischen Methoden vor allem die Strukturen im Übergangsbereich zwischen ozeanischer und kontinentaler Erdkruste. Dabei entdeckten sie 600 Kilometer westlich der Georg-von-Neumayer-Station vulkanische Hügel, die an der Grenze mehrerer Krustenplatten etwa 200 Meter über den Meeresboden hinaus-, und deren Wurzeln mehrere Kilometer in die Erdkruste hineinragen. Die Strukturen, von ihren Entdeckern „Polarstern-Seamounts“ genannt, dürften die Diskussion um die Plattenbewegung in jenem Teil des Weddellmeeres beleben. Seismische Sprengungen vor der Georg-von-Neumayer-Station zeigten zudem, daß die kontinentale Kruste vor der Atka-Bucht sich viel weiter ins Meer erstreckt als bislang vermutet.

Das geologische Programm galt vor allem einem Gebiet nordwestlich der „Lyddan Ice Rise“ am Rande des „Riiser-Larsen-Schelfeises“. Dort liegen in einer Wassertiefe von 1300 bis 3300 Metern zwei Sedimentrücken am Kontinentalhang. Durch Echolot-Experimente und anhand von Sedimentproben untersuchte ein Geo-

**D**ie schlichte Regel, daß „Erfolg oder Mißerfolg einer Fahrt der ‚Polarstern‘ vom Programm abhängt“, ist für Heinz Miller keine Binsenweisheit. Der Chef der Abteilung Geophysik am Alfred-Wegener-Institut für Polarforschung weiß aus Erfahrung, wie schwierig es ist, ein „in sich schlüssiges“ Konzept zu erarbeiten: Ein knappes Jahr investierte der wissenschaftliche Fahrtleiter in die Vorbereitung der antarktischen „Sommerkampagne“, an der sich im Südsommer 1989/90 über 60 Wissenschaftler und Techniker aus 25 Instituten beteiligten. Die Kampagne gliederte sich in vier Teilprojekte:

• ein marines Programm von Geophysikern, Geolo-

gen und Meeresbiologen, das sich über die gesamte Fahrt erstreckte;

• eine geologisch-geophysikalische Landexpedition zu den Heimefrontfjella (siehe Seite 30);

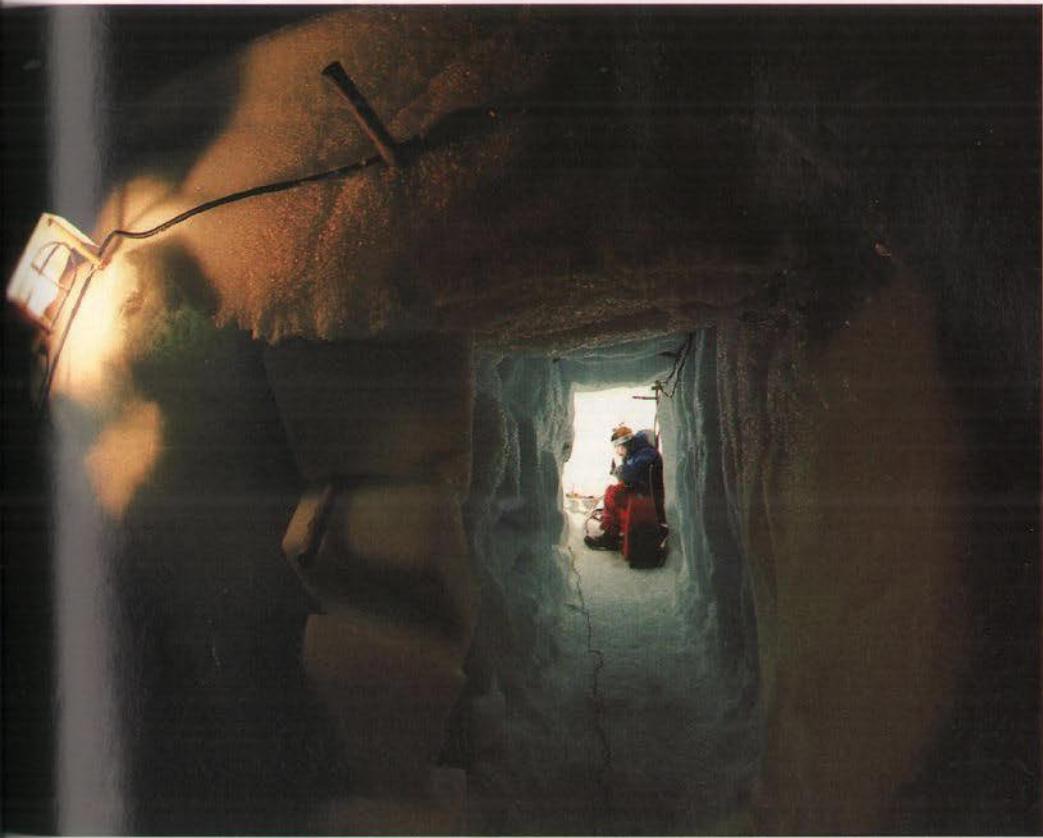
• eine biologische Untersuchung an Pinguinen und Robben am „Drescher-Inlet“;

• eine Untersuchung von Glaziologen, Geophysikern und Geodäten über Massenbilanz und Fließdynamik des Filchner-Ronne-Schelfeises. Dort sammelte eine meteorologische Arbeitsgruppe zugleich Daten über die Strahlungsbilanz der Antarktis und das Verhalten mittelgroßer Zyklone in Küstennähe.

Da für marine Studien möglichst exakte Informationen über Wassertiefe und die Topographie des Meeres-



Je dicker, desto besser – so könnte die Devise für den jungen Kaiserpinguin an der Federwaage lauten. Denn jedes Kilo mehr erhöht seine Chance, den Winter zu überleben



Knapp 15 Meter unter der Firnoberfläche arbeiten Geophysiker im seismischen Observatorium der Georg-von-Neumayer-Station. Meeresbiologen auf der »Polarstern« sichten einen Fang aus 1000 Meter Tiefe. Alles andere als ungeschickt wirken Pinguine unter Wasser: Sie sind pfeilschnelle Schwimmer und erfolgreiche Jäger

logie, welche Faktoren in der Vergangenheit die Ablagerung von Sedimenten beeinflußt haben. Offenbar setzt sich das Sediment auf beiden Rücken in gleicher Weise ab. Es stammt wahrscheinlich aus Rinnen, die neben den Rücken verlaufen. Dort erodiert Bodenwasser, das mit einer Geschwindigkeit von rund einem Meter pro Sekunde den steilen Kontinentalschelf hinabfließt, den Meeresboden.

Die Meeresbiologen holten mit dem „Agassiz-Trawl“ und dem „Epibenthos-Schlitten“ Lebewesen vom Meeresgrund. Ihre 26 Positionen lagen auf dem Kontinentalschelf in Wassertiefen zwischen 80 und 1000 Meter und verteilten sich über das ganze Weddellmeer. Erste grobe Vergleiche haben ergeben, daß die „benthische“ – am Boden lebende – Fauna im östlichen Weddellmeer mit seinen strömungsreichen Steilhangzonen deutlich artenreicher ist als im flacheren Westen.

Unter den „Kamptozoen“, einer Gruppe winziger, fest-sitzender und koloniebildender Kelchwürmer, entdeckten die Biologen eine neue Spezies. Drei der insgesamt sechs antarktischen Kamptozoen-Arten kommen zudem auch im Nordatlantik und in der Arktis vor – ein Hinweis, daß der Gen-Austausch über die atlantische Tiefsee größer ist als bislang angenommen. Demgegenüber scheint der Austausch durch den antarktischen Zirkumpolarstrom eher gering zu sein: Das Artenspektrum der Kamptozoen im Weddellmeer unterscheidet sich stark von dem auf der gegenüberliegenden Seite des antarktischen Kontinents.

Die geologisch-geophysikalische Expedition zu den Heimefrontjella knüpfte an

## **Neue Fakten über das Filchner-Rønne-Schelfeis revolutionieren die alten Modelle**

eine geologische Voruntersuchung im Südsommer 1985/86 an. Damals hatten die Forscher ein kristallines, rund 1,1 Milliarden Jahre altes Grundgebirge vorgefunden. Nach ersten Rekonstruktionen sind die Heimefrontfjella der mittlere Teil eines Gebirgsgürtels, der auseinandergerissen wurde als Gondwana zerfiel. Der westliche und nordöstliche Schenkel der vermuteten Verbindung – der Namaqua-Natal-Gürtel und der Mosambique-Gürtel – liegen heute in Südafrika.

Die geologische Kartierung der diesjährigen Expedition liefert weitere Belege für eine zweite Gebirgsaufaltung vor 500 Millionen Jahren, wie sie auch von afrikanischen Gebirgen bekannt ist. In den Gesteinen von „Kirwanveggen“, der nordöstlichen Verlängerung der Heimefrontfjella, fanden sich Spuren einer rund 280

Millionen Jahre alten Eiszeit. Geologische Indizien dieser – erstmals in der Ost-Antarktis nachgewiesenen – Vereisung sind auch im ganzen südlichen Afrika und in Südamerika verbreitet. Die Rohdaten der Geophysiker deuten an, daß die Heimefrontfjella tatsächlich am Rand der heutigen Kontinentalplatte liegen.

Vier Biologen untersuchten am Drescher-Inlet, einem Eisfjord südlich von Kapp Norvegia, das Freß- und Tauchverhalten von Pinguinen und Robben. Magenspülungen ergaben, daß die untersuchten Adélie-Pinguine sich fast ausschließlich



Eine Meerassel der Gattung »Serolis« wird vermessen

von Krill ernährten. Die Kaiserpinguine fraßen zunächst Krill und Tintenfische, später jedoch überwiegend Fisch.

Um zu registrieren, wie lang und wie tief Weddellrobben tauchen, fingen die Wissenschaftler sechs Tiere und klebten ihnen neuartige Tauch-Rekorder ins Fell. Nach ersten Auswertungen bevorzugen die Robben im Drescher-Inlet zwei Tiefenzonen für die Nahrungssuche: den Bereich zwischen 50 und 150 Meter und den Meeresgrund in rund 430 Meter Tiefe. Die ausgewachsenen Robben tauchten in ihrer

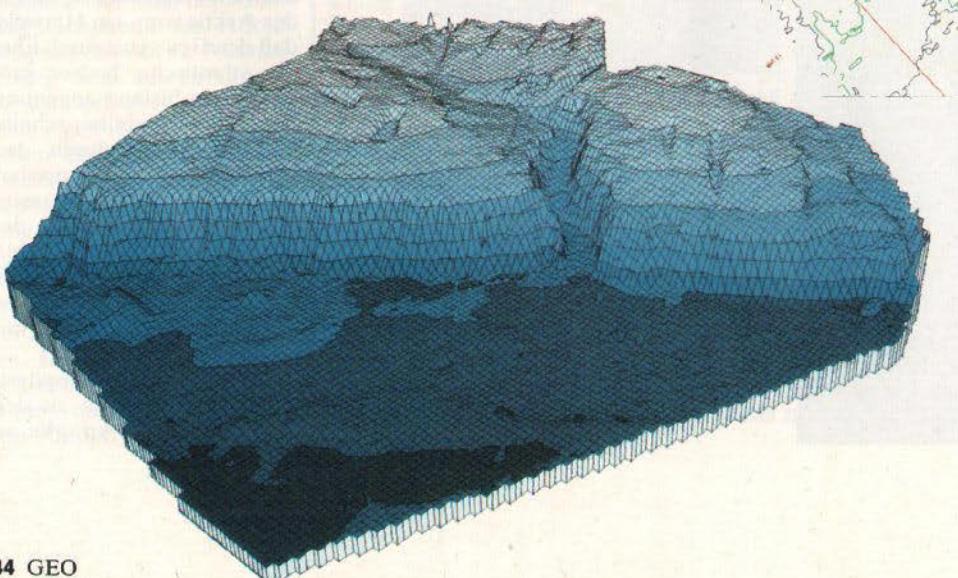
acht- bis zwölfstündigen Aktivitätsphase bis zu 40mal zum Meeresboden. Während dieser Tauchgänge von 15 bis 20 Minuten dauerten Ab- und Auftauchphase jeweils doppelt so lange wie die Nahrungssuche selbst.

Das glaziologische Projekt auf dem Filchner-Rønne-Schelfeis, Teil einer internationalen Langzeitstudie über die Massenbilanz des zweitgrößten Schelfeises der Antarktis, sollte Detailinformationen über dessen Aufbau und Fließverhalten liefern. Erst seit kurzem war bekannt, daß es in seinem zentralen Bereich aus „meteoreischem“ Süßwassereis – aus Schnee – und „marinem“, von unten angefrorenen Meereis, besteht. Die Wissenschaftler bohrten einen senkrechten Eiskern von 240 Meter Länge, registrierten Temperaturen entlang eines durchs Eis geschmolzenen Lochs, untersuchten die vertikale Schichtung des Eises mit einem elektromagnetischen Resonanzverfahren per Flugzeug und vom Schlitten aus, unternahmen Höhen- und Fließbeobachtungen entlang einer geodätischen Traverse und zogen zahlreiche Proben aus Schneeschächten sowie Zehn-Meter-Bohrlöchern.

Ersten Ergebnissen zufolge erreicht die Meereis-Schicht eine Mächtigkeit von über 80 Metern und erstreckt sich über eine Fläche von fast der Hälfte der Nordsee. Damit erweisen sich nicht nur alle bisherigen Rechnungen über die Massenbilanz des Filchner-Rønne-Schelfeises als falsch (siehe auch Seite 185). Sogar die globalen Klimamodelle, in denen die antarktischen Schelfeise eine wichtige Rolle spielen, bedürfen jetzt erheblicher Korrekturen.

Manfred Pietschmann

Mit hochfrequenten akustischen Impulsen hat das Fächersonar-System der »Polarstern« den »Wegener-Canyon« abgetastet – eine rund 27 Kilometer lange Schlucht am Grunde des östlichen Weddellmeeres. Der Computer des Systems hat aus den Daten eine Karte und das dreidimensionale Gelände-modell des Canyons konstruiert



# Von der Erde zu den Sternen

Ist der Mensch wirklich einzigartig im All? Gibt es noch andere „Universen“? Zwischen Schöpfung und Apokalypse sind noch viele grund-sätzliche Fragen unbeantwortet. GEO-Autor Reinhard Breuer begab sich auf die Spur dieser spannenden Themen. Den Leser erwartet eine packende Reise vom Urknall über die Milchstraße und Sternenexplosionen bis zu den rätselhaften „Schwarzen Löchern“ und dem Ende der Welt. Erstmals werden hier die Erkenntnisse der modernen Wissen-schaft grundlegend zusammengefaßt.

Reinhard Breuer  
**Mensch + Kosmos**  
Expeditionen an die Grenzen von Raum und Zeit. 350 Seiten mit ca. 400 farbigen Abbildungen. Format 20,5 x 28 cm, gebunden, DM 98,-

REINHARD BREUER  
**Mensch + Kosmos**

Expedition an die Grenzen von Raum und Zeit



GEO

NEU

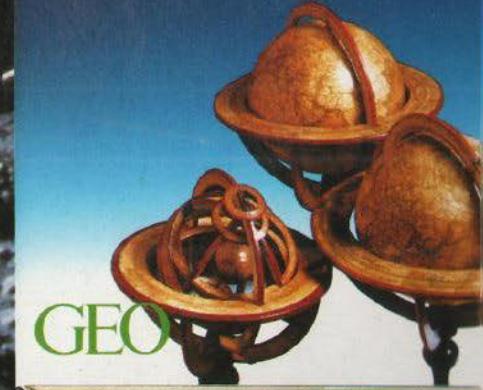
Besaß Alexander der Große Karten, um den Weg nach Indien zu finden? Welche Unterlagen fertigten die Chinesen schon vor Jahrtausenden, um ihr riesiges Reich zu überblicken? Dieses Buch erzählt die spannende Geschichte der Kartographie, deren Dokumente stets auch Macht und Geheimnis verkörperten. Noch heute sorgen Satellitenfotos für Entdeckun-gen auf unserem vermessenen Planeten. Für dieses Buch wurden die schönsten Karten, oft von un-schätzbarem Wert, aus privaten Sammlungen und aus Institutionen in aller Welt zusammengetragen.

Gerald Sammet  
**Der vermessene Planet**  
Bilderatlas zur Geschichte der Karto-graphie. Ca. 360 Seiten mit mehr als 300 meist farbigen Abbildungen, For-mat 20,5 x 28 cm, gebunden, DM 98,-

GERALD SAMMET  
**Der vermessene Planet**

Bilderatlas  
zur Geschichte der  
Kartographie

GEO



NEU

**Bücher von GEO. Die schönsten Seiten des Lesens.**

Abrufkarte auf Seite 163

# Pendeln zwischen



# den Polen

Nur selten liegt die »Polarstern« so ruhig in einem natürlichen Eis-Hafen der Antarktis. Meist ist das Flaggschiff der deutschen Forschungsflotte irgendwo zwischen Nord- und Südpolarmeer im Einsatz. Der Eisbrecher, der zugleich Frachter und Passagierschiff, Fischtrawler, Laborgebäude und schwimmendes Rechenzentrum ist, gilt als »Rolls-Royce« der internationalen Armada von Forschungsschiffen

## POLARSTERN



**M**it dem Fahrplan nimmt es Lothar Suhrmeyer so genau wie der Skipper einer Halligfähre. „Wir haben noch 83,17 Tage nach“, verkündet er nach dem Start der versammelten Mannschaft. Und nach einer Kunspause, als wolle er jedem die Gelegenheit zum Mitrechnen geben, nennt er den Zeitpunkt unserer Rückkehr aus der anderen Welt: Montag, 12. März 1990, Punkt neun Uhr. „Das kann“, räumt der 51jährige ein, „auch neun Uhr zwei werden.“ Aber das ist auch schon der Gipfel seiner Konzilianz gegenüber den Unwägbarkeiten einer dreimonatigen Expedition zum Ende aller Ozeane, die mit dem Auslaufen von Ushuaia auf Feuerland am 16. Dezember 1989 begann.

Lothar Suhrmeyer fährt als Kapitän auf der „Polarstern“, dem größten und teuersten deutschen Forschungsschiff. Mitunter, gesteht der Seemann aus Kiel, fühle er sich jedoch eher wie ein „Oberbürgermeister“. Denn für die 44köpfige Crew und die 75 forschenden Passagiere an Bord ist sein Schiff mehr als nur ein Wasserfahrzeug. Mit seinen Werkstätten, Büros und Läden, mit zwei Messen und einer Bar, mit Schwimmbad, Sauna, Post und Leihbücherei ist es für Monate eine schwimmende Heimstatt. Entsprechend sehen Suhrmeiers Pflichten aus: In diesen Dezembertagen etwa diskutiert er mit Schiffs-koch Jochen Tanger das Heiligabend-Menü. Er bestimmt, wer die Christbäume zu schmücken hat. Und beschäftigt sich mit der Frage, ob auf dem Weihnachtsteller, den jeder seiner „Bürger“ bekommt, auch eine Stange Zigaretten liegen soll.

„Hotelschiff“ – dieses abwertend gemeinte Etikett haftet dem 190 Millionen Mark teuren Flaggenschiff der bundesdeutschen Forschungsflotte an, seit es Ende 1982 dem „Alfred-Wegener-Institut für Polarforschung“ (AWI) in Bremerhaven übergeben wurde. Nur ein Viertel der Summe hatte der Rumpf gekostet. Den größeren Rest verschlang die Ausrüstung zu einem eisbrechenden Vielzweck-Fahrzeug: Die „Polarstern“ versorgt als Frachter die deutsche Georg-von-Neumayer-Station in der Antarktis und dient Meeresbiologen und Ozeanographen, Wetterkundlern und Geowissenschaftlern, Chemikern, Glaziologen und Nachrichtentechnikern als Forschungsbasis.

Spott zog vor allem der für Repräsentationszwecke eingerichtete „blaue Salon“ auf sich – eine mit Kamin, verglasten Bü-

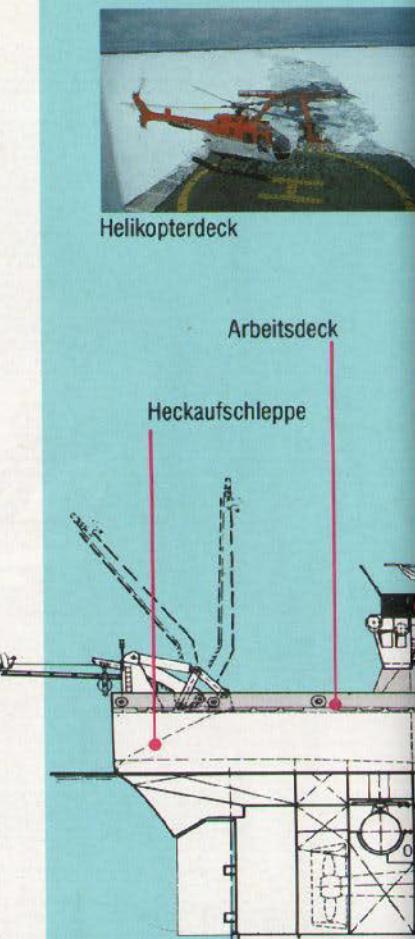
cherschränken, elektronischer Orgel und mächtigem Tresen ausgestattete Mischung aus englischer Privatbibliothek und Hotelbar. Kritik ernteten auch die komfortablen Unterkünfte für Mannschaft und Wissenschaftler: geräumige Ein- oder Zweibettkabinen, Naßzelle und Blick aufs Meer inklusive. Dennoch hatte Gotthilf Hempel, der Leiter des Alfred-Wegener-Instituts, bei der Übergabe erklärt, daß sich nicht viel sparen ließe, „wenn die Polarforschung ordentlich, das heißt wissenschaftlich ergiebig und nach heutigen Sozial- und Sicherheitsvorstellungen tragbar sein soll“.

Die „Polarstern“ ist 300 Tage pro Jahr im Einsatz, wechselt meist irgendwo in Norwegen, Südafrika oder Feuerland Crew und Passagiere, pendelt je nach Saison zwischen Weddellmeer und Barents-See. Ende 1989, nach sieben Dienstjahren und über 15 Erdumrundungen, kann sich der wissenschaftliche Ertrag des „Hotelschiffs“ sehen lassen. Zu ihren fünf Arktis- und acht Antarktiseinsätzen gehören spektakuläre Expeditionen wie das „Winter Weddell Sea Project“ 1986, bei dem sie mit Packeis barrikadierte antarktische See durchquerte.

Die „Polarstern“ – ein Luxusliner? Mit 118 Meter Länge, 25 Meter Breite und fast 50 Meter Höhe vom Kiel bis zur Mastspitze böte sie durchaus Platz für einen feinen Hotelbetrieb. Doch statt luxuriösem Interieur ist der Eisbrecher vor allem vollgestopft mit Technik vom Feinsten. Auf neun Stockwerke – „Decks“ – verteilen sich Satelliten-Empfänger und Computer-Terminals, Helikopter-Hangar und Windenleitstand, Bordhospital, Klimakammern, Naß-, Trocken- und Fotolabors. Neulinge können in den Eingeweihten des Schiffes leicht jede Orientierung verlieren und schon nach wenigen Minuten an Elementarfragen der Seefahrt verzweifeln: Wo ist denn nun Backbord?

Was man hier unter Einrichtungskomfort versteht, erfahren interessierte Passagiere, die Chef-Ingenieur Claus Briedenhahn ins Zentrum seines Reiches führt – in den Maschinenraum. Obwohl dort vier Dieselaggregate dröhnen, die bei voller Fahrt zusammen rund 20 000 Pferdestärken auf die zwei Antriebs-schrauben bringen, klappt und rappelt nichts. Die Maschinen, erklärt Briedenhahn, „lagern auf schwingungsdämpfen-den Elementen, damit vibrationsempfindliche wissenschaftliche Instrumente einwandfrei arbeiten“ – etwa das Gravimeter, das von einem kleinen Spezialraum aus das Erdschwerefeld mißt.

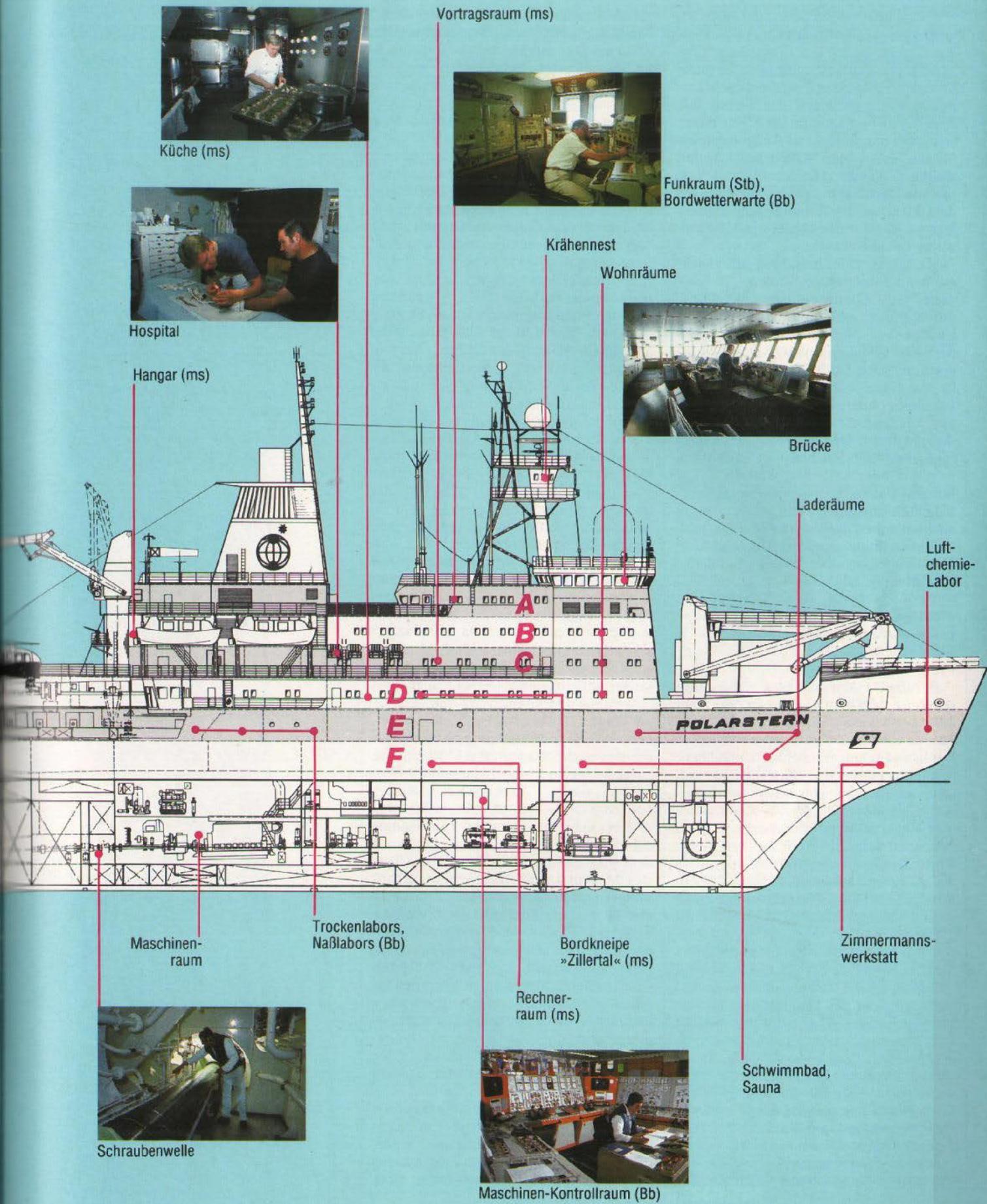
Der Saal mit den übermannshohen Motoren ist meist menschenleer. Auch nebenan, wo ein Ingenieur und ein Maschinenwärter Hunderte von Anzeigen für Öldrucke, Abgastemperaturen oder



## Ein Dorf mit Kiel und Ruder

Mit 118 Meter Länge und neun Decks ist die »Polarstern« Wohnort und Arbeitsplatz für über hundert Menschen. Neulinge an Bord brauchen Tage, bis sie sich in dem Gewirr von Treppenhäusern, Fahrstühlen und Gängen zurechtgefunden haben

Bb = backbord; Stb = Steuerbord;  
ms = mittschiff



Wasserstände beobachten, scheint nichts zu passieren. Dennoch nehmen hier unten, tief im Bauch der „Polarstern“, die Lebensadern dieses vielzelligen Organismus ihren Ausgang: Im Maschinenraum erzeugen Generatoren den Strom fürs Schiff. Von hier versorgt die Klimaanlage selbst bei minus 50 Grad Außentemperatur die Wohn- und Arbeitsbereiche mit wohliger Wärme. Hier destillieren Verdampfungsanlagen trinkbares Naß aus dem Meer, und eine biologische Kläranlage verwandelt den Dreck von 119 „Einwohnern“ in Kompost.

**Marschfahrt:** Während wir mit gleichbleibend zwölfeinhalf Knoten – 22 Kilometer pro Stunde – den Südatlantik durchpflügen, geht es an Bord noch geruhsam zu. Nur im „Servicebereich“ herrscht Hochkonjunktur. Der Schiffs-koch und seine Helfer geben sich alle Mühe, die Gäste ihres überbelegten Schiffes auf üblich hohem Niveau zu verwöhnen – mit opulentem englischen Frühstück, dreigängigem Mittagsmenü, Nachmittagskaffee mit Kuchen und wahlweise warmem oder kaltem Abendessen. Die beiden Funkoffiziere müssen Sonder-schichten einlegen, um kurz vor Weih-nachten neben der Funkroutine die zahllosen Satellitengespräche, Telebriefe und Funktelegramme der Wissenschaftler zu vermitteln.

**»Yellow Submarine« wäre der passendere Name für das »Zillertal«**

Bernhard Heine, der Bordarzt auf dieser Reise, hätte gerne mehr zu tun. Aber außer ein paar See-Malaisen gab es bislang für den Göttinger Chirurgen nichts zu kuriern und schon gar nichts zu schneiden. Also läßt er seine Skalpelle ruhen und hilft statt dessen beim Abrocknen der Eßbe-stecke in „Messe 2“. Zwei Wochen später wird Heine genug zu tun bekommen: Zum erstenmal muß auf der „Polarstern“ unter Vollnarkose operiert werden – und das gleich zweimal: Ein deutscher Wissen-schaftler mit Blinddarmentzündung und – nach einem Notruf vom Forschungsschiff „Polarbjörn“ – ein Inder mit durchgebrochenem Magengeschwür kommen unters Messer. Mit Hilfe des Arztes der Georg-von-Neumayer-Station, der Krankenschwester und des Kapitäns der „Polarstern“ gelingen Heine beide Operationen: Der deutsche Forscher kann bereits eine Woche nach dem Eingriff seine Arbeit wieder aufnehmen. Sein indischer Kollege wird später über die Stationen Halley, Scott-Amundsen und McMurdo zunächst nach Neuseeland und dann in seine Heimat geflogen.

Auch die Wissenschaftler müssen sich zunächst in Geduld üben. Außer ein paar

vorbereitenden Handgriffen gibt es auf dem Arbeitsdeck für sie nichts zu tun. Die Zeit zwischen den Mahlzeiten verbringen sie lesend in der Bibliothek, beim täglichen Vortrag im Seminarraum und im Liegestuhl auf dem windgeschützten Helikopterdeck. Nach dem Abendessen zieht es die meisten ins „Zillertal“.

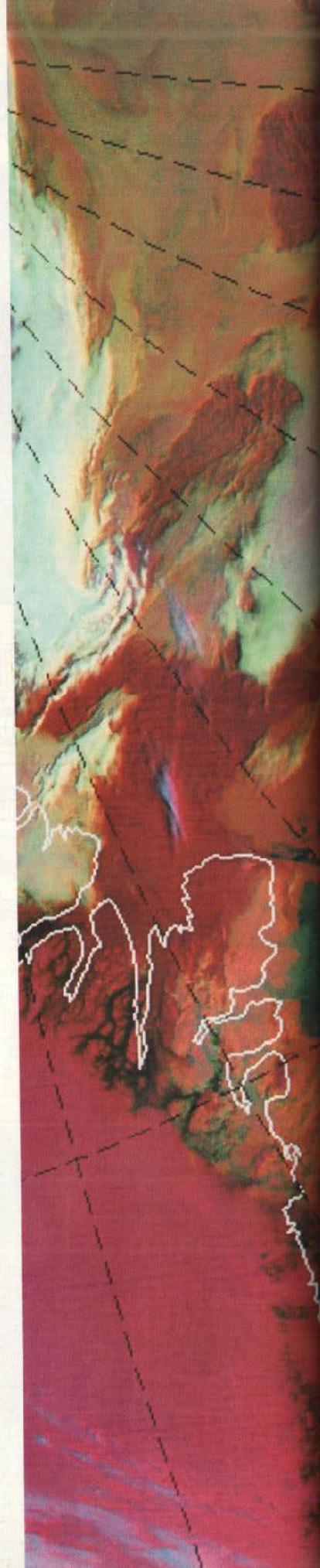
„Yellow Submarine“ wäre der passendere Name für die Bordbar neben „Messe 1“. Der fensterlose, gelbgestrichene Raum wirkt bei Tag so einladend wie die vor Jahren dichtgemachte Gaststätte eines stillgelegten Bahnhofs. Abends aber, wenn die spanischen Matrosen der „Polarstern“ eine „Fiesta“ feiern oder Dutzende von Männern bei heißer Disco-Musik zwei oder drei Frauen umtanzen wie die Motten das Licht, dann wird das Zillertal ein brodelnder Geysir der Geselligkeit.

Im „Zillertal“, wo jeder Drink nur 80 Pfennig kostet, werden tolle Geschichten gemacht und noch tollere erzählt. Hier erfährt jeder, der sich nur lang genug an der Theke festhält, alles: Die Geschichte von den russischen Polarforschern, die in ihren Flugzeugen mit offenem Feuer heizen. Von delikaten Abenteuern im Blizzard und noch delikateren in fremden Häfen. Hier wird geprahlt und gesponnen, daß sich die Decksbalken biegen.

Eisfahrt, endlich. Wochenlang war die „Brücke“, dieses tanzsaalgroße Gehirn der „Polarstern“, am Tage nur mit einem einzigen Mann besetzt. Der Wachhabende Offizier hatte meist nicht in der Mitte am Steuerpult, sondern rechts außen wie verloren an einem Schreibtisch gesessen – als sei selbst er noch überflüssig in dem funktionalen Ensemble von Computerterminals und Radarschirmen. Tagelang waren wir, gelenkt vom Navigationscomputer, stur nach Süden gefahren. Von heute an ist das Steuern wieder Handarbeit.

„Voll voraus – Backbord 20 – Ruder mittschiffs – voll zurück.“ Knapp und leise gibt Kapitän Suhrmeyer seine Kommandos. Dabei schaut er, die Hände auf dem Rücken verschränkt, durch die Fenster der Brücke auf die gefrorene See 20 Meter unter ihm. Jedesmal, wenn die beiden Schrauben das Schiff „mit Vollast“ antreiben, schiebt sich die Polarstern vorwärts, verharrt zitternd für den Bruchteil einer Sekunde und zermalmt schließlich das eineinhalb Meter dicke Eis unter ihren 16 000 Tonnen Stahl. Der Eisbrecher kämpft wie ein Schwergewichtsringier mit einem hoffnungslos unterlegenen Gegner. Seine Überlegenheit verdankt er der konkaven Form des Bugs, der das Eis durch Biegung bricht.

Fünf Stunden dauert das Rammen, bis das Schiff schließlich still in der Atka-Bucht vor der Georg-von-Neumayer-Station liegt. Der Kapitän und der wissen-schaftliche Fahrtleiter starten mit dem



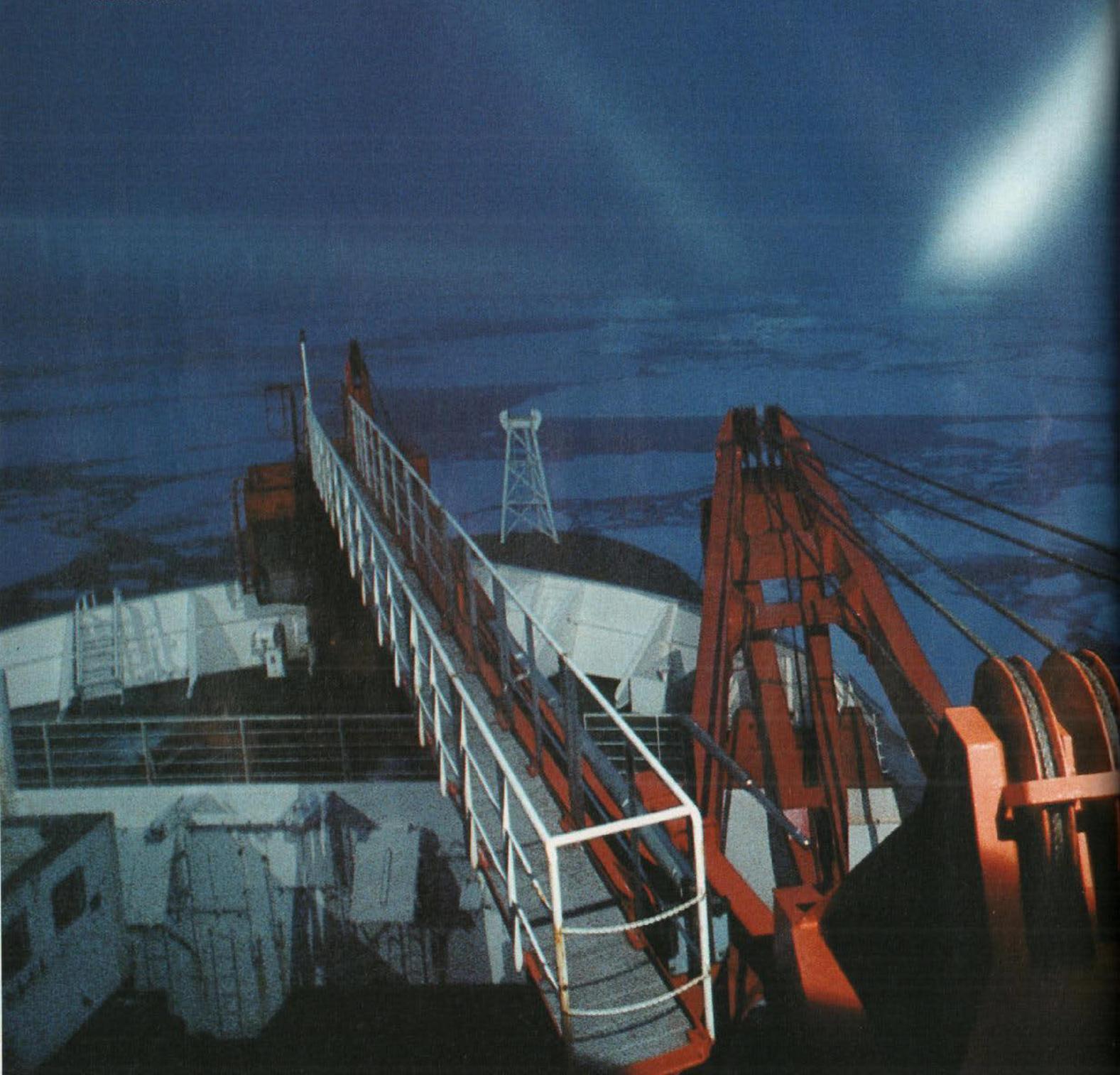


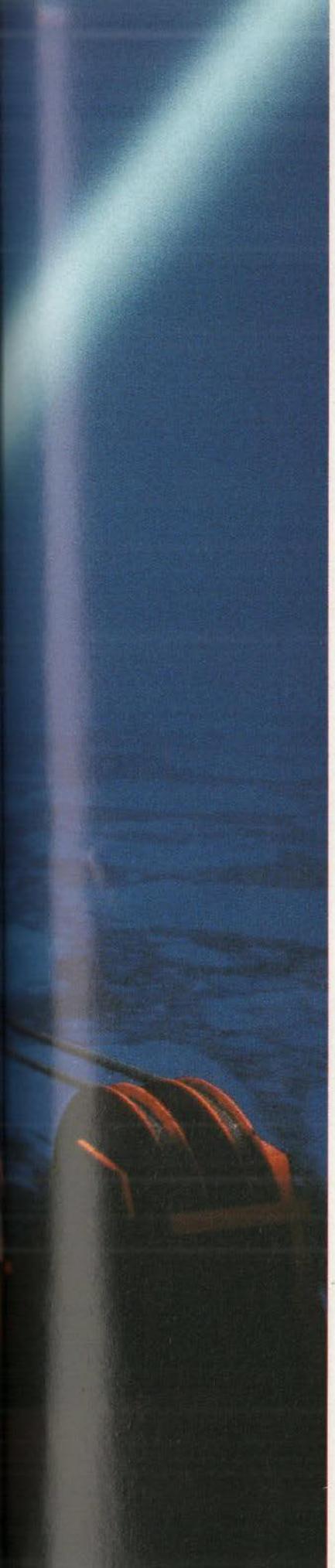
**Meeting  
der Forschungsschiffe  
auf hoher See**

Während einer Expedition ins Nordpolarmeer im Sommer 1984 beteiligten sich die deutschen Forschungsschiffe »Polarstern« und »Valdivia« sowie der norwegische Eisbrecher »Polarqueen« an einer Studie über arktische Stratuswolken. Auf dem Falschfarben-Satellitenbild erscheinen diese Wolken, die den Strahlungshaushalt der Erde beeinflussen, grün bis braun. Gelbe Linien zeigen die Position der Schiffe und des Meßgebiets, weiße die Küsten Spitzbergens und Grönlands.

Ein Treibeisfeld kann die »Polarstern« nicht bremsen. Wenn sie bei Nacht mit 12 Knoten – 22 Kilometer pro Stunde – das Polarmeer durchflügt, suchen die Lichtfinger der Bordscheinwerfer nach kleinen Eisbergen, die dem automatischen Radar-Warnsystem entgangen sein könnten. Auf »Marschfahrt« verbraucht das Schiff 35 bis 38 Tonnen, bei schwerem Eisbrechbetrieb sogar knapp 50 Tonnen Diesel pro Tag – den Heizölbedarf eines Einfamilienhauses für 15 Jahre

**Bei  
nächtlicher  
Eisfahrt strahlt das  
Schiff**





Hubschrauber zu einem Eis-Erkundungsflug – gemeinsam, als wollten sie mit einem symbolischen Akt die „Gewaltenteilung“ auf der Reise demonstrieren: Lothar Suhrmeyer ist verantwortlich für die Sicherheit des Schiffes und seiner Besatzung, der Geophysiker Heinz Miller vom AWI für das wissenschaftliche Programm.

Zwei Dutzend Menschen gehen an der Georg-von-Neumayer-Station von Bord. Fahrzeuge und Materialcontainer mit der Ausrüstung für ein ganzes Jahr werden aus dem Schiffsbauch aufs Eis gehievt. Damit hat die „Polarstern“ ihre Aufgabe als Versorgungsfrachter erst einmal beendet. Auf dem Schiff wird nun jedoch nicht gefaulenzt: In wenigen Tagen beginnt die antarktische „Sommerkampagne“ – für die Crew der „Polarstern“ ein Serviceunternehmen im Dienste der Wissenschaft.

**»Wer die Forscher als notwendiges Übel ansieht, ist hier falsch«**

An verschiedenen Positionen des Weddellmeeres werden Geophysiker seismische Untersuchungsprogramme durchführen: Mit großen Luftkanonen erzeugen sie künstliche Seebäben, um die ozeanische Erdkruste zu erforschen. Biologen werden mit klammern Fingern sortieren, was „Kastengreifer“ und „Agassiz-Trawl“ vom Meeresboden geholt haben. Unterwasser-Kartographen lassen das Schiff „Matratzen“ fahren, zehn oder mehr parallele Kurslinien mit geringem Abstand, um bestimmte Flächen des Meeresgrundes zu kartieren (siehe Karte Seite 42).

Claus Allers ist der Boss auf dem Arbeitsdeck. Gleichgültig, ob ein „Agassiz-Trawl“ oder „Schwerelot“ außenbords geht – der dienstälteste Erste Offizier steht immer dabei. Wenn das Meer ruhig ist und der „Wissi“ weiß, was er will, kann so etwas schnell erledigt sein. Aber lasst mal die See hoch gehen. Dann kann es schon reichlich mühselig sein, ein Schwerelot von drei Tonnen Gewicht über Bord zu hieven und auf Grund zu fieren. Oder einen „Kranzwasserschöpfer“, der nicht an die Bordwand schlagen darf, abzulassen. Dann steht Allers mit einem tragbaren Funkgerät achtern auf dem Arbeitsdeck und vermittelt: zwischen den Wünschen des Forschers, den Sicherheitsbedingungen der Matrosen, die das Gerät bedienen, und den Anforderungen der Schiffführung.

Ohne enge Zusammenarbeit zwischen Kapitän und Fahrtleiter wären solche Arbeiten unmöglich. Dabei sind Lothar Suhrmeyer und Heinz Miller nicht nur Chefunterhändler für die Bedürfnisse ihrer Leute. Oft müssen sie umgekehrt in den eigenen Reihen um Verständnis für die andere Seite werben.

Interesse an der Wissenschaft setzt Allers deshalb bei jedem Besatzungsmitglied voraus: „Wer die Forscher als notwendiges Übel ansieht, ist hier falsch.“ Umgekehrt erwartet der Offizier Verständnis für die Arbeitsschutzbestimmungen der Matrosen – und Höflichkeit: „Die Männer kommen aus Galicien. Das sind sehr stolze, empfindsame Menschen.“

Daß auf der „Polarstern“ nicht gebrüllt wird, wie Allers versichert, hat auch einen anderen Grund. Schlechtes Einvernehmen könnte in Krisensituationen Unheil bedeuten. Etwa dann, wenn das Schiff von Eis eingeschlossen und allen an Bord ein längerer Zwangsaufenthalt besichert wird.

Dieses Schicksal hätte die „Polarstern“ beinahe im Sommer 1987 ereilt. Damals fuhr sie zwischen Spitzbergen und Grönland nach Norden, um Bojen auszusetzen. Vier Wochen hatte sich der Eisbrecher schon durch das Packeis geboxt, das zuletzt fast vier Meter dick war. Als der Kapitän umkehren ließ, zeigte der Navigations-Computer die nördlichste Position, die ein westlicher Eisbrecher bis zu jenem Tag jemals erreicht hatte: 86 Grad und 11 Minuten.

Die Flucht aus dem Eis wurde zu einem zähen Ringen um die Freiheit: Zwei Tage lang driftete das Schiff noch mit dem Packeis nach Norden, obwohl es sich unentwegt gen Süden rammte. Erst als sich der Eisbrecher tatsächlich Richtung Heimat bewegte – zuerst mit einer Viertelmeile pro Stunde – konnte die Besatzung aufatmen.

Solche Abenteuer bleiben den Antarktisfahrern auf der diesjährigen Reise erspart. Am 26. Februar kehrt die „Polarstern“ aus dem Weddell-Meer in die inzwischen eisfreie Atka-Bucht zurück. Als sie drei Tage später ausläuft, bleiben neun Frauen zurück – das erste weibliche Überwinterungsteam auf der Georg-von-Neumayer-Station.

Während der Rückfahrt wirft uns der berüchtigte Südatlantik in den „Screaming Sixties“, den „Furious Fifties“ und „Roaring Forties“ mehrere Sturmtiefs in den Weg: Bei acht Meter hoher See und Sturmböen bis Windstärke 12 fegen riesige Gischtwalzen über die Decks. Zeitweilig darf niemand mehr hinaus. Am Leben im Schiffssinnern ändert der Sturm nur wenig: Tag für Tag werden den Wissenschaftlern vier Mahlzeiten und zwei Vorträge serviert.

Als am frühen Morgen des 12. März die „Polarstern“ das Kap der guten Hoffnung passiert, rieche ich, schon lange bevor Land in Sicht ist, Erde, Blumen und auch den Modergeruch der Gezeitenzone. Genau um neun Uhr machen wir im Hafen von Kapstadt fest. Kapitän Suhrmeyer hat es mal wieder geschafft – pünktlich, wie versprochen. □



## UNTERKÜHLUNG

# Bibbern für die Wissenschaft

Am einzigartigen »Hypothermia Laboratory« im nordamerikanischen Duluth erforschen Mediziner die Reaktionen des menschlichen Körpers auf Unterkühlung. Dabei frieren Freiwillige in eisigen Wassertanks und Kältekammern bis an die Schmerzgrenze. Die Erkenntnisse aus der Kältephysiologie dienen nicht zuletzt dazu, neuartige Schutzkleidung zu entwickeln

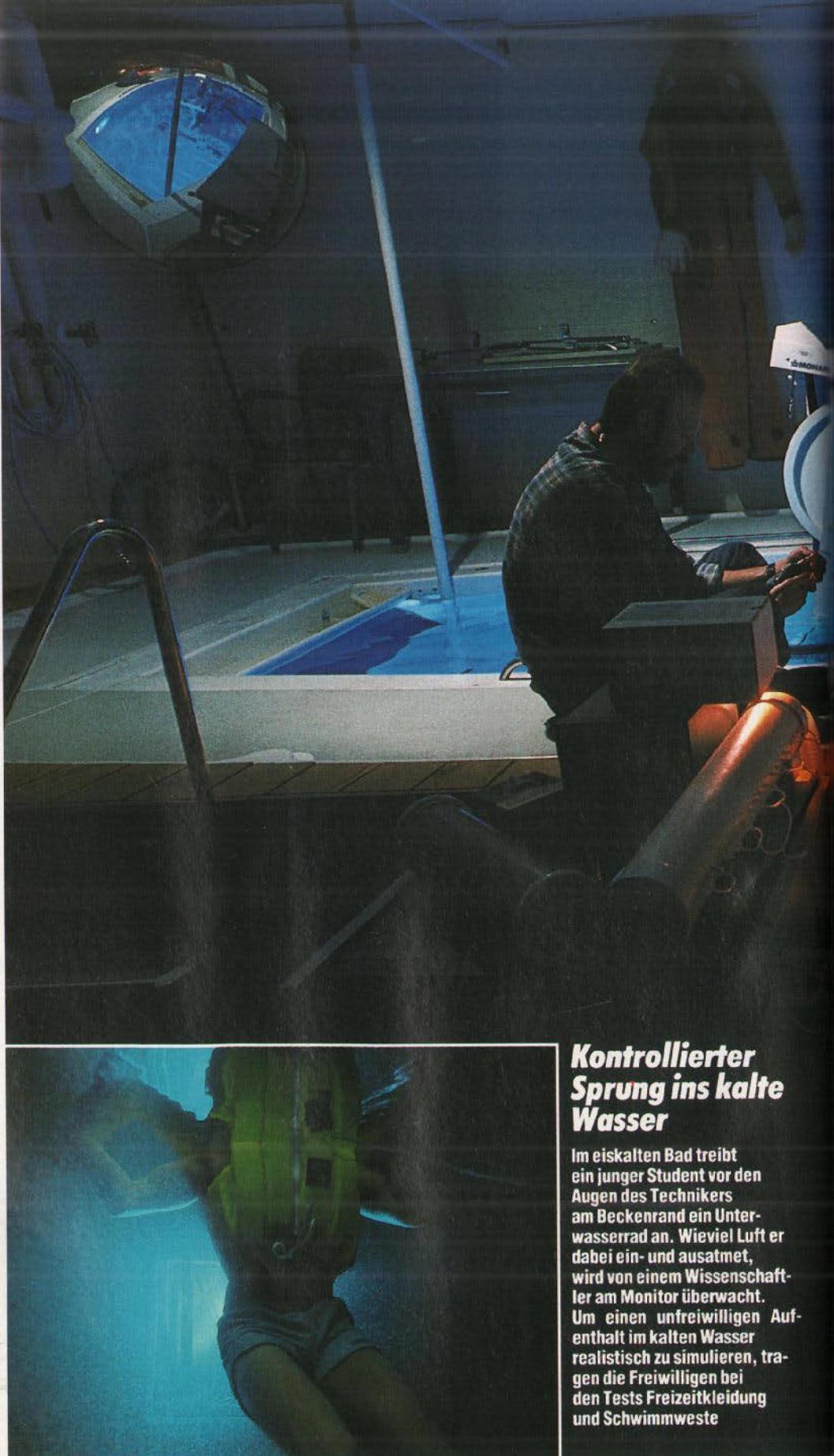


Roger Hynes klingt zuversichtlich, fast lässig, als er über die Tortur redet, die er gleich freiwillig über sich ergehen lassen wird. „Ich habe keine Angst“, sagt der Medizinstudent an der Universität von Duluth im US-Staat Minnesota. „Ich werde mir einfach vorstellen, ich sei ein Pilot, der überm Ozean runtergehen muß.“ Aber während er das sagt, fixieren seine Augen den Tank, in dem er die nächste halbe Stunde verbringen wird – als Versuchskaninchen eines Experiments, mit dem die Wirkung von nur 10 Grad warmem Wasser auf den menschlichen Körper untersucht wird.

Der Versuchsleiter Robert Pozos ist ein Mann von überschäumendem Temperament. Der Physiologe mexikanischer Herkunft platzt in den Raum und tritt sofort an den Rand des gut einen Meter tiefen Fiberglas-Tanks. Vor zehn Jahren hat er das „Hypothermia Laboratory“ an der medizinischen Fakultät von Duluth gegründet, um die Folgen starker Unterkühlung für den menschlichen Körper zu erforschen.

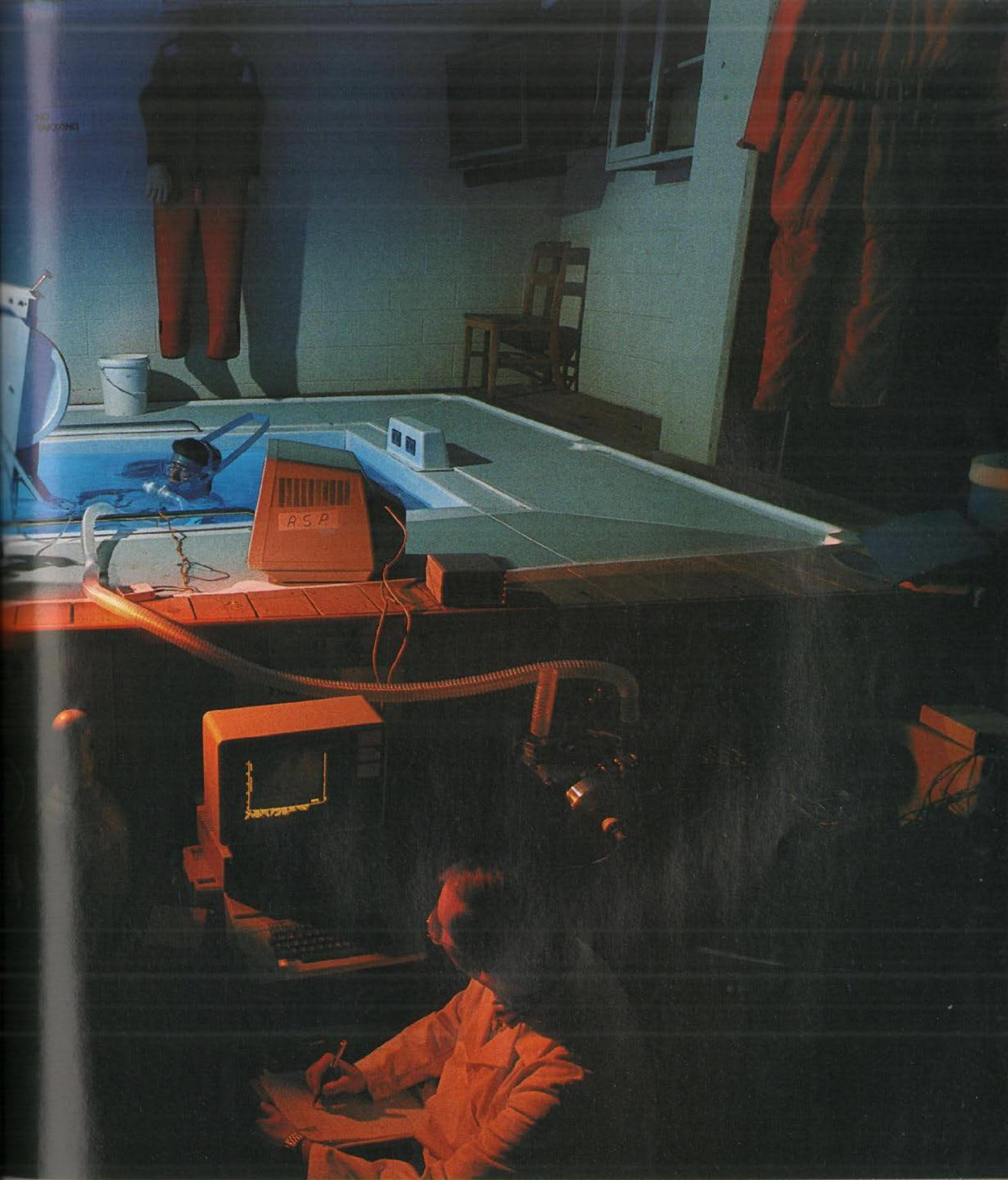
Die detailliertesten Hypothermie-Studien waren bis dahin jene unmenschlichen Experimente von Nazi-Forschern im Konzentrationslager Dachau gewesen, bei denen Gefangene bis zu ihrem Tod im eisigen kalten Wasser bleiben mußten. In Duluth überwacht ein Ethik-Komitee die Versuche, stehen Mediziner den Freiwilligen zur Seite, die natürlich jederzeit aussteigen können.

Pozos nickt seinen Mitarbeitern zu, die sich bereithalten, um Rogers Herz-



### Kontrollierter Sprung ins kalte Wasser

Im eiskalten Bad treibt ein junger Student vor den Augen des Technikers am Beckenrand ein Unterwasserrad an. Wieviel Luft er dabei ein- und ausatmet, wird von einem Wissenschaftler am Monitor überwacht. Um einen unfreiwilligen Aufenthalt im kalten Wasser realistisch zu simulieren, tragen die Freiwilligen bei den Tests Freizeitkleidung und Schwimmweste

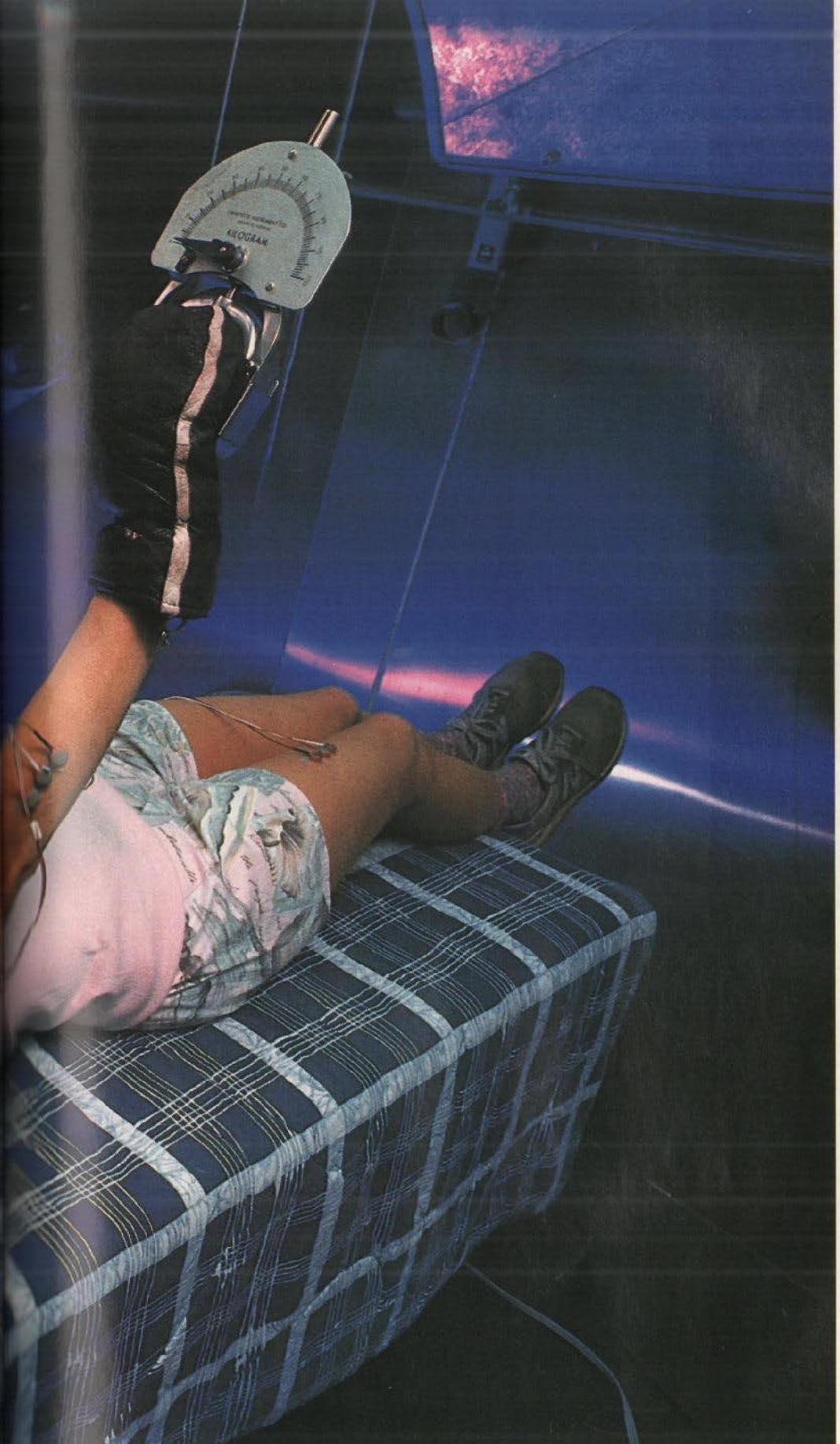




## In der Zitter-Kammer auf die Bank gestreckt

Um wenigstens ihre Hände warmzuhalten, hat die Probandin in der »Zitterkammer« Fäustlinge übergestreift. Die Lufttemperatur in dem überdimensionalen Kühlschrank kann bis auf minus 30 Grad herabgekühlt werden. Die beiden Männer in Schutzanzügen dürfen sich die Versuchszeit mit Fernsehen vertreiben





und Atemrhythmus sowie die Temperatur seiner Haut und des „Kerns“ seines Körpers zu überwachen. Dann legt der Forscher dem jungen Mann die Hand auf die Schulter und sagt: „Laßt uns anfangen.“

In T-Shirt, kurzen Hosen, Socken und einer Schwimmweste steigt Roger zögernd in den Tank, schnappt nach Luft und lehnt sich dann mit gebeugten Knien an dessen Wand. „Fluchen ist erlaubt“, muntert Pozos ihn auf. „Und denk dran, daß du rauskommen kannst, wann immer du willst.“

Mit dem Test wollen die Duluther Wissenschaftler herausfinden, wie ein Mensch in Straßenkleidung auf kaltes Wasser reagiert. Die aufgezeichneten Daten werden mit Ergebnissen früherer Versuche verglichen, bei denen die Probanden in spezieller Überlebenskleidung den Tank betraten. Ziel der Experimente ist die Entwicklung eines Anzugs, der Piloten, Fischer oder Bergungstaucher vor Unterkühlung schützen kann.

Hypothermie setzt ein, wenn im Kern des Körpers unterkühlter Menschen – in Herz, Gehirn, Lungen, Rückenmark und Darm – die Temperatur von normal rund 37 Grad auf 35 Grad absinkt. Kälte-Opfer zittern nicht nur und sind erschöpft, auch ihre Pupillen weiten sich, sie sprechen unartikuliert, sind verwirrt und beherrschen ihren Körper nicht mehr richtig. „Unterkühlte“, erklärt Richard Hoffmann, der Psychologe in Pozos' Team, „verhalten sich oft so, als hätten sie zuviel getrunken.“ Manche ziehen sich sogar nackt aus. „Anscheinend denken sie, ihnen sei heiß.“

Einer Theorie zufolge gehen solche Verwechslungen auf extreme Erweiterungen der Blutgefäße zurück, wodurch die Temperaturfühler des Nervensystems getäuscht werden: Obwohl der

Körper kalt ist, signalisieren sie Wärme.

Roger Hynes hat die ersten drei Minuten im Tank ziemlich gut überstanden. Seine Kerntemperatur ist nicht abgesunken, obwohl seine Haut fast schon so kühl ist wie das Wasser. „So reagiert der Körper auf Kälte-Stress“, sagt Pozos: Blutgefäße nahe der Haut ziehen sich mit dem ersten Schock zusammen; Fleisch und Extremitäten kühlen ab, so daß mehr warmes Blut die inneren Organe durchfließen kann. Daher bleibt die Kerntemperatur auch in kaltem Wasser normalerweise für 10 bis 15 Minuten konstant. Freiwillige im Hypothermie-Labor werden jeweils erst dann aus dem Tank geholt, wenn ihre Kern-Werte um mehr als 1,7 Grad gesunken sind oder aber sehr schnell zu fallen beginnen.

Pozos traktiert Roger mit Fragen, um Hinweise auf dessen geistigen Zustand zu erhalten. Aber der Wortwechsel gerät ins Stocken, als der Student nach der fünften Minute zu zittern anfängt. Nur noch stammelnd bringt er die Worte heraus: „Ich glaube – ich möchte mich – einfach treiben lassen – und sagen – was immer kommt.“

Zittern ist in kalter Luft von Vorteil, denn es erzeugt Körperwärme. In kaltem Wasser dagegen, sagt Pozos, schadet es: Die zusätzliche Wasserbewegung entzieht dem Körper mehr Wärme, als er durch das Zittern erzeugen kann. Denn Wasser leitet Wärme etwa 15mal besser als Luft.

„Ich möchte“, spricht Pozos den Studenten an, „daß du 45 und 72 addierst.“

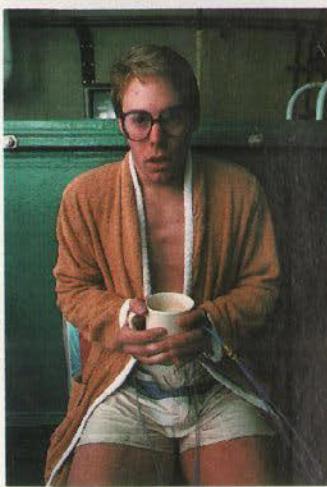
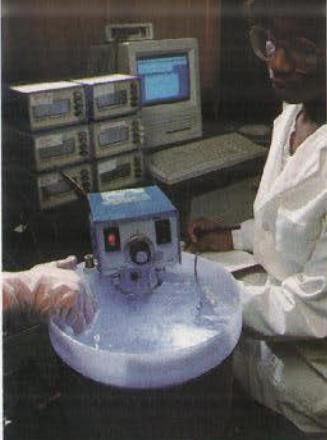
„O Gott“, stöhnt Roger, „Moment mal, äh, 117.“

„Nun zähle 63 dazu.“

„Mmh, 180.“

„Geteilt durch 4?“

Der junge Mann zieht die Brauen zusammen und runzelt die Stirn – aber er zittert nicht mehr: „45.“



## Kandidaten, die kalte Finger kriegen

Von einem Mediziner kontrolliert, taucht eine Testperson die Finger in eisiges Wasser. Die Monitore zeigen, wie sich die äußeren Blutgefäße der Versuchshand weiten. Nach überstandener Kälte wärmen sich die freiwilligen Opfer an einer Tasse heißer Schokolade auf

Pozos hat herausgefunden, daß geistige Anstrengung das Schütteln aufhält. „Es gibt also eine Verbindung zwischen der Hirnrinde und dem Zittern, aber wir wissen nicht, was für eine Verbindung das ist und wo sie sich befindet.“

Wenige Minuten später will der Kälteforscher von Roger wissen, wie es ihm geht. „Nicht schlecht“, antwortet der, wenig überzeugend. Etwa alle zehn Sekunden überfällt ihn ein heftiges Zittern, und er empfindet Schmerzen, obwohl sein Körper bald taub ist. „In der Kälte“, sagt Pozos, „ist es besser, Schmerzen zu haben als betäubt zu sein. Die Schmerz-Rezeptoren – die Enden von Nervenbahnen – sind das Frühwarnsystem des Körpers. Wenn man betäubt ist, entspannt man sich und empfängt die Signale nicht, die der Körper sendet. Dann hat man wirklich Probleme.“ Doch noch empfindet Roger Schmerz, seine Kerntemperatur sinkt alle fünf Minuten um rund ein Zehntelgrad.

Erst bei einer Kerntemperatur von 30 bis 32 Grad hört das Zittern auf – der Körper hat dann seine wärme-erzeugenden Reserven verbraucht. In diesem Stadium versteifen sich die Muskeln, wächst die Gefahr des Ertrinkens. Bei etwa 29,5 Grad verlieren die meisten Opfer das Bewußtsein. Im finalen Stadium erscheinen sie tot, obwohl ihre Organe noch leben. Das Zentrum des Körpers funktioniert noch im langsamsten möglichen Rhythmus: zwei oder drei unhörbare Herzschläge pro Minute, fast unmeßbar schwacher Puls und Atem. Wird ein unterkühlter Mensch jedoch vorsichtig erwärmt, können die vitalen Signale wiederkehren. „Du bist nicht tot“, steht an einer Tür des Hypothermie-Labors, „bevor du warm und tot bist.“

Fast 25 Minuten hat Roger nun hinter sich. Er ist

taub für Schmerzen, seine Augen sind umnebelt, seine Antworten kommen deutlich langsamer. Die Kerntemperatur fällt schneller als zuvor. „Ich fühle mich am besten – wenn ich nicht denke“, sagt er zwischen Schüttelanfällen.

Die meisten Versuchspersonen bleiben 45 bis 60 Minuten im Tank. Doch Pozos holt Roger nach 29 Minuten raus. Er zittert heftig, während er sein Hemd auszieht, in einen trockenen Bademantel schlüpft und eine Tasse heiße Schokolade mit beiden Händen greift. „Jetzt – ist es – am schlimmsten“, sagt er, im Labor auf- und abgehend. „Es kommt mir vor, als ob die Wärme aus mir herausfließe.“

Die Kerntemperatur des Studenten fällt in der Tat auch jetzt weiter. Sie erreicht erst eine Viertelstunde nach der Rückkehr ins Warme den Tiefpunkt, fast ein Grad unter der Normaltemperatur. Dieses „Nachfallen“ ist typisch für Hypothermie-Opfer – und gefährlich, weil es die Betroffenen nicht erwarten. Aber auch das Erwärmen hat seine Tücken: Geschieht es zu schnell, kann der Unterkühlte vorübergehend das Bewußtsein verlieren, weil die peripheren Blutgefäße sich weiten und der Blutdruck fällt.

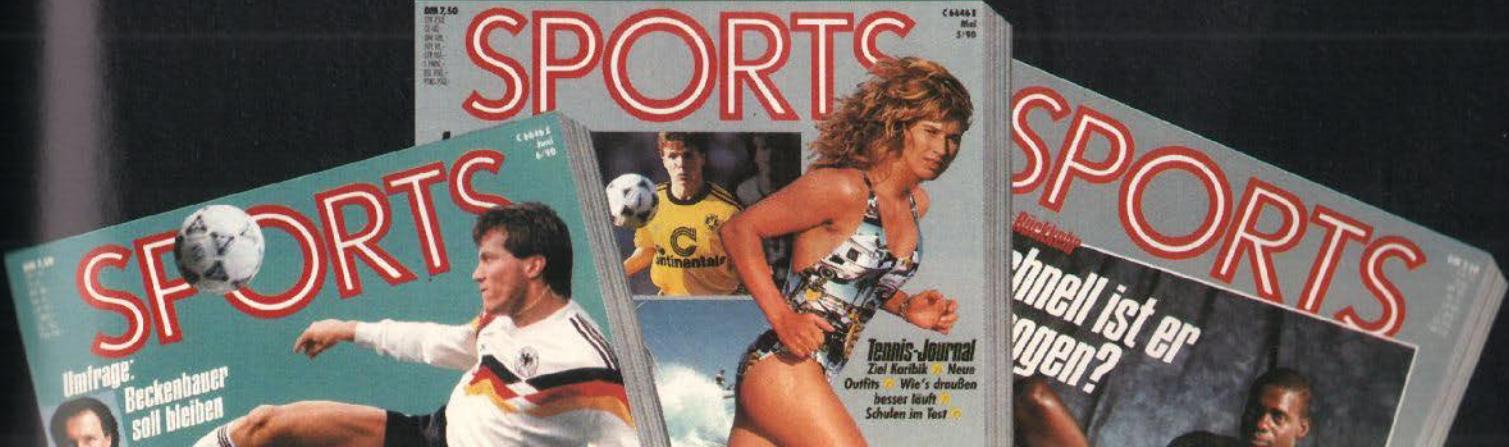
In Duluth müssen sich die Freiwilligen deshalb bewegen und warme Getränke schlucken. Heiß duschen sollten sie erst eine halbe Stunde nach dem Verlassen des Tanks, wenn die Kerntemperatur wieder ansteigt.

Als Roger aus der Dusche kommt, ist ihm immer noch kalt. Seine Augen bleiben glanzlos und seine Beine schwach. Er zittert, aber weniger stark und häufig als zuvor. „Ich würde es noch einmal tun“, sagt er, allmählich wieder guter Dinge. „Ich finde, es war einfach erfrischend.“ □

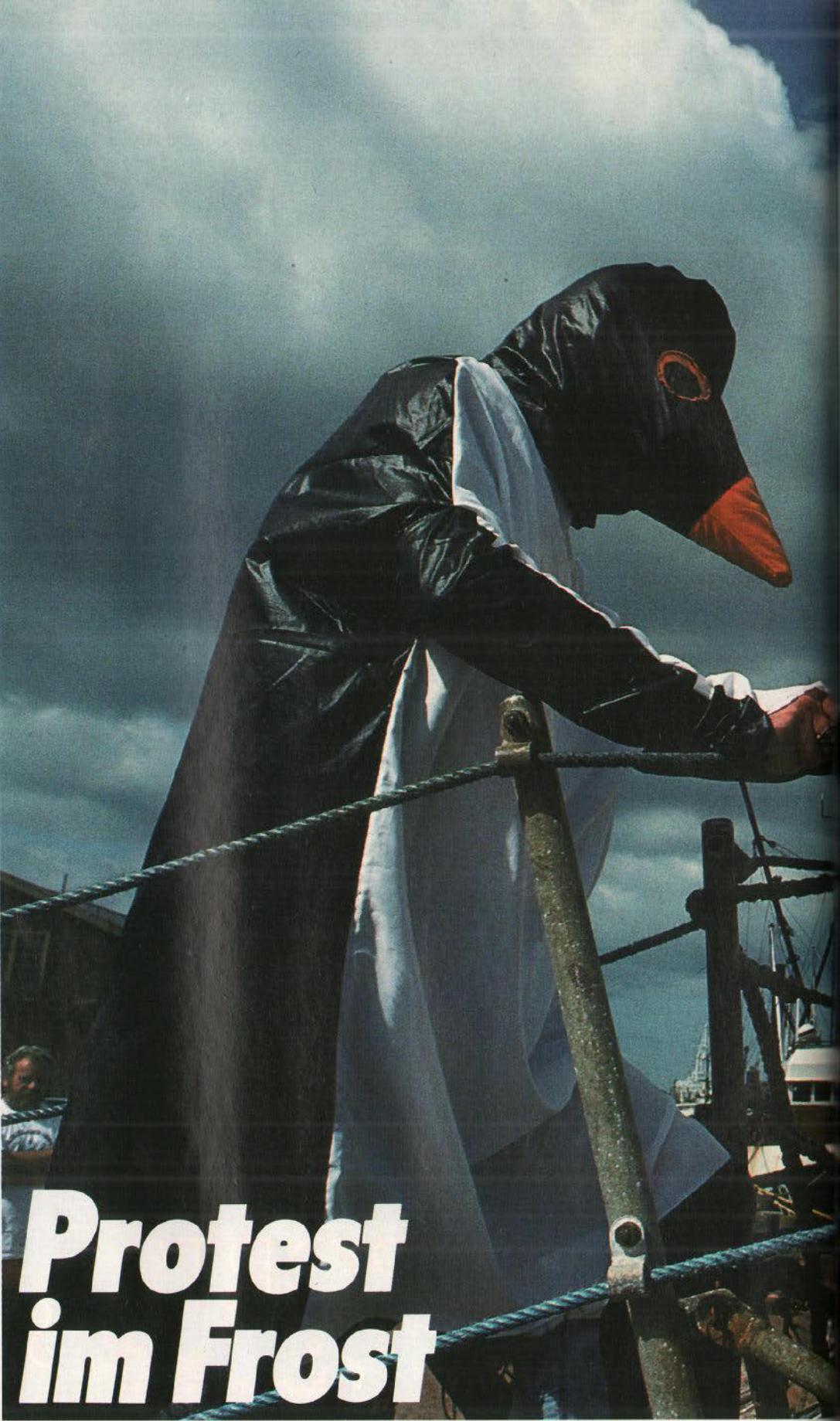
Der amerikanische Wissenschaftsjournalist Donald Dale Jackson, 55, lebt im milden Klima von Connecticut.

Lieber Geo-Leser,  
es gibt eine  
Zeitschrift,  
die nicht nur für  
den Kopf gut ist,  
sondern auch für  
den Körper: SPORTS.

In SPORTS lesen Sie jeden Monat das Neueste vom Sport – und wie Sie davon profitieren können.



Wenn »Greenpeace« zum Weißen Kontinent aufbricht, ist ein farbiger Abschied gewiß: Im neuseeländischen Hafen Auckland ging am 9. Januar 1990 ein symbolischer Pinguin an Bord der »Gondwana«. Mit dem Schiff und einer eigenen, ganzjährig besetzten Station am Ross-Meer demonstriert die internationale Umweltschutzorganisation - vehement wie immer - ihre Präsenz am Südpol: für die Einrichtung eines »Weltparks« und gegen eine wirtschaftliche Nutzung der Antarktis. Wie die Fahrt und die Protestaktionen am Rand des ewigen Eises verliefen, beobachtete GEO-Wissen-Mitarbeiter Stuart Franklin



# Protest im Frost



**F**estgezurrt an Deck des knallroten Schiffs heißen mich 54 Sperrholz-Pinguine willkommen. Sie sollen uns, den 31 Menschen an Bord der „Gondwana“, demonstrieren helfen. „Denn schließlich“, erklärt Kelly Rigg, verantwortlich für diese Kampagne der internationalen Umweltschutz-Organisation Greenpeace, „müssen wir uns jedes Jahr was Phantievolleres einfallen lassen.“

Unten auf dem Kai herrscht derweil Karnevalsatmosphäre. Dort spazieren zwei weitere „Pinguine“ – diesmal kostümierte Menschen – herum, und ein Stelzengänger stakst durch die Menge, die uns an diesem 9. Januar 1990 im Hafen der neuseeländischen Stadt Auckland mit guten Wünschen auf die Fahrt in die Antarktis schickt.

Greenpeace fordert, das Gebiet um den Südpol demnächst zum „Weltpark“ zu erklären – zu einer Region, in der weder Bodenschätze abgebaut noch allzuviel Fischerei betrieben werden dürfen. Die meisten Staaten der Uno unterstützen das Konzept. Doch einige der 20 Nationen, die den Antarktis-Vertrag unterschrieben haben und ganzjährig besetzte südpolare Stationen unterhalten, erheben mehr oder weniger offen Gebietsansprüche: Der sechste Kontinent ist zur Zeit – je nach Blickwinkel – entweder rohstoffreiches Niemandsland oder schutzbedürftige letzte Wildnis der Erde.

Greenpeace macht seine Sicht der Dinge durch lästige Anwesenheit in der umstrittenen Region öffentlich. Als einzige nichtstaatliche Organisation betreibt die Umweltgruppe eine eigene, ständig besetzte „Weltpark-Station“ am Cape Evans im Ross-Meer. Diese sollen wir mit Nachschub und einer neuen Überwinterungsmannschaft versorgen.

Unsere Fahrt soll freilich nicht nur etwas gegen knurrende Mägen und kalte Füße bewirken. „Das Schiff selbst“, sagt Kelly Rigg, „ist eine wichtige direkte Aktion. Allein schon seine Gegenwart hat einen enormen Effekt.“ Und natürlich soll die

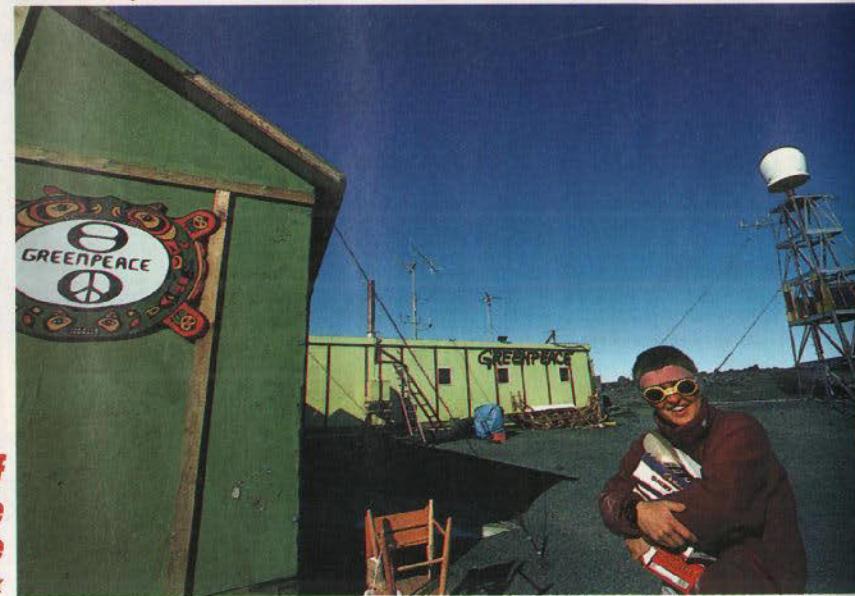
**„Das Schiff  
selbst ist eine  
wichtige direkte  
Aktion“**



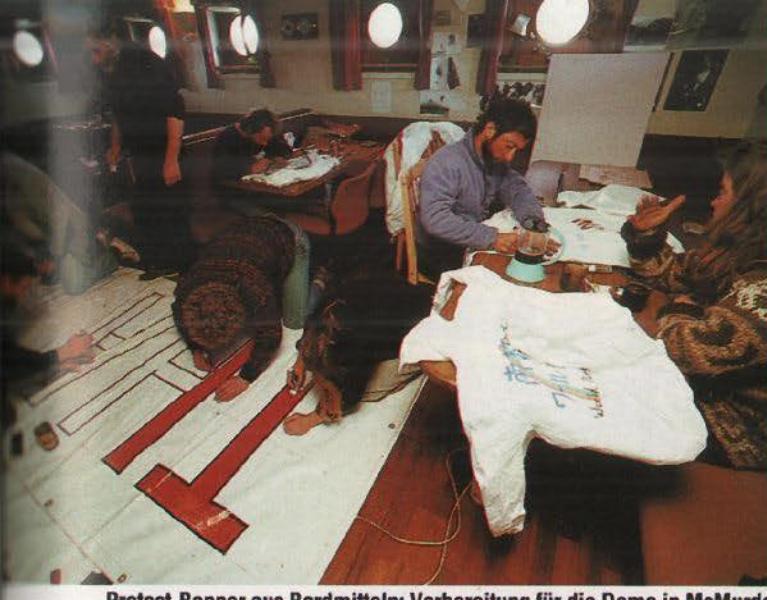
Krachend ans frostige Ziel: die »Gondwana« im Eis des Südpolarmeeres



Damit Greenpeace nicht verhungert: Nachschub für die »World Park Base«



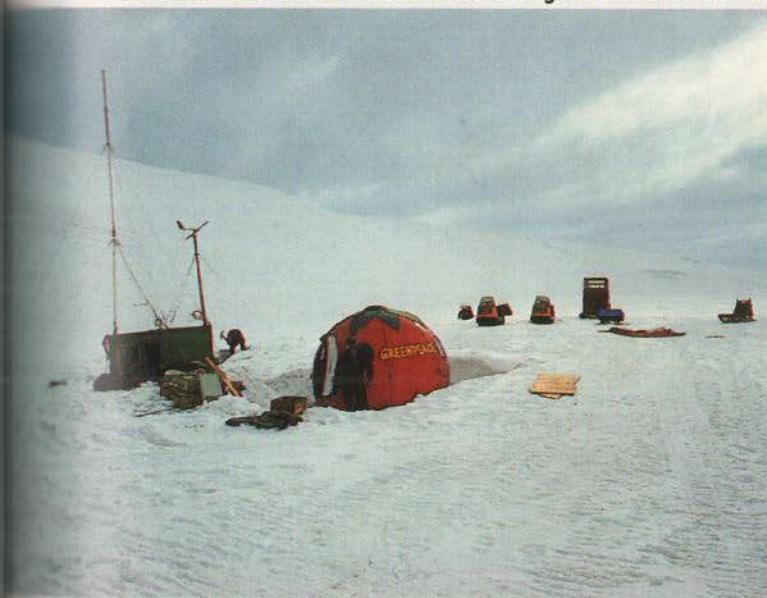
Bleibt ein zweites Jahr in der Antarktis: Lillian Hansen aus Dänemark



Protest-Banner aus Bordmitteln: Vorbereitung für die Demo in McMurdo



Überwinterer unter sich: alte und neue Besatzung der »World Park Base«



Umwelt-Spione auf Eis: zeitweiliges Greenpeace-Lager vor McMurdo



Presstexte aus dem Packeis: Irmu Mussack und Maj De Poorter am Computer



In Fasson gebracht: Dem Überwinterer Phil Doherty werden die Haare geschnitten



Bis 1991: Maj De Poorter sagt Adieu zu Stationsleiter Marc Defourneaux

Crew vor Forschungsstationen demonstrieren, die wesentlich zur lokalen Verschmutzung der antarktischen Umwelt beitragen. Allerdings nicht nur, um dort eine Handvoll Wissenschaftler zur Idee des „Weltparks“ zu bekehren: Wichtigster Adressat der Greenpeace-Aktion ist – auch diesmal – die Weltöffentlichkeit.

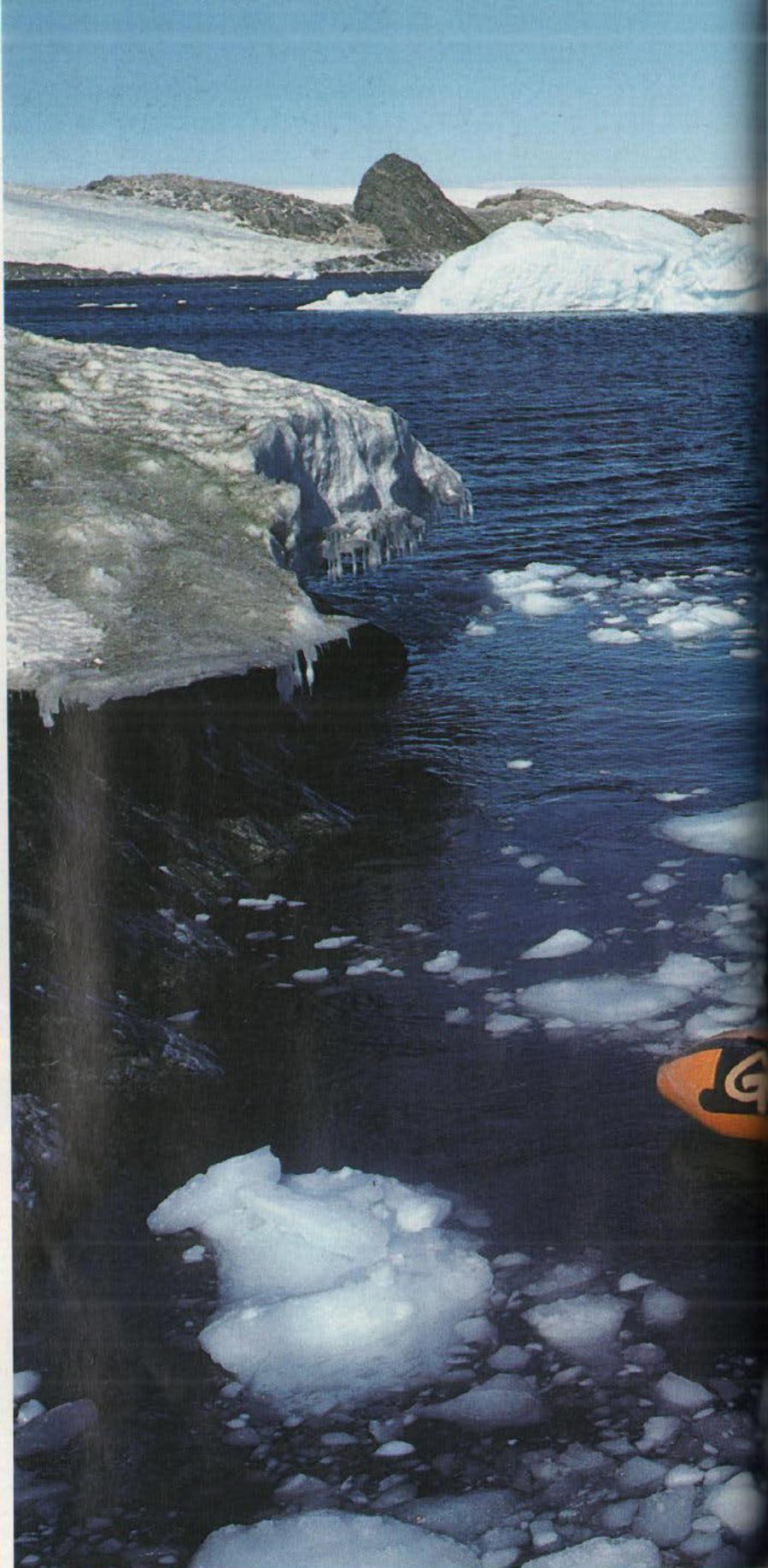
Diesem Ziel ordnet Angelika Klausbrückner sogar die Freude unter, ihren Mann wiederzusehen, einen der Überwinterer auf der „Weltpark-Station“. Als wir nämlich nach zwei Wochen Fahrt den Stützpunkt am Ross-Meer erreichen, bootet die Crew erst einmal Journalisten und Fotografen aus: Die Presse soll bereitstehen, wenn sich das österreichische Greenpeace-Paar in die Arme fällt. Dafür kann Angelika ihrem Bruno Rosen schenken – einen Strauß, den Greenpeace-Fotograf Mike vorsorglich schon in Neuseeland eingefroren hat, fürs Foto. Bild und Story gehen sogleich per Funk an die Agenturen AP und Reuters.

Die Welt draußen wird sich, das schätzen die PR-bewußten Umweltschützer wohl richtig ein, für die Geschichte der ehelichen Wiedervereinigung und damit auch die Greenpeace-Aktion stärker interessieren als für das, was ein Teil der „Gondwana“-Besatzung in den folgenden Tagen zu leisten hat: In eisiger Kälte müssen die Vorräte ausgeladen werden.

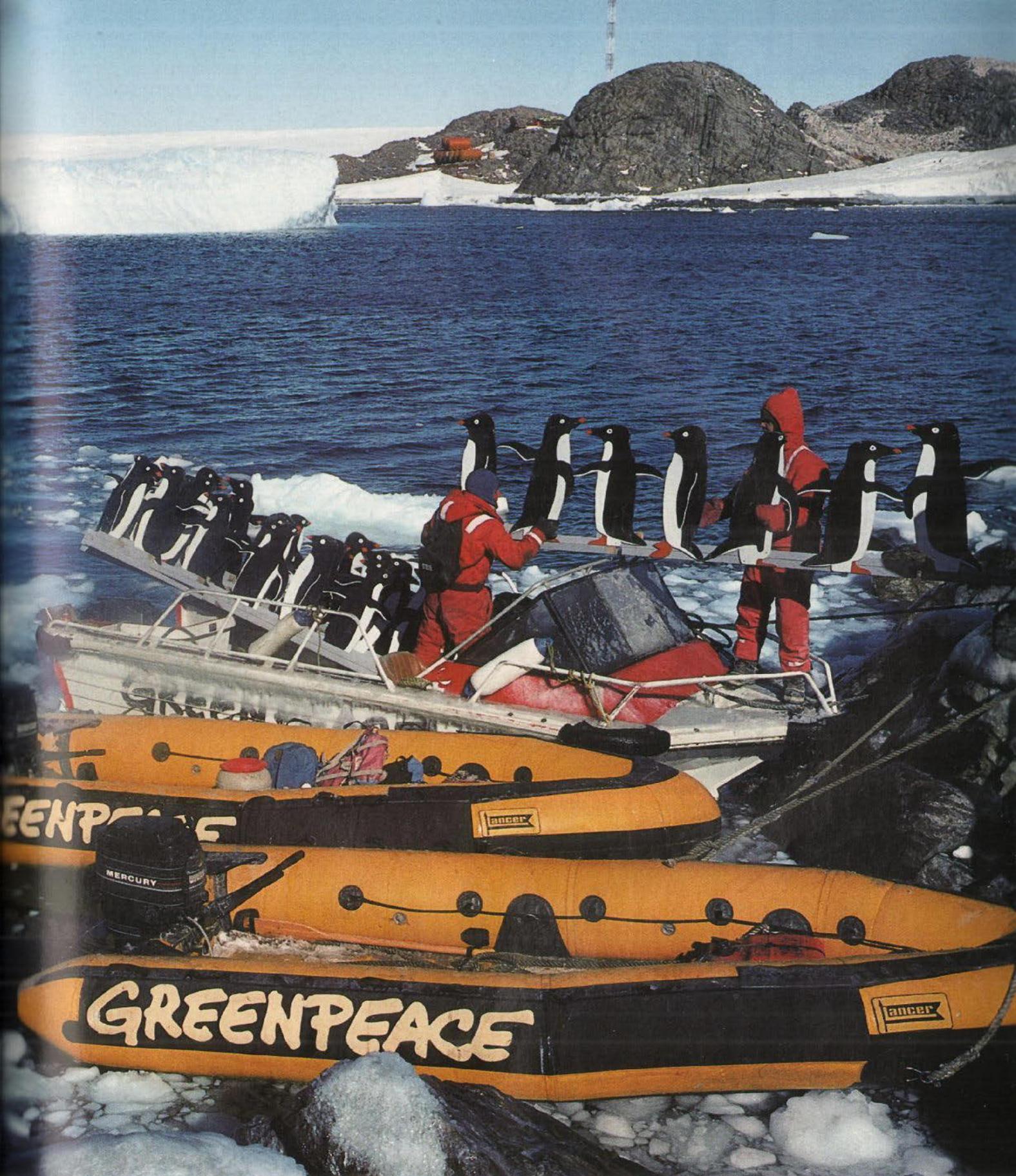
Währenddessen begleite ich eine kleine Delegation, die mit dem Hubschrauber einen Abstecher nach McMurdo macht. Die amerikanische Station liegt nur 37 Kilometer von Cape Evans entfernt. Sie hat – als größte Siedlung der Antarktis – schon häufig für Schlagzeilen gesorgt: Ihre Abwasser verunreinigen das Meer mit Schwermetallen und in ihrer Abluft sterben im Umkreis von fast hundert Kilometern die Flechten.

Immerhin haben die Amerikaner kürzlich eine Reihe von Ölfassern und Transformatoren samt deren giftigem Inhalt zurück in die Heimat befördert. Auch sollen die McMurdo-Bewohner neuerdings ihren Müll sortieren. Doch da hier im Sommer rund 1200 und im Winter etwa 200 Menschen leben, die im Schnitt jeweils 130 Liter Abfall pro Tag produzieren, gibt es natürlich –

### »Auf jeden Fall Konfrontation vermeiden«



In Reih und Glied zur Demo: 54 Sperrholz-Pinguine sollen auf einer neuen Landebahn für Frank



rechts Antarktis-Station Dumont D'Urville aufgestellt werden. Greenpeace protestiert, weil die Piste ein Pinguin-Brutgebiet zerschneidet

für südpolare Verhältnisse – riesige Müllkippen.

Den Zaun einer Deponie sehe ich schon von weitem: Der Wind hat ihn mit Altpapier drapiert. Drinnen raucht ein Abfallfeuer. In der Nähe streiten sich zwei Skuas – große Raubmöwen – um eine alte Tennissöckchen. Sie stammt von einer Kippe, deren Inhalt eindeutig nicht sortiert wurde. Wieder ein Stück weiter ist der Schnee rosa statt weiß: ausgelaufene Farbe. Und unweit des Flugplatzes der Station beseitigen Arbeiter die Folgen eines Ölunfalls: Fast 150 000 Liter Diesel sind ausgelaufen. Hier tragen Eis und Schnee die Farbe von Aprikosen. Anscheinend ist es schwierig, dem Personal beizubringen, schonend mit der fragilen antarktischen Umwelt umzugehen.

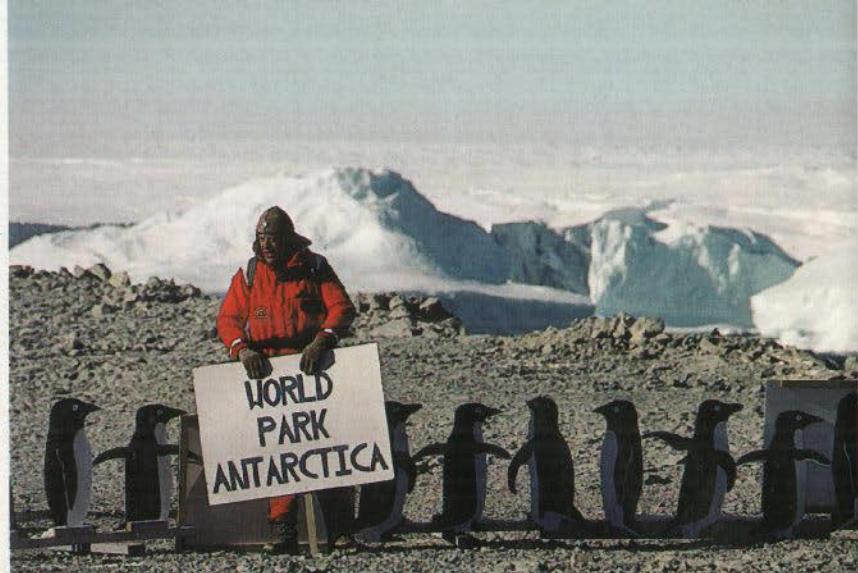
Ein paar Tage später steuert die „Gondwana“ McMurdo an. Gern gesehene Gäste sind wir dort sicher nicht. Schon zweimal haben die USA versucht, „offizielle“ Greenpeace-Besuche ihrer Forschungsstation zu verhindern. Auch diesmal sollte die Regierung in Den Haag – die „Gondwana“ fährt unter niederländischer Flagge – dem Kapitän verbieten, vor McMurdo zu ankern. Doch die Holländer haben nicht reagiert.

Greenpeace hält sich ohnehin nicht an Besuchsverbote. Außerdem besitzt die Organisation nach Artikel 7 des Antarktisvertrages einen Beobachterstatus und hat damit Zugangsrecht zu den Stationen der Mitgliedsstaaten. Nur in Sonderfällen dürfen Besucher am Zutritt gehindert oder zumindest aufgefordert werden, sich einige Tage vorher anzumelden.

Und da der Vertrag letztlich nur eine Übereinkunft zwischen Ehrenmännern ist, es am Südpol also keine richtige Gesetzgebung gibt, dulden die Amerikaner zähneknirschend die Umweltaktivisten. So folgen Vertreter der „National Science Foundation“ – sie betreibt die Antarktisforschung der USA – uns in einiger Entfernung, sehen zu, wie Greenpeace-Mitarbeiter Wasser- und Bodenproben nehmen, und beobachten, wie die US-Marine uns filmt und filmt und filmt.

Ganz anders als die hohen Chargen reagiert das Personal, dessen unterschiedliche Funktion an der Farbe der Parkas ersichtlich ist: Die „Rotjacken“

**»Wir sind  
heilfroh, daß ihr  
da seid«**



Stummer Widerstand: Holzpinguine an der Landebahn von Dumont D'Urville



Der Müll, der Qualm und das Eis: brennende Kippe der US-Station McMurdo



Kloake der Zivilisation: Liz Carr nimmt eine Probe am Ausfluß von McMurdo



»Haltet McMurdo gesund«: frostige Demo gegen den Schandfleck der Antarktis



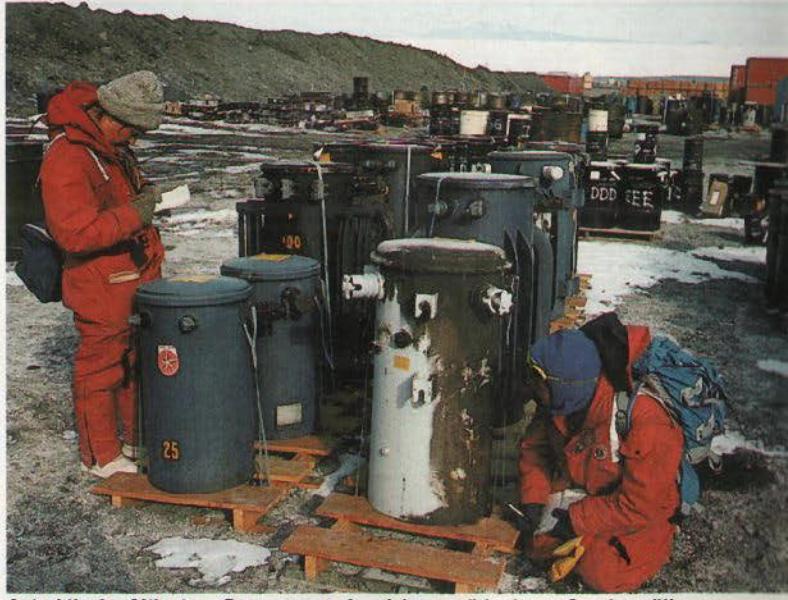
Treibais als Müllabfuhr: McMurdo soll künftig seinen Abfall sortieren



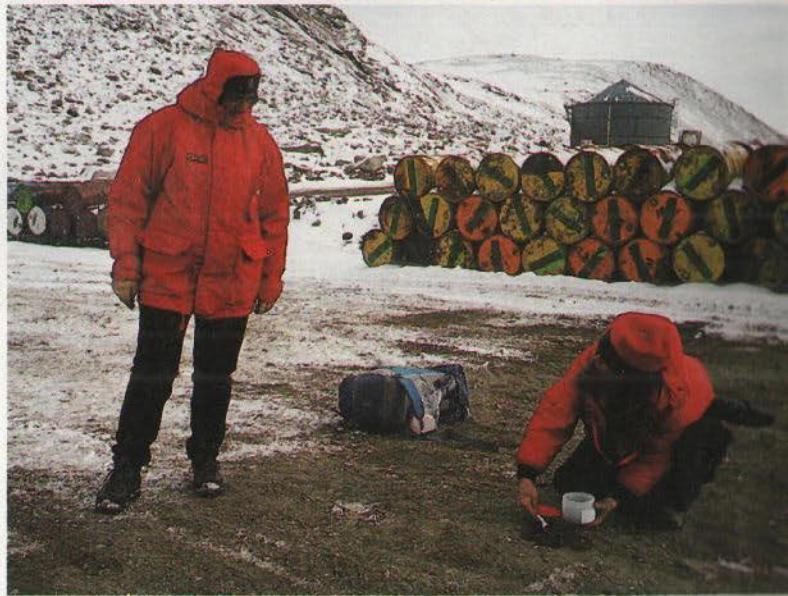
Gefrorene Umweltsünden: gefärbter Schnee auf einer Müllkippe bei McMurdo



Größte »Stadt« des Kontinents: Im Sommer leben 1200 Menschen in McMurdo



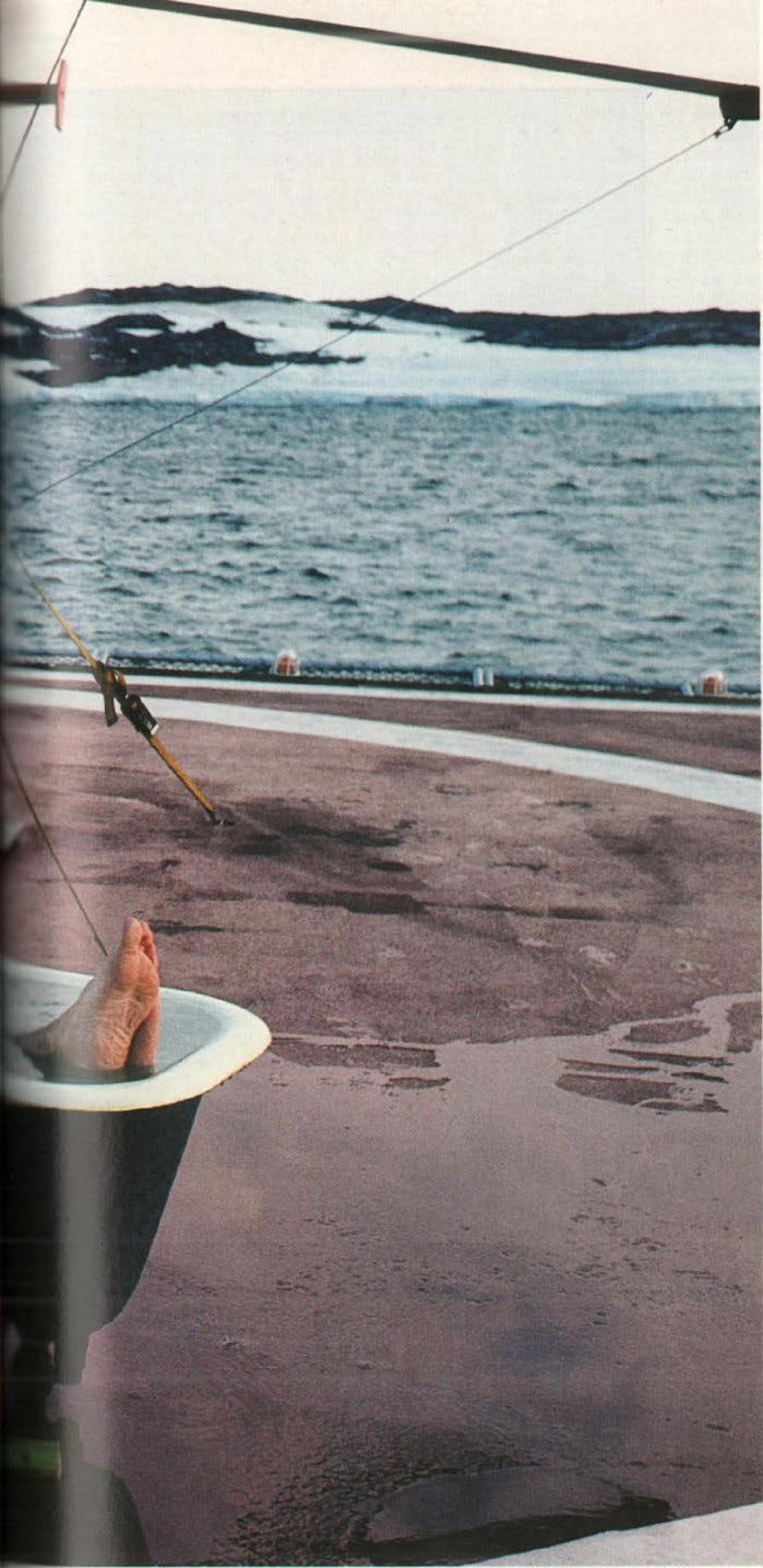
Antarktische Altlasten: Greenpeace inspizieren südpolaren Sondermüll



Beweise im Boden: Probenentnahme bei Italiens Station »Terra Nova«



Sauberer Flieger: Garry Dukes, Chef pilot des Greenpeace-Hubschraubers, nimmt während einer Geburtstagsfeier aus Jux ein Frei-Bad auf



dem Helikopter-Deck der »Gondwana«. Im Hintergrund die antarktische Küste bei Cape Evans

dienen der zivilen Forschung, die „Grünjacken“ sorgen für den Nachschub und unterstehen dem Militär. Viele Mitarbeiter der Station unterstützen die Aktion mit verstohlenen Solidaritäts-Botschaften. „Wir sind heilfroh“, sagt einer und beobachtet ängstlich die Straße hinter unserem Rücken, „daß ihr da seid, um Druck zu machen.“ Ein anderer erzählt, daß hier durchaus schon über Umweltprobleme diskutiert worden ist – dreimal im letzten Jahr, öffentlich, und jeder habe seine Meinung sagen können.

Je länger Greenpeace Proben nimmt, desto mutiger werden die McMurdo-Mitarbeiter. Am letzten Tag trauen sich sogar einige, auf die Protestkundgebung gegen das geplante Rohstoffabkommen zu gehen. Dort danken die Umweltschützer ihren Anhängern vor Ort auf einem riesigen Spruchband – eine Gemeinschaftsarbeit vom Morgen vor der Demonstration, als das Wetter noch ruhig und sonnig war.

Jetzt aber ist die Temperatur auf minus zehn Grad gesunken, und ein eisiger Sturm fegt durch die Station. Er zerrt an den Plakaten – „Keep McMurdo sound“, „Snow Petrels Not Snow Petrol“ (Schneesturmvögel statt Schnee-Benzin) – und schleudert sie in den Dreck. Als die Gruppe sich schließlich vor einem Gebäude mit der ominösen Aufschrift „Operation Deep Freeze“ („Unternehmen Tiefer Frost“) neu formiert, kommt nur noch die mächtige Stimme unseres zweiten Steuermanns Albert Kuikin gegen das Unwetter an:

„Weltpark – Ja! Bergbau – Nein!“  
„Was wollen wir? Den Weltpark!“  
„Wann wollen wir ihn? Jetzt!“

Die Parolen der anderen dringen kaum noch durch. Dann sehe ich mein Plakat. Die Arbeit von Stunden – geknickt, schmutzig und zerrissen. Das ist der Tiefpunkt der Reise.

So hoffen wir auf besseres Wetter für die nächste Aktion, gut 2000 Kilometer weiter östlich im Adélie Land, das Frankreich seit 1924 beansprucht. In diesem Küstenstreifen kommen so viele unterschiedliche Pflanzen- und Tierarten vor wie sonst kaum noch in der Antarktis. Und dort, in der Nähe des magnetischen Südpols, liegt die französische Station Dumont D'Urville. Sie

### »Wichtigster Adressat: die Welt- öffentlichkeit«

kann nur unter großen Schwierigkeiten versorgt werden, da das Packeis den Versorgungsschiffen allenfalls im Januar und Februar Durchschlupf gewährt. Deshalb haben die Franzosen 1983 begonnen, über eine Kette von fünf kleinen Inseln eine Landebahn für Flugzeuge zu bauen.

Auf der Fahrt zum Adélieiland trifft sich die Besatzung in der Messe. Die Belgierin Maj de Poorter bemüht sich, uns im Lärm der Maschinen und des schlingernden Schiffes zu erklären, um was es dort geht. Hinter ihrem Kopf schlittert eine Kiste mit australischem Wein auf einem Regalbrett hin und her. Greenpeace ist gegen die Fertigstellung der Rollbahn, deren Trasse die Wanderroute der Kaiserpinguine kreuzt. Außerdem brüten im Baugebiet Adélie-Pinguine und mehrere Sturmvogel-Arten.

Ginge es nach Mike, dem Greenpeace-Fotografen, müßte sich jemand an einen Bulldozer ketten. Solche Aktionen geben spektakuläre Bilder. Die Chefs der Umweltschützer wollen in diesem Fall allerdings vorsichtig vorgehen. Denn Frankreich baut zwar die Landepiste, unterstützt aber auch die Weltpark-Idee. Deshalb sollen wir bei der Demo „auf jeden Fall eine Konfrontation vermeiden“. Und dabei sollen die Sperrholz-Pinguine helfen.

Diesmal haben wir Glück mit dem Wetter. Der Sturm legt sich mit unserer Ankunft. So kann ein groteskes Schauspiel begonnen werden:

*Erster Akt.* Landungsboot zu Wasser lassen. Zündschlüssel zerbricht. Boot hieven, Zündung reparieren, Boot wieder herunterlassen. 54 Holzvögel einladen, aufs Festland übersetzen, ausladen und in einer ordentlichen Reihe auf die schon planierte Landebahn stellen. Arbeiter auf der etwas entfernten Baustelle lassen sich nicht stören, machen weiter bis zum normalen Feierabend und gehen nach Hause.

*Zweiter Akt.* Lebende Adélie-Pinguine interessieren sich für ihre hölzernen Abbilder.

*Dritter Akt.* Die meisten Greenpeace-Aktivisten fahren aufs Schiff zurück; einige – darunter auch weibliche – zelten an der Piste. Französische Arbeiter kommen wieder, interessieren sich für die Frauen.

*Vierter Akt.* Am nächsten Tag: Holzpinguine an einen anderen Standort versetzt, auf die letzte intakte Insel. Bauarbeiten laufen weiter, als wäre

## Antarktische Umwelt

### Erste Flecke auf der weißen Weste des sechsten Kontinents

Jungfräulich ist sie schon lange nicht mehr, die „letzte Wildnis der Erde“. Sie hat leider viel zuviel zu bieten. Kaum hatte der Weltumsegler James Cook im Jahr 1775 von großen Pelzrobbenherden an den Küsten Südgeorgiens berichtet, da strömten Jäger in die Antarktis. Später lockten Wale die Menschen in die eisige Region. Aber auch schiere Neugier – der Drang, die weiße Einöde zu er-

kunden – trieb sie in den tiefsten Süden, ebenso die vage Aussicht auf Bodenschätze. Doch obwohl die Antarktis so viele Liebhaber angezogen hat, leidet sie unter vergleichsweise geringen Umweltproblemen. Zwar schaffen einige tausend menschliche Antarktis-Bewohner um sich herum mehr oder weniger große Dreck-Enklaven, aber Schwermetalle und Staub aus Industrieschornsteinen ver-



Arbeiter evakuieren Pinguine beim Flugplatzbau in Dumont D'Urville



Ölpest durch die »Bahia Paraiso«, auf Grund gelaufen 1989

bleiben fast ausschließlich auf der nördlichen Erdhalbkugel. Nur Global-Gifte wie das Insektentervilgungsmittel DDT und der atomare Fall-out von Bombentests verpesten selbst den eisigen Süden. Nachdem die Pelzrobben und viele Walarten brutal dezimiert worden waren, erholen sich die Bestände allmählich wieder: Jedes Säugetier südlich des 60. Breitengrads steht seit 1964 unter Schutz. Auch die in den dreißiger Jahren fast ausgerotteten Blauwale und ihre Verwandten – für sie gilt nicht antarktisches „Landrecht“, sondern das Internationale Walfangabkommen – dürfen vorerst nicht mehr gejagt werden.

Noch ist die Situation auch für die antarktische Flora und Fauna erträglich. Gefährdet aber sind

besonders die Pflanzen und Tiere zu Lande und in den wenigen Süßwasserseen, die auf jegliche Veränderungen empfindlich reagieren. Denn sie leben in jungen, artenarmen Ökosystemen, die noch in Entwicklung begriffen sind. In Südgeorgien beispielsweise hat das Eis erst vor 12 000 Jahren das Land freigegeben – eine geradezu winzige Zeitspanne für die Besiedlung von lebensfeindlichem und insular-abgelegenem Neuland. Artenarme Ökosysteme sind durch Umweltveränderungen wahrscheinlich noch gefährdeter als artenreiche. Selbst kleinere Verletzungen heilen hier unendlich langsam. Öl wird in der Kälte noch schleppender abgebaut, und eine Fußspur im Moos verschwindet manchmal erst nach Jahren.

Da klingt es fast zynisch, wenn ein Antarktis-Reiseunternehmen mit dem Motto „Hinterlasse nur Fußspuren“ auf seine ökologische Sensibilität hinweist. Mehrere tausend Touristen besuchen in jedem Jahr den sechsten Kontinent. „Wir werden uns mit Schlauchbooten ganz nah an die Pinguinkolonien heranpirschen, ohne sie zu stören“ – mit diesen Worten wirbt eine Kreuzfahrt-Agentur. Die schwarz-weißen Vögel kümmern sich scheinbar einen Dreck um die neugierigen Besucher. Doch Biologen wissen, daß Pinguine ihr Brutgeschäft aufgeben, wenn sie dabei von Neugierigen beunruhigt werden.

„Interessenkonflikte“ zwischen Mensch und Natur sind in der Antarktis programmiert: Nur

zwei Prozent des Gebiets sind nicht mit Eis bedeckt. In diesen eisfreien Küstenzonen lebt jedoch ein Großteil aller Tiere und Pflanzen. Vor allem an den Geestaden der relativ milden Antarktischen Halbinsel machen die Südmeer-Kreuzfahrer ihre Landgänge, und dort – oft an ökologisch besonders interessanten Orten – stehen auch die meisten Forschungsstationen. Nicht nur Touristen, auch Wissenschaftler zerstören mitunter die empfindlichen Objekte ihrer Neugierde. Sie vergiften einen hochinteressanten See – so geschehen auf der chilenischen Station Teneiente Marsh. Oder sie lassen, wie auf dem französischen Stützpunkt Dumont D'Urville, eine Rollbahn durchs Pinguin-Brutgebiet bauen (siehe großen Bericht).

Immerhin werden die antarktischen Gäste heute das Gefühl nicht mehr los, unter ständiger Beobachtung zu stehen – ein Erfolg der großangelegten Umweltschutz-Kampagnen. „Was immer du tust“, warnte ein Ingenieur einen Journalisten auf dem Flug in die Antarktis, „läß dich nicht dabei erwischen – nicht einmal, wenn du eine Zigarettenkippe wegwerfst.“

**A**uch haben einige Staaten inzwischen begonnen, die in Jahrzehnten angehäuften Relikte einer gedankenlosen Wegwerf-Wirtschaft zu beseitigen und für neu produzierten Müll umweltschonendere Entsorgungs-Strategien zu entwickeln. Allerdings wird damit eher, wie Kritiker argumentieren, der Abfall in eine ästhetisch akzeptable Form gebracht als das Übel an der Wurzel gepackt.

Die Gegenwart hält düstere Perspektiven für die Zukunft parat. Die durch das Ozonloch vermehrte UV-Strahlung (siehe Seite 86) schädigt die Algen des südpolaren Meeres und damit auch alle Meerestiere; Bohrungen setzen dunklen Staub frei, der mehr Sonnenlicht absorbiert und so das Eis zum Schmelzen bringt; Öl-Tanker-Terminals stehen an den Küsten und verpesten die See. Der amerikanische Biologe Andrew Clarke schrieb nicht ohne Zynismus, es sei an der Zeit, die Antarktis möglichst genau auf Umweltgifte zu untersuchen. Dann könne man später wenigstens feststellen, was von Menschen verändert worden ist.

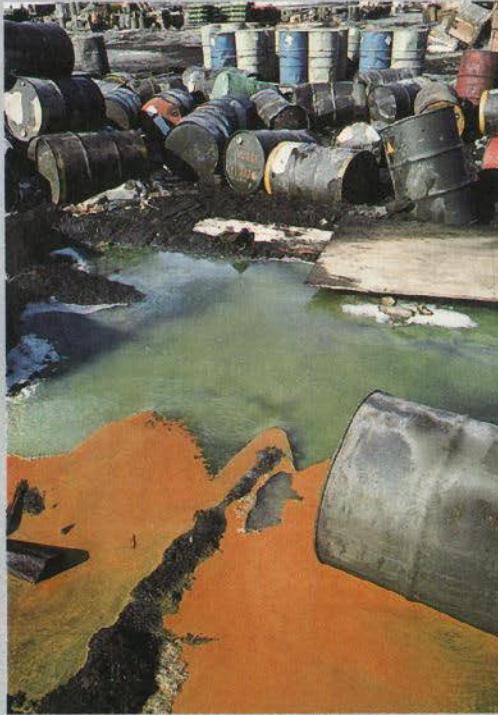
Susanne Paulsen



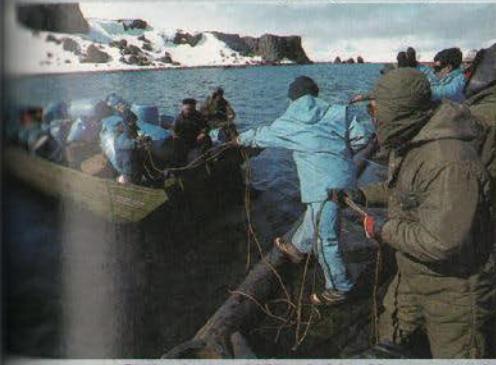
US-Flugzeug, 1973 abgestürzt



Argentinische Station, 1984 abgebrannt



Altöl-Sumpf, McMurdo-Station, USA



Chilenischer Müll wird im Meer versenkt



Sowjet-Schrott, Bellingshausen-Station

## Wenn der Wind aus Süden weht, trübt neuer Dreck den klaren Norden

**D**ie Bilanz des „Fish and Wildlife Service“, der Abteilung für Fischerei und Jagd im US-Innenministerium, fiel unerwünscht eindeutig aus. Seit der Erschließung von Ölfeldern in der Prudhoe Bay an der Nordküste Alaskas und dem Bau der Trans-Alaska-Pipeline seien, berichtete die Behörde Ende 1987 ihrem Dienstherrn, 4500 Hektar Wildnis verloren gegangen. Jedes Jahr würden an den Bohrstellen 750 Millionen Liter Süßwasser verdickt, die Bestände vieler Vogelarten seien geschrumpft, Bären und Wölfe seltener geworden.

Der Bericht sollte auf Umweltgefährden hinweisen, die bei einem umstrittenen, neuen Erschließungsprojekt entstehen: der Öl suchte im Küstengebiet des „Arctic National Wildlife Refuge“, eines 77 000 Quadratkilometer großen Naturparks zwischen Prudhoe Bay und der Grenze zu Kanada. Doch der Report wurde monatlang vom Innenministerium zurückgehalten: Desse Staatssekretär Donald Hodel hatte längst empfohlen, das Reservat für die Bohrungen freizugeben. Nach der Havarie des Öltankers „Exxon Valdez“ vor der Südküste Alaskas im März 1989 schwand allerdings die Aussicht auf breite Unterstützung für Hodels Empfehlung: 38 Millionen Liter Rohöl flossen in den Prince William Sound, Tausende Seevögel, Seeotter, Fische und Wale fielen der Ölpest zum Opfer. Doch jetzt könnte die Angst vor einer Ölkrise als Folge des Konflikts mit dem Irak die Stimmung wieder kippen lassen und den einmaligen Naturpark in der amerikanischen Arktis erneut gefährden. Das Schutzgebiet dient der mit 180 000 Tieren zweitgrößten Karibu-Herde Alaskas als Kinderstube. Seine Preisgabe wäre eine spektakuläre Niederlage für den amerikanischen Naturschutz – und doch nur eine von vielen Belastungen für die fragile arktische Umwelt. Denn anders als die Antarktis ist das Nordpolargebiet eingekreist von Industrienationen.

Neben den USA und Kanada bohrt auch die Sowjetunion schon seit Jahren nördlich des Polarkreises

nach Öl und Erdgas. Niemand weiß, mit welchen Mengen diese Projekte zu den 3,4 Millionen Tonnen „technischen Verlusten“ an Öl beigetragen haben, die für das Jahr 1989 von der UdSSR erstmals öffentlich zugegeben wurden. Im westsibirischen Fördergebiet Tjumen südlich des Polarkreises wurden Rohre ohne Isolationsmaterial auf Sumpfgebiete verlegt. Im Sommer 1990 gingen allein an einer einzigen Leitung 400 Tonnen Öl „wegen Metallkorrosion“ verloren. Dagegen nehmen sich die summierten Leckagen in Alaska von 1977 bis 1987 fast besehden aus: 10 000 Tonnen Rohöl durch Rohrbrüche, Ventile Fehler und Tankerkollisionen.

Nicht nur verlorengesenes Öl belastet Wasser und Erde, auch ganze Flussbetten werden leergeräumt, um Kies für Bohrfüllungen und den Bau von Erschließungsstraßen zu gewinnen. Entlang der Transportpisten legt sich Staub auf die helle Decke des arktischen Dauerpflasterbodens. Da die verdunkelte Oberfläche mehr Strahlungswärme aufnimmt, kommt ein „Thermokarst“ genannter Prozeß in Gang: Die vereiste Erde schmilzt oberflächlich und versumpft, da das Tauwasser den Frostboden in der Tiefe nicht durchdringen kann.

**A**ber auch dort, wo nicht nach Öl gebohrt wird, wohin zuvor noch nicht einmal ein Mensch den Fuß gesetzt hat, finden sich Spuren der Zivilisation: Aus Industrieschloten rund um den Polarkreis werden Ruß, Schwefelverbindungen und andere Schadstoffe Richtung Norden geblasen. Die Stoffe ballen sich zu Partikeln – Aerosolen – zusammen, die wie winzige Federn in der Luft hängen. Sie bewirken in der Arktis, wo der Himmel von Natur aus nahezu staubfrei ist, bei bestimmten Wetterlagen den „Arktischen Dunst“. Der amerikanische Atmosphärenforscher Russ Schnell fand in solchen Dunstlagern über Spitzbergen so hohe Aerosol-Konzentrationen, wie sie nicht einmal vor stark industrialisierten Regionen der US-Ostküste gemessen werden.

Schwermetall-Analysen von grönlandischem Schnee ergaben, daß



Kohlebergbau bei Barentsburg auf Spitzbergen



Elchkuh mit Kalb unter der Alaska-Pipeline



Brand einer leckenden Ölleitung am sibirischen Ob

der Bleigehalt seit prähistorischer Zeit um das Zweihundertfache gestiegen ist. Einen ganzen Cocktail giftiger Chemikalien fanden Wissenschaftler in kanadischem Schnee, darunter Hexachlorcyclohexan (HCH), ein Abbauprodukt des Herbizids Lindan, und Polychlorierte Biphenyle (PCB), die

meist durch Industriemüll an die Umwelt gelangen. Die PCBs wurden auch im Fleisch von Walen, Robben und Eisbären nachgewiesen – und natürlich auch bei Menschen, die sich von Wildtieren ernähren: den Inuit. Die Muttermilch von Inuit-Frauen aus dem Norden der kanadischen Provinz Québec



Wilde Müllkippe an der Prudhoe Bay, Alaska



Bergbausiedlung im jakutischen Neryongri, Sibirien



Fahrspuren im Permafrostboden, Jamal-Halbinsel, Sibirien

enthalt sogar die weltweit höchste Konzentration des krebserzeugenden Gifts.

Angesichts solch handfester und im Prinzip längst bekannter Gefahren ist es erstaunlich, daß erst 1989 der finnische Diplomat Esko Rajakoski auf die Idee verfiel, eine Umweltschutz-Konferenz der acht

Arktis-Anrainerstaaten anzuregen. Rajakoski war aufgefallen, daß die Arktis in Sachen Landschaftsschutz noch rechtliches Entwicklungsland ist: Im Unterschied zur Antarktis ist im Norden bisher nur die Wasserverschmutzung durch Schiffe international geregelt.

Martin Meister

nichts geschehen. Weniger Leute mit Protestplakaten als am Tag zuvor.

**Fünfter Akt.** Holzpinguine auf Schlauchboote verladen. Rücktransport zum Schiff.

Die Pinguin-Aktion ist zu Ende, die Walfang-Kampagne kann beginnen. irgendwo in dem Seegebiet von 750 000 Quadratkilometern, das vor uns liegt, sollen japanische Schiffe Jagd auf Zwergwale machen. Zwar hat die Internationale Walfangkommission den Walfang grundsätzlich verboten, aber für „wissenschaftliche“ Zwecke gibt es eine Ausnahmegenehmigung. Arne Sørensen, unser dänischer Kapitän, vermutet, daß die Japaner im Zickzack das Seegebiet vor der Küste absuchen werden. Wenn die „Gondwana“ gerade Kurs nach Westen hält, könnten wir, so glaubt er, die Schiffe vielleicht auf dem Radarschirm orten oder einen Funkspruch abfangen.

Arnes Plan erscheint einigen Crewmitgliedern ziemlich zweifelhaft. Sie offerieren eigene Suchmethoden. Schiffsarzt Cornelius Van Dorp zum Beispiel will den Standort der Walfänger mit einem Korkstückchen ausmachen, das er an einem Faden über der Karte schwingen läßt. Auch Angelika Klausbruckner findet diesen Ansatz brauchbar, will aber die Sache mental angehen. Sie hat ihr eigenes Kupferpendel aus Wien mitgebracht, hält es nun über die „Karte der Admiralität Nummer 4074, Kap Darnley bis Tasmanien“ und spricht: „Frage den Ozean . . . ist es hier? . . . ist es da?“ Wo das Pendel kleine Kreise in die Luft zeichnet, sollen Schiffe sein.

Da bislang alle anderen Versuche ebenfalls erfolglos waren, erregt Angelikas Methode einige Aufmerksamkeit. Doch die Japaner bleiben unauffindbar. Zehn Tage später brechen wir die Suche ab.

In der Nacht vor unserer Ankunft im neuseeländischen Dunedin trägt eine nördliche Brise bei ruhiger See etwas heran, was wir lange vermisst haben: den Duft von frisch gemähtem Gras. □

Der Engländer **Stuart Franklin**, 34, ist Mitglied der Fotoagentur Magnum. Die drei Monate lange Fahrt der „Gondwana“ war für ihn ein „existenzielles Erlebnis“. Seinen Bericht hat die Hamburger Journalistin **Susanne Paulsen** übersetzt und bearbeitet.







## **KLIMA**

Mächtige Eisströme wie der Hubbard-Gletscher in Alaska prägten die Metapher vom »ewigen« Eis. Doch selbst für den Bestand der gigantischen Eisschilde Grönlands und der Antarktis – den Kühlaggregaten der globalen Wettermaschine – gibt es auf Dauer keine Garantie: Die befürchtete Erwärmung der Erde durch den Treibhauseffekt hätte vor allem in den Polargebieten dramatische Folgen

# **WENN ES DEM EIS ZU WARM WIRD**



Drei riesige Tafel-eisberge, jeder etwa doppelt so groß wie Luxemburg, rissen sich 1986 vom antarkti-schen Filchner-Schelf-eis los. Satelliten-kameras hielten den großen Bruch fest. Er hatte sich schon Jahrzehnte zuvor durch einen sich weitenden Spalt in der 500 bis 600 Meter dicken Tafel angekündigt

## Aderlaß für die Antarktis

**D**ie größten Stücke machen sich am leisesten davon. „Wenn riesige Eistafeln abbrechen“, erzählt der Polarforscher Ernst Augstein, „können Sie praktisch danebenstehen und zusehen, wie der Spalt sich öffnet – Sie dürfen nur nicht vergessen, rechtzeitig auf die richtige Seite zu wechseln.“

Als im Oktober 1986 vom antarktischen Filchner-Schelfeis so viel gefrorenes Weiß auf einmal abriß, wie lange nicht mehr beobachtet worden war, stand niemand am Spalt. Doch Satellitenkameras registrierten den gigantischen Bruch. So konnten Fachleute in aller Welt die Geburt des Riesen-Eisbergs verfolgen – auch Professor Augstein, der am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven Wetter und Klima polarer Regionen erforscht.

Rund 20 000 Quadratkilometer Eis – eine Fläche so groß wie Rheinland-Pfalz – waren losgebrochen und in drei Teile zerfallen. Wenige Wochen zuvor hatte sich schon einmal weiter nördlich ein Kolos halber Größe abgespalten. Im Jahr darauf riß sich an der anderen Seite der Antarktis, am Übergang zur Ross-See, eine Eistafel los, auf der das Saarland zweimal Platz gehabt hätte. Sie nahm historischen „Boden“ mit aufs Meer: Die Walfisch-Bucht im Schelfeis, von der aus Roald Amundsen 1911 zu seiner Südpol-Expedition aufgebrochen war, verschwand von ihrem Platz auf der Landkarte.

Insgesamt verlor die Antarktis durch die spektakulären Abbrüche zwischen März 1986 und Oktober 1987 rund 9000 Kubikkilometer Eis an das Meer – genug, um die Bundesrepublik unter einem 36 Meter dicken Frostpanzer zu begraben. In einem Jahr wachsen jedoch nur etwa 2500 Kubikkilometer Eis aus dem Schnee nach, der auf den südpolaren Kontinent fällt. Damit drohte das typische Wechselspiel zwischen „normalem“ Eisberg-Verlust und Eis-Gewinn aus dem Gleichgewicht zu geraten. „Das darf sich so bald nicht wiederholen“, warnte der amerikanische Ozeanograph Stanley Jacobs, „oder die Antarktis beginnt zu schrumpfen.“

Jacobs' Warnung ist im Prinzip berechtigt: Die Erde, darüber gibt es heute kaum noch Zweifel, heizt sich auf. Schuld daran ist der Treibhaus-Effekt: vor allem durch Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), das seit der industriellen Revo-

lution mit dem Verfeuern fossiler Brennstoffe in gigantischen Mengen zusätzlich in die Atmosphäre gelangt, aber auch durch andere „Treibhausgase“ wie Methan. Sie sorgen dafür, daß weniger Wärmestrahlung als bisher von der Erdoberfläche ins All entweicht. Da aber die Sonne weiterhin Energie in die irdische Atmosphäre pumpt, steigen – wie in einem Glashaus – die Temperaturen (siehe GEO-Wissen Nr. 2/87 „Klima – Wetter – Mensch“).

Würde diese Aufheizung durch nichts gebremst, wäre ein Abschmelzen der polaren Eiskappen unausweichlich. Allein die Verflüssigung der rund 30 Millionen Kubikkilometer Antarktis-Eis ließe den Wasserstand des Weltmeeres um 60 bis 70 Meter steigen; die der grönlandischen Kappe trüge weitere acht Meter bei. Die norddeutsche Tiefebene würde zum Revier für Seesterne und Miesmuscheln. Hunderte von Millionen Menschen müßten aus niedrig gelegenen Küstengebieten fliehen. Der Planet Erde würde sich wieder jenem eislosen Zustand nähern, der für den allergrößten Teil der Erdgeschichte vorherrschte.

#### Schmelzen die Eiskappen des blauen Planeten?

Doch so naheliegend der Zusammenhang zwischen Treibhauseffekt und schwindenden Eiskappen auch zu sein scheint – Wissenschaftler haben keine schnelle Antwort auf die Frage, ob die Abbruchserie in der Antarktis tatsächlich den Anfang der großen Schmelze signalisiert.

Gerade die Meteorologen sind zurückhaltend geworden mit der Vorher sage drastischer Umschwünge im Klimageschehen. Noch Mitte der siebziger Jahre hatten amerikanische Forscher nach einer Periode besonders andauernder und schneereicher Winter in der nördlichen Hemisphäre vor einem „Klimaschock“, ja vor einem „Schneebitz“ gewarnt. Die Gebirgs gletscher wuchsen damals, das Meereis um Island dehnte sich aus – und ein Buch mit der Frage im Titel: „Droht eine neue Eiszeit?“ beunruhigte seine Leser. Später wurde offenbar, daß die Jahre zwischen 1940 und 1975 nur eine kühle Ausnahme von der Erwärmungs-Regel waren.

Vorsicht ist darum auch bei der Bewertung der jüngsten Rekordabbrüche geboten: In den Schelfeisgebieten der Antarktis lassen sich solche Vorgänge erst seit gut zwei Jahrzehnten – seit es detailreiche Satellitenfotos von dieser



Region gibt – systematisch verfolgen. „Nach so kurzer Zeit“, sagt Ernst Augustin, „können wir die Intervalle und Mengen noch gar nicht kennen, in denen das Eis abbricht. Offenbar hat sich vor den Riesenabrissen besonders viel Eis aufgestaut.“ Im antarktischen Weddellmeer, das relativ gut erkundet ist, habe er nach 20 Jahren verhältnismäßig kleinen Gebröckels an den Schelfeiskanten auf einen Abbruch großen Stils „geradezu gewartet“.

Möglich also, daß der Massenabriss des Schelfeises noch keine Flutgefahr bedeutet. Doch wäre dies noch keine Entwarnung: Die Eiskappen könnten, statt laut zu brechen, auch leise schmelzen – am Schelf, auf dem Meer und im Land. Das Inlandeis lässt bis zu vier Kilometer mächtig auf den Gesteinssockeln Grönlands und der Antarktis. Dort, wo es auf flachen Meeresboden – den Schelf – hinausfließen kann, bildet es riesige, mehrere hundert Meter mächtige Eisscheiben, etwa das Ross- oder das Filchner-Schelfeis. Dort, wo die Meerestiefe zunimmt, schwimmt das Schelfeis auf und bricht schließlich in gewaltigen Taufeisbergen ab.

#### **Schon seit Jahrzehnten weichen Gletscher aus den Tälern zurück**

Meereis dagegen schwimmt stets frei auf dem Wasser. Es entsteht nicht aus Schnee, sondern gefriert an der Oberfläche des Ozeans und bildet eine nur wenige Meter dicke Schicht. Es könnte deshalb ungleich rascher abschmelzen als die mächtigen Frostpakete über Festland und Schelf. „Bevor die in der Antarktis mal völlig abgetaut sind“, meint Rick Frolich vom British Antarctic Survey, „lebt von uns längst keiner mehr.“

Das gilt selbst dann, wenn sich der bisherige Wärmetrend sprunghaft verstärkt – wenn der globale Durchschnittswert der Temperatur an Erd- und Meeresoberfläche gleich um mehrere volle Grade ansteigen würde. Im Lauf des 20. Jahrhunderts hat sich dieser Wert, wie Klimatologen errechneten, um 0,3 bis 0,5 Grad erhöht. Wenn das auf der Erde gleichmäßig geschehen ist, müßten in allen Randbereichen vereister Gebiete – dort, wo es im Sommer um die 0 Grad warm wird –, mehr Schnee und Eis geschmolzen sein.

Schmelzwasser vom Festland wäre in die Ozeane abgelaufen, der Wassersstand global gestiegen. Schmelzendes Meereis hätte dagegen, da es schwimmt, keinen Anstieg des Was-

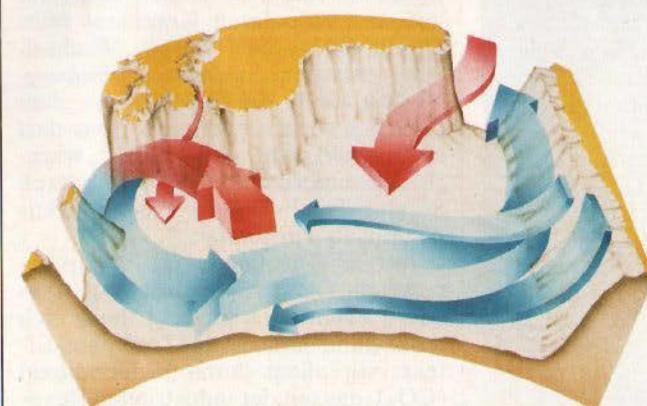
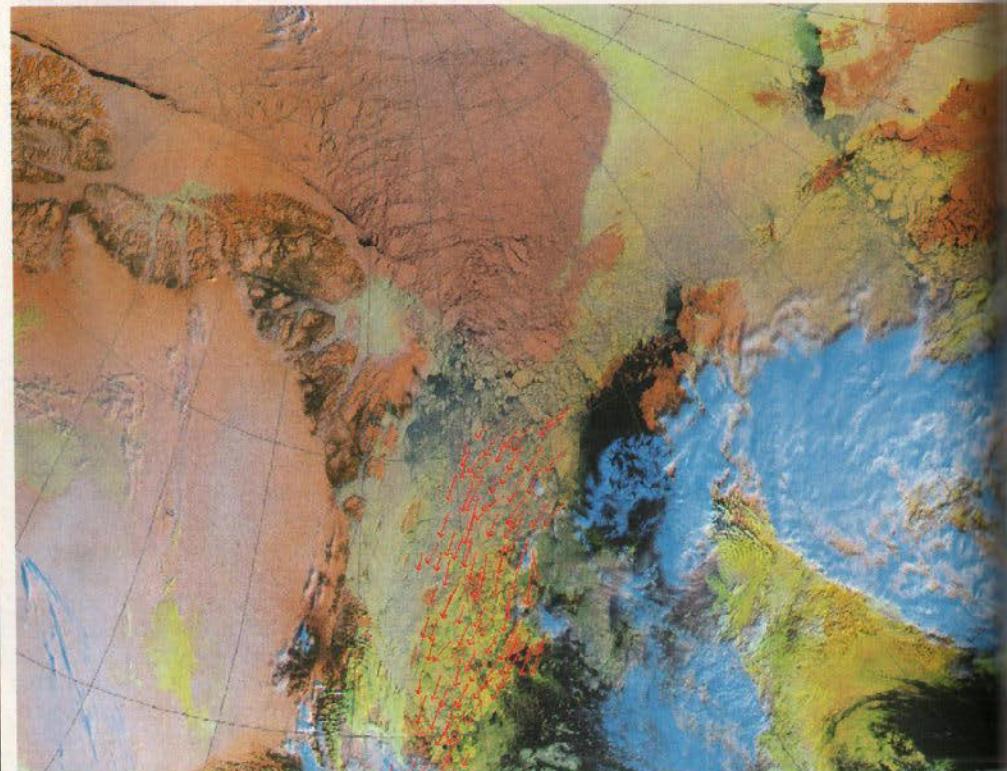
serniveaus bewirkt – ein physikalisches Gesetz, das jeder nachprüfen kann, der einen Drink „on the rocks“ lauwarm werden läßt.

In nicht-polaren Gebieten beobachten Forscher tatsächlich, daß das Eis schrumpft. In den Alpen, den Rocky Mountains und in asiatischen Gebirgen weichen viele Gletscher schon seit Jahrzehnten aus den Tälern zurück. Auch die Wasserstandswerte aus dem 19. Jahrhundert deuten auf ein Ansteigen des Meeresspiegels, wobei berücksichtigt werden muß, daß an den Küsten der Weltmeere unterschiedlich häufig, in Südamerika und Ozeanien fast gar nicht gemessen wurde. Der ka-

nadische Geophysiker Richard Peltier hat alle verfügbaren Daten gesichtet und auch mögliche Täuscheffekte berücksichtigt – etwa Wasserstandsanzieger, die auf fallendem oder steigendem Land stehen. Ergebnis seiner Studie: Im Lauf der letzten fünfzig Jahre stieg der Meeresspiegel um etwa zehn Zentimeter – „eine Rate, die stark auf das Schmelzen von Gletschern und Eisschilden hinweist“.

Peltiers Berechnungen dienten dem amerikanischen Glaziologen Mark Meier als Basis für die Kalkulation der möglichen Meeresspiegel-Bewegungen in den nächsten 60 Jahren. Demnach lassen schmelzende Eismassen

## **Wo kaltes Wasser in die Tiefe der Ozeane sackt**



Die Grönland-See ist eine von drei bekannten Regionen im Ozean, wo kaltes, nähr- und sauerstoffreiches Meerwasser in große Tiefen sackt. Das Satellitenbild zeigt nach Süden strömendes Meereis zwischen Nordost-Grönland (links) und Spitzbergen (rechts oben): Die Pfeile verraten die Tagesstrecke einzelner Schollen; Wolken sind blau und gelb eingefärbt. Wie das kalte Wasser jahrelang die Meerestiefen durchströmt, enthüllt die Grafik

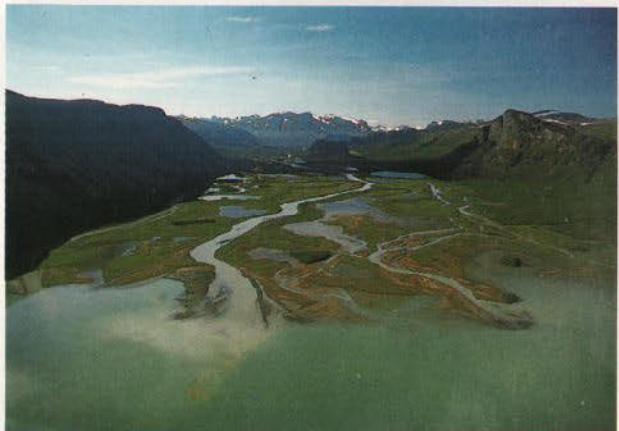
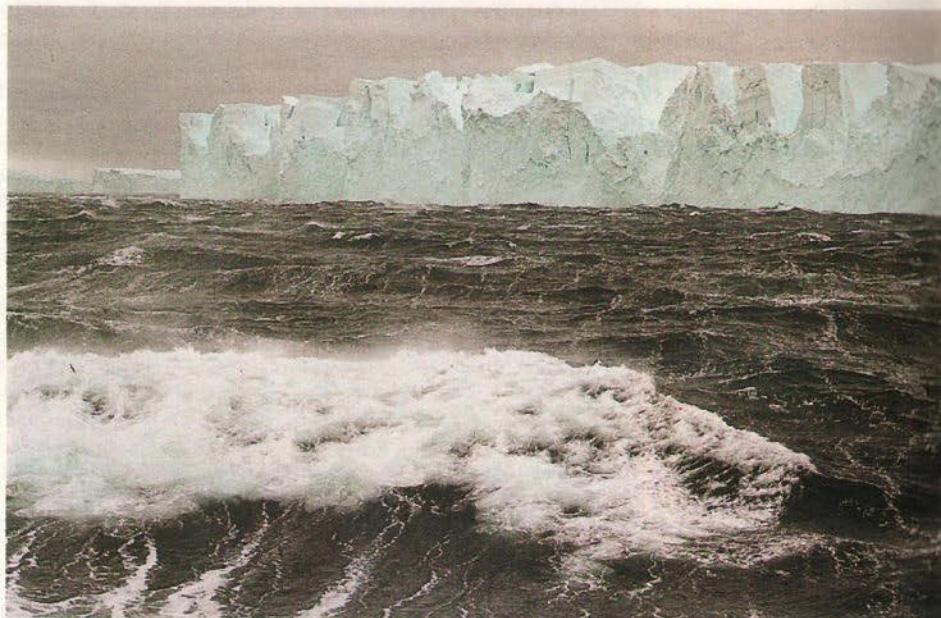
außerhalb von Arktis und Antarktis das Niveau der Ozeane um 16 Zentimeter ansteigen. 20 Zentimeter kommen zusätzlich durch einen Faktor hinzu, der leicht übersehen wird: die thermische Ausdehnung des Wassers. Wie das Quecksilber im Thermometer, so weitet sich auch Wasser, wenn es wärmer wird. Geschieht das im Ozean, erhöht sich der Meeresspiegel – ein Effekt, den Ozeanologen und Geophysiker für viel wahrscheinlicher halten als alle Spekulationen über schmelzendes Polar-Eis.

Denn gerade für das Inlandeis der Antarktis zeigen Modellrechnungen ein Wachstum an und damit – weil mehr Wasser im Eis gebunden wird – ein Absinken des Meeresspiegels um mehrere Millimeter. Wenn nämlich die Atmosphäre wärmer wird, erhöht sich auch die Verdunstungsrate über den Ozeanen und die Kapazität der Luft, Wasserdampf zu halten. Über den Polen bewirkt die höhere Feuchtigkeit mehr Schneefälle, so daß – mindestens vorübergehend – die Eispanser noch dicker werden.

Tatsächlich zeigt ein Vergleich von Satellitendaten aus den Jahren 1978 und 1985, den Forscher der US-Raumfahrtbehörde Nasa vorgenommen haben, daß Grönlands Eisschild südlich des 72. Breitengrades um knapp 1,40 Meter angewachsen ist. Allerdings herrschen in Südgrönland im Sommer schon jetzt Temperaturen weit über null Grad. Wenn die Sommerwerte durch globale Erwärmung weiter ansteigen, wird sich, warnen Forscher des Grönländischen Geologischen Instituts, der Eisgewinn in den nächsten 50 Jahren in Eisverlust umkehren.

Auch an den Rändern der Antarktis herrscht an einigen Tagen des Südsommers Tauwetter. Doch polwärts, auf dem kilometerhohen Eisplateau, sinken die Temperaturen weit unter die am Nordpol ab: Das Jahresmittel des antarktischen Hochlands liegt bei minus 50 Grad. Selbst eine zehn Grad wärmere Atmosphäre fiele da kaum ins Gewicht. Das Südpolargebiet würde weiterhin das bleiben, was es heute ist: einer der beiden Haupt-Kühler im Klimasystem unseres Planeten.

Denn wie gewaltige Kühlaggregate gleichen Arktis und Antarktis letztlich den Wärmeüberschuß aus den Tropen wieder aus. Dabei werden riesige Luftmassen bewegt, die Wind und Wetter der ganzen Welt prägen. Das Temperaturgefälle zwischen dem Äquator und den Polen treibt aber auch die großen Strömungen der Ozeane an – mit weitreichenden Folgen für das globale Klima.



**Polkappen und Gebirgs-gletscher binden gigantische Wassermassen. Normalerweisegleicht sich der Eis-verlust beim Kalben von Gletschern (oben: antarkti-scher Eisberg) oder som-merlichen Schmelzen (links: Sarek-Nationalpark, Nordschweden) durch ent-sprechende Schneefälle aus. Gerät jedoch die Erde klimatisch aus dem Gleichgewicht, kann es zu ei-nem dramatischen An-stieg – oder Fall – des Meer-esspiegels kommen**

## **Wacklige Balance zwischen fest und flüssig**

Wie entscheidend gerade die bisher wenig erforschte Kühlung des Ozeans in den hohen Breiten ist, zeigt die Überlegung des Hamburger Meereskundlers Jens Meincke: „Auch wenn unsere Erfahrungen an den Badestränden dagegensprechen, so ist das Weltmeer doch ein kaltes Meer. Röhrt man alles Wasser kräftig durch, hat die Mi-schung nur eine Temperatur von 3,9 Grad.“ Da der Wärmeaustausch mit dem Meeresboden nur gering ist, be-stimmt vor allem der Kontakt mit der Atmosphäre die Temperatur des Ozeans. Daß diese im Mittel so niedrig liegt, beweist, so Meincke, daß die kalten Polregionen „die entscheidenden Kontaktzonen zwischen Weltmeer und Atmosphäre sind“.

Das Wasser im Nordpolarmeer und Europäischen Nordmeer sowie im Drei-Ozean-Gürtel um die Antarktis ist, wie Tiefenmessungen zeigen, in

weiten Bereichen einheitlich geschich-tet: Warme Lagen wechseln sich mit kalten ab, salzreiche mit salzarmen, ohne sich zu mischen. Dadurch wird verhindert, daß kaltes, aber sauer- und nährstoffreiches Oberflächenwasser der polaren Meere gleichmäßig ab-sinkt und Tiefenströmungen auf-frischt, die in wärmeren Breiten wie-der aufquellen. Weltweit kennen Ozeanologen bisher nur drei „Schluck-löcher“, in denen Sekunde für Sekun-de viele Hunderttausende von Kubik-metern eiskalten Wassers die Schich-tung durchbrechen: in der Grönland- und der Labradorsee am Nordpol so-wie im südpolaren Weddellmeer. Sie bestimmen mit einem Anteil von fünf Prozent der Meeresoberfläche die Wärme-Eigenschaften von 75 Prozent der ozeanischen Wassermassen.

Wie das möglich ist, verdeutlichen Untersuchungen des Hamburger

Ozeanographen Detlef Quadfasel und seines Kollegen Bert Rudels vom Norsk Polarinstitut. In der Grönlandsee, so fanden sie heraus, lassen eisige Winde das Oberflächenwasser beständig gefrieren. Dabei wird das Meersalz nicht im Eis mit eingeschlossen, sondern reichert sich in einer wenigen Meter dicken Schicht unter der Frostdecke an. Schließlich macht die zusätzliche Salzfracht das Wasser dort so schwer, daß es in den Bereich nicht so kalten Tiefenwassers einbricht. Dieses wärmeres Wasser wird gleichzeitig nach oben gedrückt, schmilzt dort abermals Eis, und der Zyklus beginnt von neuem. So wird das Meer nach und nach bis zum Boden in 3500 Meter Tiefe durchmischt.

Am Grund des Atlantik tritt, so vermuten die beiden Forscher, das kalte Wasser in eine erdumfassende Strömungsschleife ein – getrieben von der Grönlandsee als einer der stärksten Motoren (siehe Grafik Seite 80). Dieser Motor könnte, befürchtet Quadfasel, eines Tages ins Stocken kommen: Würde die Atmosphäre über der Grönlandsee wärmer, könnte weniger Wasser zu Meereis erstarrten. Gleichzeitig würde Schmelzwasser vom Festland die obere Meeresschicht aussüßen, wodurch das Wasser nicht mehr in die Tiefsee absänke. So könnte vom Nordmeer aus das gesamte Strömungssystem der Ozeane durcheinandergeraten. Weitreichende Klimaveränderungen wären dann unausweichlich.

#### Auch der Golfstrom scheint einst kurzfristig umgelenkt worden zu sein

Auch andere Wissenschaftler befürchten, daß veränderte Eigenschaften des Ozeans das Klimageschehen umkrempeln. Wie und in welchem Zeitraum sich solche Störungen auswirken, ist allerdings noch kaum bekannt. Denn die Wassermassen der Ozeane – sie bedecken rund 70 Prozent der Erdoberfläche – reagieren ungleich träge auf Temperatur-Schwankungen als die irdische Lufthülle.

Immerhin zeigen Modellrechnungen, daß eine Verdoppelung der Süßwasserzufluhr des kanadischen St.-Lorenz-Stroms in die arktische Labradorsee die vertikale Vermischung der Wasserschichten dort binnen kurzem fast zum Erliegen bringen würde. Der amerikanische Geochemiker Wallace Broecker vermutet, daß bisher unerklärte Temperatursprünge vor 10 700 Jahren auf Grönland durch Schwankungen der im Nordatlantik absinkenden Kaltwasser-Mengen hervorge-

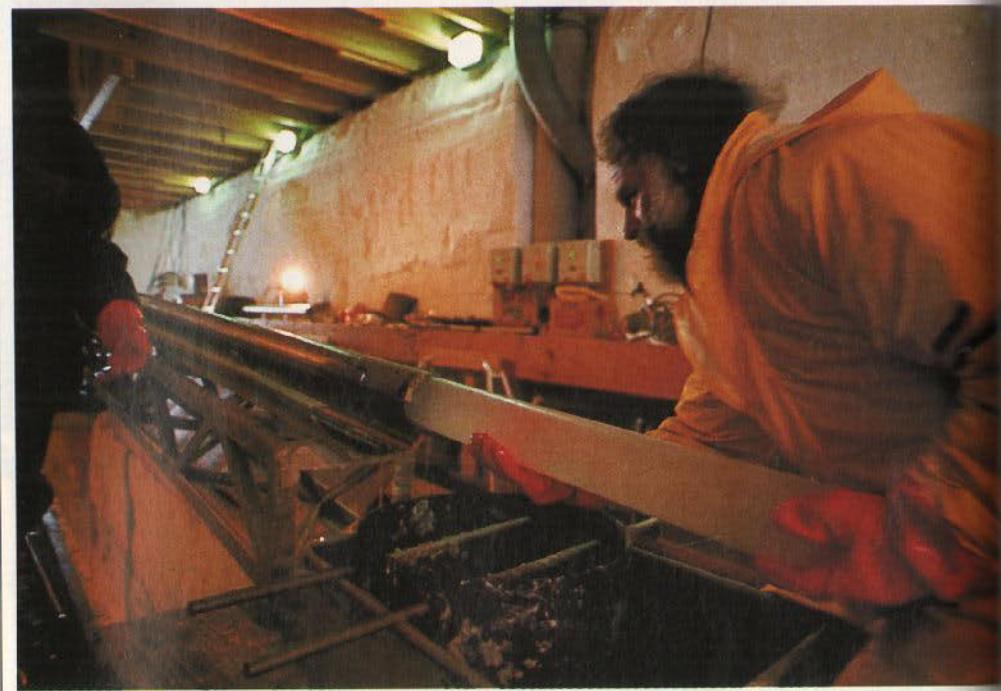
bracht wurden. Auch der Golfstrom scheint damals durch plötzliche Schmelzwasserzufluhr in den Nordatlantik kurzfristig umgelenkt worden zu sein.

Besonders deutlich müßten sich solche Schwankungen auch heute an der Meereis-Produktion ablesen lassen. Um eine Antwort auf die Frage zu finden, ob die Gesamtfläche vereisten Meeres kleiner wird, haben die Amerikaner William Campbell und Per Gloersen die bisher wohl umfassendste Sammlung von Satellitendaten ausgewertet: radiometrische Messungen über beiden Polen im Zwei-Tages-Abstand zwischen 1978 und 1987. Trotz des Aufwands erhielten die Forscher keine eindeutige Antwort: Die Summe aller beobachteten Eisflächen im Lauf

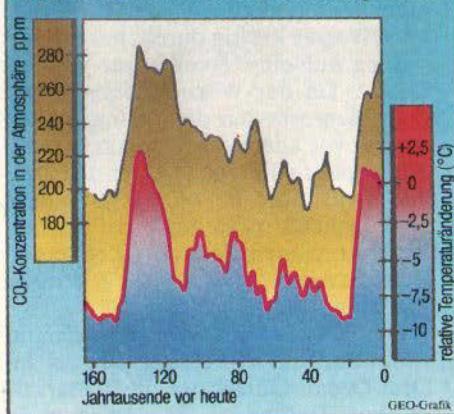
des knappen Jahrzehnts blieb zwar in etwa gleich, aber die maximale Eisbedeckung pro Winter ging leicht zurück, während gleichzeitig der Anteil offener Wasserflächen im Meereis sank. Mit anderen Worten: Das Eis konzentrierte sich auf eine kleinere Fläche, ohne jedoch weniger zu werden.

Einzelbeobachtungen bestätigen dies allerdings nicht. Dem Klimatologen Torgny Vigne vom Norsk Polarinstitut fiel zum Beispiel auf, daß in der nördlich Skandinaviens gelegenen Barentssee gegen Ende der Schmelzperiode im August nur noch ein Viertel des Eises übriggeblieben ist, das vor 20 Jahren dort gemessen wurde. Und auch der Engländer Peter Waldhams vom Scott Polar Institute der Cambridge University registrierte einen

## Gefrorene Chroniken aus uralten Gletschern



**CO<sub>2</sub>-Konzentration und Lufttemperatur**



Tiefer als je zuvor bohren derzeit amerikanische und europäische Forscher dort, wo das grönlandische Eis am dicksten ist. Aus den schließlich 3200 Meter langen Bohrkernen wollen sie den Klimawandel während der letzten 200 000 Jahre rekonstruieren. Die bisherige Rekordbohrung – 1987 bei der sowjetischen Antarktisstation Wostok vollendet – ermöglichte einen 160 000 Jahre zurückreichenden Vergleich der Temperatur mit dem atmosphärischen Gehalt des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid: Je kälter es war, desto weniger CO<sub>2</sub> enthielten die analysierten Luftblaschen

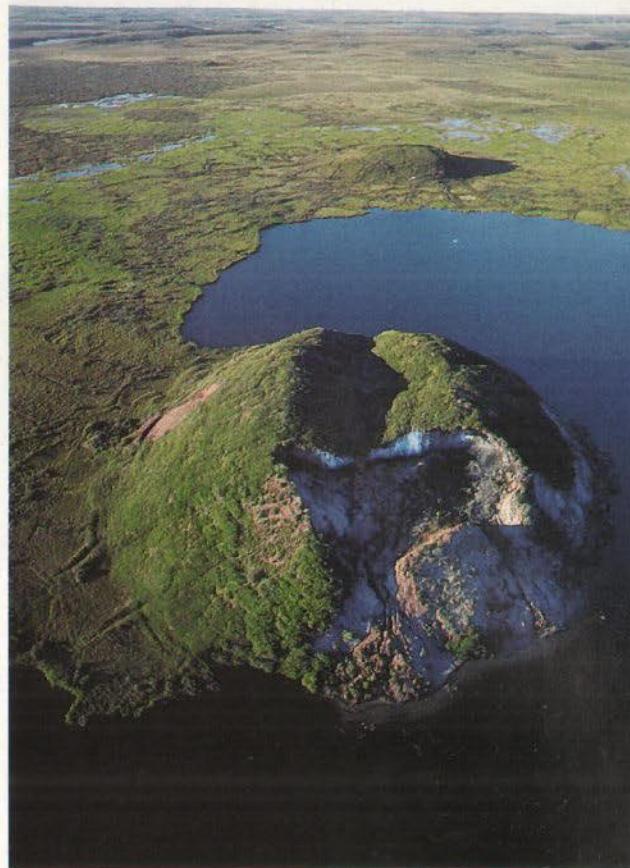
Meereisschwund, als er Echolot-Messungen auswertete, die britische U-Boote unter dem arktischen Packeis aufgezeichnet hatten: 1987 war die Eisdecke etwa 400 Kilometer nördlich von Grönland nur noch 4,5 Meter dick, während sie elf Jahre zuvor noch 5,5 Meter Mächtigkeit hatte.

Meereis ist vor allem deshalb ein guter Indikator für polare Klimaschwankungen, weil es auf relativ „warmen“ Wasserschichten schwimmt. Daher reißt die Eisdecke der Polar-meere mancherorts selbst im Winter auf und bildet „Polynyas“ genannte offene Wasserflächen. Durch sie entweicht Ozeanwärme in die wesentlich kältere Atmosphäre – ein Phänomen, das teilweise als „Seerauch“ direkt sichtbar ist. Daran wird auch deutlich, daß Meereis wie ein weißer Deckel über dem Wasser liegt: Nach unten hält es Wärme zurück, nach oben reflektiert es einen Großteil der einfal-lenden Sonnenstrahlung. Wo die dunkle Meeresfläche freiliegt, wird umgekehrt viel Solarwärme absorbiert.

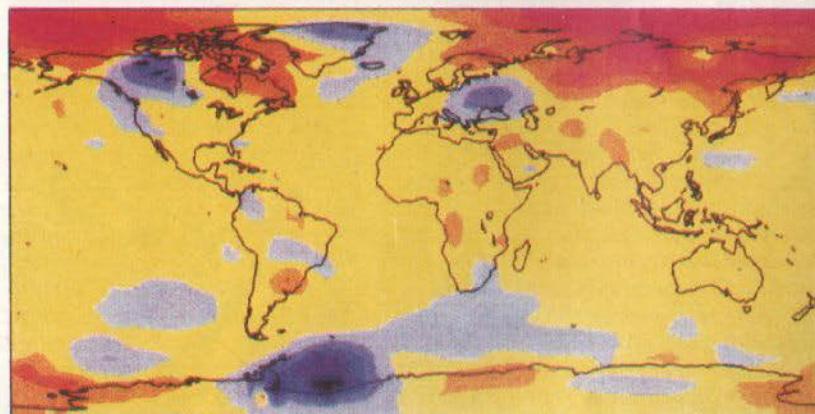
Den unterschiedlichen Reflexions-eigenschaften von Meereis und Wasser – ihrer „Albedo“ – schenkten Forscher schon bei den ersten, mit Hilfe von Großrechnern entwickelten Klimamodellen besondere Aufmerksamkeit: Die Computer sollten simulieren, wie sich die Durchschnittstemperatur der Erde bei einer Verdoppelung des Kohlendioxid-Gehalts der Atmosphäre entwickeln würde. Fast übereinstim-mend erbrachten die Modellrechnun-gen verschiedener Institute einen Welt-Mittelwert von plus 4 bis 5 Grad über einen Zeitraum von 30 Jahren. Mehr noch: In den Randzonen von Arktis und Antarktis wurde ein regionaler Winterhöchstwert von plus 10 Grad errechnet.

Dieser gewaltige Temperatursprung am Polarkreis beruht auf der Annahme der Klimamodell-Konstrukteure, daß sich Meereisschwund und Temperaturanstieg wechselseitig verstärken – der klassische Fall einer positiven Rückkopplung: Höhere Temperaturen lassen das Meereis stärker schmelzen; an den offenen Wasserflächen wird weniger Strahlung reflektiert; die Temperaturen über dem Meer steigen stärker; noch mehr Eis schmilzt usw.

Eine zweite positive Rückkopplung des Treibhauseffektes am Polarkreis könnte die Erwärmung ebenfalls beschleunigen. Denn in der Arktis erstrecken sich gerade hier riesige Tundra-Flächen mit Dauerfrostboden. Dieser sogenannte Permafrost hält seit Jahrtausenden ehemalige Sumpfge-biete des hohen Nordens in eisiger



Ein »Pingo« genannter Hügel stößt durch die morastige Tundra des kanadischen Nordens. Solche Erhebungen entstehen in Permafrost-gebieten, wo der Boden im Sommer nur oberflächlich taut, durch frostbedingte Spannungen. In Dauerfrostböden sind gewaltige Mengen Methan gebunden, die beim Auftauen in die Luft entweichen und dort als Treibhausgas die Erwärmung der Erde weiter beschleunigen würden. Ausgerechnet diese Regionen könnten sich, einem neuen Szenario des Deutschen Klimarechenzentrums in Hamburg zufolge, in den nächsten 30 Jahren besonders stark erwärmen (rote Farbe)



## Im Permafrost lauert noch mehr Treibhausgas

Starre. Würden sie sich erneut in Morast verwandeln, so befürchten Wis-senschaftler, müßten riesige Mengen des Sumpfgases Methan in die At-mosphäre entweichen, wo es den Treibhauseffekt verstärken würde.

Noch wird die Rolle des freigesetzten Methan in Klima-Modellen nicht ein-bezogen, da die Menge des eingeschlossenen Sumpfgases vorerst nur grob abgeschätzt werden kann. Dage-gen berücksichtigen Modelle der zweiten Generation außer den Meßwerten aus Atmosphäre und Meeresoberflä- che auch Daten über das Tiefenwasser der Ozeane und deren Strömungen.

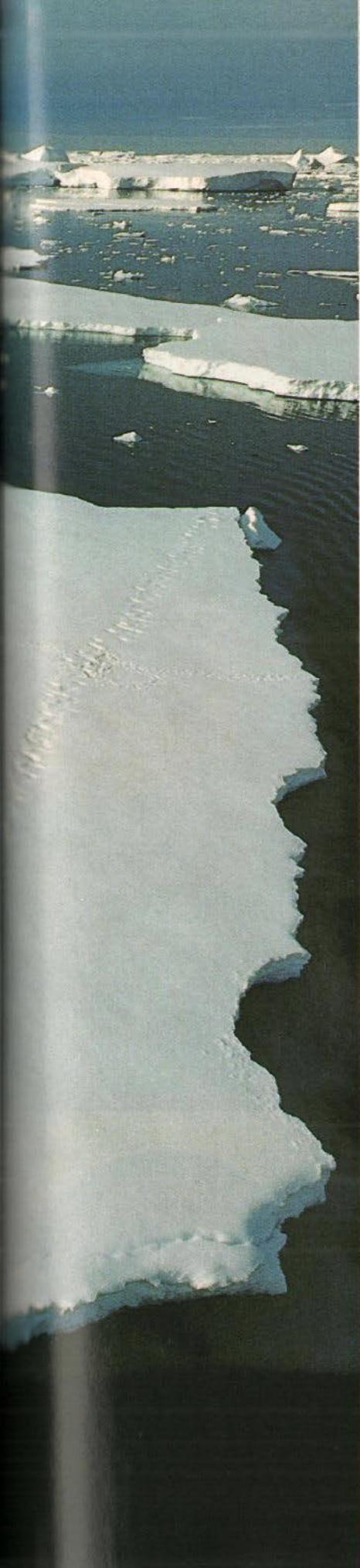
„Die alten Modelle behandeln das Weltmeer nur als 50 Meter tiefe Pfütze“, sagt Ernst Maier-Reimer, einer von 13 Autoren des ersten Modells, das die ozeanische und atmosphärische Zirkulation vollständig erfaßt. „In den alten Modellen wurde die Pufferwir-kung riesiger Wassermassen vernach-lässt.“ Die Ozeane hätten das at-mosphärische Wärme-Plus nicht ab-fangen können, daher sei zwangsläufig ein schneller Temperaturanstieg simu-liert worden.

Das neue Modell wurde am Deut-schen Klimarechenzentrum in Ham-burg entwickelt. Es sagt einen Anstieg



Eine Krabbenesser-Robbe lässt sich mit einer antarktischen Eisscholle gen Norden treiben. Manche Tiere erreichen so die Küsten Australiens, Neuseelands und Südamerikas

## **Freie Drift für faule Robben**



der globalen Luft-Temperatur von 0,3 Grad bis zum Jahr 2015 voraus – mit starken regionalen Abweichungen an Nord- und Südpol:

- In der Arktis soll die Temperatur um 3 bis 4 Grad steigen, was die Gletscherschmelze dort stark beschleunigen würde.
- In der Antarktis dagegen soll es eher kälter werden, und mehr Eis soll sich anlagern.

„Das können vorübergehende Effekte sein“, schränkt Maier-Reimer ein. „Wenn man das Modell über hundert Jahre oder länger laufen ließe, würde das globale Temperaturmittel wahrscheinlich auch um mehrere Grade steigen. Der Ozean in unserem Modell schiebt die Erwärmung nur hinaus.“

#### **Kohlendioxid aus 160 000 Jahre alten Luftbläschen im Eis**

Grundannahme aller Klimamodelle ist, daß CO<sub>2</sub>- und Wärmeanstieg eng zusammenhängen. Dies wurde 1987 durch Ergebnisse einer französisch-sowjetischen Eisbohrung an der UdSSR-Antarktisstation Wostok noch einmal bestätigt – durch eine selten weit zurückreichende und klar gegliederte Chronik der klimatischen Erd-Vergangenheit: Mit dem mehr als 2000 Meter langen Bohrkern kamen Eisproben aus den vergangenen 160 000 Jahren zutage, also aus der letzten Eiszeit, der ihr vorangegangenen, warmen Interglazialzeit und der Eiszeit davor.

Besonders interessierten sich die Forscher für den Kohlendioxid-Gehalt der Bohrsegmente – das Gas bleibt in seiner ursprünglichen atmosphärischen Konzentration in den Luftbläschen im Eis erhalten. Gleichzeitig wurden die unterschiedlichen Mengen von eingefrorem Deuterium bestimmt, eines schweren Wasserstoff-Isotops im H<sub>2</sub>O.

Der Deuteriumgehalt des Eises verrät die Lufttemperatur zu jener Zeit, als das Eis aus Schneeflocken gebakken wurde. Denn der Schnee gefror aus dem Wasserdampf, den die Ozeane verdunsteten. Der schwerere Deuterium-Wasserdampf steigt nicht so leicht in die Atmosphäre auf wie normale H<sub>2</sub>O-Moleküle. Erst bei höheren Temperaturen verdampft es und rieselt über den Polen als Schnee herab. Mehr Deuterium im Poleis deutet also auf wärmeres Klima.

Die Temperaturkurve aus dem Wostok-Bohrkern korrespondiert erwartungsgemäß mit Beginn und Ende der

Eiszeiten (siehe Seite 100). Aber auch mit den Schwankungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre stimmt sie überein – und zwar erstaunlich genau. So stieg der Kohlendioxid-Gehalt vom Kälte-Tiefpunkt der letzten Eiszeit vor 18 000 Jahren bis zum Beginn der Warmzeit vor 10 000 Jahren von 190 ppm (parts per million – Tausendstelpromille) auf 260 ppm (siehe Grafik Seite 82).

Vordergründig scheint damit die klimabestimmende Rolle des CO<sub>2</sub> erwiesen zu sein. Denn mindestens für den Wostok-Zeitraum gilt offenbar: Je mehr Kohlendioxid die Atmosphäre enthielt, um so wärmer war das Klima. So bekommt die Sorge vor dem Treibhauseffekt neues Gewicht. Denn im Lauf des letzten Jahrhunderts stieg die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration mit der wachsenden Verfeuerung fossiler Brennstoffe noch weiter auf über 350 ppm – mehr als in jeder eiszeitlichen Probe.

Für Ernst Augstein ist die Lage jedoch keineswegs eindeutig: „Wenn die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigt und die Temperatur ebenfalls, kann in der Erdvergangenheit ja auch genau der umgekehrte Vorgang abgelaufen sein – erst wurde es wärmer, und deswegen stieg das CO<sub>2</sub>-Niveau.“

Denn nach wie vor ist ungeklärt, warum die CO<sub>2</sub>-Konzentration vor der Zeit menschlicher Einwirkung so stark schwanken konnte. „Fest steht ja“, so Maier-Reimer, „daß wir in den letzten 150 000 Jahren nicht mitgemischt haben können.“ Manche Forscher vermuten die wechselnde Aktivität des marinen Phyto-Planktons – einzelliger Algen in den Ozeanen – als Ursache, ihrerseits ausgelöst durch Schwankungen der Lufttemperatur. CO<sub>2</sub> wäre demnach nur ein den Wärmeanstieg verstärkender Faktor und nicht dessen Auslöser.

Aber selbst in dieser eher passiven Rolle könnte das Kohlendioxid eines fernen Tages verhängnisvoll werden: Um die letzte Eiszeit zur Warmzeit werden zu lassen, genügte ein globaler Temperaturanstieg von nur vier Grad. In der Nordhemisphäre schmolz die Eisdecke auf ein Drittel ihrer ursprünglichen Ausdehnung zusammen. Niemand kann heute sagen, wieviel zusätzliche Grade genügen, um die Kühler unseres Planeten vollends schmelzen zu lassen. □

---

**Martin Meister**, 30, ist seit Juli 1990 Redakteur bei GEO-Wissen. Mit einem Artikel im „Stern“ über die Luftverschmutzung am Nordpol gewann er den 1. Preis im Wettbewerb „Reporter der Wissenschaft“. Er ist außerdem Autor des Beitrags über das Ozonloch.

# Dem Schwund auf der Spur

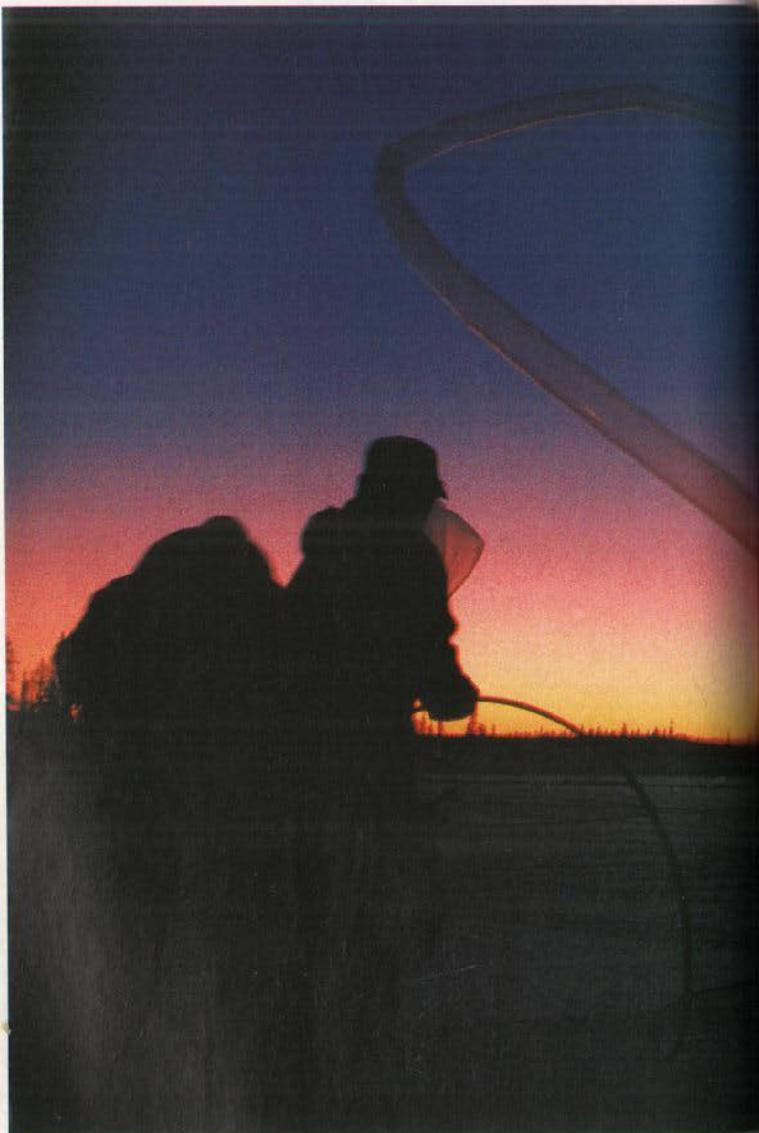
VON MARTIN MEISTER

**D**eutlicher konnte es den Politikern auf der zweiten internationalen Ozonschutz-Konferenz im Sommer 1990 kaum gesagt werden: Jedes Prozent Verlust an Höhenozon führt zu drei Prozent mehr Hautkrebs-Erkrankungen bei den Menschen am Erdboden. So stand es in einem UNO-Expertenbericht, der den Delegierten in London vorgelegt wurde. Bei sinkenden Konzentrationen der Sauerstoff-Verbindung Ozon in der 10 bis 50 Kilometer über der Erdkugel sich wölbenden Stratosphäre wird der biologisch schädigende Anteil ultravioletter (UV-)Sonnenstrahlung nicht mehr ausreichend abgeschirmt. Neben einer erhöhten Krebsrate erwarten Wissenschaftler weiteres Unheil: mehr Augenkrankheiten und eine Schwächung des Immunsystems, schlechtere Getreideernten und ein langsameres Wachstum einzelliger Algen, der Nahrungsbasis allen Lebens im Meer.

Angesichts solcher Schreckensbefunde riefen

selbst konservative Politiker wie die britische Regierungschefin Margaret Thatcher zum Kampf wider die Ozonkiller-Bande der Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW) auf. Der Appell kam reichlich spät: Schon 1974 hatten amerikanische Forscher öffentlich davor gewarnt, daß stratosphärisches Ozon durch die Treib-, Kühl- und Lösungsmittel zerstört werden könne.

Nahe der Erdoberfläche sind diese Substanzen chemisch sehr stabil und darum attraktiv für den technischen Einsatz. Ins Freie versprührt oder verdunstet, steigen sie in 10 bis 25 Kilometer Höhe auf – gerade in jene unteren Bereiche der Stratosphäre, wo sich auch besonders viel Ozon an-

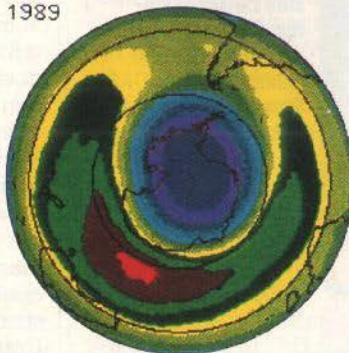




1988



1989



sammelt. Hier herrscht die energiereiche UV-Strahlung der Sonne noch weitgehend ungebremst: Trifft sie auf Ozon-Moleküle, so spaltet sie diese in ein normales Luftsauerstoff-Molekül ( $O_2$ ) und in ein freies Sauerstoff-Atom – und wird dabei neutralisiert. Das freie Sauerstoff-Atom verbindet sich gewöhnlich schnell wieder mit dem nächstbesten  $O_2$ -Molekül zu Ozon ( $O_3$ ). UV-Strahlung knackt allerdings auch FCKW-Moleküle. Dabei wird Chlor freigesetzt, ein aggressiver Ozonspalter.

Manche Forscher glaubten zunächst, das Chlor werde in der Stratosphäre mit Spurenstoffen zu sogenannten Reservoir-Gasen dauerhaft verbunden. Doch der Glaube erwies sich als Wunschdenken: 1985 meldeten britische Wissenschaftler die Entdeckung eines riesigen „Ozonlochs“ über dem Südpolargebiet. Ihre Jahre zurückreichenden Meßdaten zeigten, daß sich die Ozonschicht über der antarktischen Station Halley Bay während der südlichen Frühlingsmonate September und Oktober regelmäßig verdünnt. Erst mit dem Einsetzen des Sommers füllt sie sich wieder auf – ein Phänomen, das in wechselnder Stärke bis heute auftritt.

Von Anfang an war den Forschern aufgefallen, daß sich das Ozonloch nur bei bestimmten meteorologischen Bedingungen ausweitet: Über der Antarktis bildet sich jeweils während des Winters ein riesiger, „Zyklon“ genannter Luftwirbel, in dem die Temperaturen extrem tief sinken. Genau hier reißt regelmä-

ßig gegen Ende der dunklen Jahreszeit auch das Ozonloch auf.

Dieser räumliche und zeitliche Zusammenhang brachte zwei deutsche Forscher auf eine heute weithin anerkannte Theorie: Nach Vorarbeiten anderer Wissenschaftler entrüsteten Paul Crutzen und Frank Arnold von den Max-Planck-Instituten in Mainz und Heidelberg die chemischen Details des Ozonabbaus. Eine Schlüsselrolle in ihrer Theorie spielen hauchfeine Wolken, die im Winter in der unteren Stratosphäre über beiden Po-

larregionen heraufziehen. Dabei handelt es sich um Dunst aus gefrorenen Aerosolen, also festen Schwebeteilchen.

Durch theoretische Überlegungen und Laborexperimente kamen die Max-Planck-Forscher zu der Überzeugung, daß in den Stratosphären-Wolken über dem Südpol nicht allein Aerosole aus gefroremem Wasserdampf schweben, sondern auch winzige Salpetersäure-Kristalle. Sie bilden sich zusammen mit Wasser bei etwa minus 80 Grad – eine Temperatur, wie sie in den Kaltluftwir-

beln der Antarktis häufig herrscht. Dieses Ausfrieren der Salpetersäure setzt auf zwei verschiedenen Wegen elementares Chlor an die Luft:

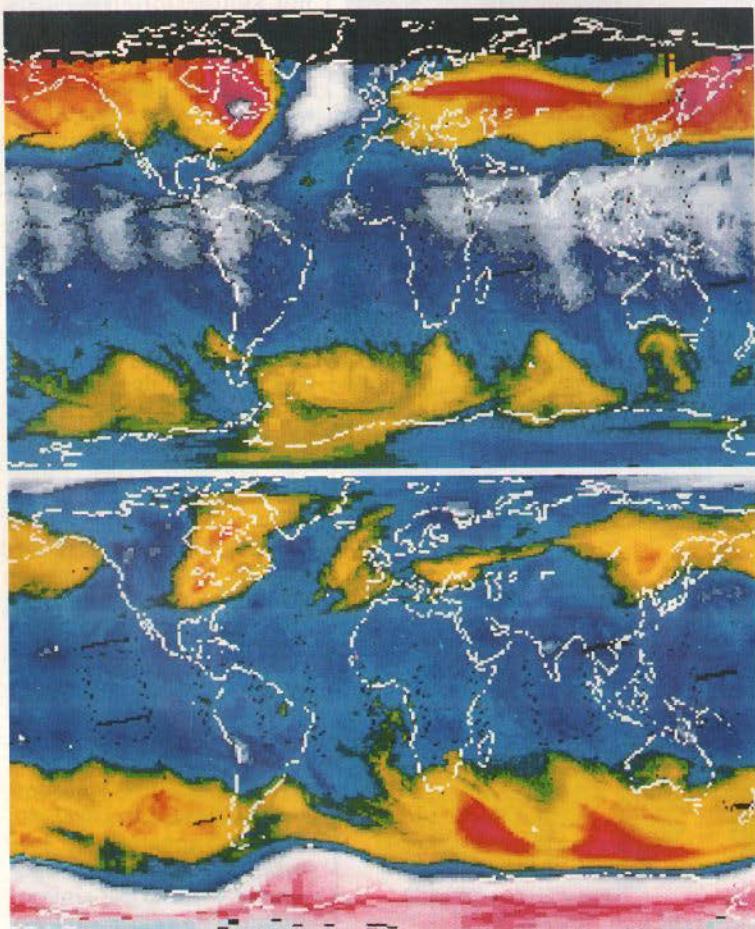
- Mit der Säure wird ein Stoff kaltgestellt, der bei höheren Temperaturen sonst dazu beiträgt, daß das Chlor nicht aus den Reservoir-Gasen entweicht.
- Die Salpetersäure wird obendrein so verändert, daß sie die Chlor-Aktivierung noch beschleunigt. Denn die Oberflächen der Säure-Eis-Partikel wirken als Katalysatoren: Sie überführen Reservoir-Chlor in

labile Zwischenverbindungen. Diese halten nur, solange es dunkel ist: Steigt die Sonne nach der langen Polarnacht wieder über den Horizont, zerfallen die Moleküle. So wird während des antarktischen Winters eine Bombe geschärft, die vom Sonnenlicht gezündet wird: Vorher angesammeltes Chlor wird in großen Mengen frei und beginnt sofort mit der Ozonspaltung.

Dabei werden aus je zwei Ozon-Molekülen drei gewöhnliche Sauerstoff-Moleküle erzeugt; die Chlor-Atome selbst gehen aus der Reaktion unverändert hervor und fallen über neues Ozon her – bis zu 10 000 mal nacheinander. „Das geht ruck, zuck“, sagt Crutzen. „Innerhalb von drei Wochen ist in den Gebieten, wo sich die Eispartikel gebildet hatten, das meiste Ozon verschwunden.“

Gerade die große Abbaugeschwindigkeit bereitete den Wissenschaftlern Schwierigkeiten. Denn als die Aussagen der Crutzen-Arnold-Theorie und anderer im Labor entwickelter Modelle in der Antarktis-Atmosphäre überprüft wurden, lag die Menge des gemessenen Chlor-Monoxids – einer Zwischenverbindung im Ozonabbau – niedriger als erwartet.

Einige Forscher vermuteten deshalb, weitere, noch unbekannte Reaktionen wären an der Ozonvernichtung beteiligt. Die Suche nach ihnen nahm im Sommer 1990 eine überraschende Wendung: Chemiker der amerikanischen Harvard University hatten entdeckt, daß ihre Meßinstrumente auf den falschen Luftdruck geeicht waren.



Satellitenaufnahmen lassen erkennen, daß die globale Ozonverteilung zwischen Januar (oben) und Oktober (unten) stark schwankt. Während der weiß dargestellte Ozomangel am Äquator natürliche Ursachen hat, geht der Schwund über der Antarktis gegen Jahresende auf Luftverschmutzung zurück: Eigentlich müßte hier Rot, die Farbe für höchste Konzentrationen, vorherrschen. Blau und Gelb sind Zwischenstufen; Schwarz bedeutet: Dieser Bereich konnte von dem Satelliten nicht »gesehen« werden



Richtig eingestellte Geräte maßen inzwischen bei Testläufen, daß die untere Schicht der Atmosphäre 75 Prozent mehr Chlor-Monoxid enthält als bisher angenommen. Damit kann die beobachtete Ozon-Zerstörung über der Antarktis ohne die Annahme zusätzlicher Reaktionen erklärt werden.

Grundsätzlich laufen auch über dem Nordpol die gleichen zerstörerischen Prozesse ab – wenn es im Winter kalt genug wird. Mit Hilfe von Höhenforschungs-Raketen gelang Frank Arnold und seinen Mitarbeitern im nord-schwedischen Kiruna Anfang 1989 tatsächlich zum erstenmal der direkte Nachweis des wichtigsten Reaktionsschrittes – der Konden-

sation von Salpetersäure zu festen Partikeln in polaren Stratosphären-Wolken.

Die Meßwerte zeigten ein ausgeprägtes Salpetersäure-Minimum in 20 Kilometer Höhe bei Temperaturen um minus 80 Grad.

Zur selben Zeit wurde im Nordpolargebiet die bis dahin aufwendigste internationale Atmosphären-Expedition mit Basis im norwegischen Stavanger gestartet. Rund 150 Wissenschaftler aus Nordamerika und Europa erkundeten den arktischen Luftraum mit Flugzeugen, Ballons und per Satellit. Die Auswertung der Myriaden von Meßdaten konnte erst 1990 abgeschlossen werden. Ein regelrechtes „Loch“ in der Ozonschicht fanden die Forscher nicht. Dennoch

**Der unscheinbare Container auf dem Esrange-Radarberg beherbergt ein Prunkstück der Atmosphärenforschung – das Ozon-Lidar. Das Gerät arbeitet nach dem Prinzip des Radars, doch statt mit Radiowellen mit dem Licht eines starken Ultraviolet-Lasers. Durch die offene Luke wird es in den Himmel gestrahl und sein „Echo“ mit der Parabolantenne wieder empfangen. So läßt sich genau ermitteln, in welcher Höhe die Atmosphäre wieviel Ozon enthält**

zeigte sich für Richard Turco von der University of California, „daß die Atmosphäre der Arktis wie für ein Ozonloch geschaffen ist“.

Über dem Nordpolarmeer bildet sich im Winter ebenfalls ein Kaltluftwirbel aus, wenn auch nicht so beständig und so kalt wie der über der Antarktis. Auch polare Stratosphären-Wolken ziehen über der Arktis auf, jedoch ungleich seltener als im kälteren Süden.

Um so erstaunter stellten einige Expeditionsteilnehmer fest, daß die Salpetersäure-Konzentration in der arktischen Stratosphäre ähnlich niedrig lag wie in der antarktischen. Vielleicht, so vermuten sie, gefriert die Säure schon geringfügig früher als das Wasser in den Wolken.

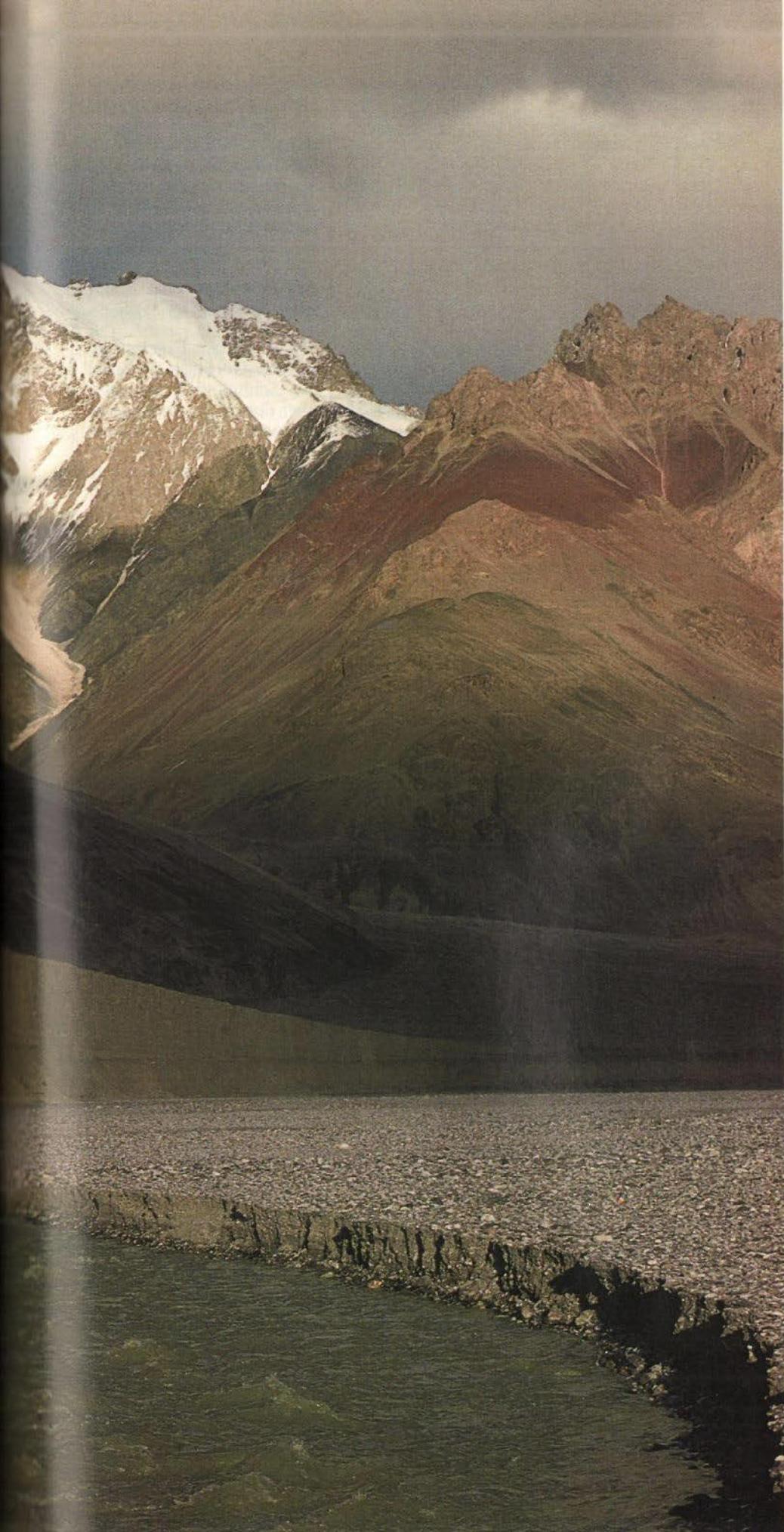
Sollte die Kälteschwelle von etwa minus 80 Grad für längere Zeit unterschritten werden, würde sehr wahrscheinlich auch im Norden ein Ozonloch aufreißen. Und hier, auf unserer Hemisphäre wären sehr viel mehr Menschen von der zusätzlichen UV-Dosis unmittelbar betroffen als am nahezu unbewohnten südlichen Ende der Erde.

Dennoch gibt auch der Ozonschwund über der Antarktis Anlaß zur Sorge: Auf die gesamte Südhalbkugel umgerechnet, dünnert er die Schutzschicht um fünf Prozent aus. In Neuseeland, mehr als 5000 Kilometer vom Südpol entfernt, lassen Fernsehzuschauer sich deshalb regelmäßig nach den Abendnachrichten darüber belehren, wie kurz sie am nächsten Tag in Wellington, Auckland oder Christchurch in der Sonne liegendürfen. □



# Die Kälte kam vom Dach der Welt

Von Gletschereis geschliffene Bergflanken hoch über den Talböden des nördlichen Karakorum sind stumme Zeugen einer neuen Theorie über die periodische Abkühlung unseres Planeten: Tibet als Schrittmacher der Eiszeit



von ERWIN LAUSCH

## D

ie Sonne, sagten die einen, habe zeitweise an Kraft verloren. Nein, an der Sonne selbst habe es nicht gelegen, erklärten andere, sondern die Erde sei bei ihrem Lauf um das wärmende Gestirn auf eine Bahn geraten, auf der sie weniger Energie empfing: Was haben Wissenschaftler sich nicht alles einfallen lassen, um zu erklären, warum die Eiszeit über die Erde gekommen ist.

Tauchte gar das ganze Sonnensystem in eine kosmische Staubwolke ein, die weniger Sonnenlicht zur Erde vordringen ließ? Oder spuckten gewaltige Vulkanausbrüche so viel Asche in die Atmosphäre, daß es hier kalt werden mußte? Wurde der Golfstrom unterbrochen, die Warmwasserheizung Europas? Kam die Abkühlung, weil sich neue Gebirge auftürmten? War es die allmäßliche Drift des antarktischen Kontinents zum Südpol hin? Oder die Kollision der Erde mit Kometen oder Meteoriten?

Weit über 50 Eiszeithypothesen registrierte der Kölner Geologe Martin Schwarzbach in den siebziger Jahren. „Manche solcher Hypothesen“, kommentierte er, „würde man wohl kaum besonders erwähnen, wenn sie sich nicht an die Namen renommierter Forscher knüpften.“

Einige Hypothesen errangen immerhin Achtungserfolge. Die Sonne strahlt ihre Energie tatsächlich nicht gleichmäßig ab. Doch die Schwankungen sind viel zu gering, als daß allein dadurch mächtige Eispanzer mehrmals in der Erdgeschichte über nahezu ein

Drittel der gesamten Festlandfläche hätten wachsen können.

Am meisten Anerkennung fanden Berechnungen, die der jugoslawische Mathematiker Milutin Milankovitch in den dreißiger Jahren veröffentlicht hatte. Demnach beeinflussen Veränderungen der „Erbahn-elemente“ – der Bahn der Erde um die Sonne, der Neigung ihrer Achse sowie deren Kreiselbewegung – die Intensität der empfangenen Solarenergie. Das ist heute ebenso unumstritten wie die Erkenntnis, daß auch dieser Effekt für sich allein nicht zu einer Eiszeit geführt haben kann.

In die festgefahrenen Diskussion brachte vor wenigen Jahren der Göttinger Geograph Professor Matthias Kuhle ein neues Element: Tibet. Das größte und höchste Hochplateau der Erde habe mit seiner riesigen Fläche von mehr als zwei Millionen Quadratkilometern und der gewaltigen durchschnittlichen Höhe von über 5000 Metern als Schrittmacher der Eiszeit gewirkt (GEO Nr. 2/1987).

#### Die Eiszeit entstand in den Subtropen

Wegen der großen Höhe, argumentierte Kuhle, bedeckten Gletscher beträchtliche Teile Tibets schon bei jener relativ geringen Abkühlung der Erde, die sich aus den Milankovitch-Berechnungen ergibt. So sei eine „positive Rückkopplung“ in Gang gekommen: Das gleißende Eis habe den weit überwiegenden Teil der eintreffenden Sonnenstrahlung reflektiert, die Erde dadurch noch stärker abgekühlt, Tibets Gletscher folglich weiter wachsen lassen und somit die Reflexionsfläche abermals vergrößert.

Besonders drastisch habe die subtropische Lage Tibets die globale Abkühlung gefördert: In diesen Breiten herrscht eine starke Wärmeeinstrahlung bei gleichzeitig geringer Wolkenbedeckung, weshalb hier eine

Vergletscherung zu viel größerem Wärmeverlust führt als im hohen Norden. So habe Tibets einzigartige Kombination aus geografischer Lage, Ausdehnung und Höhe eine gleichsam routinemäßige Abkühlung der Erde zu einer Eiszeit verstärkt.

Inzwischen geht Kuhle sogar noch weiter: Für eine Eiszeit bedürfe es im Grunde gar keines Anstoßes durch eine Abkühlung, wie sie Milankovitch errechnete. Entscheidend sei lediglich, daß ein großes Gebiet in den Subtropen in hinreichend große Höhe emporgepreßt werde.

Das Konzept des Göttinger Geographen basiert auf langjährigen Forschungsarbeiten. Seit 1973 hat der Spezialist für Gletscherkunde gemeinsam mit chinesischen Erdwissenschaftlern

auf neun jeweils monatelangen Expeditionen unterschiedliche Regionen Tibets und dessen Randgebirge besucht. Schon bei seinen ersten Vorstößen auf das „Dach der Erde“ konnte Kuhle nachweisen, was bis dahin kaum in Erwägung gezogen worden war: Tibet lag in der Eiszeit unter mächtigen Gletschermassen begraben.

Kuhle fand das ganze Repertoire von Hinterlassenschaften des Eises: riesige Moränenwälle aus Gesteinschutt, der einst mit Gletschern transportiert worden war; Schotterfluren, die das Schmelzwasser hingeschüttet hatte; von Gletschern geschrammte und geschliffene Bergflanken hoch über den heutigen Talböden; Findlinge aus Gesteinen, die nur durch Gletschertransport an

ihren Platz gekommen sein könnten; „Bändertone“ vom Boden ehemaliger Eisstauseen. Alle Zeugnisse für eine ausgedehnte Eisbedeckung lagen klar vor Augen – es hatte zuvor nur niemand systematisch darauf geachtet.

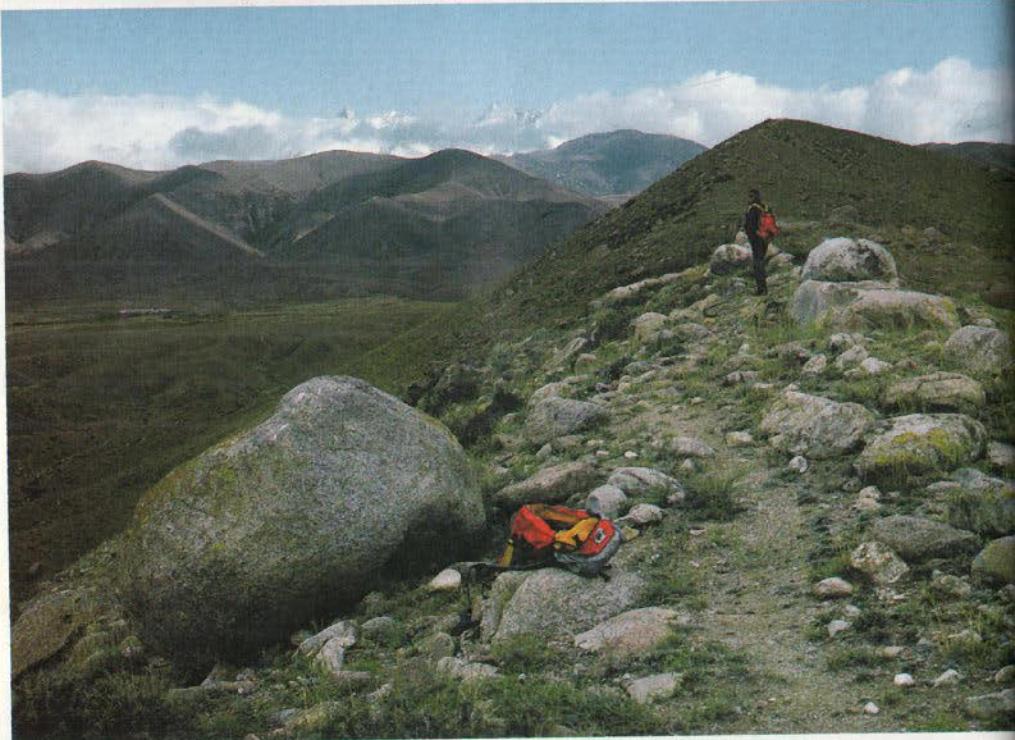
#### Auf Tibet lastete eine Kühlplatte

Aus seinen Ergebnissen zog der Göttinger Forscher den Schluß, daß sich einst über dem Hochplateau eine Eiskappe wölbt, die in Zentraltibet 2500 bis 3000 Meter mächtig gewesen sein dürfte. In den Gebirgen füllte das Eis die Täler, Gletscher strömten über die Pässe des Himalaya-Hauptkamms hinweg nach Süden.

Durch Zehntausende von Messungen untermauerte Kuhle seine Theorie, wie Eis und Schnee in subtropischer Höhe eine gewaltige Heiz- in eine Kühlplatte verwandeln können: Das unvergletscherte Hochplateau mit seinen überwiegend graubraunen Fels- und Schuttlandschaften schluckt rund vier Fünftel der einge-

**Zeugnis einer großen Schiebung**

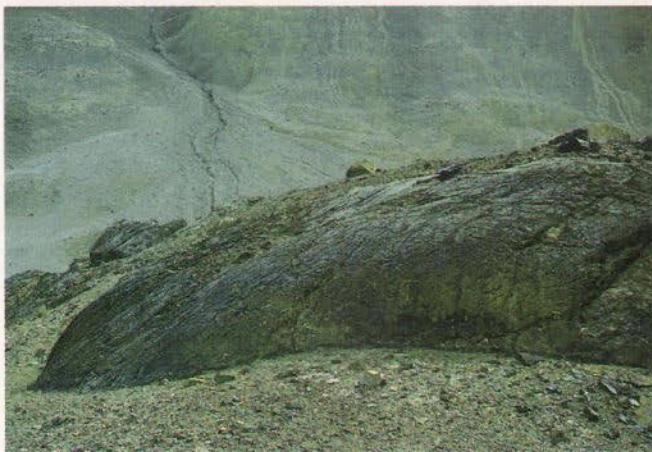
Riesige Endmoränen, Wälle aus Gletscherschutt, hat das große Eis im Tien-Shan-Gebirge aufgeschoben. Aus solchen Relikten rekonstruierte der Göttinger Geograph Matthias Kuhle, wie mächtig das innerasiatische Eis einst gewesen ist



strahlten Sonnenenergie, während Schnee- und Firnfelder 85 bis 90 Prozent der Strahlung unverzüglich in den Weltraum zurückwerfen. Durch die Vergletscherung Tibets habe, so berechnete der Forscher, die Erde einen viermal größeren Wärmeverlust erlitten als durch die Vereisung eines ebenso großen Gebietes nördlich des 60. Breitengrades.

Warum Tibet auch ohne anfängliche Abkühlung à la Milankovitch vom Eis überwältigt werden und dann seinerseits eine globale Abkühlung in Gang setzen konnte, erklärt sich aus seiner Entstehungsgeschichte, die Erdwissenschaftler im letzten Jahrzehnt bis ins Detail aufklären konnten. Das „Dach der Erde“ ist – wie auch der Himalaya – Produkt eines erdgeschichtlichen Dramas, das noch immer andauert: Seit rund 40 Millionen Jahren rückt die einst selbständige Landmasse Indien gegen Zentralasien vor, wobei sich beträchtliche Teile der ehemals viel größeren „Indischen Platte“ unter die „Eurasischen Platte“ geschoben haben. So ist die Erdkruste unter Tibet, wie die Auswertung von Erdbebenwellen verrät, im Laufe der Zeit 60 bis 80 Kilometer mächtig geworden und damit fast doppelt so dick wie gewöhnlich. Da die Kruste aus leichterem Gesteinsmaterial besteht als der darunter liegende Erdmantel, „schwimmt“ sie auf ihm – ähnlich wie ein Eisberg im Wasser. Und wie ein besonders großer Eisberg ragt auch die mächtige Erdkruste Tibets besonders hoch auf, da sie ebenfalls dem Gesetz des Schwerkraftgleichgewichts – der „Isostasie“ – gehorcht.

Während die Indische mit der Eurasischen Platte kollidierte, hob sich die dicker werdende Erdkruste – mit gebührender Langsamkeit, versteht sich – immer weiter, bis das Plateau in den Bereich der Schneegrenze emporragte: Von einer bestimmten Höhe an bleibt der



## Jagd auf Höcker, Findlinge und Schrammen

In Tibet und den angrenzenden Gebieten entdeckte Geograph Kuhle viele Hinweise auf einst gewaltige Gletscher: zu Rundhöckern geschliffene Felsen, von weither mit dem Eis transportierte Findlinge und Schrammen im Gestein, die nur Gletscher gehobelt haben können

Schnee auch in den Subtropen liegen, bildet Firn und schließlich Gletscher.

Kuhle will nicht in Abrede stellen, daß die Ungunst der Erdbahnelemente eine globale Abkühlung um 3,5 Grad Celsius auslöste und damit auch Tibet vereisen ließ. „Vom Prinzip her jedoch“, versichert er, „ist der Milankovitch-Zyklus für die Eiszeitauslösung entbehrlich.“

Das „Dach der Erde“ müßte lediglich 500 Meter höher als heute emporgehievt werden, um auch ohne weltweiten Temperatursturz zu vergletschern; läge das Plateau gar 800 bis 1000 Meter höher, verschwände es unter einer geschlossenen Eisdecke.

### Bremseffekt der frostigen Fracht

Ob mit oder ohne Milankovitch: Entscheidende Voraussetzung für den Beginn des Eiszeitalters vor rund zweieinhalb Millionen Jahren war – so Kuhle – die nachweislich starke Hebung Tibets in jener Epoche. Sie hat eine globale Abkühlung ausgelöst und somit die Schneegrenze auch in anderen Teilen der Erde sinken lassen. Im klimatisch weniger begünstigten Norden Europas, Asiens und Nordamerikas blieb der Schnee schließlich das ganze Jahr über auch im Flachland liegen. Nun begann das Eis zügig riesige Gebiete kilometerdick zu begraben, die fortan ebenfalls den größten Teil der eingestrahlten Sonnenenergie in den Weltraum reflektierten (siehe Karte Seite 101).

Dennoch erstarrte nicht die ganze Erde. Warum sich das große Eis mehrfach zurückzog, wieder vorstieß und abermals verschwand (siehe Grafik Seite 100), kann der Göttinger Professor ebenfalls erklären – diesmal allerdings nicht ohne Milankovitch-Effekt. Wenn sich die Erde nämlich im Rahmen der astronomisch bedingten Klimaschwankungen um 3,5 Grad er-

wärmte, stieg die Schneegrenze um 500 Meter. In Tibet wirkte sich das zunächst kaum aus, wohl aber in den weiten, eisbedeckten Flachländern. Dort setzte Tauwetter ein, wodurch sich die Wärmebilanz der Erde dramatisch verbesserte. Und mit jeder weiteren Erwärmung zog sich das Eis immer weiter zurück, bis es schließlich auch Tibet wieder freigab.

Auch die Eislast auf dem „Dach der Erde“ bremste – allein durch ihr schieres Gewicht – den Trend zu einem noch kälteren Klima: Sie drückte die Erdkruste nach den Gesetzen der Isostasie einige hundert Meter in den Erdmantel zurück, wodurch Teile Tibets wieder unter

die Schneegrenze gerieten. Seit dem Ende der letzten Eiszeit vor rund 10 000 Jahren, nach dem Schmelzen der frostigen Fracht, steigt das Hochplateau freilich wieder auf. Chinesische Geowissenschaftler haben aktuelle Hebungsgraten von zehn Millimeter pro Jahr in Zentraltibet gemessen – das entspricht 100 Metern in 10 000 Jahren.

### Warum Eiszeiten so selten sind

Wahrscheinlich war jedoch die Hebung in den ersten paar tausend Jahren nach der Entlastung viel größer als heute. In Schweden, wo dieses Phänomen genau untersucht wurde, ist

das Land seit dem Ende der Eiszeit bis zu 300 Meter angestiegen. Das bezeugen ehemalige Strandablagerungen, die heute hoch über der Ostsee liegen.

Trifft Kuhles Theorie zu, dann sorgen schwere Eispanzer dafür, daß Hochplateaus nicht in den Himmel wachsen. Die Folgen für das globale Klima sind offenbar normalerweise nicht besonders groß – sei es wegen der mangelnden Größe der Plateaus, sei es, daß sie nicht in den Subtropen liegen. Denn Eiszeitalter, die sich an ihren charakteristischen Ablagerungen leicht nachweisen lassen, waren die Ausnahme im Laufe der Erdgeschichte: Die Spuren ähnlich starker Vereisungsepochen wie in

der jüngsten geologischen Vergangenheit liegen rund 300 und 700 Millionen Jahre zurück.

So gesehen sind wir – mit dem Blick nach Tibet – Augenzeugen einer seltenen geologischen Konstellation. Dabei haben wir noch das Glück, in einer warmen Phase zwischen den Kaltzeiten zu leben: Noch hat sich das von der letzten Eislast geduckte „Dach der Erde“ nicht wieder bis in die kritische Vereisungshöhe angehoben, noch wirkt das zentralasiatische Plateau wie ein gigantischer Solarkollektor. Einige tausend Jahre später geboren, könnten wir wohl in eisiger Realität erleben, was Tibet für das Klima der Erde bedeutet. □



### Einst strömte das Eis auf die Berge zu

Das trogförmige Tal am Nordhang des Karakorum wurde von einem Gletscher ausgehobelt, dessen spärlicher Rest heute hoch im Gebirge liegt. Durch das einstmais vereiste Tal schlängelt sich

nun dessen Schmelzwasserfluß. In der Eiszeit drängten Gletscher in die umgekehrte Richtung, nach Süden: vom riesigen Inlandeis Tibets über die Pässe des Karakorum und Himalaya



# Die Welt von oben

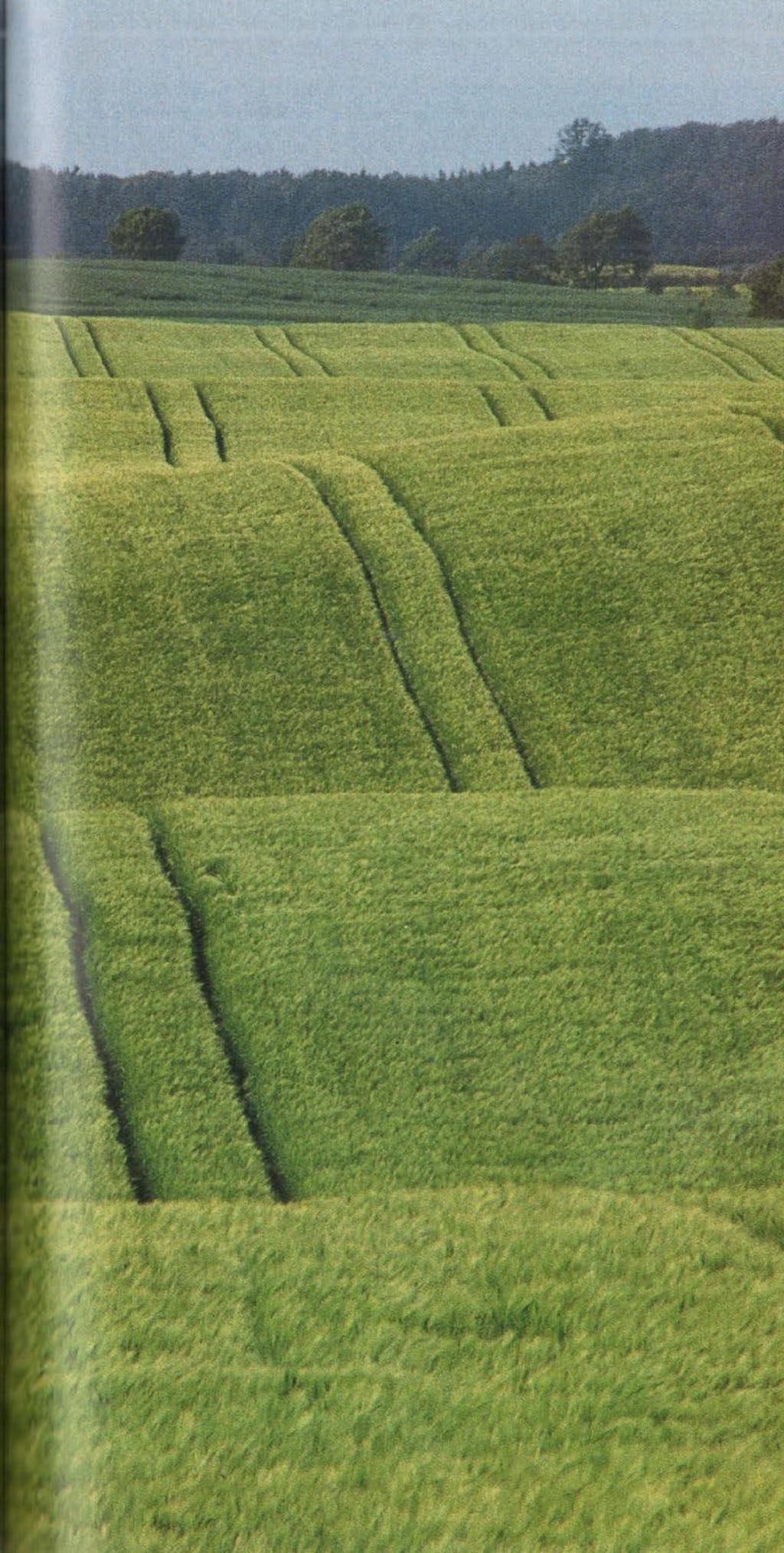
Mit dem GEO-Kalender 1991 eröffnen sich Ihnen neue Perspektiven. Auf zwölf eindrucksvollen Bildern haben GEO-Fotografen die Welt von oben festgehalten. Für jeden Monat eine faszinierende Impression unserer Erde aus der Vogelperspektive. Und jedes Foto bleibt auch nach Jahresende interessant, als wunderschönes Poster. Die Fotos sind auf schwerem, zusätzlich lackiertem

Kunstdruckpapier im Format 60 x 65 cm gedruckt. Bestellen Sie jetzt Ihr Exemplar zum günstigen Subskriptionspreis: bis zum 12. Dezember 1990 nur DM 78,- (FR. 75,-) inkl. doppelter Kartonverpackung und Versandkosten. Danach DM 98,- (FR. 95,-). Sichern Sie sich diese außergewöhnliche Auswahl an großformatigen GEO-Fotos mit der Abrufkarte auf Seite 163.



Die sanft rollenden Hügel der Hüttener Berge bei Rendsburg mit ihren sattgrünen Feldern sind Relikte der Eiszeit: Aufgeschoben wurde diese »Märschenstaffel« von Ausläufern des großen Inlandeises, das einst bis zu 3500 Meter mächtig auf Skandinavien lastete. Zeugen jener klimatisch dramatischen Zeit sind aber auch Seenplatten und Urstromtäler, zahllose Findlinge und bizarre »Frostmarken« im Boden

# Die Zeit, als Deutschland Eisland war



VON ERWIN LAUSCH

## Z

ugegeben, es erfordert Phantasie, sich so viel Eis vorzustellen, vielleicht 50, vielleicht 100 Meter mächtig – hier im Grünen, wo ich jetzt sitze: Ringsum in den Gärten von Ahrensburg bei Hamburg prangen blühende Rhododendren und Goldruten, weißer Holunder und knallroter Mohn. Und doch war hier nichts als Eis vor rund 15 000 Jahren.

Das ist lange her? Keine Drittelsekunde, wenn man – der besseren Anschaulichkeit willen – die ganze Erdgeschichte von 4,6 Milliarden Jahren auf die Länge eines einzigen Tages rafft.

Das war viel Eis? Nur die dünne Randschicht des gewaltigen weißen Panzers, der ganz Nordeuropa bedeckte. Denn wo heute Ahrensburg liegt, ging damals – wie Eiszeitforscher rekonstruiert haben – das große Inlandeis zu Ende.

Ein paar Kilometer weiter hatten sich die Gletscher noch vorgeschoben, doch die Elbe nicht mehr erreicht. Nach Nordosten aber nahm die Eisdicke rasch zu: Auf dem Land, das heute die Ostseeküste Schleswig-Holsteins bildet, lasteten schon mehrere hundert Meter Eis, auf den dänischen Inseln und auf Rügen gut 1000 Meter. Bis zu dreieinhalb Kilometer mächtig soll der Skandinavische Eisschild gar in seinem Kerngebiet – über dem Botttnischen Meerbusen – während dieser „Weichsel-Eiszeit“ gewesen sein.

Noch früher waren die Gletscher bis nach Sachsen und ins Ruhrgebiet vorgedrungen. Zum Höhepunkt der „Saale-Eiszeit“ vor 150 000 Jahren, erstickte ein weit über 1000 Meter dickes Leichttuch das Land, auf

dem Hamburger und Holsteiner heute leben.

Diese klimatischen Exzeße haben weithin sichtbare Spuren hinterlassen: Moränen und Uströmäler, Seenplatten und Sander, wie Geologen die kargen Sand- und Schotterflächen vor längst verschwundenen Gletschertoren nennen. In den Bergen hat das große Eis, wie es Gletscher heute noch tun, Felsen geschliffen und geschrämt, Unmengen von Gesteinstrümmern mitgerissen und über Hunderte von Kilometern ins Flachland geschleppt. In der Norddeutschen Tiefebene liegt der eiszeitliche Schutt noch heute: eine durchschnittlich gut 100, mitunter bis zu 500 Meter dicke Decke aus Sand und Ton, Kieselsteinen und Felsbrocken aus der Zeit, als in Deutschland klimatische Bedingungen wie in der Arktis herrschten.

Wie die vielen, oft tonnenschweren Findlinge ins Tiefeland kamen, konnten sich die Menschen früher nur durch die Launen überirdischer Mächte erklären. Den „Düvelsteen“ von Großköngsförde bei Kiel etwa soll, so geht die Mär, der Teufel dort hingeschmettert haben, weil ein Bauer ihn angeschmiert hatte: Die beiden hatten einen Vertrag geschlossen, wonach dem Gehörnten gehören sollte, was über der Erde wuchs. Der schlaue Bauer pflanzte Rüben an. Als der Teufel im nächsten Jahr wieder seinen Anteil an der Ernte forderte, diesmal aber jenen unter der Erde, säte der Bauer Korn. Da schleuderte der abermals Genasführte wutentbrannt einen gewaltigen Stein vom Boden der Ostsee weit übers Land, verfehlte jedoch das Haus des Bauern. Der Brocken – sechs Meter lang, 4,50 Meter breit, 3,75 Meter hoch und knapp 200 Tonnen schwer – ist der größte Findling Schleswig-Holsteins.

#### **Die Bibel löste nicht das Rätsel**

Wißbegierige Naturbeobachter wollten schon vor zwei Jahrhunderten nicht mehr an Teufelswerk glauben. Sie begannen, die Spuren der Erd-

geschichte als natürliche Phänomene zu deuten. Und dabei hatten sie mehr zu erklären als die Herkunft besonders auffälliger Findlinge: warum beispielsweise so viele verschiedenartige Steine durcheinander gemischt sind, wie sie an ihren Platz fernab ihres Ursprungsorts kamen und welche Kräfte der Landschaft ihr heutiges Gesicht gaben.

Von einem Acker in Norddeutschland oder einem Steilufer der Ostsee lassen sich mit wenig Mühe Dutzende von Steinen auflesen, die ganz verschieden aussehen,

aus unterschiedlichen Mineralen zusammengesetzt sind oder Fossilien aus weit auseinanderliegenden Perioden der Erdgeschichte umschließen. Die bunten Mischungen enthalten vielerlei Spielarten von Graniten und vulkanischen Gesteinen, bizarr gefaltete Gneise, Sand- und Kalksteine ohne ersichtliche gemeinsame Herkunft sowie – davon am meisten – Feuersteine.

Dem mecklenburgischen Hauptmann von Arenswald fiel im Jahr 1775 als erstem auf, daß die norddeutschen Steine schwedischen Felsen

ähnlich seien. Bibelfeste Gelehrte hatten schnell eine Erklärung parat: Eine gewaltige „Rollsteinflut“ habe die Steine herangeschwemmt. Doch an die nordische Sintflut mochten andere Forscher nicht glauben. Sie hatten erkannt, daß die Ablagerungen anders aussehen als jene, die von Fluten herangeschwemmt werden. Denn Wasser sortiert: Wenn die Strömungsgeschwindigkeit nachläßt, sinken zuerst die größten Steine zu Boden, dann immer kleinere und zuletzt die feinsten Schwebeteilchen. Die Norddeutsche

### **Steinreich durch den Schnee von gestern**

Norddeutsche Äcker bergen Unmengen von Steinen, die Gletscher einst aus Skandinavien transportierten. Auch die Seen der »Holsteinischen Schweiz« um Plön verdanken ihre Existenz dem Eis der Eiszeit



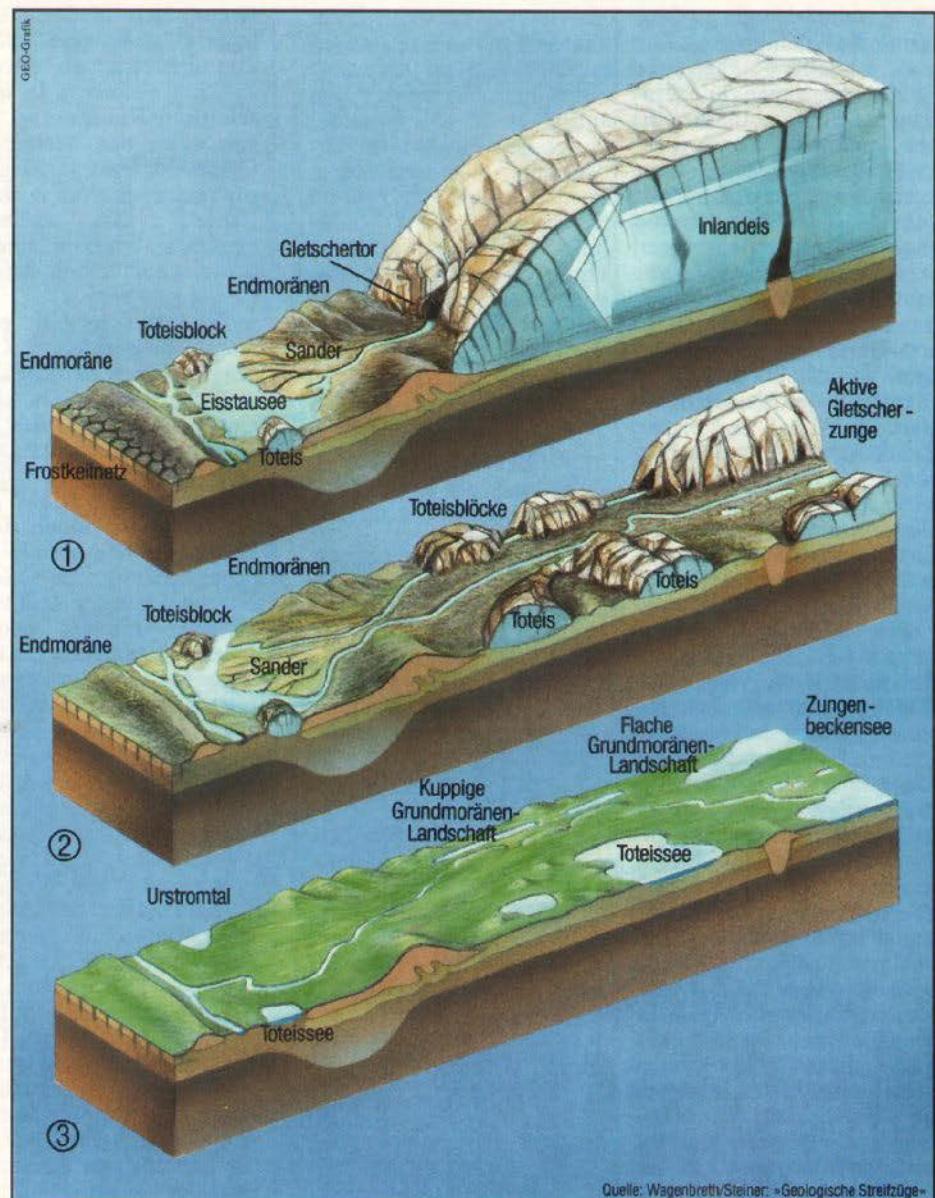
Tiefebene aber ist zum größten Teil von einem unsortierten Gemisch aus Steinen jeglichen Kalibers bedeckt.

Der richtigen Lösung näher kam der schottische Geologe Charles Lyell mit seiner 1835 entwickelten „Drifttheorie“. Er ging davon aus, daß Skandinavien in relativ junger Vergangenheit vergletschert war – die Hinweise darauf hatte er bei zwei Reisen dorthin gesehen. Von den skandinavischen Gletschern, so glaubte er, seien Eisberge südwärts getrieben auf einem Meer, das bis an die deutschen Mittelgebirge reichte. Als das Eis schmolz, sei dessen Fracht – Felsblöcke und zerriebenes Gestein – auf den Grund gesunken. Später hätten Kräfte aus dem Erdinnern den einstigen Meeresboden samt Geröll emporgehoben.

### Nordische Gletscher bis nach Wurzen?

Zwei Jahre darauf wies der Eidgenosse Louis Agassiz nach Studien an schweizerischen Gletschern nach, daß seine Heimat noch vor gar nicht langer Zeit von Eismassen bedeckt gewesen sein mußte, „wie es sie heute in Grönland gibt“. Und 1844 berichtete der sächsische Bergbau-Professor Bernhard von Cotta über Felsen bei Wurzen östlich von Leipzig, die offenkundig von Eis geschliffen worden waren. „Sollten die nordischen Gletscher“, sinnierte er erschrocken, „wirklich von den skandinavischen Bergen bis an die Wurzener Hügel gereicht haben? Mich friert bei dem Gedanken.“

Trotz dieser frühen Hinweise reagierten die Mitglieder der Deutschen Geologischen Gesellschaft völlig überrascht, als ihnen ihr prominenter schwedischer Kollege Otto Torell im Jahr 1875 bei einem Vortrag in Berlin seine „Inlandeis-Theorie“ verkündete. Torell hatte kurz zuvor rätselhafte Schrammen auf den Kalkfelsen von Rüdersdorf bei Berlin besichtigt und sie nach seinen Erfahrungen in der Arktis als Spuren von Gletschern identifiziert. Seine Erklärung gilt bis heute: Das Eis hatte sich vom



Quelle: Wagenbrenn/Steiner: »Geologische Streifzüge«

## Wie das Eis die Landschaft formt

**Das prähistorische Inlandeis hat nicht nur seinen Gletscherschutt hinterlassen, sondern auch typische Landschaftsformen – die gleichen, die in Polargebieten noch heute von Gletschern geschaffen werden**

hohen Norden bis nach Norddeutschland vorgeschoben und nach dem Abtauen all die mitgeförderten Gesteinstrümmer mitsamt den Findlingen hinterlassen.

Die Inlandeis-Theorie erwies sich als Schlüssel zum Verständnis der jüngsten geologischen Vergangenheit. Nun konnten Forscher beispielsweise die Ursache für

die auffällige landschaftliche Unterteilung Schleswig-Holsteins erklären: warum die Region östlich der Marsch mit ihrem eingedeichten Nordseeschlick noch einmal in Geest und Hügelland geteilt ist, warum dort eine vielfältig gewundene, aber scharfe Grenze karge Äcker und sandige Heide von fruchtbarem Hügelland trennt.

Beobachtungen auf Island, Grönland und Spitzbergen lösten das Rätsel des scharfen Kontrasts. Die Forscher entdeckten vor den arktischen Gletschern dieselben Landschaftsformen wie zu Hause. Schließlich konnten sie das Geschehen im eiszeitlichen Schleswig-Holstein nachzeichnen: Im Osten lag das Eis, das Schmelzwasser floß nach Westen ab. Das Wasser schoß dabei durch die engen Gletschertore wie durch Düsen, so daß selbst große Felsblöcke mitgerissen wurden.

Jenseits der Tore konnte sich das Wasser ausbreiten, wodurch seine Strömungsgeschwindigkeit sank. Dabei

blieben zunächst die großen, dann die kleineren Steine und schließlich auch die Sandkörner liegen. Die feinsten, für die Fruchtbarkeit eines Bodens wichtigen Teilchen aber trug das Wasser weiter, in die Urstromtäler und ins Meer. So bauten die ungezügelten, vielarmigen Schmelzwasserströme vor dem Eisrand fächerförmige, fast ebene Flächen aus Sand und Geröll auf – wie heute noch in Island, wo diese „Sander“ ihren Namen bekamen.

Arktische Landschaften boten den Wissenschaftlern auch zur Deutung anderer Hinterlassenschaften der Eiszeit reiches Anschauungsmaterial. Endmoränen markieren den früheren Eisrand – dort, wo heute die Grenze zwischen Hügelland und Geest verläuft. Herrschte Gleichgewicht zwischen abschmelzendem und nachrückendem Eis, häufte sich der mitgeschleppte Gesteinschutt zu wallartigen „Aufschüttungsmoränen“ an. Stießen die Gletscher hingegen kraftvoll vor, schürften sie – gewaltigen Planierraupe gleich – den Untergrund aus und schoben steile „Stauchendmoränen“ empor, beispielsweise die Hüttener Berge bei Rendsburg.

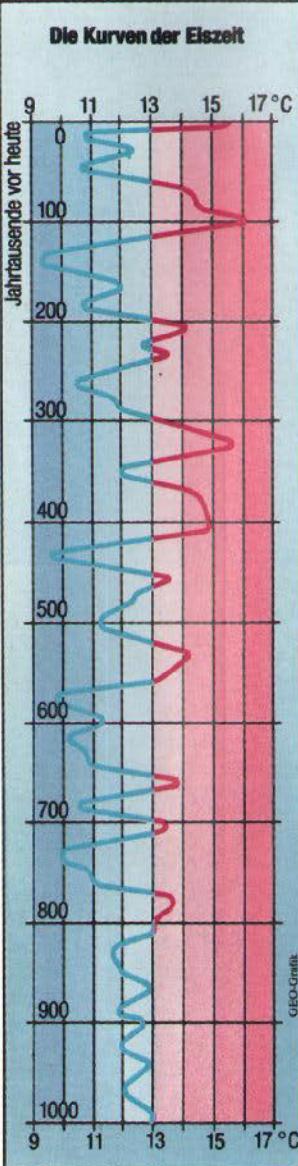
Die Schuttwälle zeugen noch heute davon, daß sich die Gletscher an den einzelnen Abschnitten der Eisfront mit sehr unterschiedlicher Dynamik bewegten. Endmoränen können mehr als 50 Meter über ihre Umgebung ragen oder auch nur wenige Meter. Manchmal ziehen sie sich als kompakter Höhenzug dahin, dann wieder als lockere Hügelkette. Mal sind ihre Hänge sanft, mal rauh und dann – weil für die Landwirtschaft zu steil – mit Wald bestanden.

### **Das Toteis schuf liebliche Seen**

Als die Gletscher zum Ende der Eiszeit schmolzen, blieb ihre Gesteinsfracht als Grundmoräne liegen. Wo sie gelegentlich doch noch einmal vorwärtsdrängten, entstand – wie im ostholsteinischen Hügelland – eine „kupige Grundmoräne“; wo das

## **Der Rhythmus des Frostes**

**Seit Beginn der Eiszeit schwankt die durchschnittliche Temperatur auf der Erde beträchtlich. Die Kurve zeigt den Wechsel zwischen Kalt und Warm im Lauf der letzten Million Jahre, wobei Details unter den Experten noch umstritten sind**



Eis einfach niederschmolz, lagerte sich eine „flache Grundmoräne“ ab, etwa auf der Insel Fehmarn. In ausgeschürften Rinnen und Becken unter den isolierenden Grundmoränen verbarg sich oft noch jahrtausendelang „Toteis“, das schließlich ebenfalls schmolz und so Raumschuff für viele der Seen Norddeutschlands.

Die natürliche Abfolge der eiszeitlich geprägten Landschaftsformen ist im Prinzip einfach: nach der einen Seite Endmoränen, Sander und Urstromtal, nach der anderen kupige und flache Grundmoränen (siehe Grafik Seite 99). Doch die in Lehrbüchern so simple „glazialmorphologische Serie“ erweist sich in der Realität oft als verwirrendes geologisches Puzzle. Denn die Gletscher waren mal kräftig vorgestoßen und mal schwach, aus geraden oder zerlappten Eisfronten. Dabei haben sie alle möglichen Moränen hinterlassen, die überdies in sehr unterschiedlichen Richtungen verlaufen. Viele Endmoränen liegen samt Gletschertor und Sander aus späteren Rückzugsstadien inmitten anderer eiszeitlicher Schuttwälle.

„Diluvium, Diluvium! / Warum erschuf dich Gott, warum / so lahm und krumm, so sinnlos dumm?“ So stöhnte Anfang des Jahrhunderts der Geologe Wilhelm Wolff über die eiszeitlichen Ablagerungen, die er in Ahrensburg und Umgebung zu deuten suchte. Inzwischen ist alles längst kartiert, und ich weiß, daß ich im Zuge der Endmoräne A 4 wohne – der vierten Endmoräne vom äußersten Eisrand her gerechnet.

Das Grundstück ist zwar eben, aber der Boden wechselt abrupt zwischen sandig und lehmig – da hat der Gletscher anscheinend manches durcheinandergebracht. Dabei habe ich noch Glück gehabt: Ein Nachbar war beim Ausheben seiner Baugrube auf einen gewaltigen Findling gestoßen, den er so lange unterhöhlte, bis der Koloß unter das Niveau des Kellerbodens rutschte und nicht mehr störte. Andere Bauherren in der Nähe mußten sich beim Baggern sogar mit dichten

Findlingspackungen herum schlagen.

Als nordwestwärts schwinnende Hügelkette zieht sich die Endmoräne A 4 bis zum Schüberg hin, und der steigt steil aus einer etwa zwei Kilometer langen, wallartigen Endmoräne auf, die dem Wunschtraum eines Eiszeitforschers entsprungen scheint. Die Eiszeit ist hier allgegenwärtig. Findlinge sprenkeln den Waldboden im Forst Hagen am Rand der Siedlung. Die langgestreckte, sumpfige Niederung gleich dahinter rühmen Experten als klassisches Beispiel eines „Tunneltals“, in dem einst Schmelzwasser unter Gletscher strömte. Ein paar Kilometer nach Osten lockt der Großensee – ein vollgelaufenes Toteisloch – im Sommer zum Baden und im Winter zum Schlittschuhlaufen. Weiter nach Süden liegt das große Urstromtal: Hier flossen, als die Gletscher schmolzen, enorme Wassermassen durch eine acht bis zwölf Kilometer breite Niederung, in der sich die Elbe heute fast verliert.

### **Die Kälte bahnte sich schon lange an**

Zwar wurde dieses Urstromtal vom Schmelzwasser der letzten Eiszeit geformt. Seine hohen Ufer aber, auf denen im Süden Harburg und im Norden Hamburg liegen, bilden Moränen, die Gletscher einer früheren Eiszeit vor über 100 000 Jahren aufgeschoben haben. Solche Ablagerungen liegen auch im westlichen Schleswig-Holstein zwischen Sandern und Marsch, sichtlich „gealtert“ gegenüber den Jungmoränen im östlichen Hügelland. Andere Spuren – etwa die Seen, die es dort gegeben haben muß – wurden im Laufe der Zeit verschüttet, ausgewaschen, vom Winde verweht. Zurück blieben sanfte Höhenzüge mit sandigen Böden.

Als halb Europa und Nordamerika unter Eswüsten begraben lagen, hatte eine sich schon lange anbahnende Klimaverschlechterung ihren Höhepunkt erreicht. Über Äonen war es auf der Erde allmählich kälter geworden. Vor rund 40 Millionen Jahren



## Die Grenzen des Wachstums

Zum Höhepunkt der letzten Eiszeit hatten Gletscher nahezu ein Drittel der Kontinente begraben. Wie weit sie auf der Nordhalbkugel und – bei mehreren Vorstößen – in Deutschland vorgedrungen sind, haben Geologen anhand typischer Ablagerungen und Landschaftsformen rekonstruiert

betrug die Jahresmitteltemperatur in unseren Breiten – gemessen an den Pflanzen und Tieren, die damals hier lebten – 21 Grad Celsius, vor zehn Millionen Jahren immer noch subtropische 16 bis 18 Grad (heute: acht bis zehn Grad). Empfindlich kühl wurde es vor 2,5 Millionen Jahren, mit dem „Quartär“, wie Geologen die jüngste Periode der Erdgeschichte – Eiszeit und Nacheiszeit – nennen: Warme Abschnitte, kaum milder als heutzutage, wechselten mit kalten, in denen die Tundra bis nach Mitteleuropa vordrang.

### Die Warmzeiten waren nicht von Dauer

Schließlich kippte das Klima in die glaziale Katastrophe: Vor rund 500 000 Jahren schob sich das Inlandeis aus Skandinavien zum erstenmal über die Ostsee nach Süden und begrub weite Teile Mittel- und Osteuropas, bevor es nach Teirückzügen und neuen Vorstößen dahinschmolz. Einige milde Jahrtausende später schwoll der eisige Panzer erneut an, drang bis zu den deutschen Mittelgebirgen vor, um sich abermals gen Norden zurückzuziehen. Auch diese zweite Warmzeit – von Fachleuten „Eem-Interglazial“ genannt – war nicht von Dauer. Ein drittes Mal erstarrte alles Leben bis weit nach Norddeutschland unter der weißen Last, die erst vor rund 10 000 Jahren wieder wich. Im gleichen Rhythmus wie das skandinavische Eis stießen Gletscher aus den Alpen ins schwäbische und bayerische Vorland hinab (siehe Grafik Seite 100).

Geologen haben die drei Eiszeiten und ihre Ablagerungen – mit der ältesten beginnend – im Norden nach den Flüssen Elster, Saale und Weichsel, im Alpenraum nach Mindel, Riß und Würm benannt:

- Die Gletscher der Elster-Eiszeit drangen in Deutschland am weitesten nach Süden vor. Ihre Ablagerungen erstrecken sich bis über Erfurt, Zwickau und Dresden hinaus (siehe Karte).
- Die Gletscher der Saale-Eiszeit kamen nicht ganz so

weit, schafften es aber im Nordwesten bis in die Niederrheinische Bucht, die in der vorangegangenen Kälteperiode eisfrei geblieben war.

- Die Gletscher der Weichsel-Eiszeit blieben schon viel weiter nördlich stecken, in den heutigen Außenbezirken Hamburgs und südlich von Berlin.

Die relativ frischen Spuren des jüngsten Vorstoßes verhalfen den Geologen zu den meisten Erkenntnissen darüber, wie das Eis die Landschaft geformt hat. Aber die Eiszeit-Detektive wollen ein möglichst lückenloses Bild auch von den Jahrhundertausenden davor gewinnen. Dazu müssen sie in die Tiefe gehen, zu längst verschütteten Schichten vordringen. Sie werten Bohrkerne aus und untersuchen sogenannte Aufschlüsse, die ihnen bei günstigen Gelegenheiten – in Kies- oder Baugruben, beim Straßenbau oder in U-Bahn-Tunneln zugänglich werden.

Die bei weitem eindrucks vollsten eiszeitlichen Aufschlüsse liegen in den Braunkohlenrevieren im Süden der ehemaligen DDR. Dort haben die Bagger, bevor sie an die Kohle kamen, das Deck gebirge weggeschafft, 50 Meter oder mehr – überwiegend Ablagerungen aus der Eiszeit.

### Bagger legten eine polare Welt frei

Um das Plansoll von 300 Millionen Tonnen Braunkohle jährlich trotz relativ dünnener Flöze zu erfüllen, wurde die Erde in 35 riesigen, kilometerlangen Tagebau Gruben aufgerissen.

„Dieser beispiellose Raubbau“, sagt Lothar Eißmann, Kustos im Fachbereich Geophysik an der Universität Leipzig, „hat zu einzigartigen Aufschlüssen geführt: eiszeitliche Ablagerungen auf einer Länge von 100 Kilometern.“ Ohne Auftrag und Anerkennung, wie er sagt, hat der habilitierte Geologe jahrzehntelang dokumentiert, was die Bagger freilegten – „eine Welt des Polaren“. Dabei war er oft mißtrauisch beäugt worden, denn die Aura eines Staatsgeheimnisses um

gab die sozialistische Energiebasis.

Im Frühsommer 1990 ist der Spuk verschwunden. Problemlos zeigt mir Eißmann den Tagebau Zwenkau südlich von Leipzig. Tief unten liegt die Braunkohle: das Überbleibsel von Wältern, die einst in Küstensümpfen bei subtropischem Klima üppig wucherten. Sie waren vor etwa 30 Millionen Jahren von einem Ausläufer der Nordsee überflutet worden. Davon künden Tonschichten, deren Herkunft aus dem Meer fossile Muschel- und Schnekkenschalen, aber auch Haifischzähne belegen.

### **Das frostige Klima kam mit Geröll**

Alles, was sich einst über dem Ton sonst noch abgelagert haben möchte, ist verschwunden, von Jahrmillionen der Erosion abgetragen, bevor die Eiszeit kam. Sie kündigte sich mit Massen von Geröll an. Im kalten Klima, erläutert Eißmann, wurde im nahen Bergland so viel Gestein durch Frost gesprengt, daß die stark mit Trümmern belasteten Flüsse breite Schotterterrassen aufbauten.

Schotterschichten aus sechs Kaltzeiten hat Eißmann identifiziert: aus Weichsel-, Saale- und Elster-Eiszeit sowie drei früheren Kaltzeiten, in denen kein Eis die Ostsee überquert hat. Für mich sehen die Schotter-Ablagerungen, die mir der Leipziger Geologe in den Tagebau-Gruben Zwenkau, Cospuden und Espenhain zeigt, auf den ersten Blick alle gleich aus. Er aber hat die jeweilige Zusammensetzung und Lage innerhalb der gesamten Schichtenfolge genau untersucht. Zwar sind die eiszeitlichen Chroniken nirgendwo ideal erhalten, doch aus den weitläufigen Aufschlüssen konnte Eißmann den ganzen erdgeschichtlichen Verlauf – das „Profil“ – aus einander überlappenden Abschnitten rekonstruieren.

Ablagerungen mit Tier- und Pflanzenresten, die gemäßigt warmes Klima anzeigen, trennen die Schotterpackungen der drei frühen Kaltzeiten. Mit der Elster-Eiszeit ändert sich jedoch das

Muster. Eißmann führt mich zu „Bändertonen“, waagerecht gestreiften, feinkörnigen Sedimenten, die über den Elster-Schottern liegen.

Bändertone kenne ich aus Norddeutschland: Dort dienen sie als Rohstoff für Ziegelsteine. Lübeck mit seinen berühmten Backsteinbauten ist darauf gebaut und in weitem Umkreis von solchen Ablagerungen umgeben. Bändertone entstanden, als das Eis schon auf dem Rückzug war. Dabei hatte sich das Schmelzwasser immer wieder an Endmoränen zu Seen aufgestaut. Auf ihrem Grund lagerten sich in regelmäßigen Wechsel heller Feinsand und dunklerer Ton ab: der Sand im Frühjahr und Sommer, zur Zeit der größten

Schnee- und Eisschmelze, der feinere Ton im Herbst. Jedes der knapp einen Zentimeter starken Bänder repräsentiert somit – einem Baumring gleich – ein Jahr.

Die norddeutschen Bändertone, Produkte der letzten Eiszeit, liegen über der Grundmoräne. In den sächsischen Kohlengruben aber ist es umgekehrt: Nach den Schottern kommen erst Bändertone und dann die Grundmoräne. Also müssen die Eisstauseen in Sachsen dem Eis nicht auf dem Rückzug gefolgt, sondern ihm vorausgeeilt sein? Eißmann nickt. Das heranrückende Inlandeis verlegte den nordwärts strömenden Flüssen den Weg und staute so die Seen auf, bevor es selbst kam.

Auch über der Grundmoräne der Elster-Eiszeit verläuft die Schichtung anders, als ich es aus dem Holsteinischen kenne. Es folgen nicht etwa die Ablagerungen der nächsten Warmzeit, sondern es geht noch einmal von vorn los: Schotter, Bändertone, Grundmoräne. Das Eis, erläutert der Leipziger Experte, zog sich zwischendurch zurück – wie weit, ist nicht geklärt. Doch diese Milderung konnte keine wirkliche Warmzeit einleiten, so daß die Gletscher in einer zweiten Phase der Elster-Eiszeit zurückkehrten. Erst danach wurde es, wie die Sedimente verraten, wieder wärmer.

Ein ähnliches Muster – Schotter, Bändertone, Grundmoräne – enthüllen die Ablagerungen der Saale-Eiszeit. Die jüngste Kälteperiode hingegen hinterließ in den sächsischen Kohlengruben nur Schotter: Die Gletscher der Weichsel-Eiszeit kamen nicht einmal nahe genug, um Seen aufzustauen, geschweige denn Moränen abzulagern.

Für Fachleute noch spektakulär als die Schicht für Schicht dokumentierte Chronik des Quartär bis weit vor den Beginn der eigentlichen Eiszeiten sind die Spuren des Permafrosts. Wie heute noch in Sibirien, Nordkanada und Alaska war einst auch der sächsische Boden jahraus, jahrein bis in große Tiefe gefroren. Im Sommer taute nur die oberste Schicht auf. Was der Frost anrichtete, demonstriert mir Eißmann: vollendete „Eiskeile“ und „Frosttaschen“.

### **In Sachsen herrschte Permafrost**

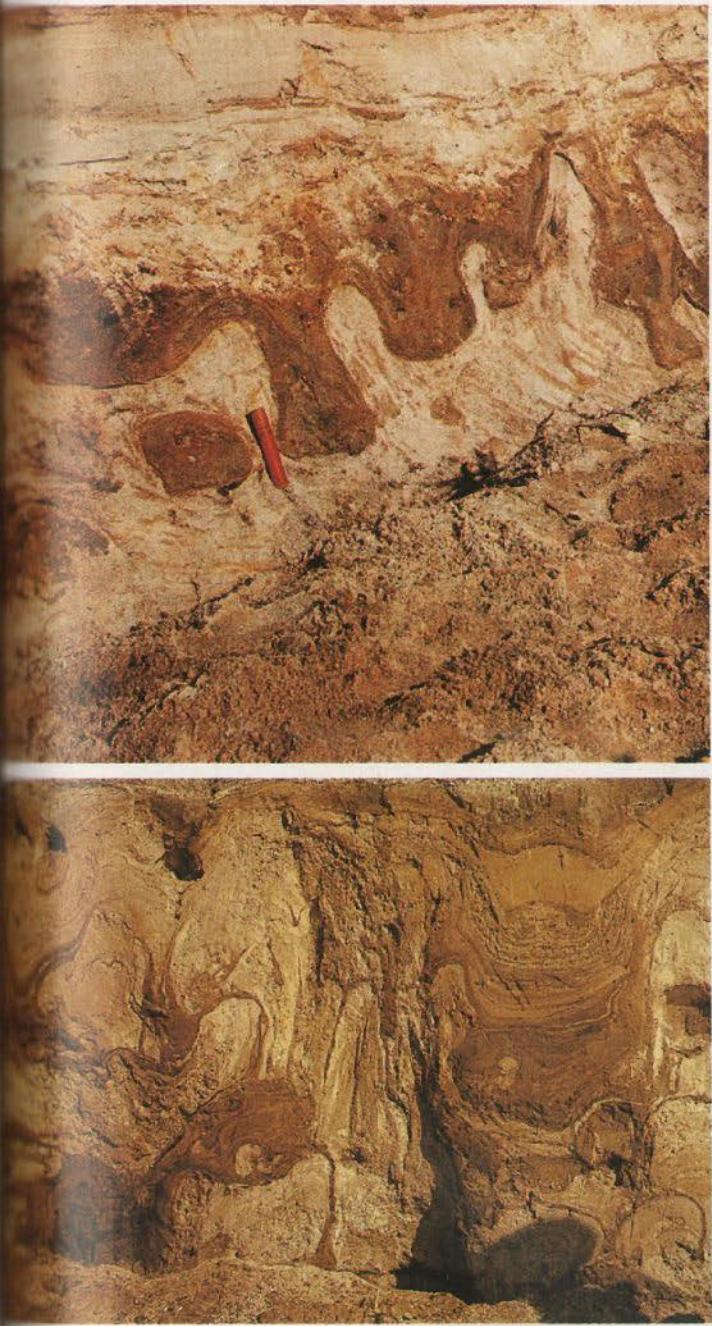
Wo Permafrost herrscht, verhindert der hartgefrorene Untergrund, daß Wasser versickert. Deshalb bildet der aufgetaute Boden meist einen sumpfigen Morast. Gefriert er wieder, dehnt er sich aus – zwangsläufig nach oben. Wenn es dann sehr kalt wird, zieht sich die gefrorene Masse wieder zusammen, aber nicht nur nach unten. Es bilden sich Risse, die wie ein unregelmäßig geratenes Bienenwabenmuster das Land überziehen können. Fällt von

»Eiskeil« nennen Geologen diese unvermittelte Störung in sonst sauber geschichteten Ablagerungen

– ein Hinweis auf einen ehemaligen Dauerfrostboden. Bagger haben in einer Braunkohlengrube bei Leipzig ein Netz von sandgefüllten Frostrissen freigelegt, das sich in der Kohle auffällig abzeichnet

### **Ein Keil aus Deutschlands kalten Tagen**





## **Wo Matsch zu Taschen und Tropfen erstarrte**

Solche »Taschen« und »Tropfen« können sich bilden, wenn – wie einst im eiszeitlichen Sachsen – Permafrost-Boden im Sommer oberflächlich taut. Liegt eine schwerere Schicht über einer leichteren, sinkt das schwere Material ein. Das Etui im oberen Bild ist 20 Zentimeter lang

oben Sand oder Geröll in die Spalten oder füllen sie sich mit Wasser, entstehen Schwächezonen, die im Winter leicht wieder aufbreißen und sich dabei erweitern.

Das Ergebnis permanenten Tauens und Gefrierens zeichnet sich in den Schottern der Kohlengruben gut ab: Spalten, die im Querschnitt keilförmig aussehen – Eiskeile. Normalerweise liegen die meist flachen Kieselsteine der Schotter schichten waagerecht, wie sie das Wasser abgesetzt hat. Steine, die in die Risse gerutscht sind, stehen jedoch senkrecht.

### **Mücken stürzten sich auf Mammuts**

In der Abbauwand einer Grube zeigt Eißmann mir alle paar Meter einen Eiskeil, der einen oder zwei Meter tief reicht. Und mit einiger Übung sehe auch ich Frostspalten, die es nicht bis zum Eiskeil gebracht haben: Entlang ihres senkrechten Risses sind die Kiesel von den Seiten her nur ein wenig abgekippt.

Der Leipziger Kaltzeit-Experte konnte bei seinen Inspektionsgängen durch die sächsischen Tagebaugruben in allen sechs Schotterformationen Eiskeile und Frostspalten nachweisen – ein übereinandergestapeltes Netzwerk aus den Rissen vergangener Epochen. Ich versuche mir die Landschaft vorzustellen, von der diese Risse künden: Im Winter eine karige Tundra mit steinhart gefrorenem Boden, über die Schne- und Staubstürme fegten; im Sommer ein grundloser Morast, übersät mit Tümpeln, aus denen Myriaden von Mücken sich auf Mammuts und Moschusochsen, Rentiere und Wisente stürzten.

„Schade“, sagt Eißmann, „daß es die Frostrisse nicht mehr gibt, die bis in die Braunkohle hinabreichten.“ So muß er mir die längst weggebaggerten Gebilde auf Fotos zeigen: Die Risse, mit Sand aus einer darüberliegenden Schicht gefüllt, haben sich auf der dunklen Braunkohle gut ab.

Wie ein Archäologe, der während einer Grabung schon Details früherer Kultu-

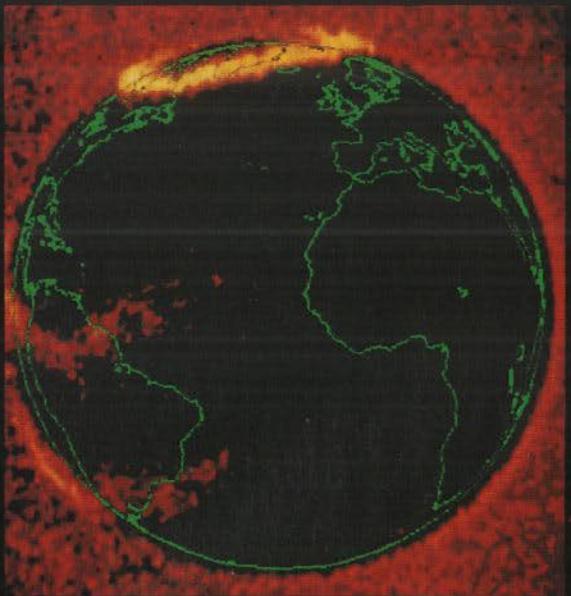
ren erkennt, wo Laien nichts als Steine sehen, so gerät auch Eißmann in Fahrt, während er mir die Details anderer Frostmarken erklärt – verschlungene Erdgebilde mit Namen wie „Girlanden-“, „Tropfen-“ und „Würgeböden“. Eigentlich sollten sie, meint er, besser „Auf taubodenmarken“ heißen. Denn sie entstehen, wenn im auftauenden, nassen Boden eine schwerere Schicht über einer leichteren liegt: Das schwerere Material sinkt im Morast nach unten, das leichtere quillt empor.

Werden Fetzen der schwereren Schicht in der leichten schwimmend wieder eingefroren, bilden sich Würgeböden. Schwingen größere Stücke des eingedrungenen Materials in Falten auf und ab, formen sich Girlandenböden. Senkt sich die obere Schicht wellenförmig ein, entstehen Frosttaschen. Aus ihnen können Tropfen in den tieferen Grund absinken, die an langgezogenen Stielen hängen oder ganz abreißen.

„Ein perfekter Fries“, schwärmt Eißmann und zeigt mir ein Bild des „schönsten Tropfenbodens, der auf der Erde fotografiert worden ist“: Tropfen reiht sich an Tropfen, jeder individuell und oft bizarr geformt, doch zusammen gesehen ein Muster filigraner Harmonie.

Solche geologischen Kostbarkeiten blieben im Westen bis zur Wende nahezu unbekannt. Eißmann konnte weder bundesdeutsche Kollegen einladen, um ihnen die vom Abbau bedrohten Zeugnisse der Eiszeit zu zeigen, noch durfte er selbst reisen. Das ist nun alles anders geworden. Die Gruben bergen keine Staatsgeheimnisse mehr. Und Eißmann führt, von der internationalen Fachwelt mit Applaus bedacht, seinen Kollegen vor, was er in den Jahrzehnten der Isolation dokumentiert hat. Dabei spricht er, noch traumatisiert, von seiner „Serie 97“: Erst für 1997, das Jahr seiner Pensionierung, hatte er sich Chancen ausgerechnet, seine Erkenntnisse im Ausland präsentieren zu können. □

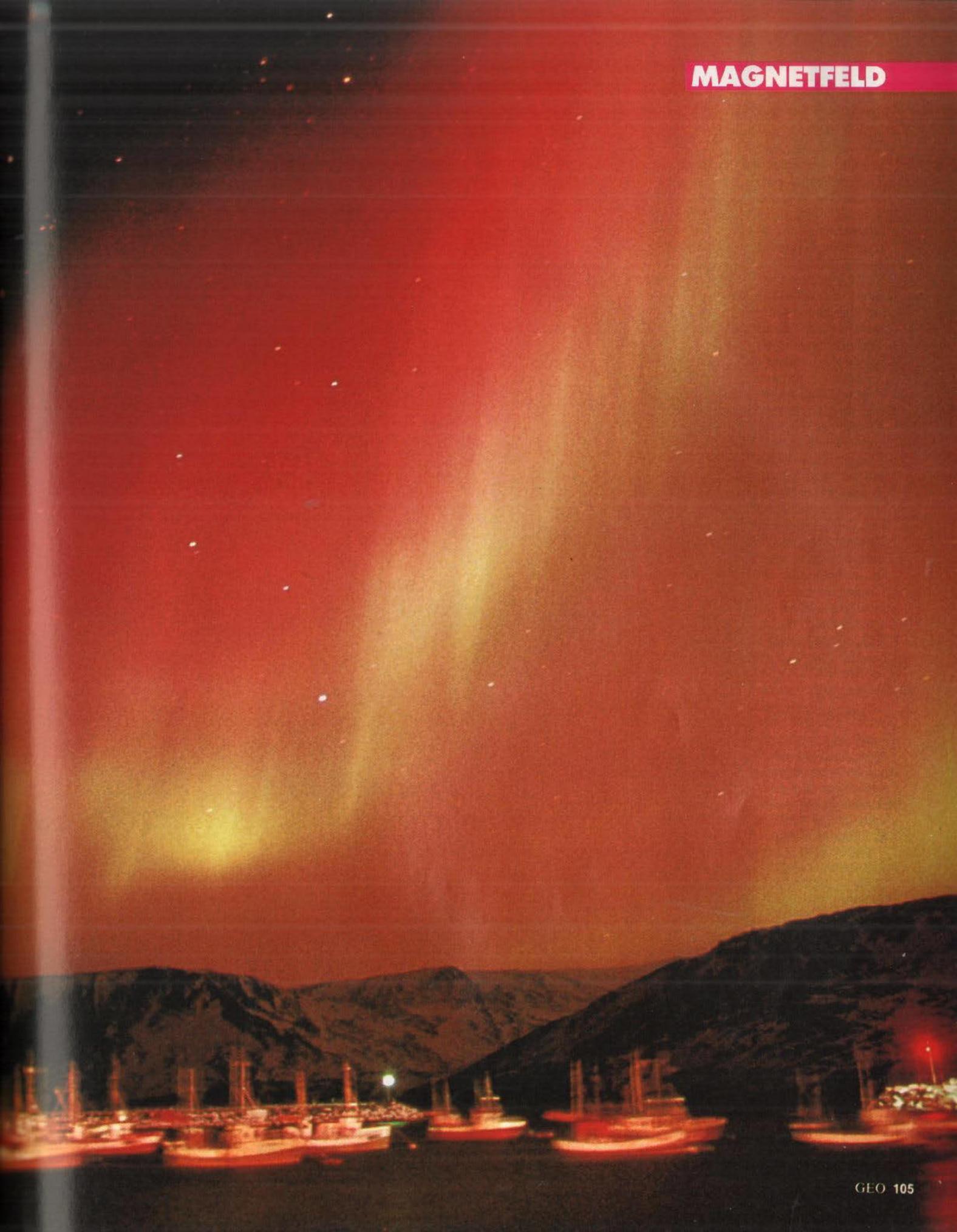
**Dr. Erwin Lausch, 61, ist GEO-Redakteur.**



Wie einen Heiligen Schein trägt die Erde den Ring aus Nordlichtern entlang des »Polarlicht-Ovals«, in dessen Zentrum der magnetische Nordpol liegt. Die Globalansicht der »Aurora borealis« wurde vom US-Satelliten »Dynamics Explorer 1« aus rund 20 000 Kilometer Entfernung aufgenommen. Auch vom Erdboden aus gesehen bieten Polarlichter manchen Show-Effekt – etwa einen himmelweiten Vorhang über dem norwegischen Fischerort Skarsvåg. Die Aurora spiegelt Kapriolen des irdischen Magnetfeldes wider. Sein Einfluß reicht von der Ausrichtung der Kompaß-Nadel bis zum Strahlenschauer für die Insassen von Jets

# Auroras Tanz im Sonnenwind

**MAGNETFELD**



# N

von CHRISTOPHER SCHRADER

nach Norden zielt die Nadel, gelenkt von einer unsichtbaren Macht. Zitternd zwar, aber zuverlässig hilft sie Seefahrern, den rechten Kurs zu halten – solange diese in ihren angestammten Breiten bleiben. Folgten sie allerdings strikt der Nadelrichtung, so kämen sie zwar in die Arktis, aber niemals ans Ziel. Und Ursache wäre nicht nur das Packeis: Bevor die Schiffe den Punkt erreichten, auf den die Nadel in mittleren Breiten weist, würde ihnen der Kompaß seine Verlässlichkeit aufzudecken, sein Zeiger würde sinnlos über die Windrose irren.

Wo der Kompaß spinnt, irrlichtert der Himmel. Hoch über den Wolken wabern und zucken farbige Erscheinungen am nächtlichen Firmament. Reflexionen von den Schilden der Walküren, die tote Krieger nach Walhall begleiteten, glaubten die alten Skandinavier zu sehen. Für Zeugen eines Ballspiels der Toten hielten sich die grönländischen Inuit, wenn Nordlichter ihre eisige Heimat in der Polarnacht erhellten. Ein „endloses Truggebilde von funkelnder Farbe“ sah der große norwegische Polarforscher Fridtjof Nansen in der Aurora borealis, wie das Nordlicht wissenschaftlich heißt, „alles übertreffend, was man träumen kann“.

Auch wenn die Kapriolen des Kompasses und der Aurora längst physikalisch nüchtern als Phänomene des Erdmagnetfeldes erklärt werden können: Nach zufriedenstellenden Antworten für die polaren Launen der irdischen Magnetosphäre suchen die Geophysiker noch immer. Denn die Herkunft dieses Geistes aus Magnetfeldlinien liegt tief verborgen in den brodelnden Eisenmassen des flüssigen Erdkerns, deren Einfluß weit in den Weltraum reicht, noch über die Bahn des Mondes hinaus.

Die Erforschung des Erdmagnetfeldes befriedigte von Anfang an mehr als nur akademische Neugier. Da die Magnetpole – anders als die geographischen – wandern, müssen Seekarten alle zehn Jahre mit neuen Angaben über die Mißweisung des Kompasses aktualisiert werden. Dazu kommt, daß besonders in Jahren wie 1989 und 1990, zum Höhepunkt des rund elfjährigen Sonnenfleckenzyklus, die immerwährenden magnetischen Fluktuationen zu schweren „Stürmen“ anwachsen. Wenn nach gigantischen solaren Eruptionen der „Sonnenwind“ auf die irdische Magnetosphäre prallt und diesen äußersten Schutzschild unseres Planeten auf der Tagseite zusammenquetscht, dringen

hochenergetische Partikel tiefer als gewöhnlich in die Atmosphäre ein. Dann ● gibt es, wie jüngst mehrfach geschehen, Strahlenalarm an Bord des hochfliegenden Überschall-Jets „Concorde“; ● bricht – wie im März 1989 – in der kanadischen Provinz Québec, die dem nördlichen Magnetpol besonders nahe liegt, das Stromnetz wegen Spannungsspitzen zusammen; ● ist der Kurzwellen-Funk gestört; ● nehmen elektronische Geräte und Computer vor allem an Bord von Satelliten und Flugzeugen Schaden;

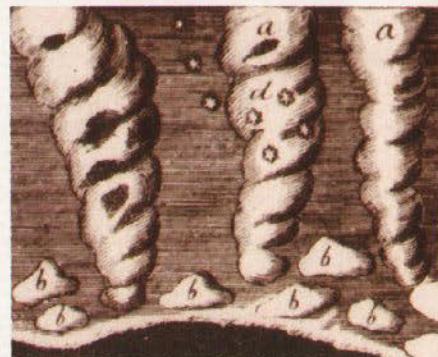
● zeigt der Kompaß plötzlich um mehrere Grade falsch an.

Das gegenwärtige Sonnenfleckenzirkum maximum könnte eines der heftigsten sein, das je beobachtet worden ist. Das am besten beobachtete ist es schon jetzt. Ob freilich die Fragen der Forscher nach dem Warum und dem Wie des Wechselspiels zwischen Magnetosphäre und Sonnenaktivität sämtlich beantwortet werden, muß bezweifelt werden: Zu verwickelt sind die zugrunde liegenden Phänomene.

Als der Kompaß im 12. Jahrhundert in Europa in Gebrauch kam, schien den Gelehrten die Herkunft der Kraft klar, die seine Nadel nach Norden zwingt: Die Anziehung gehe vom Polarstern aus. Allerdings könnte sich, so eine weitverbreitete Überzeugung, zwischen Himmelsmacht und Nadel ein anrüchiger irdischer Gegenspieler drängen – Knoblauch. Bis



Aurora, die römische Göttin der Morgenröte, Namenspatin der Polarlichter



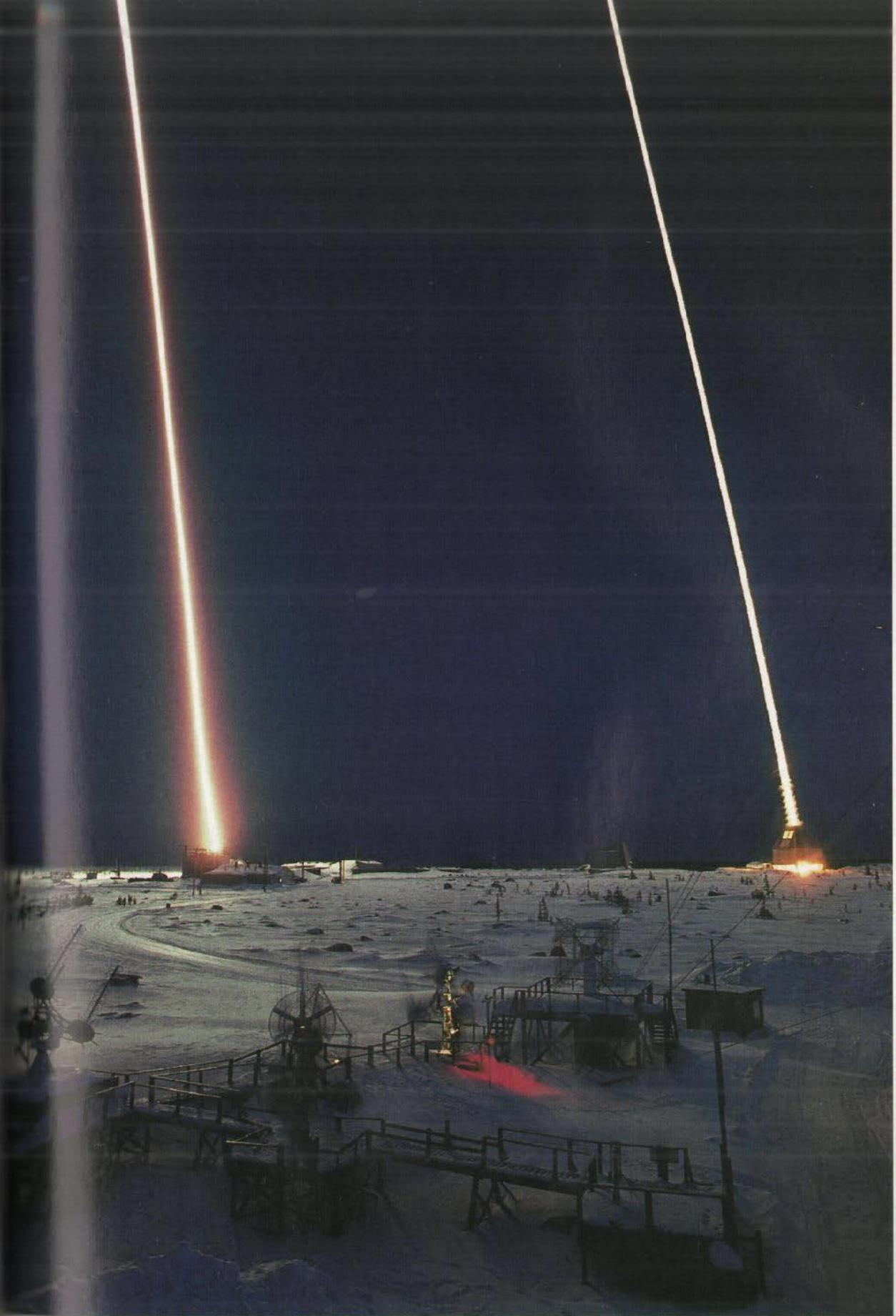
Selten so weit südlich: die »große Aurora«, gesehen am 17. März 1716 über Danzig

William Gilbert wies im Jahr 1600 nach, daß die Erde selbst ein Magnet ist



James Ross stand am 1. Juni 1831 als erster Forscher am magnetischen Nordpol

Ein riesiges Nordlicht schlängelte sich am 27. Dezember 1866 über den Nachthimmel von Nulato in Alaska



## **Großangriff auf das Rätsel der tanzenden Elektronen**

Feurige Spuren hinterlassen zwei Höhenforschungsraketen nach dem Start im kanadischen Churchill am Westufer der Hudson Bay. Bis zu 700 Kilometer hoch sollen die Projektille fliegen. Instrumente an Bord werden dabei die Wechselwirkungen zwischen dem Erdmagnetfeld und dem »Sonnenwind« aufzeichnen, auf die Polarlichter zurückzugehen

tief ins 17. Jahrhundert drohte jedem englischen Matrosen Bekanntschaft mit der neunschönwändigen Katze, der sich dem Steuerkompaß mit knofligem Atem näherte.

Dabei hatte William Gilbert jenem Aberglauben schon im Jahr 1600 die Grundlage entzogen. Obwohl Experimente damals noch selten waren, hatte der englische Gelehrte so lange mit einer Kompaß-Nadel und einer magnetischen Kugel herumprobiert, bis er die vermeintliche Himmelsmacht als irdisches Phänomen entlarvt und erkannt hatte: Der Erdball selbst ist ein großer Magnet.

Für den Forschungspionier glich das irdische Magnetfeld dem eines Stabmagneten, der ausgestreute Eisenfeilspäne entlang seiner Feldlinien ordnet: Beide erzeugten ein „Dipol-Feld“ mit zwei magnetischen Polen, die auf unserem Planeten – wohl durch höhere Ratschluß – etwa mit den geographischen übereinstimmten. Allerdings wußte auch Gilbert schon, daß der Kompaß nicht genau zum Nordpol zeigt, sondern auf einen Punkt um einige Grade westlich davon. Aber er tat diese Mißweisung als Randeffekt ab und konstatierte, daß der Atlantik die Nadel eben weniger anziehe als die Kontinente.

Erst zwei Jahrhunderte später lieferte ein Landsmann Gilberts den Gegenbeweis: Am 1. Juni 1831 stand James Ross als erster Forscher am magnetischen Nordpol. Den Weg dorthin hatte ihm ein „Inklinationsmesser“ gewiesen: eine frei aufgehängte Kompaßnadel, die den Feldlinien auch im Senkrechten folgt. Den Ort an der Westküste der Boothia-Halbinsel in Kanada, wo die Nadel auf 89 Grad 59 Minuten – also fast senkrecht – zur Erdoberfläche stand, deklarierte Ross als magnetischen Nordpol: ein Punkt am 70. Breitengrad, gut 2000 Kilometer südlich des geographischen Pols.

#### Warum liegen die magnetischen und geomagnetischen Pole so weit auseinander?

Vier Jahre später fand Carl Friedrich Gauss einen dritten Pol, ohne seine Universität in Göttingen zu verlassen. Mit Hilfe von Magnetfeld-Daten aus aller Welt hatte der Wissenschaftler errechnet, daß – unter der Voraussetzung eines Dipol-Feldes – die Achse dieses Dipols die Erdoberfläche bei 79 Grad Nord und 70 Grad West durchstoßen sollte. Das Dipol-Feld, zu diesem Schluß war Gauss gekommen, ist in einem Winkel von etwa 11 Grad zur Drehachse des Planeten geneigt. Aus der Tatsache, daß der Dipol-Nordpol nicht mit dem von Ross ermit-

## Wenn es auf der Sonne stürmt, flackern die polaren Lichter

telten Magnetpol zusammenfiel, schloß Gauss, daß das Erdmagnetfeld nur zu etwa 90 Prozent Dipol-Charakter aufweist, also auch noch Anteile von weiteren Polen enthält. Zur Unterscheidung von dem wirklich meßbaren magnetischen Nordpol wird der Dipol-Durchstoßpunkt – der ja nur ein mathematisch definierter Punkt ist – auch als „geomagnetischer“ Pol bezeichnet.

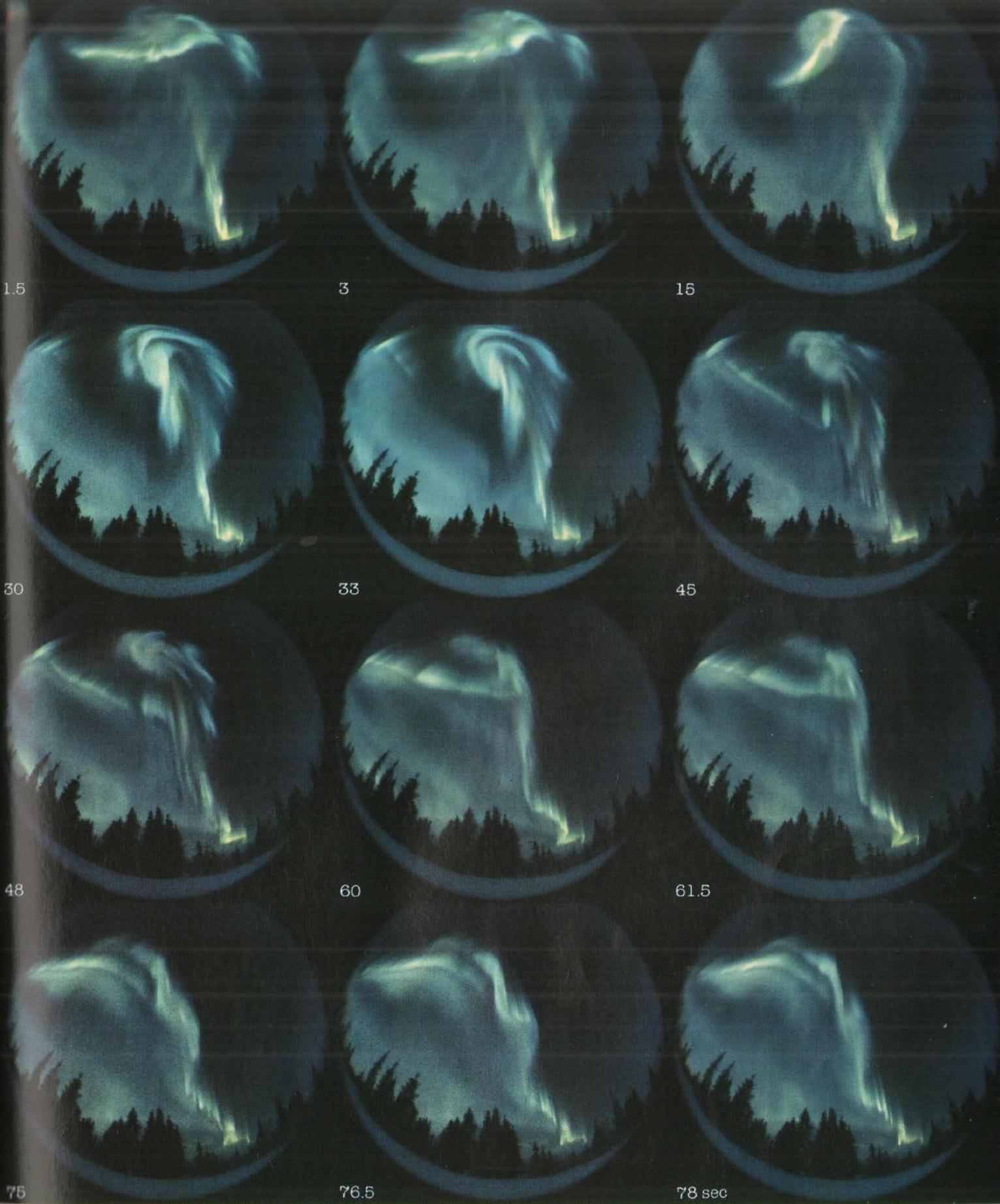
Probleme haben die Forscher, die Herkunft der restlichen zehn Prozent des irdischen Magnetfeldes – jene ohne Dipol-Charakter – zu erklären. Sie werden vor allem von auch heute noch wenig verstandenen Vorgängen im Erdkern sowie – zu einem kleinen Teil – vom magnetisierten Gestein der Erdkruste verursacht. Soviel ist immerhin klar: Jene zehn Prozent sind der Grund dafür, daß die jeweiligen magnetischen und geomagnetischen Pole so weit auseinanderliegen. Und sie sorgen für Bewegung: Beide magnetischen Pole wandern, der in der Arktis seit geraumer Zeit hin zur Drehachse, der antarktische von ihr weg. Seit den Zeiten von James Ross hat sich der magnetische Nordpol um 600 Kilometer nach Norden verlagert; im Jahr 1990 rückt er weitere fünf Kilometer nach Westen und 24 nach Norden. Deshalb verändert sich auch die Mißweisung des Kompasses kontinuierlich.

Der Motor dieser Bewegung, der Erdkern, liegt tief unter Kruste und Mantel des Planetenkörpers. Im äußeren Kern – zwischen 2900 und 4600 Kilometer Tiefe – herrschen 4000 Grad Hitze. Deshalb ist das Eisen, aus dem er vor allem besteht, dort flüssig. Noch tiefer wird der Druck jedoch so groß, daß sich die Metallschmelze wieder verfestigt: Es beginnt der starre innere Kern um den Erdmittelpunkt in 6370 Kilometer Tiefe.

Eigentlich ist das Eisen des Kerns viel zu heiß, um ein Magnetfeld zu erzeugen. Schon bei 760 Grad Celsius – nach dem französischen Physik-Nobelpreisträger Pierre Curie „Curie-Temperatur“ genannt – verliert das Metall jegliche permanente Magnetisierung. Erklärt hat



Ein gewaltiges Schauspiel lieferte ein Nordlicht über



Fairbanks, Alaska, im Januar 1990 in nur 78 Sekunden. Die Sequenz wurde mit einem Fischaugen-Objektiv aufgenommen, das den ganzen Himmel erfaßte

diesen Widerspruch der britische Physiker Sir Joseph Lamor bereits 1919 mit seiner Theorie vom „Geo-Dynamo“. Denn das flüssige Eisen strömt langsam, mit einer Geschwindigkeit von etwa 40 Metern am Tag, um den starren inneren Kern herum. Dabei entsteht ein Strom ungeheurer Stärke, und der erzeugt das globale Magnetfeld.

Den Geo-Dynamo treibt jedoch nicht etwa eine Rotation des inneren Kerns gegen den Rest der Erde an, sondern ein Austausch unterschiedlich schwerer Materialien quer durch den flüssigen äußeren Kern. Nach einer von zwei konkurrierenden Theorien lagern sich ständig Atome des flüssigen Eisens am festen inneren Kern an, während Sauerstoff, Schwefel und andere leichte Bestandteile der Schmelze nach außen – „oben“ – wandern. Dem zweiten Modell zufolge heizt eine zentrale Energiequelle den inneren Kern auf, mutmaßlich der Zerfall radioaktiver Elemente. Dadurch wäre das flüssige Eisen am Kern heißer und weniger dicht, so daß es durch kälteres, schwereres Material verdrängt würde. Nach dieser Theorie trieb die Konvektion den Dynamo, den Wasserströmungen in einem Topf auf dem heißen Herd ähnlich.

Die aufsteigenden Teilchen wandern nun nicht etwa auf geradem Weg nach oben, sondern werden durch die Erdrotation

um eine Kreisbahn zwischen innerem Kern und Mantel gezwungen. Dabei bilden sich, wie in turbulenten Flüssigkeiten üblich, Strömungszylinder. Mindestens drei solcher Gebilde vermutet das britische Forscher-Duo Jeremy Bloxham und David Gubbins im Erdmantel. Hinweise auf zwei dieser Strömungswalzen glauben die Geophysiker schon gefunden zu haben: Wenn es die Zylinder gibt, müssen sich in ihnen die Feldlinien bündeln. Tatsächlich hat der „Magsat“-Satellit im Jahr 1980 Regionen mit auffällig starkem magnetischen Fluß unter Sibirien und dem Westen Kanadas entdeckt. Dort zieht es besonders viele Feldlinien ins Erdinnere. Direkt „darunter“ – in den entsprechenden Regionen der Südhalbkugel – treten die Feldlinien-Bündel wieder aus der Erde aus.

In jenen Strömungszylindern wird – wie in einem Getriebe, in dem sich alle Räder gegen den Uhrzeigersinn drehen –

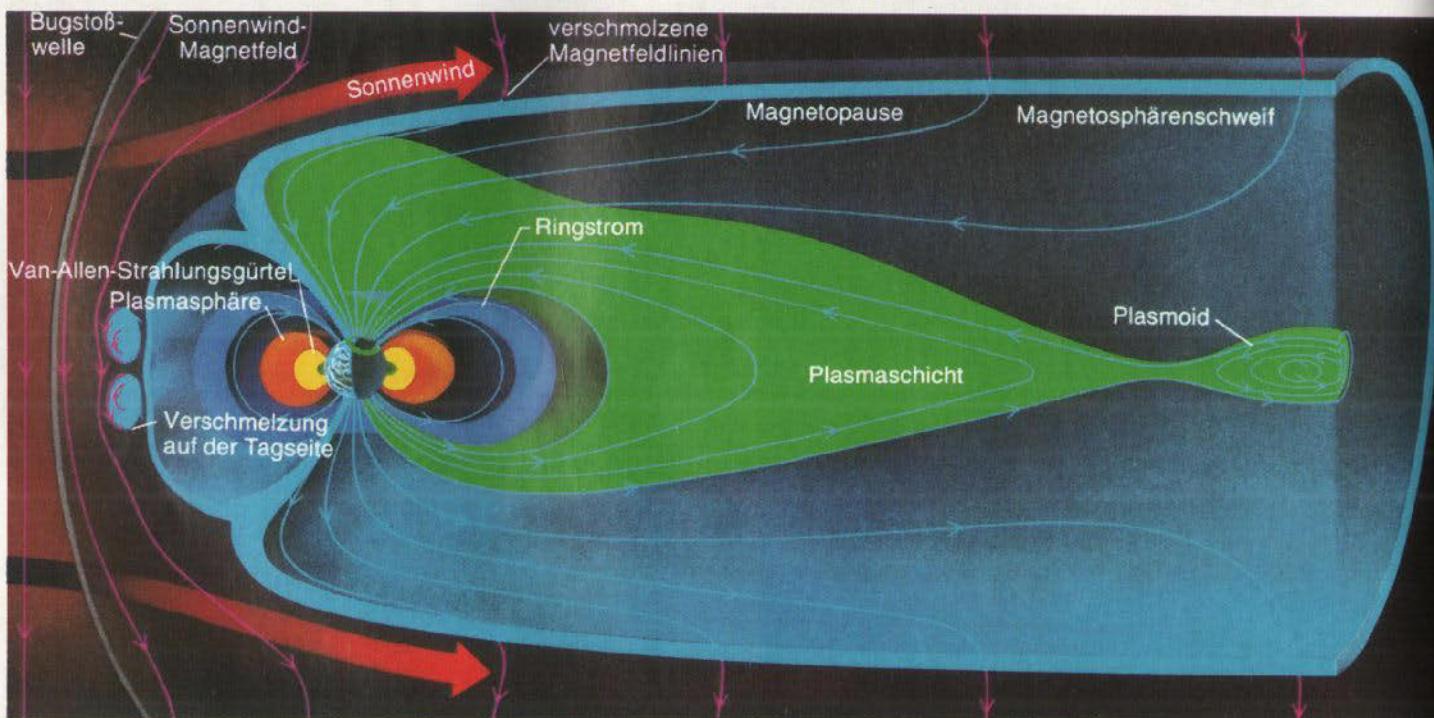
das Eisen im äußeren Kern herumgewirbelt (siehe Grafik Seite 111 unten). Die Feldlinien werden dabei mitgezogen, da sie im flüssigen Eisen gleichsam eingefroren sind: Gute elektrische Leiter lassen Magnetfelder, die einmal in sie eindringen sind, nicht so schnell wieder los. Die lokale Feldstärke schwankt stark in diesem turbulenten Geschiebe, weil die Feldlinien bald zusammengequetscht werden, bald auseinandergezerrt. So erregt sich der Dynamo immer wieder selbst: Die Veränderung erzeugt Ströme, die das Feld verändern, was wiederum Ströme erzeugt.

Was immer das Magnetfeld antreibt – in Bewegung ist es ständig. So driftet der Dipol-Anteil des Feldes langsam – um etwa ein Grad alle fünf Jahre – nach Westen, als ob der ganze äußere Erdkern mit seinen Strömungswalzen langsam im Mantel rotiert. Allerdings nimmt die Stärke des Feldes ab: Hält der gegenwärtige

## Der Schweif der Erde reicht bis hinter den Mond

Weit ins All reicht die Magnetosphäre, die äußerste Schutzhülle der Erde. Ihre Form gleicht einem Kometenschweif – eine Folge des Sonnenwindes. Dieser Teilchenstrom trifft an der Tagseite des Planeten auf dessen Magnetfeld, drückt es bis auf 70 000 Kilometer

zusammen und umströmt es entlang des mehrere Millionen Kilometer langen Schweifs. Sonnenwind-Partikel finden entlang verschmolzener Magnetfeldlinien Einlaß in die Magnetosphäre, wo sie sich in mehreren Zonen – vor allem in der Plasmaschicht – ansammeln



tige Trend an, ist es in etwa 2000 Jahren auf Null.

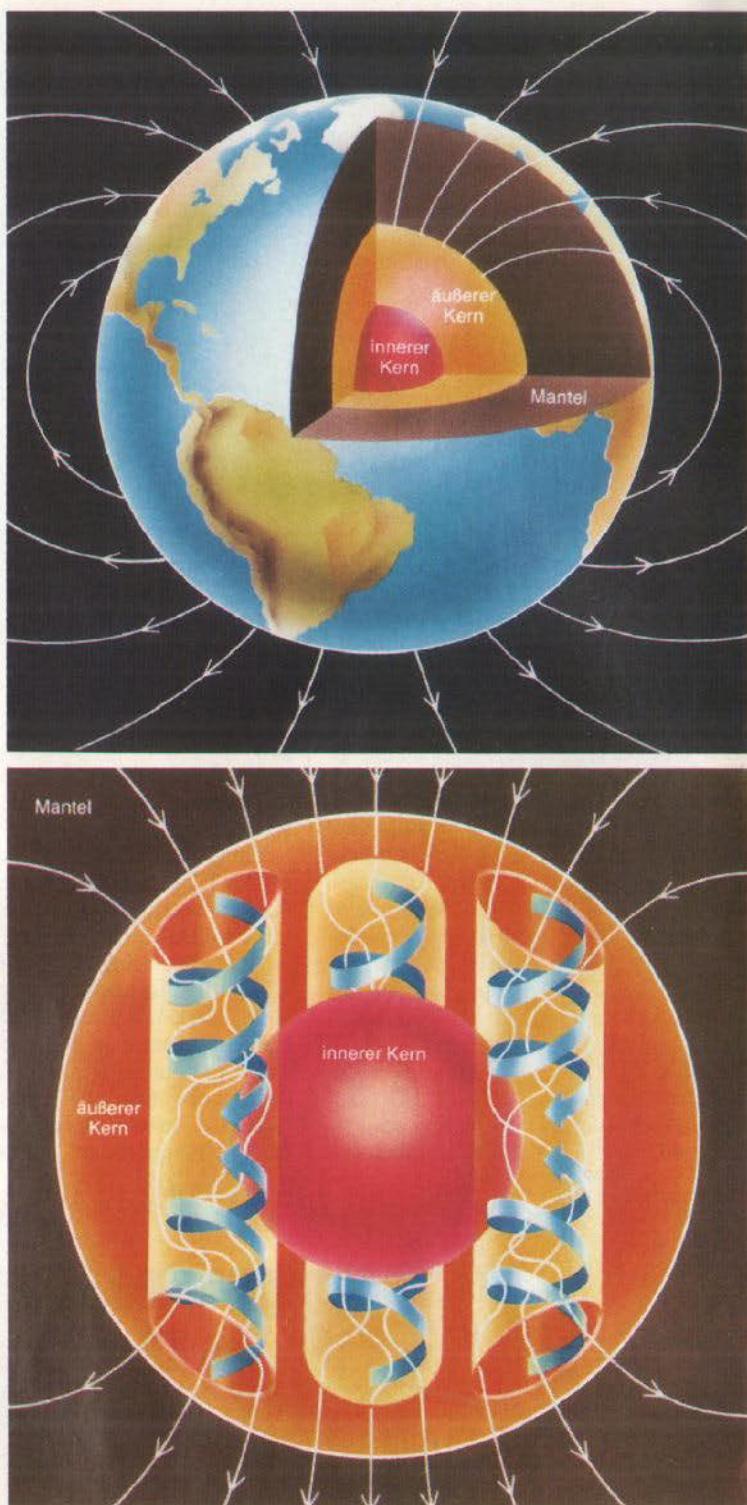
Was dann passiert, weiß niemand. Das Feld könnte sich zum Beispiel umkehren, wie zuletzt vor etwa 700 000 Jahren. Oder aber sich selbst wieder verstärken, wie vor verhältnismäßig kurzer Zeit: Zwischen 5500 und 3500 v. Chr. schwächte sich das Feld stark ab, schwoll dann bis etwa 500 n. Chr. auf das Anderthalbfache des heutigen Wertes an und nimmt seitdem wieder ab. Davon zeugen antike Vasen, deren eisenhaltiges Tonmaterial beim Brennen das jeweilig herrschende Erdmagnetfeld quasi konservierte.

Drift, Abschwächung und Umkehrung haben nach Meinung mancher Forscher äußere Ursachen wie den Einschlag großer Meteoriten auf der Erde. Nach Gubbins und Bloxham werden sie dagegen von Strömungen an der Oberfläche des Kerns ausgelöst, von sogenannten Kernflecken – wandernden Regionen, in denen der magnetische Fluß sehr stark, jedoch anders „gepolt“ ist als seine Umgebung, wodurch die Gesamt-Feldstärke abnimmt. Über den genauen Ablauf und die Dauer einer Feld-Umkehrung ist allerdings wenig bekannt.

Als ob das irdische Magnetfeld unter unseren Füßen nicht schon kompliziert genug wäre: Seine Kapriolen steigern sich noch über unseren Köpfen. Eine sichtbare Folge davon sind Polarlichter. Entlang des Polarlicht-Ovals, das sich von Nord-Norwegen über Island, Grönland, Nordkanada und Sibirien erstreckt, kommen sie so häufig vor, daß sie dort zum metaphorischen Sprachschatz der Völker gehören – als Fackeln in der Hand der Götter, gefrorenes Freudenfeuer, Engelskleider oder eben Ballspiele der Toten. Mitteleuropäer bekommen eine Aurora ziemlich selten zu Gesicht – zuletzt im Oktober 1989.

Ein poetischer Physiker könnte das Polarlicht als einen Tanz von Elektronen des Sonnenwindes mit den Atomen der oberen Atmosphäre bezeichnen. Allerdings erzeugen die solaren Elektronen das Polarlicht nicht direkt: Vorher erfolgt eine Zwischenspeicherung und Beschleunigung der Teilchen in der Magnetosphäre.

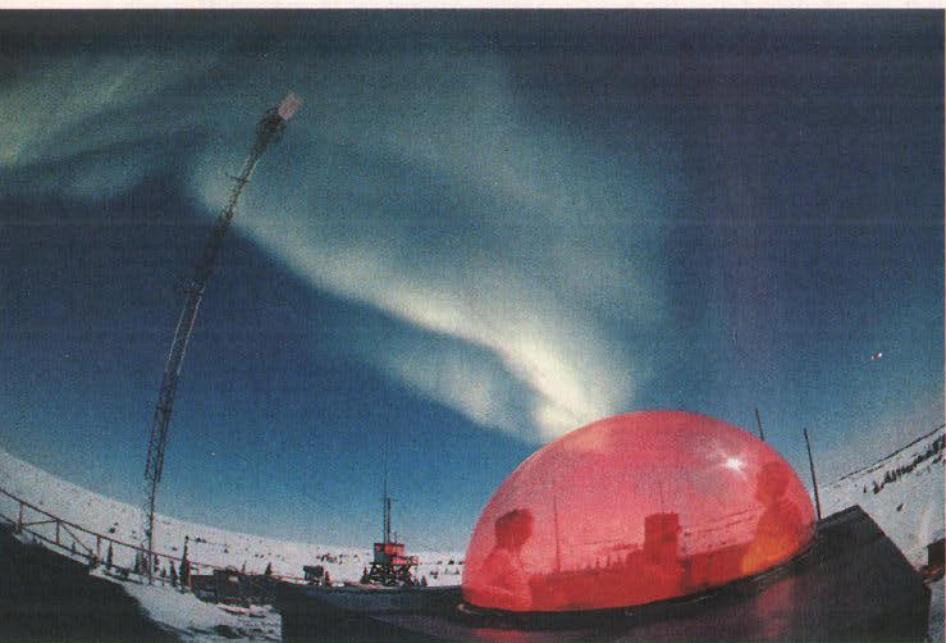
Der Sonnenwind ist ein Gas aus vollständig ionisiertem Wasserstoff, also Protonen und Elektronen in gleichen Mengen – ein „Plasma“. Dieses Plasma reißt das Magnetfeld der Sonne weit mit sich ins All hinaus. Nach drei bis vier Tagen Flug prallt alles auf die irdische Magnetosphäre. Dadurch bildet sich auf der Tagseite, etwa 70 000 Kilometer vor unserem Planeten, eine „Schockfront“: eine ähnliche Erscheinung wie der Über-



## Bündeln Zylinder im Kern das Feld?

Das Erdmagnetfeld ähnelt auf den ersten Blick dem eines Stabmagneten. Doch es ist nur zu 90 Prozent ein „Dipol-Feld“. Turbulenzen im „Geo-Dynamo“ – dem äußeren und inneren Erdkern – sorgen dafür, daß die Magnetpole gegenüber der Erdachse verschoben sind und

ständig wandern. Diese Unstetigkeit geht, wie zwei britische Physiker vermuten, auf drei Strömungswalzen im glutflüssigen äußeren Erdkern zurück, wo die Feldlinien gebündelt und verzerrt werden



Aurora-Wacht unter einer beheizten Schutzhaut im kanadischen Churchill

schallknall bei einem Düsenflugzeug. Das Erdmagnetfeld wird dort komprimiert, während es auf der Nachtseite einen Schweif bildet, der einige Millionen Kilometer weit in den Weltraum reicht (siehe Grafik Seite 110).

Ist das solare Magnetfeld im Sonnenwind nicht nach Süden ausgerichtet, fließt dieses einfach außen an der Magnetosphäre vorbei. Weit draußen auf der Nachtseite verbinden sich die beiden Felder und öffnen den Sonnenwind-Teilchen die Tür in die irdische Magnetosphäre. Negativ geladene Elektronen werden dann zur Abendseite und positive Protonen zur Morgenseite des Erdballs

gelenkt. Die hohe Spannung, die sich dabei aufbaut, zwingt freilich die meisten Teilchen in ein Reservoir, die „Plasmashicht“.

Einige jedoch, besonders die beweglicheren Elektronen, sausen entlang der irdischen Magnetfeldlinien direkt zum Polarlicht-Oval. Sie fließen hinab zur Abendseite, bringen dort die Luftmoleküle in der Ionosphäre – etwa 100 Kilometer über dem Erdboden – zum Leuchten und strömen an der Morgenseite herauf, wo durch sogenannte sekundäre Ströme ebenfalls eine Aurora in der Ionosphäre entsteht. Wegen der Symmetrie des Erdmagnetfeldes findet an beiden

Polen dieselbe Show statt: Die Erde trägt dann zwei leuchtende Kronen mit je 2000 Kilometer Durchmesser, die jede Stunde so viel Energie verbrauchen, wie die Bundesrepublik an Strom in drei Monaten (siehe Seite 104 und links unten).

Die Färbung der Aurora gibt Aufschluß über die Zusammensetzung der oberen Atmosphäre: Gelbgrün und rot entsteht durch angeregte Sauerstoffatome, blau und blaugrün durch Stickstoffmoleküle, rosa leuchten auseinandergebrochene Stickstoff-Moleküle auf. Was den Polarlichtern hingegen die Form gibt, ist noch ein Rätsel. Jedenfalls ist eine Aurora sehr flach und wirkt daher wie ein leuchtender Vorhang.

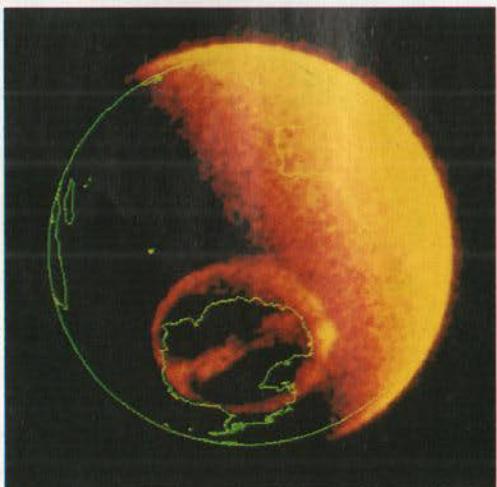
Dreht sich das Magnetfeld im Sonnenwind nach Süden, so kann es passieren, daß der Sonnenwind zu viele Teilchen – also zuviel Energie – in jene Plasmashicht hineinpumpt. Dann werden die Feldlinien überdehnt, die das Plasma fesseln, und der Ballon platzt irgendwann: Ein Großteil des Plasmas schießt auf der Nachtseite hinaus ins All; ein kleinerer Teil rast erdwärts und verstärkt das Polarlicht. Ein solcher „magnetischer Teilsturm“ dauert mehrere Stunden und kommt recht häufig vor; er hat für uns Erdenbürger keine besonders ärgerlichen Folgen.

Anders ein ausgewachsener Magnetsturm: Er beginnt mit einer Sonneneruption, deren Plasma-Auswurf schon nach zwei Tagen die Schockfront erreicht und die irdische Magnetosphäre noch stärker als gewöhnlich zusammendrückt. Das Erdmagnetfeld verstärkt sich innerhalb einer Minute um bis zu fünf Prozent. Nun leuchten die Polarlichter heftiger und weiter südlich als sonst. Unten am Boden induziert der Aufruhr im Feld gewaltige Spannungen in Überlandleitungen, so daß – wie am 16. März 1989 in Québec – die Stromversorgung zusammenbrechen kann. An den Magnetpolen dringen Protonenschauer tief in die Erdatmosphäre ein, die Strahlenbelastung – und damit das Krebsrisiko – steigt für Flugzeuginsassen sprunghaft an.

Nord- und Südlichter sind ein gutes Zeichen. Sie signalisieren, daß unser Magnetfeld „arbeitet“ und die von der Sonne hergeschossenen Teilchen zum allergrößten Teil an der Erde vorbeilenkt. Nur ein geringer Teil wird auf einem langen Umweg in die dünn oder gar nicht besiedelten Polarregionen gelenkt. Und das ist gut so: Ohne den Schutz des irdischen Magnetfeldes würden wir ganz schön im Sonnenwind stehen. □

## Ein selten schönes Südlicht

Ein ungewöhnlicher Schnappschuß gelang dem US-Satelliten »Dynamics Explorer 1« mit der Aufnahme einer antarktischen »Theta-Aurora«: Die ungewöhnliche Form der Polarlicht-Erscheinung ähnelt der des griechischen Buchstabens Theta; sie kann entstehen, wenn das interplanetare Magnetfeld nach Norden zeigt

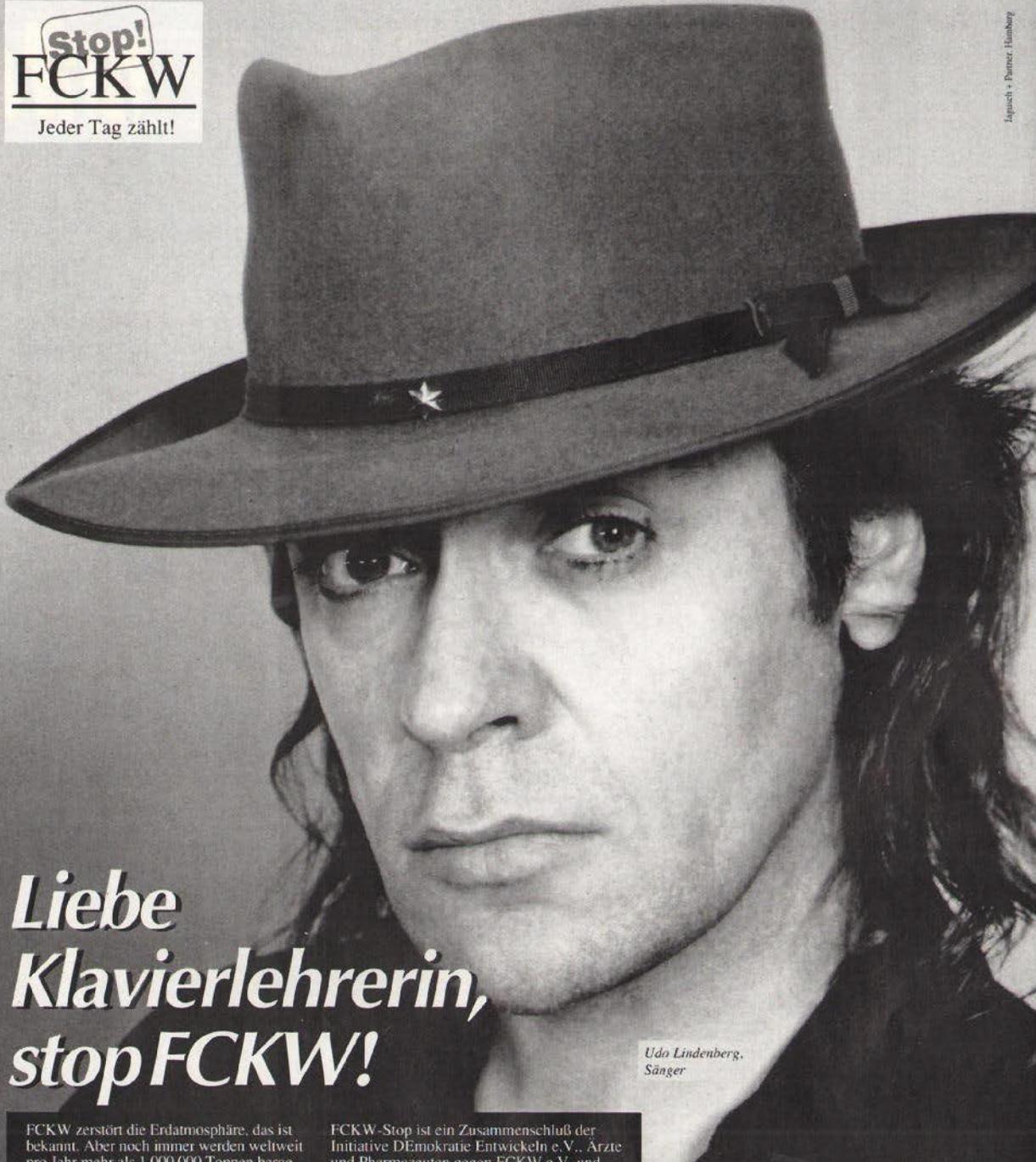


Christopher Schrader, 28, Diplom-Physiker aus Hamburg, ist Absolvent der Henri-Nannen-Schule.

**Stop!**  
**FCKW**

Jeder Tag zählt!

Lapusch + Partner, Hamburg



# Liebe Klavierlehrerin, stop FCKW!

*Udo Lindenberg,  
Sänger*

FCKW zerstört die Erdatmosphäre, das ist bekannt. Aber noch immer werden weltweit pro Jahr mehr als 1.000.000 Tonnen hergestellt. Davon über 112.000 Tonnen FCKW in der Bundesrepublik Deutschland. Nicht nur für Spraydosen.

Viele meinen, FCKW sei schon verboten. Das stimmt nicht. Bonn plant, die Herstellung und Verwendung in den nächsten Jahren stufenweise einzuschränken. Im Ausland passiert noch weniger. Das reicht nicht aus.

Schicken Sie uns den Coupon aus dieser Anzeige. Wir sagen Ihnen dann, wie sie zum FCKW-Stop beitragen können. Als Verbraucher, in Industrie, Handel und Dienstleistung, in der Politik und in den Kommunen.

Auch wenn Sie andere Fächer unterrichten.

FCKW-Stop ist ein Zusammenschluß der Initiative Demokratie Entwickeln e.V., Ärzte und Pharmazeuten gegen FCKW e.V. und der Aktion Ozonloch e.V.

Die Initiative wird unterstützt von Senta Berger-Verhoeven, Wolf Biermann, Alfred Biolek, René Böll, Ina Deter, Klaus Doldinger, Jürgen Flimm, Jürgen Fuchs, Herbert Grönemeyer, Peter Härtling, Hans-Dieter Hüsch, Udo Jürgens, Freya Klier, Alexander Kluge, Stephan Krawczyk, Udo Lindenberg, Peter Maffay, Marius Müller-Westernhagen, Reinhard Mey, Wolfgang Niedecken, Witta Pohl, Hanna Schygulla, Johannes Mario Simmel, Karlheinz Stockhausen, Dorothee Sölle, Michael Verhoeven, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V. (BUND), Robin Wood und Einzelpersonen und Unternehmen der Kommunikationsbranche.

**Ich bin für den FCKW-Stop!**

Sagen Sie mir bitte, wie ich zum FCKW-Stop beitragen kann.

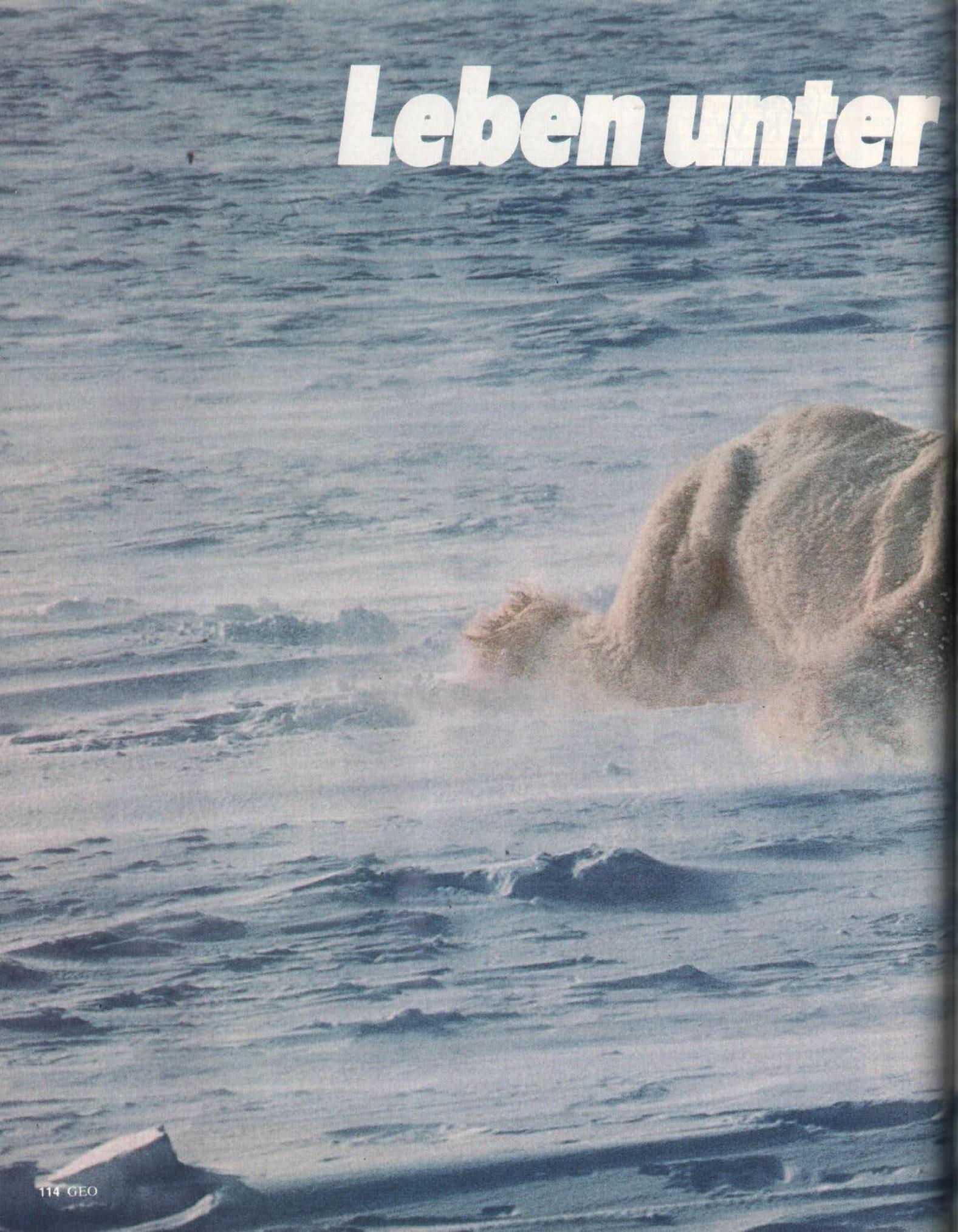
Vorname, Name

Straße, Nr.

PLZ/Ort

Dieser Coupon bitte mit 3.00 DM in Briefmarken für die Antwort einsenden an FCKW-Stop, Prinz-Albert-Str. 43, 5300 Bonn.

# Leben unter



# Null

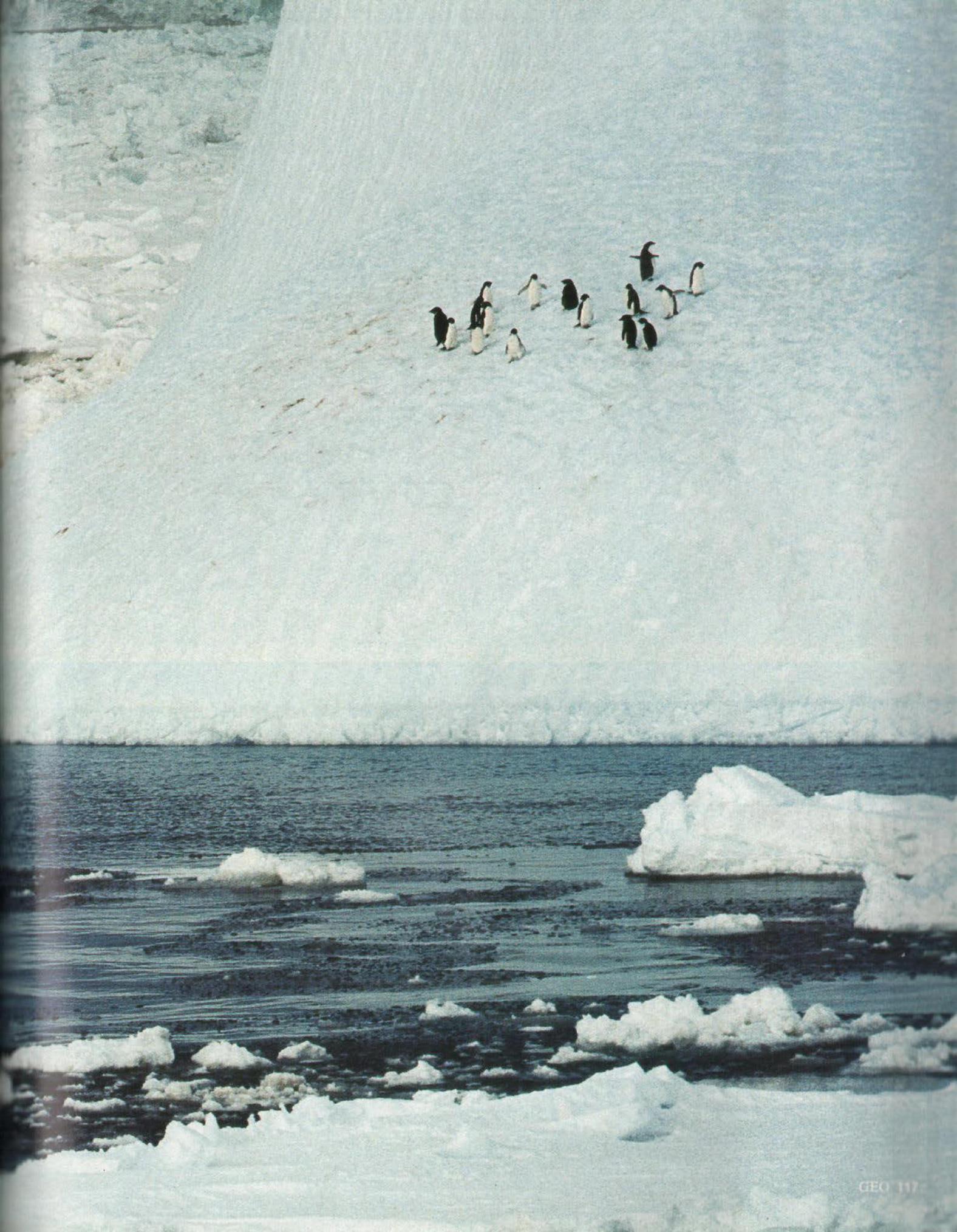
Futter ist rar in der gefrorenen Wüste – und heiß umkämpft: Der alte Eisbär muß seine Beute gegen den dreisten Polarfuchs verteidigen. Mehr als eine Drohgebärde wird der arktische Riese allerdings nicht investieren. Denn er muß, wie jeder Bewohner polarer Lebensräume, seine Energiereserven sparsam einsetzen

## ÖKOLOGIE

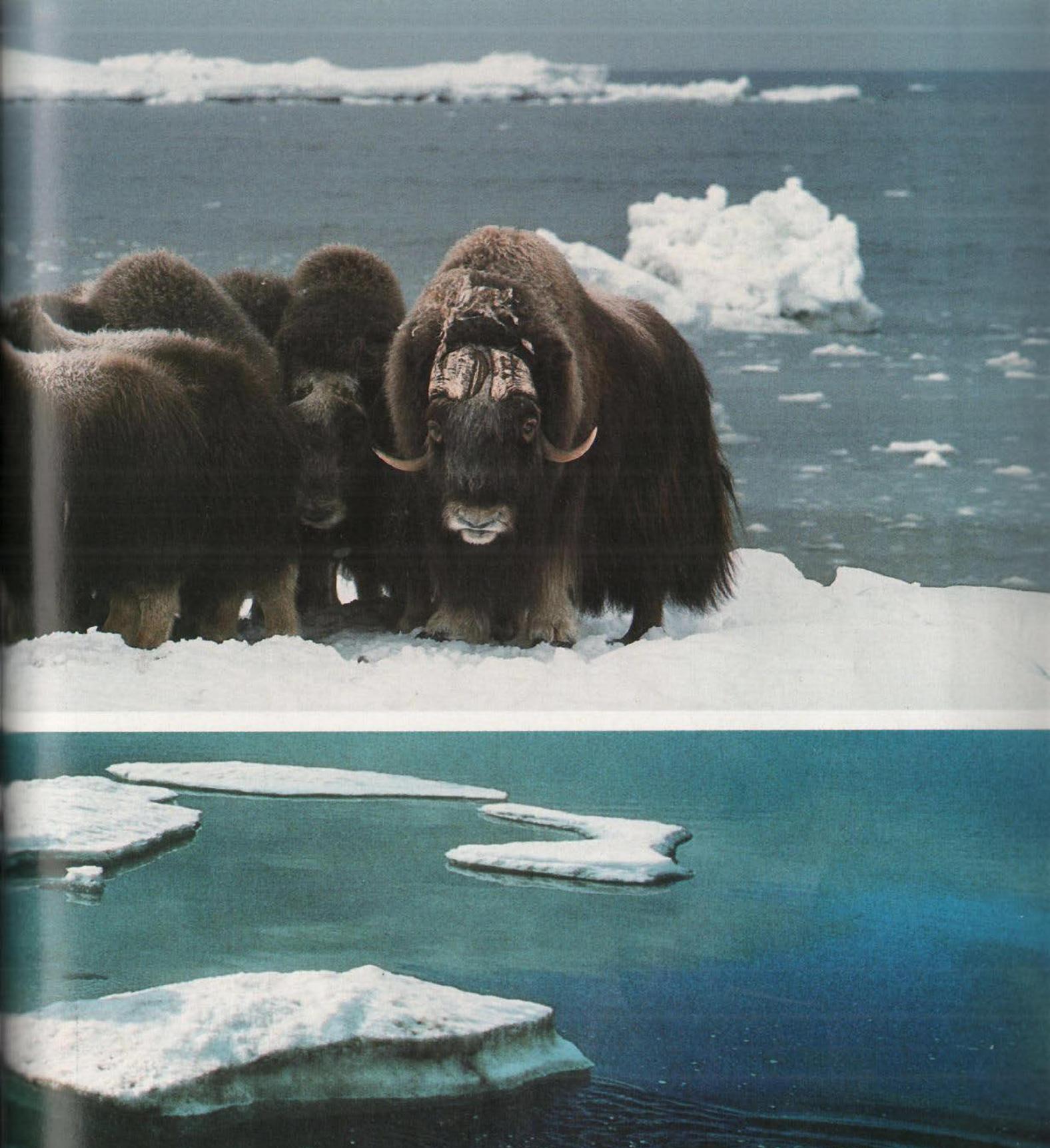


*Vom sicheren Eis aus behält eine Gruppe Adélie-Pinguine die Rückenflossen der Orcas im Auge, die das offene Wasser vor dem antarktischen Amery-Eisschelf durchschneiden. Die Schwimmvögel haben allen Grund, sich vor den »Killerwalen« zu fürchten. Diese sind – neben Seeleoparden – ihre gefährlichsten Feinde*





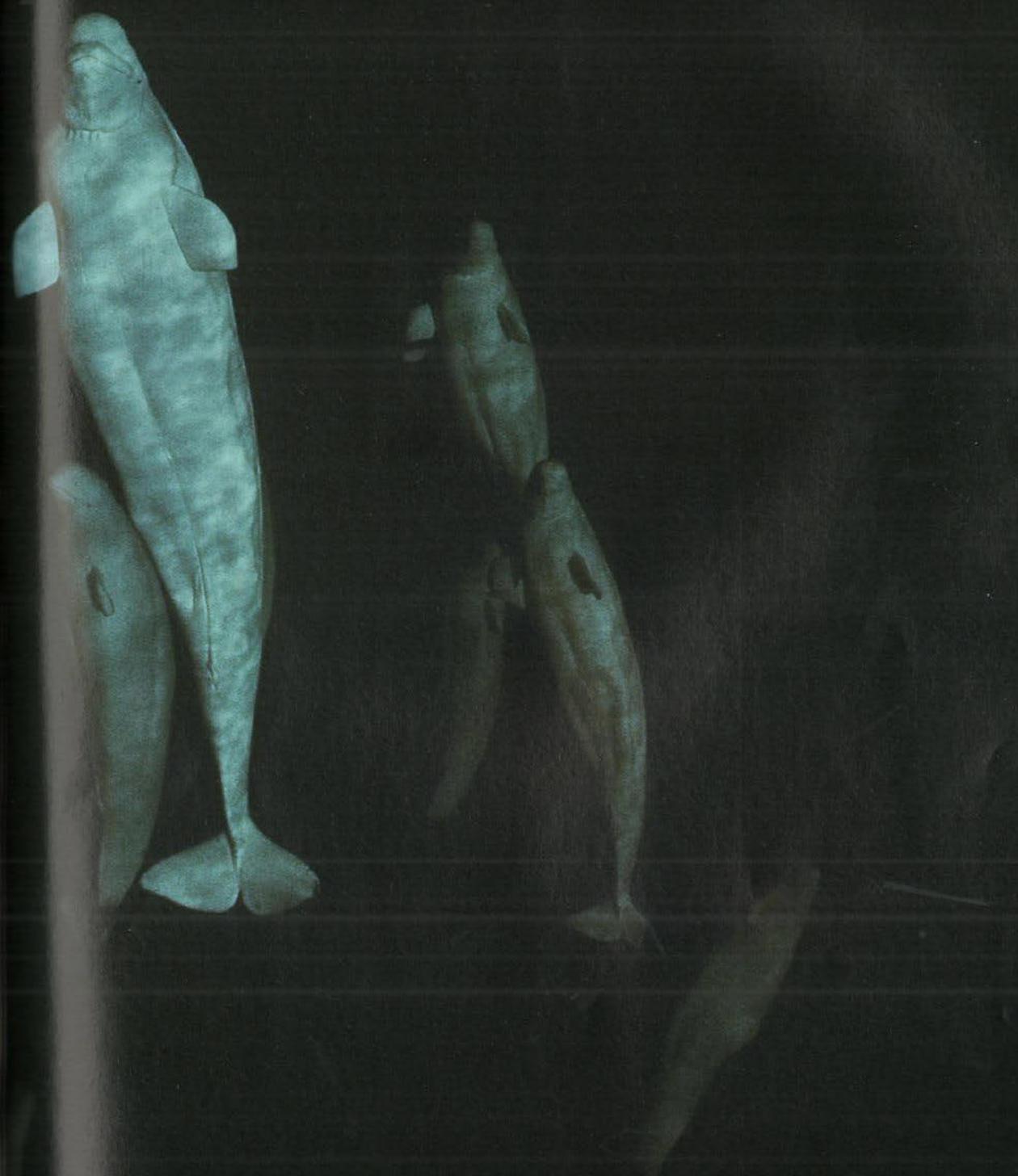




Gemeinsamkeit macht stark,  
auch im Norden Alaskas: Eine Phalanx aus  
Moschusochsen bietet den Kälbern Schutz vor Räubern wie arktischen  
Wölfen. Die gegen vierbeinige Jäger bewährte Strategie hat die gehörnte Spezies –  
bevor sie unter Schutz gestellt wurde – beinahe die  
Existenz gekostet: Für Gewehrschützen ist  
ihr Abwehrblock ein leichtes Ziel



*Neugierig und verspielt  
präsentiert sich ein Rudel Belugas dem  
renommierten Wal-Fotografen Flip Nicklin. Die geselligen, bis zu sechs  
Meter langen Meeressäuger – ihr Name ist vom russischen Wort  
»bely« (weiß) abgeleitet – bevölkern die Küsten-  
gewässer und Flussmündungen fast  
aller arktischen Meere*



## Erst kommt das Licht, dann wird gefressen

**W**enn die Sonne endlich zurückkehrt, läuft das Leben in den Polargebieten zur Hochform auf – in der Arktis im Mai, in der Antarktis Ende Oktober. Das Licht küßt viele Arten einzelliger Algen wach, die während der monatelangen Winternacht in einen frostigen Dornröschenschlaf gefallen waren. Und mit deren Erwachen geht auch die saisonale Hungersnot der Tierwelt zu Ende. Denn Krebse und Fische, Wale, Robben und auch robbenfressende Eisbären hängen auf Gedeih und Verderb von den winzigen grünen Primär-Produzenten ab, den Algen des ozeanischen Phyto-Planktons.

Den extremen Hell-Dunkel-Rhythmus, diesen Wechsel zwischen quirliger Aktivität und klirrender Kältestarre, überstehen polare Ökosysteme ohne Probleme. Sie haben in den letzten Jahrtausenden eine besonders harte Schule der evolutionären Selektion durchlaufen: die Klima-Umschwünge zwischen den Kalt- und Warmphasen der Eiszeit.

Ob sie allerdings auch die plötzlichen, von Menschen verursachten Umweltveränderungen überdauern, ist zweifelhaft. Mehr noch als etwa das Abschlachten der großen Wale gefährdet die Ausdünnung der Ozonschicht über den Polargebieten das dortige Leben: Die nun verstärkt einfallende harte UV-Strahlung von der Sonne könnte, neuen Schätzungen zufolge, die Nahrungsproduktion des Phyto-Planktons auf ein Achtel der heutigen Leistung reduzieren (siehe Seite 86).

In der Dunkelheit des Winters reicht das schwache Licht an der Unterseite des weißen

Frostdeckels auf dem Meer nur noch Eisalgen zum Leben. Und selbst für sie ist die Lage nicht überall gleich günstig. Zwar ist das Wasser vor allem im Beringmeer zwischen Alaska und Sibirien sowie im Südpolarmeer gut durchmischt, sind Nährsalze reichlich vorhanden und gleichmäßig verteilt. Aber die arktische Barents-See wird von warmem Atlantik-Wasser gespeist, das nur wenig Nährstoffe mit sich führt. Zudem limitiert auch dort der Lichtmangel das Algenwachstum. So kommt es, daß die Barents-See im Frühjahr nur etwa halb so viel Algendünger im Oberflächenwasser birgt wie das Beringmeer und im Vergleich zum Südpolarmeer sogar nur ein Drittel.

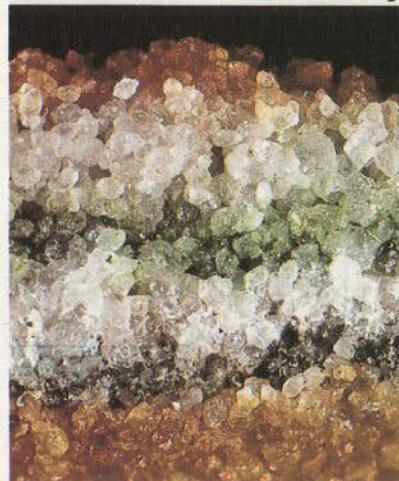
Bevor jedoch das lang entehrte Licht die Photosynthese aller Algen anwerfen kann, muß erst einmal der Schnee auf dem Eis schmelzen: Eine zehn Zentimeter dicke Schneeschicht schluckt bis zu 99 Prozent des einfallenden Lichtes, zehnmal dickeres Eis nur 80 Prozent. Mit der Schmelze breitet sich eine bis zu 50 Meter mächtige Schicht aus leichterem Süßwasser auf dem salzhaltigen Meer aus. Die beiden Wasserkörper trennt eine scharfe Grenze, vergleichbar der zwischen Luft und Wasser, die von Nährstoffen kaum durchdrungen wird. Selbst absinkende Partikel, abgestorbene Algen etwa, können die Barriere nur schwer überwinden.

### Im Polarsommer sind Schelfmeere reiche Algen-Weideplätze

Für die Algen ist es während des Frühjahrs günstig, wenn sie nicht in lichtlose Tiefen hinuntergewirbelt werden, sondern dicht an der Oberfläche die während des Winters angesammelten Nährstoffe in Ruhe verwerten können. Im Laufe des Sommers aber, wenn die Vorräte aufgebraucht sind, wird die strenge Schichtung zum Problem: Der Nachschub aus der Tiefe ist abgeschnitten. Den Algen steht dann nur noch zur Verfügung, was Bakterien in



Wachstum im Schnee: rote und grüne Algen in der Antarktis



Überlebenskünstler: Schwarze Flechten leben über weißen Pilzen und grünen Algen in antarktischem Sandstein; Eisalgen bieten jungem Krill ein kärgliches Wintermahl



der oberen Wasserschicht aus toten Organismen zurückgewinnen, und entsprechend geht ihr Wachstum zurück. Nur in relativ seichten Seegebieten wechseln Nährstoffe aus dem Boden des Ozeans zurück ins Wasser. Deshalb sind flache Schelfmeere wie das Beringmeer und die Barents-See während des ganzen Polarsommers reiche Algen-Weideplätze für Tiere.

In der Antarktis vermischen starke Stürme und Strömungen die Schmelzwasserschichten viel häufiger als im Nordpolargebiet mit Meerwasser. Dabei werden viele Planktonalgen in lichtlose Tiefen mitgerissen, wo sie nicht wachsen können. Ohne diesen Schwund stünde den Algenfressern in den

nährstoffreichen antarktischen Gewässern zehnmal mehr Nahrung zur Verfügung. Tatsächlich ist sie sogar spärlicher als in der Arktis.

Im Südozean gibt es drei Haupt-Nahrungsnetze:

- Im ganzjährig eisfreien Gebiet des offenen Meeres, wo die Stürme das Wasser am stärksten durchmischen, ist die Algendichte am geringsten. Von dem eher spärlichen Phyto-Plankton ernähren sich die Organismen des Zoo-Planktons, vor allem Ruderfußkrebs und die kleinen, wirtschaftlich unwichtigen Krillarten. Den großen Krill (siehe Seite 133) gibt es hier nicht. So kommen auch die antarktischen Wirbeltiere nur selten in die offene See hin-



*So weit die Füße tragen: Karibus, die wilden nordamerikanischen Verwandten der halbdomestizierten skandinavischen Rentiere, ziehen raslos durch die Tundra des »Alaska National Wildlife Refuge«. In solchen Schutzgebieten können Karibu-Kühe noch in Ruhe kalben*

aus. Für die südlichen Bartenwale zum Beispiel sind die dort lebenden Tierchen des Zoo-Planktons meist zu klein. Ihre im Nordpolarmeer heimischen Verwandten können dagegen mit ihren viel feineren Barten die nur wenige Millimeter großen Ruderfußkrebse aus dem Wasser seihen.

● In der Nähe der Packeisgrenze dominiert der Krill das Nahrungsnetz. Wegen des ruhigeren Wassers kann sich hier nämlich eher eine scharfe Trennungsline zwischen den unterschiedlich salzhaltigen Schichten bilden und damit die Voraussetzung für starkes Algenwachstum schaffen. Von der größeren Ruhe profitieren auch das Zoo-Plankton und die riesigen Schwärme

des großen Krills, so daß nur etwa ein Drittel des Phytoplanktons ungefressen in die Tiefe sinkt.

● Im oder dicht am Treib- und Packeis verdichtet sich das Phyto-Plankton zu regelrechten Wolken. Aus ihnen regnen ständig tote Algen zum Meeresgrund hinab, wo sie eine überraschend reichhaltige Bodenfauna ernähren: Während am Boden der arktischen Schelfmeere pro Quadratmeter nur 25 bis 170 Gramm Biomasse vorkommen, sind es in 100 bis 200 Meter tiefen antarktischen Gewässern bis zu 1300 Gramm. Auch die Artenzahl liegt doppelt so hoch wie am nordpolaren Meeresboden, wobei die meisten Spezies ausschließlich hier vorkom-



*Geschützte Kurzbeiner: Peary-Karibus, im Norden Kanadas heimisch, tragen den Namen des Polarforschers Robert Peary, der einst viele von ihnen erlegte*

men – vor allem Schwämme, während Krabben fehlen.

Fische spielen in der Antarktis keine große Rolle, weil der Boden der Schelfmeere sehr viel tiefer liegt als in der Arktis und flache Gewässer zum Laichen weit seltener sind. Die relativ wenigen Fischarten, die ganzjährig im Südpolarmeer heimisch sind, gehören zu drei Vierteln derselben Unterordnung an; von diesen barschartigen Knochenfischen ist vor allem der Marmorbarsch für die Fischerei interessant.

Auch mitten im Meereis beider Polargebiete gibt es Oasen, in denen das Leben im Sommer aufblüht: viele Kilometer weite, eisfreie Wasserflächen, die mit dem russischen Wort „Polynia“ bezeichnet werden. Sie brechen in jedem Frühjahr erneut auf. Warme Tiefenströmungen, die hier an die Oberfläche kommen, tauen das Eis auf, oder Winde, die längere Zeit aus einer Richtung wehen, schieben es zur Seite.

Da nun die Sonne wie durch einen plötzlich geöffneten Fensterladen ins Meer scheint, blüht die Algenproduktion auf und schafft so die Grundlage kleiner, aber reichhaltiger Nahrungsnetze. An der Eiskante rund um die Wasserflächen drängen sich Seevögel – im Süden auch Pinguine – und Robben, die im Norden wiederum Eisbären anlocken und schließlich die Jäger der Inuit (siehe Seite 136).

In manchen Seegebieten öffnen sich regelmäßig Polynias – etwa im nordöstlichen Teil des antarktischen Weddellmeers, vor der Nordwestküste Grönlands und im Beringmeer südlich der St. Lawrence-Inseln. Wenn sie einmal geschlossen bleiben, kommt es zur Katastrophe für die großen Wirbeltiere, die oft von weiter auf die vermeintliche Lebensoase zugewandert sind: Vögel und Meeressäugetiere verhungern zu Tausenden.

Hanns-J. Neubert

Der Hamburger Meeresbiologe und Journalist, 39, schrieb auch die folgenden Beiträge über die Kälteanpassung und den Krill. Außerdem dokumentierte er dieses Heft. Neuberts Berichte hat Alfred Barthel, 46, von der Gruner + Jahr-Textdokumentation auf ihre Richtigkeit überprüft.

## FROSTSCHUTZ

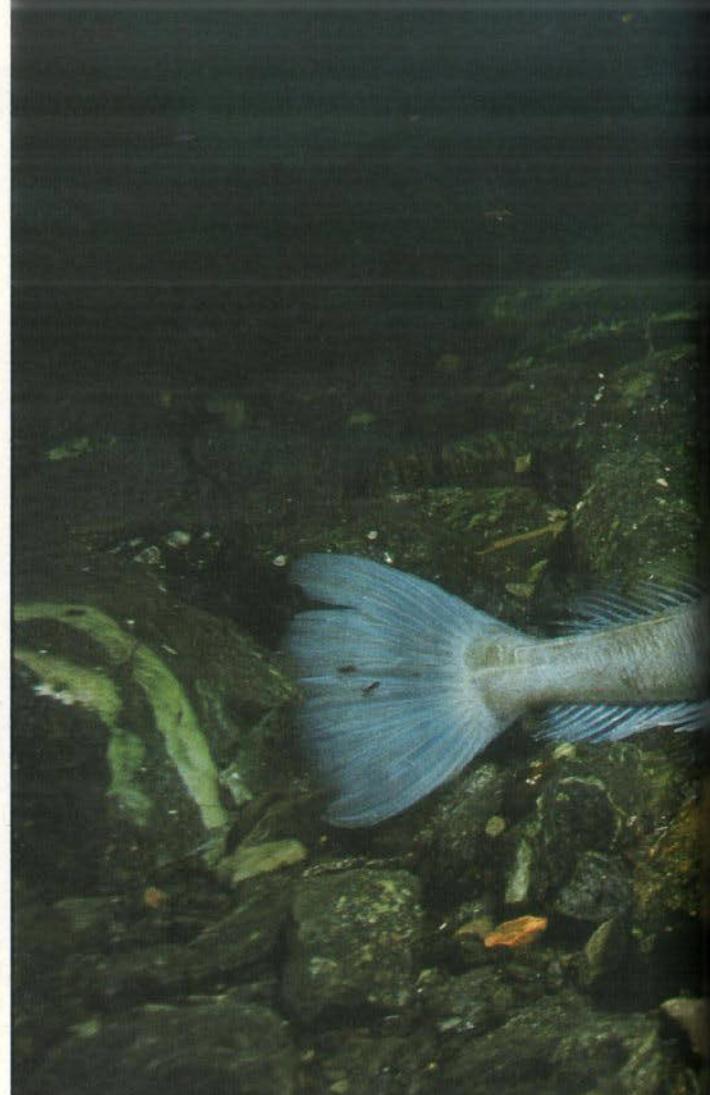
### Dem Erfrieren kaltblütig trotzen

**A**uch im Eiswasser gibt sich das Leben nicht geschlagen. Es läuft nur langsamer ab als anderswo. Vor allem die wechselwarmen Tiere, deren Körpertemperatur jeweils der Außentemperatur entspricht, halten ihren Stoffwechsel in der Kälte auf Sparflamme. Sie wachsen sehr langsam, haben lange Entwicklungszyklen und werden sehr alt. Beim südpolaren Seeigel der Gattung *Sterechinus* dauert die Reifung der Eizelle zwei Jahre. Asseln benötigen bis zum Schlüpfen 20 Monate, bis zur Geschlechtsreife weitere 30 bis 42 Monate. Der Seestern *Odontaster validus* wird schätzungsweise 100 Jahre alt.

Selbst die polaren Sommer sind noch so kalt, daß die biochemischen Abläufe des Wachsens und Alterns in Zeitlupe ablaufen. Viele Bewohner von Arktis und Antarktis haben jedoch einen physiologischen Trick entwickelt: Sie überleben dank bio-  
logischer Frostschutzmittel.

So bleiben Spinnen und Milben auf dem Festland noch bei Temperaturen bis minus 15 Grad Celsius aktiv. Die Körperflüssigkeit mancher Insekten erstarrt erst unter minus 55 Grad. Würmer, Schnecken und Fische im Polarmeer werden mit solcher Kälte nicht konfrontiert: Desen Wassertemperatur – minus ein Grad – liegt über dem Gefrierpunkt.

Die meisten natürlichen Frostschutzmittel basieren auf Alkoholen wie Glykol und Glyzerin. Organismen mit diesen Stoffen im Gewebe, vor allem Weichtiere, können Temperaturen bis zu minus 30 Grad überleben. Antarktische Fische dagegen halten ihr Blut mit Zucker-Eiweiß-Molekülen – „Glyko-



Schuppiger Kältespezialist: Eisfische können in unterkühlten südpolaren



Über-Schwamm: Einen Meter Durchmesser hat dieser von Haarsternen bevölkerte antarktische Glasschwamm



Gewässern leben, da ihr Blut auch bei Minusgraden nicht gefriert. Mangels roter Blutkörperchen sind Kopf und Kiemen weiß



Eisige Pause: Wenn flaches Wasser  
in Küstennähe bis zum Grund erstarrt, sitzen antarktische Fische und Seesterne  
für einige Zeit hartgefroren fest



Bizarre Bodentiere des Südpolarmeers:  
kammtragende Flohkrebse, langbeinige Asselspinne, fischver-  
zehrende faustgroße Meerassel

proteinen“ – flüssig, arktische durch spezielle Proteine. Diese Eiweißmoleküle senken den Gefrierpunkt zwar nur um etwa ein Grad, wirken aber dem Erstarren auf andere Weise entgegen: Sie setzen sich auf die ersten Eiskristalle im Blut und verhindern deren Wachstum und Zusammenlagerung. Der Hemm-Effekt geht auf eine besondere Struktur der Proteine zurück: Sie sind als einzige Eiweißsubstanzen von Anfang bis Ende korkenzieherartig gewunden.

Bemerkenswerte Überlebensstrategien haben auch einige Landtiere der Arktis entwickelt. So leben im Norden Kanadas Froscharten und Schmuckschildkröten, die im Winter einfrieren und Temperaturen von minus drei bis minus sieben Grad ohne Schaden überstehen. Sie überleben, auch wenn 65 Prozent ihrer Körperflüssigkeit gefriert. Salze erniedrigen den Gefrierpunkt im Blut auf knapp minus zwei Grad. Dessen schlagartiges Erstarren verhindert spezielle Proteine, die zunächst die Bildung von kleinen Eiskristallen fördern, deren Zusammenlagerung jedoch unterbinden. Bei den eingefrorenen Fröschen stehen Herz und Kreislauf zwar still. Aber in den Geweben läuft ein schwacher Stoffwechsel mit Hilfe von Stärkereserven weiter.

Besonders die großen Säugetiere haben weniger Probleme mit der Kälte. Ihr Stoffwechsel heizt gegen die Minusgrade an. Obendrein isolieren Fell und Fettschicht gegen den Frost. Auch Vögel sind durch Federn und Fett gut geschützt. Die arktischen Erdhörnchen dagegen überstehen Frost von minus 18 Grad während des Winterschlafs wie wechselwarme Tiere: Obwohl ihre Körpertemperatur auf minus 2,9 Grad absinkt, bleibt das Blut noch flüssig. Wie das gelingt, ist den Biologen bislang ein Rätsel. Der Vorteil für den kleinen Nager liegt indes auf der Hand: Der Energieverbrauch ist zehnmal niedriger, als wenn die Temperatur über dem Gefrierpunkt gehalten würde. Hanns-J. Neubert

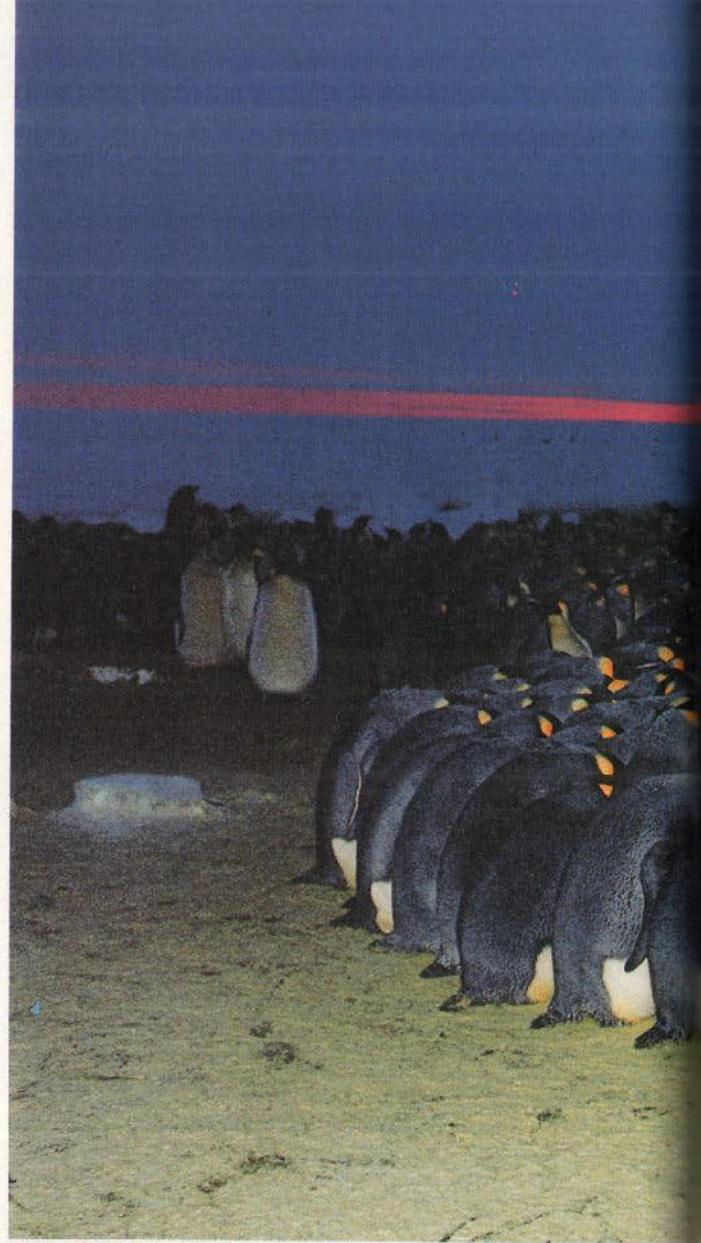
## PINGUINE

### Große Gesellschaft auf glattem Parkett

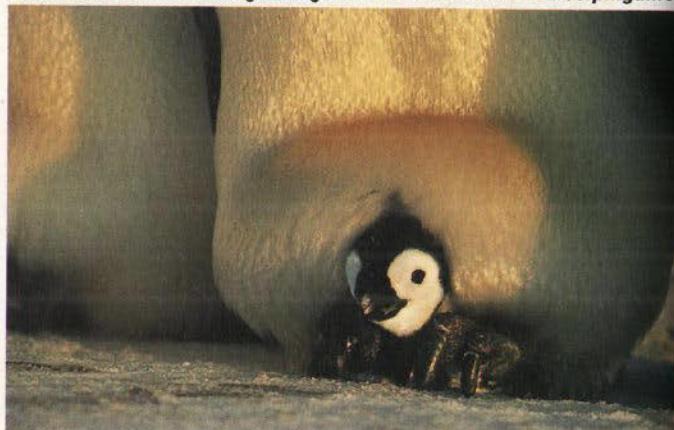
**E**r kann nicht fliegen, aber er kommt aufrecht daher, hocherhaben Hauptes, ein Frackträger auf kaltem Parkett. Statt Flügel trägt er zwei Ruderpaddele, die er ab spreizt, um beim Watscheln das Gleichgewicht zu halten. Dennoch ist der flugunfähige Meeresbewohner alles andere als ein komischer Vogel: Die *Spheniscidae*, so der wissenschaftliche Name der Pinguinfamilie, sind hochspezialisierte Überlebenskünstler in einer eisigen Umwelt.

Im Südpolargebiet leben 20 Pinguinarten, deren Gesamtbestand auf mindestens 120 Millionen Exemplare geschätzt wird. Die stattlichste ist der „Kaiser“, mit einem Gewicht von 30 Kilo und einer Größe von über 1,20 Metern. Der „König“ misst immerhin noch fast einen Meter und wiegt 20 Kilo. Die schwarzschäbeligen Kaiser- und Königspinguine mit den markanten orangefarbenen Streifen am Hals verkörpern den Pinguin schlechthin. Die schwarzweißen Adélie-Pinguine mit den hellen Augenringen fallen dagegen durch ihre Geschäftigkeit auf. Besonders gern rodeln die Vögel auf der weißen Brust über Schnee und Eis. Dem Glanz ihres Federpelzes schadet das nicht. Mehrschichtig gebaute Federn – flaumig an der Basis, glatt an der Außenseite – machen ihn wasserfest. Im Winter scheint zudem eine Speckschicht den Körper zu isolieren. Selbst bei 60 Grad Kälte hält der Vogel dank dieser perfekten Isolierung 40 Grad Körpertemperatur.

Nicht zum Fliegen, kaum zum Laufen, aber zum Schwimmen sind Pinguine gebaut. Im Wasser verbringen sie zwei Drittel ihres Lebens.



Kalte Schultern: Dicht gedrängt trotzen männliche Kaiserpinguine



Kükens des Kaisers: Nach dem Schlüpfen genießen die Jungen noch eine Zeitlang die Wärme des elterlichen Bauchs



der antarktischen Polarnacht. In ihrer Bauchfalte wärmen sie das auszubrütende Ei, während die Weibchen Futter im fernen Meer holen



Wie die Alten, so die Jungen: Auch Kaiserpinguin-Küken rücken zusammen, um warm zu bleiben. Mit neuem Federkleid werden sie sich ebenso locker ins Eiswasser stürzen wie die erwachsenen Adélie-Pinguine

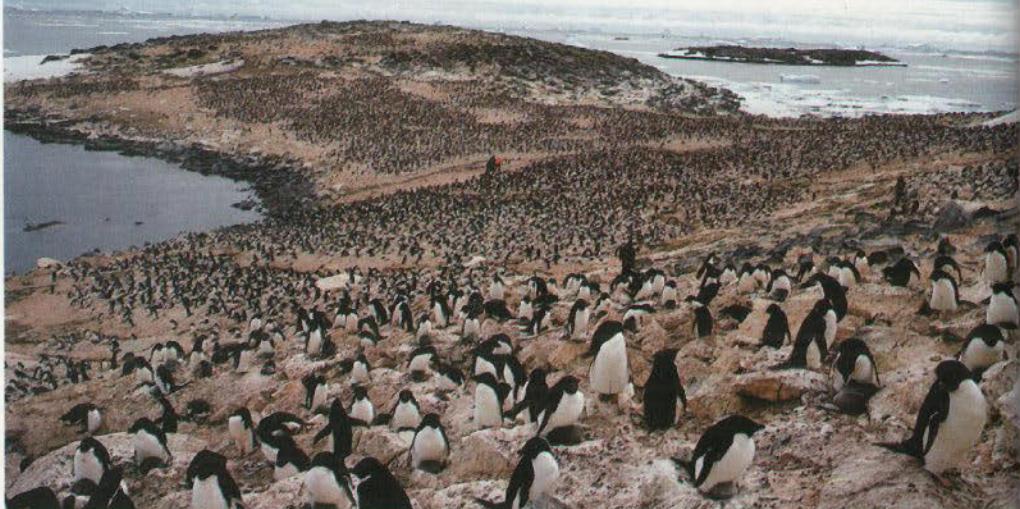
Ihre kompakten Knochen sind schwerer als bei Vögeln üblich, denn sie wollen tief hinunter. Bis in 300 Meter Wassertiefe taucht der Kaiserpinguin hinab, bis zu 100 Meter der Adélie-Pinguin.

Die Flügel der Pinguine wurden im Laufe der Evolution für einen perfekten Antrieb unter Wasser „umgebaut“. Beim Schwimmen kreisen sie im Schultergelenk wie Paddel. 200 Schläge pro Minute schaffen die kleinen Esels- und Adélie-Pinguine, der Kaiserpinguin bewegt sich mit 120 Schlägen pro Minute fort.

Der Pinguinkörper hat optimale Strömungseigenschaften. Den Schnabel nach vorn gereckt, den Kopf leicht eingezogen – und der plumpen Sack wird zum Torpedo. Mit einer Geschwindigkeit bis zu 36 Kilometern pro Stunde jagen Pinguine Krebsen und Fischen nach, die sie mit dem Schnabel packen, und flitzen in hohem Bogen aus dem Wasser. Auch der mächtige Kaiser katapultiert sich aufs Packeis, wobei eine Bauchlandung einkalkuliert ist. Adélie-Pinguine dagegen landen öfter gleich auf den Füßen.

Zur Brutzeit im Winter oder Frühjahr und während der Mauser im Sommer ist der Landgang unvermeidlich. Der Kaiserpinguin balzt und brütet als einziger ausschließlich auf dem Eis der Antarktis. Die Adélie-Pinguine dagegen wählen antarktische Inseln und den Packeisrand zur frostigen Kinderstube. Viele Arten müssen kilometerweit zu ihren Brutplätzen marschieren. Dabei gebrauchen die Vögel ihre Fußkrallen und Schnäbel als Eispickel.

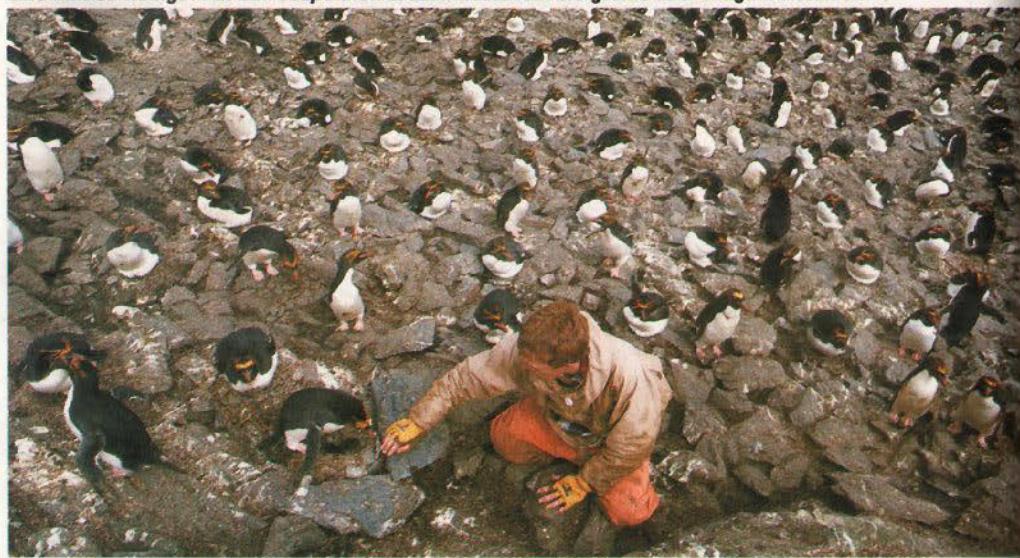
Im Brutgebiet rücken sich die Pinguine auf die Federn – nicht nur, weil gute Nistplätze an antarktischen Küsten rar sind: Die Masse bietet auch besseren Schutz vor Feinden, besonders vor den Skuas, den großen Raubmöwen. Die Kaiserpinguine bilden sogar kreisförmige Formationen, um ihre Brut abzuschirmen. Wenn sie so geduckt Flosse an Flosse stehen, wärmen sie sich gleichzeitig – allein müßte ein Pinguin doppelt soviel



Brüten auf jedem Stein: Eine Kolonie lebhafter Adélie-Pinguine bei der australischen Davis-Station



Eine Million Könige: Auf den südpolaren Crozet-Inseln lebt die größte aller Pinguin-Kolonien



Volkszählung: Goldschopf-Pinguine mit Forscher auf der britischen Südatlantik-Insel South Georgia

Energie für seine Wärmeregulation aufbringen.

Nicht immer sind die Pinguine so solidarisch. Steht eine Gruppe am Rande des Packeises, scheinen einzelne Tiere regelrecht ins Wasser gedrängt zu werden – womöglich als unfreiwillige Testpinguine. Auf jeden Fall wissen die Artgenossen bald, ob Seeleoparden auf sie lauern. Auch beim Flossenkampf um die Weibchen hört die Eintracht auf, hämmern die Rivalen Brust an Brust aufeinander los.

#### Der Kaiser zehrt zwei Wintermonate lang von seinem Fett

Hat sich ein Pinguinpaar gefunden, beginnt die Balz: Die Kaiser kreuzen die Schnäbel, die Adélies schwingen die Köpfe, und mit hochgerecktem Kopf und abgespreizten Flügelstummeln wird kräftig gebrüllt. Die großen Arten brüten in jedem Fortpflanzungszyklus ein Ei aus, die kleinen schaffen zwei bis drei – und bauen Nester.

Dafür liegen auf den unwirtlichen antarktischen Brutplätzen kaum Gräser, Zweige und Moose bereit. Aber auch Steine haben Vorteile: Auf tauendem Boden oder auf Eis und Schnee wirkt ein Steinnest wie eine Drainage – das Ei kann vom Schmelzwasser nicht fortgespült werden und liegt trocken. Doch selbst Steine gibt es nicht im Überfluß, schon gar nicht für Hundertausende von Pinguinen. So werden sie bei den Adélies zu Brautgeschenken und zur begehrten Beute.

Kaiser- und Königspinguin erledigen das Brüten auf zwei Beinen. Dabei liegt das Ei auf ihren Füßen, darüber stülpen zunächst die Männchen eine Hautfalte als Nestersatz. Der Kaiser muß obendrein – als einziger Pinguin – schon mitten im antarktischen Winter sein Brutgeschäft beginnen. Sonst kann er sein Küken, das sich erst mit acht Monaten selbst ernähren kann, nicht bis zum Ende des Sommers aufziehen.

Bei allen Pinguinen teilen sich beide Geschlechter die

Brutarbeit ziemlich gleichberechtigt. Wer gerade nicht brütet, der frisst. Der Kaisermann allerdings muß besonders hart ran. Denn sobald die Partnerin das Ei auf seine Schwimmhäute gerollt hat, verläßt sie ihn und kämpft sich über Hunderte Kilometer zum Packeisrand vor. Während sie sich im Wasser wieder einen dicken Bauch anfuttert, zieht der Gatte zwei Wintermonate lang, oft bei Temperaturen von minus 50 Grad – das Ei immer in der Bauchfalte – von seinem Fett. Am Ende hat er zehn Kilo verloren – ein Drittel des Körpergewichts. Kein Wunder, daß die brütenden Kaiser nicht nur eng zusammenstehen, sondern auch je nach Windrichtung den Brutplatz wechseln. Dabei tippeln sie besonders vorsichtig, denn das Ei darf dabei nicht von den Zehen rollen.

Mit Beginn des Sommers, kurz vor oder nach dem Schlüpfen, lösen die wohlgenährten Pinguinfrauen die entkräfteten Überwinterer ab. Die Mutter zieht den Daunenball mit dem Schnabel in ihre Bauchfalte. Fischnahrung hat sie reichlich mitgebracht – vorverdaut und dadurch besonders nahrhaft. So wird in fünf Monaten aus dem Halbpfunder-Baby ein 15 bis 20 Kilo schwerer Pinguin.

Rätselhaft war lange Zeit, wie sich Männchen und Weibchen bei der Ablöse zwischen Zehntausenden von Vögeln wiederfinden können. Und wie Eltern, die pro Tag ein Kilo Futter herbeischaffen müssen, ihr Kleines unter Hunderten von Küken im wuseligen Pinguin-Kindergarten erkennen. Wissenschaftler haben inzwischen herausgefunden: Wichtig ist allein die Stimme – das, was wir als „Eselgescrei“ oder als „Trompetenstoß“ hören. Die amerikanische Bioakustikerin Ann Bowles konnte 1988 Teile der Kaiserpinguinsprache entschlüsseln. Die Tiere verändern den Rhythmus, die Höhe und die Klangfarbe ihrer Laute. Bei der Ankunft am Brutplatz zum Beispiel ist die zeitliche Abfolge der Rufe entscheidend; je näher sich

die Pinguine kommen, um so wichtiger wird das Timbre der vertrauten Stimme. Erst dadurch wird aus Nummer X der Kolonie ein Pinguin-Individuum – möglicherweise der Ehepartner für ein ganzes Leben.

In ihrer Sprache begrüßen die Pinguine auch menschliche Besucher. Ihre Neugier und Arglosigkeit machen die Vögel zu leichter Beute: Bis zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts wurden sie von Antarktis-Fahrern ihres Fettes wegen gejagt. Heute sind alle Arten geschützt, doch ihre Futtergründe, die Eismeeere, werden immer stärker verschmutzt und überfischt. Für den Kaiser könnten deshalb bald magere Zeiten anbrechen. Denn eine Kolonie von 20 000 Großpinguinen frisst pro Tag immerhin 20 Tonnen Krill und Fisch.

Nicht nur die Umweltverschmutzung, auch der wachsende Tourismus stört das pinguinische Leben. Zwar stehen die Adélie-Pinguine gelassen vor den Kameras der Antarktisreisenden. Doch der Schein trügt, wie Forscher des Instituts für Meereskunde an der Universität Kiel herausfanden: Fernmessungen der Herzstromkurven signalisierten eindeutig Stress.

Charlotte Kerner

#### ZUGVÖGEL

## Von Pol zu Pol auf schlanken Schwingen

**M**anche mögen's hell – wie die Küstenseeschwalbe: In ihrem Leben geht die Sonne Jahr für Jahr acht Monate lang nicht unter. Dafür muß der zierliche Vogel mit den silchelförmigen, silbergrauen Flügeln ganz schön weit fliegen: zweimal jährlich rund 20 000 Kilometer, von der Arktis in die Antarktis und



Betankung aus der Luft: Im Flug füttert eine Küstenseeschwalbe ihr Junges für den langen Zug nach Süden



Immer dem Sommer nach: Küstenseeschwalben pendeln zwischen Arktis und Antarktis, brüten aber nur im Norden

zurück – ein Langstreckenrekord unter den Zugvögeln (siehe Karte Seite 129).

Der Aufwand lohnt sich für die mit den Möwen verwandten Fernflieger. Denn im antarktischen Winterquartier – meteorologisch gesehen ein zweites Sommerquartier – genießen Küstenseeschwalben die gleichen Vorteile wie im arktischen Brutgebiet: wenig Feinde, viel Futter.

#### Bereits im Herbst müssen die Jungen mit in die Antarktis

Für eine Strecke brauchen die Küstenseeschwalben nur sechs Wochen. Sie ziehen los, bevor die Mitternachtssonne wieder untergeht. Unterwegs stillen sie ihren Hunger mit Meerestieren. In der Antarktis angelangt, wechseln die Vögel innerhalb von wenigen Wochen ihr gesamtes Gefieder – anders als andere Arten in der Seeschwalben-Familie.

Die sonst so geschickten Luftakrobaten treiben dann nahezu flugunfähig – aber auch ohne Freunde auf den Packeisschollen. Schon im März beginnen sie mit neuen Schwingen den langen Rückflug.

Im arktischen Brutgebiet buhlen die Männchen mit akrobatischen Flugspielen um die Aufmerksamkeit eines Weibchens. Um den einen Sommer währenden Bund zu schließen, muß er sie eifrig mit kleinen Fischen beschwirren. Das mehrt auch ihre Körperreserven, so daß sie rasch dotterreiche Eier legen kann. Denn schon im Herbst müssen die Jungen mit in die Antarktis.

Flugkunststücke ganz anderer Art können auch menschliche Besucher zu spüren bekommen. Im Sturzflug attackiert der Vogel mit seinem spitzen, blutroten Schnabel alles, was seinem Nachwuchs zu nahe kommt. Denn

Küstenseeschwalben haben viel zu verlieren: Werden ihre beiden Eier oder später gar die schwarzgetupften Jungen von Möwen, Raben oder einem Hermelin weggefressen, kann eine neue Brut nicht mehr rechtzeitig aufgezogen werden. Als typische Koloniebrüter, die manchmal zu Tausenden dicht an dicht auf Felseninseln und Kiesbänken brüten, wehren Küstenseeschwalben oft auch gemeinsam Feinde ab.

Die Jungen und sich selbst gilt es für den Herbstzug fit und fett zu füttern. Den Schnabel gesenkt, fliegen die Eltern wenige Meter über der Wasseroberfläche hin und her, tauchen mit angelegten Flügeln ins Wasser und gleich wieder mit der Beute im Schnabel auf.

In den sauerstoffreichen Gewässern des Nordens finden Vögel reichlich Futter: Außer den Küstenseeschwalben mehr als hundert andere Vogelarten, darunter Schneeeule und Rauhfußbussard, viele Enten-, See- und Watvögel. Sogar kleine, samen- und insektenfressende Singvögel finden am Wasser, im Watt oder in der Tundra Frühbares im Überfluß.

Zugvögel können wie keine andere Tiergruppe den Nahrungsreichtum des kurzen arktischen Sommers nutzen, ohne den langen, harten Winter überstehen zu müssen. Gesteuert von einer inneren Uhr brechen sie rechtzeitig auf und ziehen schon Ende Juni nach Süden.

Wie sich die Langstreckler unter den Zugvögeln orientieren, ist trotz jahrelanger Forschung noch immer nicht befriedigend erklärt. Viele navigieren nach der Sonne und den Sternen, manche scheinen auch das Erdmagnetfeld oder ultraviolette Licht- und Infrastrahlmuster als Orientierungshilfen zu nutzen. Sicher ist nur, daß der Zug den Vögeln bekommt: Ornithologen fanden eine Küstenseeschwalbe, die laut Fußring 27 Jahre alt war. Sie muß in ihrem Leben – von Pol zu Pol wechselnd – rund eine Million Kilometer mit ihren schmalen Schwingen zurückgelegt haben.

Beatrix Stoepel

#### ARKTISCHES LEBEN

## Ruhe ist des Bären erste Pflicht

W er weiße Eisbären auf weißem Eis entdecken will, muß sich schon was einfalten lassen. So wie jener US-Forscher, der in Alaska den weißen Riesen mit einer Infrarot-Kamera, die Wärmestrahlung registriert, nachspürte. Als er allerdings die ersten Probefotos sah, mußte er sich eingestehen, daß seine Idee doch nicht so gut war: Das größte aller Landraubtiere zeigte sich auf der Aufnahme nur als winziger Fleck: Es war seine Atemwolke. Denn der Petz im weißen Pelz ist wie kein anderer Landsäuger an das Leben auf dem Eis angepaßt: So gut wie keine Körpertemperatur dringt durch seine bis zu elf Zentimeter dicke Fettschicht und den dichten Pelz nach draußen – und somit auch nichts, was einen Infrarotfilm schwärzen könnte.

Wo die Temperatur die meiste Zeit des Jahres unter dem Gefrierpunkt liegt und Beute oft tage- oder gar monatelang nicht zu schlagen ist, muß ein Raubtier stets gut gerüstet sein: Es muß seine Körpertemperatur bei möglichst geringen Energieverlusten konstant halten und genügend Fett als Nahrungsreserve speichern können. Andere arktische Räuber wie Wolf und Vielfraß, Hermelin und Mauswiesel wagen sich so gut wie nie aufs Packeis. Ihre Beute – Moschusochsen und Karibus, Schneehasen und Lemminge – sind Landtiere wie sie und im Prinzip das ganze Jahr über erreichbar.

Eisbären dagegen folgen nicht pflanzenfressender Festlandsbeute, sondern im Wasser lebenden Robben, vor allem Ringelrobben. Wenn im Sommer das Eis nach Norden weicht, verla-



Flugakrobaten: Küstenseeschwalben stürzen senkrecht ins Wasser, um einen Fisch zu packen. Furchtlos attackieren sie sogar menschliche Störenfriede

gern die Bären ihr schwimmendes Jagdrevier mit. Sie gelten deshalb in den USA juristisch als „Wassertier“. Nur in ihren südlichsten Verbreitungsgebieten – entlang der Westküste der Hudson und James Bay – bleibt *Ursus maritimus* nach der Eisschmelze an Land zurück.

Hier ziehen sich Eisbärennen alle drei Jahre im Spätherbst in Verstecke zurück, um dort zur Weihnachtszeit ein bis zwei Junge zu gebären. Spätestens im April verlassen sie den Bau gemeinsam mit dem Nachwuchs. Während der Winterruhe gewinnt die Bärin, wie andere Säuger auch, das für ihren Stoffwechsel nötige Wasser über chemische Umwandlungen aus Fett, ohne daß Abfallprodukte wie Harnstoff entstehen. Kennzeichnend für diese Art der Energiegewinnung ist ein sehr niedriges Verhältnis von Harnstoff zu Kreatin im Blut: Kreatin ist eine Substanz, die

bei Muskelarbeit entsteht. Denn Eisbären schalten – anders als hungernde Braunbären, die im Sommer ohne Nahrung sterben würden – auch außerhalb des Baus in beutelosen Zeiten auf eine Art Winterruhe-Stoffwechsel um, ohne wirklich zu schlafen. Die Entschlüsselung dieses biochemischen Mechanismus könnte für nierenkranke Menschen ähnlich bedeutsam sein wie die Entdeckung des Insulins für Diabetiker.

Einen alljährlichen Winterschlaf wie sein Vetter Braunbär kann sich ein Eisbär gar nicht leisten. Während jener Allesfresser vollgefressen die vegetationsarmen Monate durchdöst, muß der Petz im Eis die kalten Wintermonate zur Robbenjagd nutzen. Denn gerade dann zwingt die geschlossene Eisdecke die lungenatmenden Robben an ihre Luflöcher. Hier verharrt der weiße Riese oft stundenlang bewegungslos, bis eine

Robbe auftaucht. Sofort packt er mit einer Pranke zu und zieht sie aus dem engen Loch.

#### Schon bei leichtem Trab wird es dem Petz in seinem Pelz zu warm

Auf diese Weise machen Eisbären 80 Prozent ihrer Robbenbeute. Die Methode ist nicht nur erfolgreich, sie ist auch energiesparend. Karibus oder Moschusochsen, denen die bis zu 400 Kilogramm schweren Eisbär-Weibchen und bis zu 600 Kilogramm schweren-Männchen an Kraft durchaus überlegen sind, laufen ihnen viel zu schnell davon. Den Bären sind selbst Kolonien mausernder und dadurch flugunfähiger Schneegänse nicht besonders willkommen. Nur wenige Sekunden dürfte ein Bär den Vögeln nachjagen, um nicht mehr Energie zu verbrauchen, als ihm ein Gänsemahl einbringt.

Und allzuleicht würde es dem Petz in seinem Pelz zu warm: Bereits bei sieben Kilometer pro Stunde bekommt er „Fieber“. Seine Körpertemperatur steigt um zwei auf 39 Grad – er verbrennt doppelt soviel Energie wie jeder andere Säger bei gleichem Lauftempo. Für den Dickpelz ist das Motto „nur keine Hektik“ ein Überlebensrezept.

So ziehen Eisbären meist sehr gemächlich den „arktischen Lebensring“ entlang, jenen Bereich an den Küsten des Polarbeckens und der arktischen Inseln, in dem Wind und Strömungen ganzjährig die Eisbildung verhindern. In den Wasserlöchern und Prießen gibt es reichlich Nahrung: Algen für Krebse und andere Kleintiere, von denen Fische leben, die Robben anlocken und schließlich – am oberen Ende der Nahrungskette – die robbengangenden Riesen.

Noch bis vor kurzem galten Eisbären als unermüdliche



*Totale Isolation: Selbst wenn Eisbären von Schnee zugeweht werden, dösen sie weiter. Ihr Pelz und die Speckschicht darunter halten die arktischen Riesen bestens warm*

Wanderer, die auf der Suche nach Robben rund um den Nordpol ziehen. Neuere Beobachtungen an markierten Tieren zeigen, daß die weißen Nomaden zwar durchaus bis zu 1000 Kilometer jährlich wandern, aber dennoch ein ausgeprägtes Heimatgefühl besitzen. Manche Bären wurden ganz dicht

an dem Ort wiedersehen, an dem sie ein Jahr zuvor markiert worden waren. Muttertiere kehren mit ihren Jungen oft in denselben Bau zurück, in dem sie den Nachwuchs geboren hatten.

Nachwuchs produzieren Eisbären auf ungewöhnliche Weise: Erst nach mehreren Begattungen kommt es

bei der Bärin zum Eisprung – eine Strategie, die sicherstellt, daß Samen und reifes Ei auch wirklich zusammenfinden. Denn anders als gesellige Säuger mit spontanem Eisprung – etwa Menschen – leben Eisbär und -bärin das ganze Jahr über allein, und es ist nie sicher, ob und wo sie einander begegnen.

Eis und Robben regeln den Lebensrhythmus der Einzelgänger. Aber auch die Bären beeinflussen das Leben anderer Arktisbewohner. Eisfische folgen den Robbenjägern im Winter aufs Eis, wenn die Lemminge unter Schnee verborgen sind, und verzehren das, was die Großen von ihrer Beute zurücklassen. Auch Ringelrobben haben in den nur etwa 100 000 Jahren, seit es Eisbären gibt, ihr Verhalten an den gefährlichen Freibeifind angepaßt: Sie sichern – auf dem Eis liegend – ständig nach dem Räuber, wechseln die Eislöcher zum Atemholen und gebären weißfelle Junge. Die ihnen nah verwandten Weddellrobben, die in der Antarktis auf dem Eis ohne Feinde leben, döszen hingegen unbekümmert auf den Schollen und bringen auffällig schwarze Junge zur Welt.

Eisbären beeinflußten sogar menschliches Verhalten: In der Kultur der Inuit („Eskimos“) gilt die Seele aller Tiere als unsterblich. Erlegt ein traditionell jagender Inuit einen Bären, wartet er vier Tage bis zur nächsten Jagd, um der Seele des Tieres Zeit zu geben, zu ihrer Familie zurückzukehren und sich dort erneut in einen Bären zu verwandeln. Weibliche Bärenseelen gelten offensichtlich als langsamer: Ihnen lassen die Inuit fünf Tage Zeit.

Der moderne Mensch hat die Tiere zwar seit 1976 durch ein internationales Abkommen geschützt, das nur für Indianer und Inuit Ausnahmen zuläßt, und die etwa 40 000 Individuen umfassende Eisbären-Population gilt derzeit als stabil. Allerdings schaffen Menschen auch auf andere Weise Probleme. An der Hudson Bay gehen Touristen inzwischen in Bussen auf Eisbär-Safari. Schon kleinste Ölöllecks an den Bohrstellen im Polar meer verriesen den Petzen das Leben. Umgekehrt locken Bohrinseln, an deren Kanten das vorbeitreibende Eis bricht und offene Wasserstellen schafft, Robben an – und damit auch Eisbären. Sie lernen rasch, die Bohrarbeiter nicht mehr zu fürchten, und werden dadurch gefährlich für den Menschen. Beatrix Stoepel



Gilt in den USA als »Wassertier«: Eisbären schwimmen auch im Meer von Eisscholle zu Eisscholle



Fettes Festmahl:  
Sogar schwergewichtige Walrosse zieht das größte Landraubtier aus dem Wasser



Fleischmarkt: Walrosse liegen gern dicht an dicht, selbst wenn ein Strand reichlich Platz bietet



**Nachtjäger:** Die Fangflotten ziehen pro Jahr schon gut 100 000 Tonnen Tintenfisch der Art *Illex argentinus* mit Angelleinen aus dem Seegebiet zwischen den Falkland-Inseln und dem Südpolarmeer



**Lockende Lichterketten:** Grell erleuchtetes Illex-Fangschiff

#### TINTENFISCHE

### Gutes Geschäft mit glitschigem Fang

Was beim Spanier als „Calamares“ serviert wird und in der Griechen-Taverne als „Kalamarakia“ auf den Tisch kommt, ist meist Fleisch von Tintenfischen, die nie im Mittelmeer lebten. Denn auch der Weltmarkt für die schmackhaften Kopffüßer kann nicht mehr von Küstefischern gedeckt werden: Ein Großteil des Fangs stammt von Flotten, die vor allem vor den Falkland-Inseln im Südwestatlantik auf Tintenfischzug gehen.

Pioniere waren Mitte der siebziger Jahre polnische und

sowjetische Schiffe. Wenig später stiegen auch andere in das Geschäft ein: 1986 kreuzten 86 japanische und 35 spanische Fangschiffe vor der Inselgruppe. Der Tintenfischfang bringt so gute Gewinne, daß sich Schiffe nach zwei bis drei Saisons amortisiert haben.

Den größten Fang machen nachts grell erleuchtete Schiffe: Sie ziehen mit Angelleinen den gut 30 Zentimeter langen *Illex argentinus* aus dem Meer. Er ist neben dem kleineren, mit Netzen gefischten *Loligo gahi* Hauptlieferant der auch in der Bundesrepublik beliebten Tintenfischringe. *Illex* ist vor allem in Japan begehrt, wo eine Tonne auf dem Markt von Hachinohe 1000 bis 2500 Dollar erbringt. Gut 100 000 Tonnen *Illex* pro Jahr zogen die Fangflotten vor den Falkland-Inseln schon aus dem Wasser.

Ob bei solch gewaltigen Fängen auf relativ kleinem Raum die *Illex*-Bestände überfischt sind, ist schwer zu sagen. Denn die Population

schwankt schon aus natürlichen Gründen sehr stark. Dennoch kam der britische Fischerei-Experte Kenneth Patterson nach zweijährigen Beobachtungen vor den Küsten des Archipels zu dem Ergebnis, daß *Illex* in Gefahr ist. Nur 17 Prozent der erwachsenen Tentakeltiere würden den Schiffen entkommen. Nach einer Faustregel müssen mindestens 40 Prozent überleben, damit sich der Bestand bis zur nächsten Fangsaison regenerieren kann.

Die Schätzungen für den *Loligo*-Bestand sind schwieriger. Noch ist unklar, ob die weiblichen Tiere zweimal jährlich – im Mai und Oktober – laichen oder ob sich zwei Populationen beim Laichen sozusagen ablösen. Im zweiten Fall wäre die Vermehrungsrate nur halb so hoch wie im ersten. Für Patterson jedenfalls erscheint die Fangschiff-Armada eigentlich zu groß für die Fischgründe vor einer kleinen Inselgruppe. Martin Meister

#### KRILL

### Der Flop mit der Garnelen-Paste

Es war einmal eine kleine Garnele namens Krill. Ihr wurde eine große Karriere vorausgesagt. Denn der Mensch hatte ihre Hauptfeinde – die Bartenwale – schon fast ausgerottet. Deshalb wollten Biologen und Politiker vor rund 15 Jahren die nunmehr „ungenutzten“ 150 Millionen Tonnen Krill anderen Zwecken zuführen: Sie empfahlen den „Walkrebs“ als Nahrung für Menschen.

Auf den ersten Blick schien die simple Rechnung aufzugehen. Denn das durchschnittlich sechs Zentimeter lange und nur 1,7 Gramm schwere Tierchen bevölkert in riesigen Schwärmen vor allem den atlantischen Teil des Südpolarmeeres. Und sein getrocknetes Fleisch besteht – ähnlich wie Beefsteak – immerhin zur Hälfte aus Proteinen.

So entwickelte sich rasch eine imposante Krill-Fischerei im antarktischen Teil des Atlantik. Den Höhepunkt erreichte die Jagd im Jahr 1982, als gut eine halbe Million Tonnen Krill in die Netze gingen – etwa ein Prozent des vermuteten Gesamtbestandes. Der Fang wanderte fast ausschließlich in Frosträume sowjetischer Schiffe. Danach sanken jedoch Erträge und Interesse am Krill. Denn niemand fand so recht Geschmack an den Pasten, zu denen die südpolaren Garnelen verarbeitet wurden.

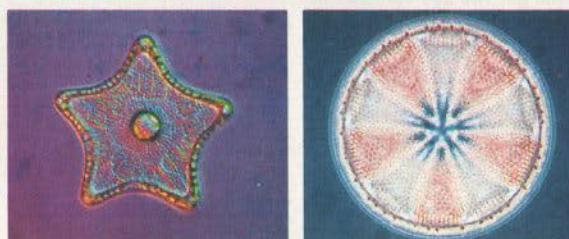
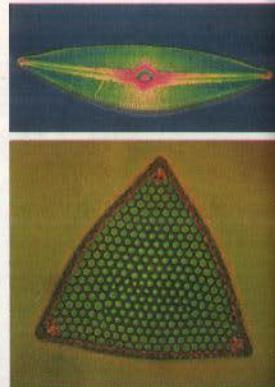
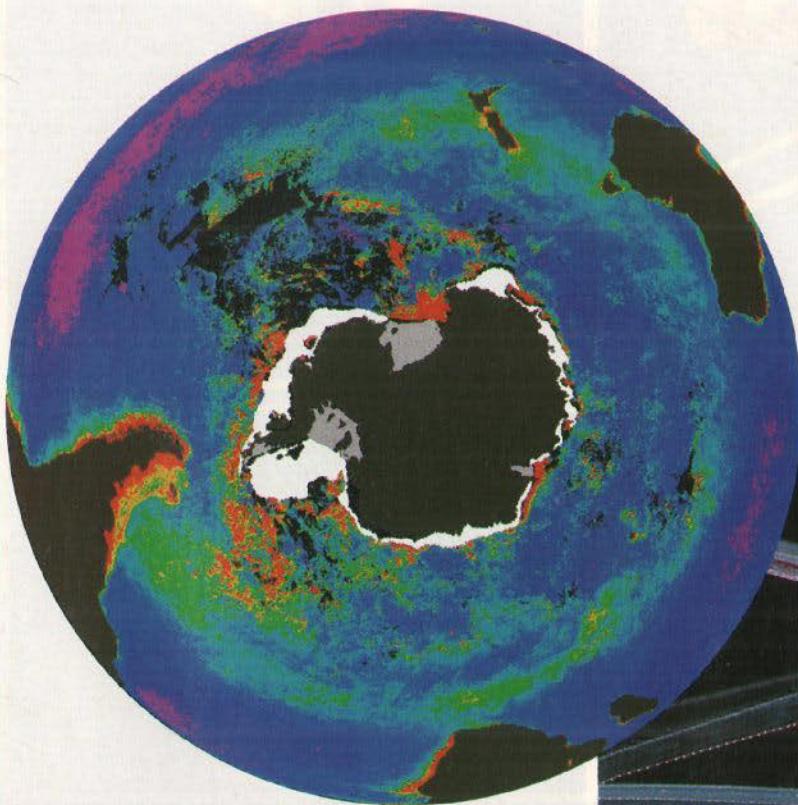
Die Krill-Story zeigt beispielhaft, welche Goldgräber-Mentalität noch immer bei der Nutzung biologischer Schätze im Polarmeer vorherrscht. Dabei haben Walfang und Robbenschlag längst demonstriert, wie schnell scheinbar unerschöpfliche Bio-Ressourcen vernichtet werden können. Auch das

Interesse an den schwimmenden Krebschen ist noch nicht gänzlich geschwunden. So interessieren sich neuerdings Chemiker und Pharmazeuten für den bislang weggeworfenen Panzer der Garnelen. Diese stabile Hülle besteht aus Chitin, das ähnlich wie Zellulose aus langen Zuckermolekülen aufgebaut ist. Der Stoff eignet sich zum Beispiel für die Herstellung von Medikamentenkapseln, die sich nur langsam im Magen auflösen. So können die eingeschlossenen Wirkstoffe über längere Zeit in verträglicheren Mengen an den Körper abgegeben werden. Dasselbe Prinzip ließe sich für die Einkapselung von Düngemitteln für die Landwirtschaft nutzen, um der Überdüngung der Böden und des Wassers vorzubeugen.

Für die neuen Möglichkeiten interessieren sich bereits drei Privatfirmen aus Norwegen. Ihr Engagement könnte bedeuten, daß sie vor einem Durchbruch in der Aufarbeitung und Extraktion von Krill-Bestandteilen stehen.

Zwar hatten die derzeit führenden Krillfischerei-Nationen 1988 konstatiert, daß sich der Fang nicht mehr ausdehnen lasse. Aber eine Regelung für Fangquoten gibt es bisher nicht, obwohl schon 1982 die Konvention zum Schutz der antarktischen Bio-Ressourcen in Kraft trat. Denn die Kommissionäre diskutierten lange über Quoten für Marmorbarsch und Eisfische, während sie über den wesentlich intensiver befischten Krill erst im Juni 1989 zu verhandeln begannen. Und noch immer fehlt ihnen die wissenschaftliche Grundlage für Empfehlungen: Bislang gibt es nur Schätzungen, wie schnell der Krill wächst, wie lange er lebt und wie oft er laicht – unter anderem deswegen, weil die Schwärme sich nicht jedes Jahr in derselben Häufigkeit bilden.

In den riesigen Schwärmen – oft zehn Quadratkilometer groß und 40 Meter tief – drängen sich bis zu 30 000 Tiere pro Kubikmeter. Sie müssen dauernd schwimmen, um im Bereich ihrer Planktonnah-



*Rot ist das Leben: Die rötliche Färbung des Satellitenbilds verrät, wo die Algen des Phyto-Planktons massenhaft um die Antarktis treiben. Geometrisch geformte Kieselalgen – »Diatomeen« – sind ein Teil der Krill-Nahrung*



rung zu bleiben. Anders als bei den meisten Krebstieren lässt sich beim Krill das Alter – maximal vermutlich sieben Jahre – nicht aus der Größe berechnen: Er schrumpft sogar, wenn er während der langen Polarnacht zuwenig Nahrung findet.

Die nach dem Abschlachten der Wale für ungenutzten Überschuss gehaltenen 150

Millionen Tonnen Krill werden von Pinguinen, Robben und Tintenfischen gefressen. Auch die überlebenden Wale filtern jährlich noch schätzungsweise 43 Millionen Tonnen der Garnelen aus dem Wasser; vor Beginn des Walfangs waren es 190 Millionen – mehr als sich die Robben (150 Millionen) oder Pinguine (100 Millionen) heute holen.

Die faszinierend kurze Nahrungsstrecke Alge-Krill-Wal ist Teil eines komplexeren Nahrungsnetzes. Die schwimmenden Krebschen leben keineswegs, wie früher angenommen, nur von den gut 0,1 Millimeter langen Diatomeen, die fünfmal größer sind als die meisten anderen Algen des südpolaren Phyto-Planktons: Im „Fangnetz“ des Krills, das

er zwischen seinen acht Vorderbeinen ausspannt, bleibt bei einer „Maschenweite“ von einem Tausendstelmillimeter allerdings nur knapp die Hälfte der winzigen Algen hängen. Größere Brocken, sogar eigene Artgenossen, werden ebenfalls verschlungen.

Das vielseitige Nahrungsangebot nutzen allerdings auch andere Tiere wie Ruderfußkrebs, Fischlarven und Pfeilwürmer. Nicht etwa Krill ist der vorherrschende Algenfresser im südpolaren Ozean, sondern – wie auch anderswo – der knapp eineinhalb Millimeter große Ruderfußkrebs.

Während der Krill ein breites Nahrungsspektrum nutzt, hängen seine Feinde weitgehend von ihm allein ab: Der 50 Tonnen schwere Finnwal lebt vom ein Gramm leichten Krill. Bei diesem auffälligen Größenprung geht allerdings außerordentlich viel Energie verloren.

Krill-Arten leben auch im Nordpolarmeer, nehmen hier jedoch nicht annähernd eine so bedeutende Position im Nahrungsnetz ein. Diesen Platz besetzt die Lodore, ein knapp 20 Zentimeter langer Lachsfisch. Er ist ebenfalls Schlüsselnahrung für Wirbeltiere wie Zwergwale, Robben und Raubfische, von denen der Kabeljau die größte wirtschaftliche Rolle spielt.

Bis vor kurzem haben riesige Lodore-Schwärme auch die Barents-See bevölkert. Dort ging ihr Bestand jedoch zwischen 1984 und 1986 dramatisch zurück. In der Folge erlebte Nord-Norwegen eine Invasion Hunderttausender hungriger Robben, und die Netze der Fischer blieben leer: Der junge Kabeljau war mangels Nahrung eingegangen, der ältere geflüchtet.

Über die Ursachen streiten Fischer und Forscher noch heute. Ein drastisch verminderter Bruterfolg der Lodore habe – so die Fischereibehörden – bewirkt, daß Kabeljau, Hering und Robben die wenigen verbliebenen Lodore „überfischt“ hätten. Eine ganz andere Ursache führen die Küstenfischer Norwegens an: den industriell betriebenen Raubbau durch Hochseefischerei-Fabrikschiffe. Hanns-J. Neubert



**Feinmaschiges Fangnetz zwischen den Beinen:**  
Die Krill-Spezies *Euphausia superba* durchkämmt das Wasser nach mikroskopisch kleinen  
Algen und Tierchen des ozeanischen Planktons

# KULTUREN, DIE



# DER KÄLTE TROTZEN

Kräftig ins Geschirr legen müssen sich die Schlittenhunde, wenn es die Polar-Eskimos Anfang Juli zur Narwal-Jagd aufs schmelzende Meereis im Nordwesten Grönlands zieht. Diese am weitesten nördlich lebenden Inuit, was nichts anderes heißt als »Menschen«, sind Überlebenskünstler par excellence. Aber auch die Angehörigen der mehr als 30 anderen Arktis-Völker stehen ihnen in wenig nach

## VÖLKER



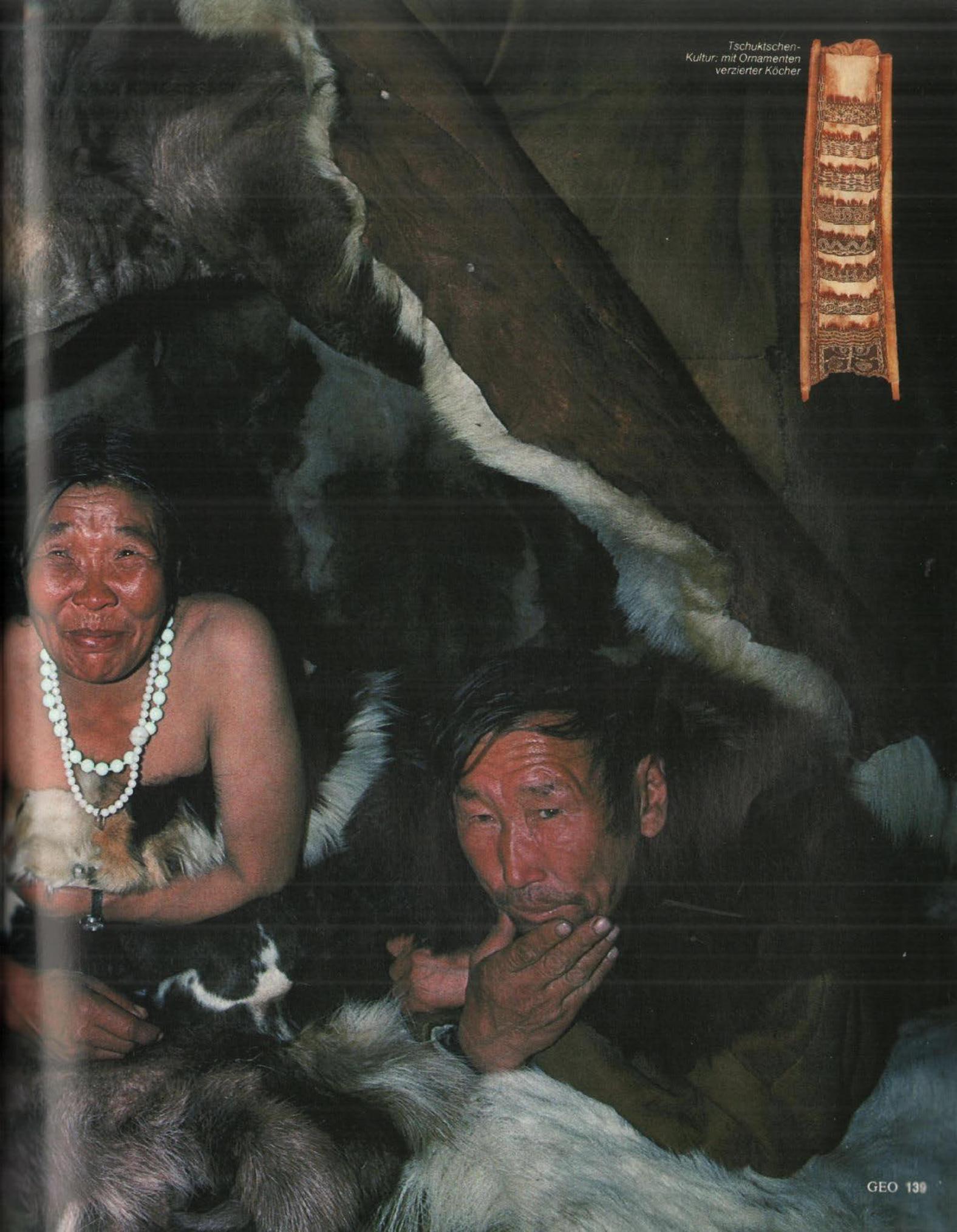
Inuit-Kultur:  
Mit einem Frauen-  
gesicht verzierte  
Elefzenbein-Stöpsel  
für eine Boje aus  
Robbenhaut





In ihrem Zelt aus Rentierhäuten entledigen sich die Tschuktschen aus der ostsibirischen Anadyr-Region schon einmal ihrer Oberbekleidung, wenn ihnen die Mitternachtssonne ordentlich einheizt. Diese Verwandten der amerikanischen Inuit sind kälteerprobte Rentierzüchter

**Auch der arktische Sommer hat seine warmen Tage**



Tschuktschen-Kultur: mit Ornamenten verzierter Kächer



Winterhaus der Ewenken, Züchter der größten Rentiere



Tätowierte Tschuktschen-Frau



Ein Jäger der Inuit enthäutet ein Walross an der Bering-See

#### Völker und Sprachen vor 150 Jahren

- Eskimo-Alëuten
- Algonkin
- Athabasken
- Palaosibirier
- Altaien
- Uraler



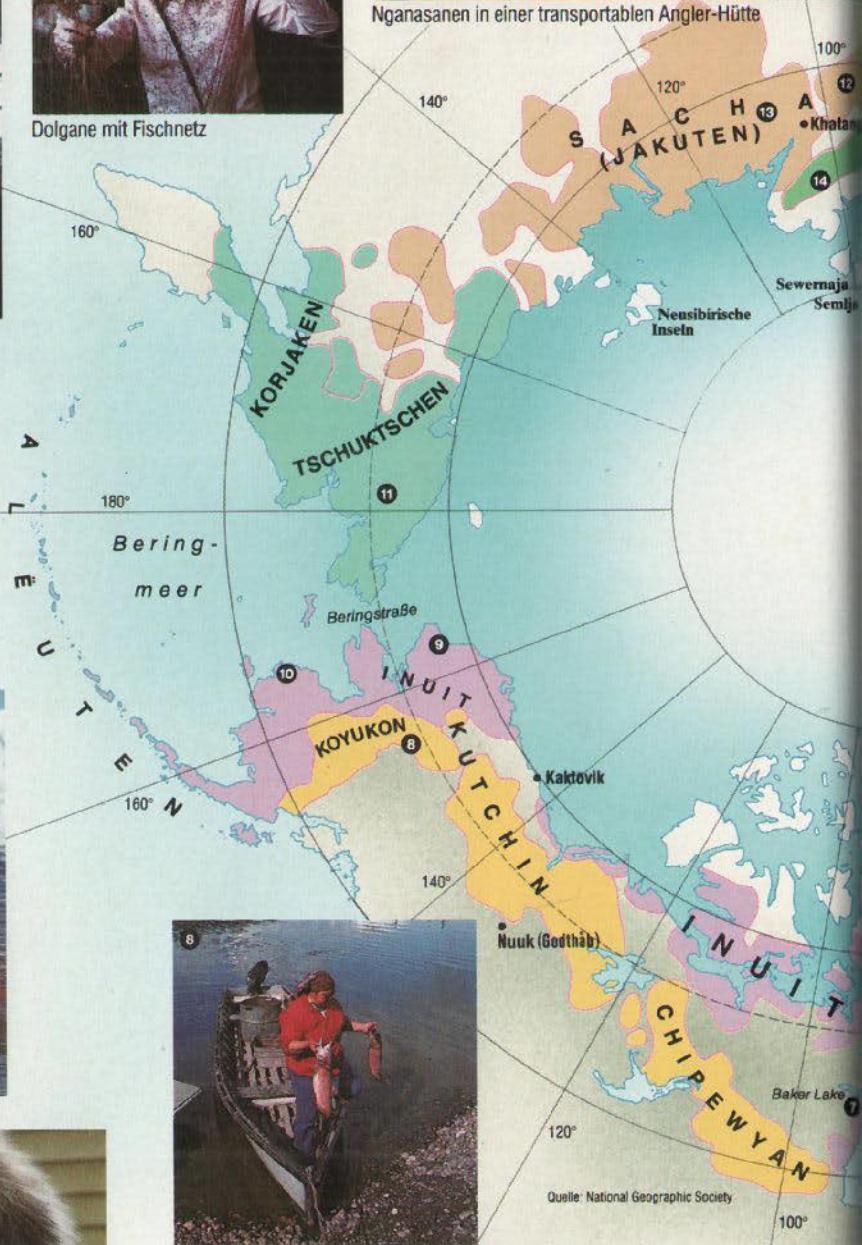
Inuit-Frau mit pelzverbrämtem Anorak



Dolgane mit Fischnetz



Nganasanen in einer transportablen Angler-Hütte

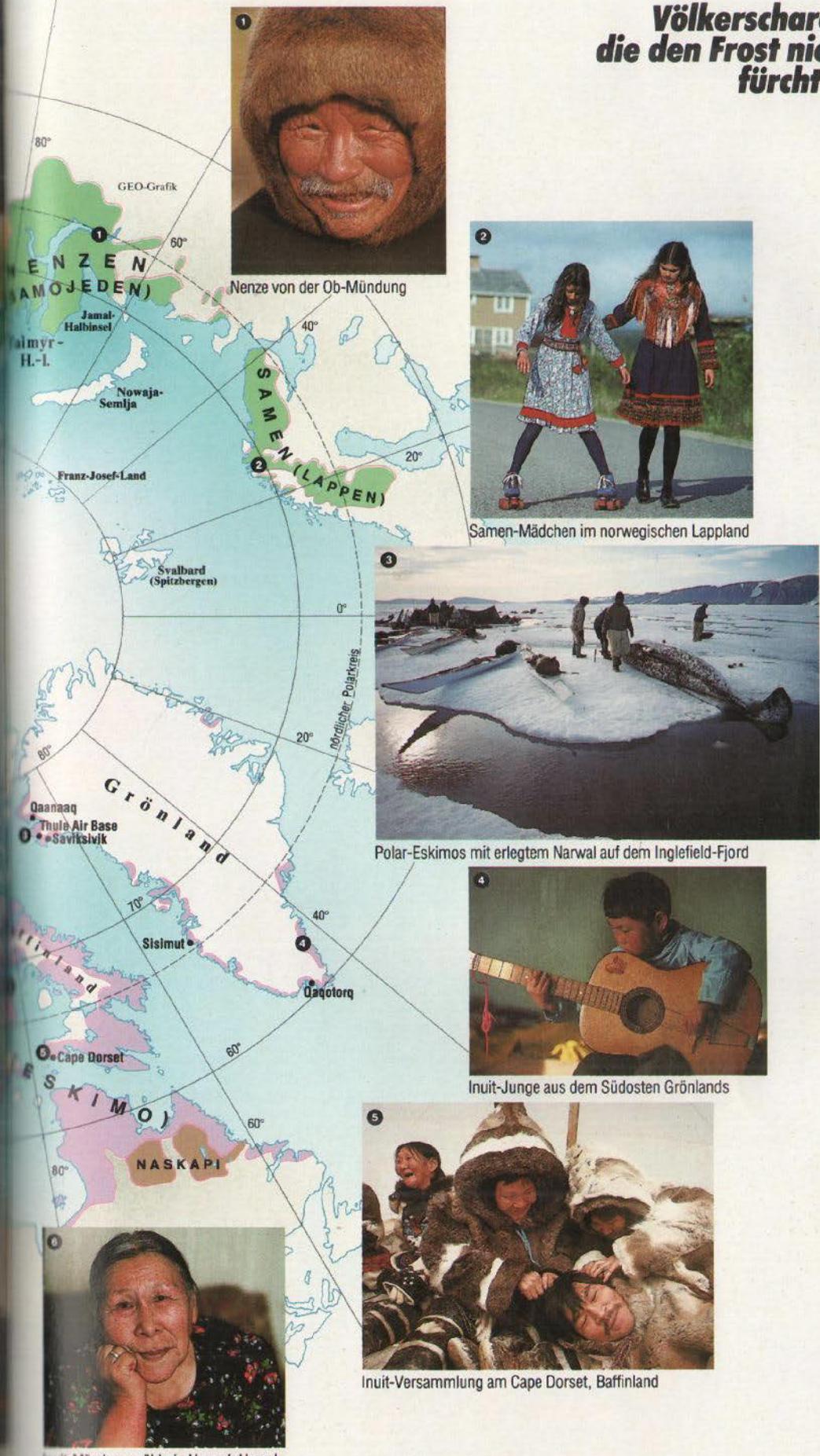


Eine Koyukon-Indianerin entlädt Lachs



Fernsehende Inuit-Familie am kanadischen Baker Lake

## Völkerscharen, die den Frost nicht fürchten



Inuit-Märchenerzählerin Hannah Uyarak

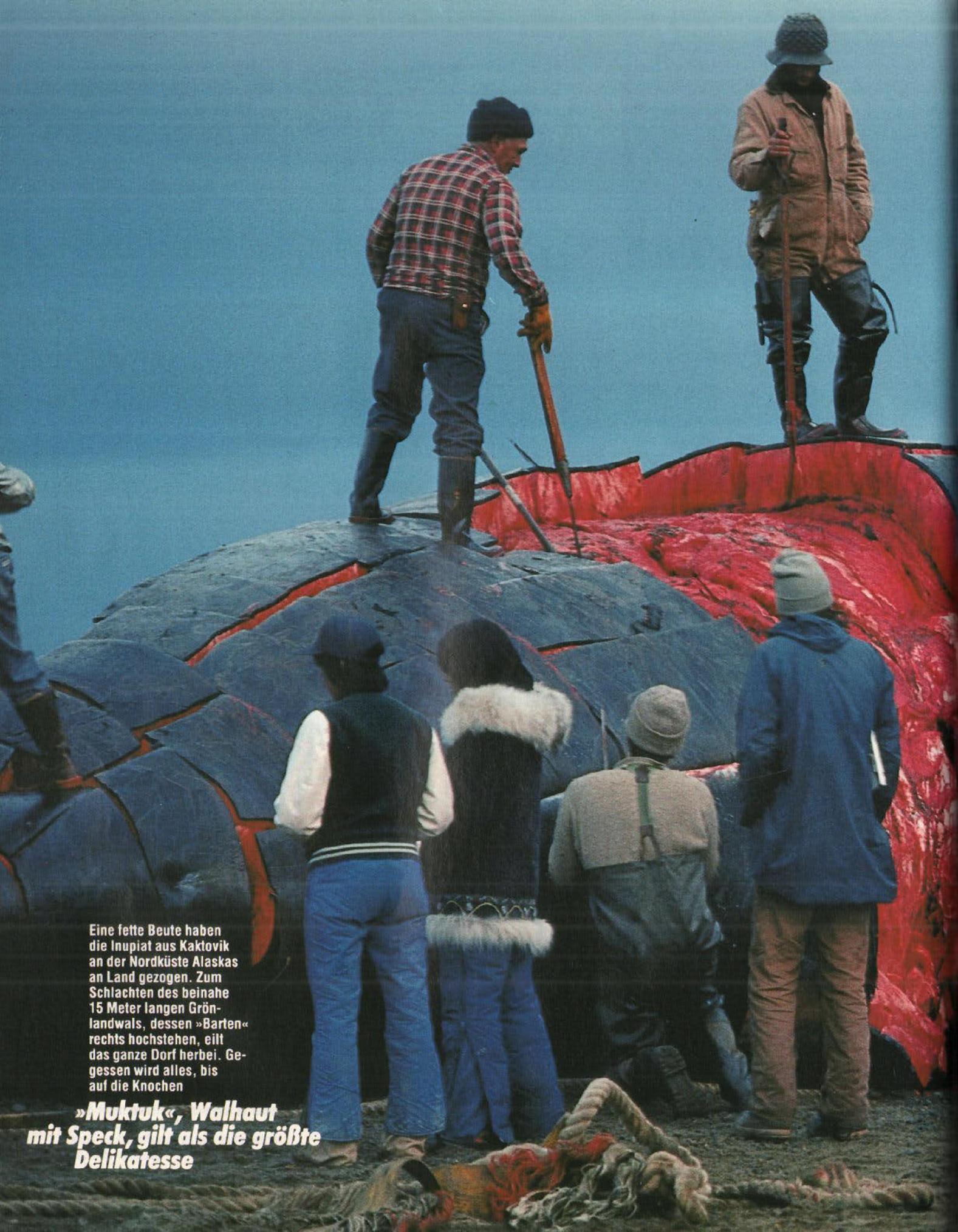
**S**ie zählen zusammen nur eine halbe Million Köpfe, aber verteilen sich auf über 30 unterschiedliche Völker: Für die angestammte Bevölkerung der nördlichen Polarregion ist Individualität Überlebensnotwendig. Deshalb hat sprachliche und kulturelle Vielfalt bei ihnen Tradition. Schon seit Jahrtausenden leben Menschen in den Tundren und Küstengebieten der Arktis. Die Ureinwohner des polaren Teils Eurasiens stammen wahrscheinlich von Jägern ab, die vor etwa 10 000 Jahren aus Zentralasien nach Norden gezogen waren.

Im äußersten Norden Amerikas jedoch kann ein Reisender sich – wenn auch radebrechend – über weite Strecken mit einem der Inuit- („Eskimo-“) Dialekte durchschlagen. Denn die Inuit – „Menschen“ – Alaskas, Nordkanadas und Grönlands sind Nachfahren der „Thule-Menschen“: Diese seßhaften, in halb vergraben Holzhäusern wohnenden Jäger folgten vor etwa einem Jahrtausend von Alaska aus ihren Beutetieren – Wale und Robben – nach Osten. Dabei vertrieben sie die dort schon lebenden Völker oder vermischten sich mit ihnen. Der Thule-Lebensstil setzte sich rasch in einem mehr als zwei Millionen Quadratkilometer großen Gebiet durch. Erst als das Klima mit der „kleinen Eiszeit“ um 1600 wesentlich kälter wurde, zersplitterte die kulturelle Uniformität. Die Inuit mußten auch andere Tiere jagen und als Halbnomaden umherziehen.

Völlig andere Sprachen sprechen die Indianer der amerikanischen Arktis. Ihre Vorfahren waren, wie alle Ur-Amerikaner, noch vor den Eskimos während der Eiszeit aus Asien über die „Beringia“-Landbrücke in den zuvor menschenleeren Doppelkontinent eingewandert.

Bei allen Unterschieden in Herkunft, Sprache und Kultur haben die Völker, die auch ohne moderne technische Hilfsmittel in der Arktis leben können, eines gemeinsam: Sie wollen nicht vollständig vor der Einheitskultur der Industriegesellschaft kapitulieren. Deshalb versuchen sie, ihr angestammtes Land wieder in Besitz zu bekommen. So ertrötzten sich die Ureinwohner Alaskas im Jahr 1971 von der US-Regierung fast 18 Millionen Hektar Land und nahezu eine Milliarde Dollar Entschädigung. Auch in der Sowjetunion kämpfen Arktis-Völker um mehr Rechte: Im Sommer 1989 nahmen Vertreter der Yuit aus dem äußersten Nordosten Sibiriens erstmals an einer Tagung der „Inuit Circumpolar Conference“ teil, die damals im grönlandischen Ort Sisimiut stattfand. Mit der Konferenz wollten die Eskimos unter anderem erreichen, daß sie selbst die Bodenschätze ihrer Heimat ausbeuten können. Den weißen Spatankömmlingen trauen sie auch in anderen Bereichen nicht über den Weg: Die Inuit wollen das Nordpolargebiet zur atomwaffenfreien Zone erklären.

Susanne Paulsen



Eine fette Beute haben die Inupiat aus Kaktovik an der Nordküste Alaskas an Land gezogen. Zum Schlachten des beinahe 15 Meter langen Grönlandwals, dessen »Barten« rechts hochstehen, eilt das ganze Dorf herbei. Geessen wird alles, bis auf die Knochen

**»Muktuk«, Walhaut mit Speck, gilt als die größte Delikatesse**

Jäger-Kultur:  
Harpunenspitzen  
verschiedener  
Polarvölker



**D**ie Schlittengespanne fegen übers junge Eis. „Hupa! Hupa!“ spornen die beiden Männer ihre Hunde an: Schneller, schneller zurück zum Dorf. Nur noch 20 Kilometer bis Saviksivik, nur noch kurz die Fahrt durchs Dämmerlicht der Polarnacht des frühen November im hohen Norden Grönlands.

Da bricht plötzlich das Eis, stürzen die Gespanne ins Meer. Verzweifelt kämpfen Männer und Hunde um ihr Leben. Immer wieder rutschen sie ins kalte Nass. Schließlich geben die Jäger ihre Schlitten und Jagdbeute auf, schneiden die Leinen der Hunde los und lassen sich – nach einer guten halben Stunde im Wasser – von den Tieren aufs feste Eis ziehen. Und nun müssen sie zum Dorf laufen – mindestens drei Stunden Fußmarsch bei 20 Grad Kälte. Ein Mitteleuropäer wäre wohl schon nach zehn Minuten gestorben. Die beiden Grönländer aber schlagen sich zu ihrem Dorf durch.

So konnte mir Lars dort viele Jahre später von seinem Überlebenskampf berichten – eine zwar nicht alltägliche, aber auch nicht untypische Geschichte aus dem Leben am nördlichen Ende der Erde.

Trotz seines dänischen Namens ist Lars ein Inuk, ein „Mensch“ – in der Sprache seines Volkes. Verwandte der grönlandischen Inuit siedeln auch in Alaska und im Norden Kanadas, wo ihnen die Cree-Indianer einst den Namen Eskimo – „Rohfleischesser“ – gegeben hatten.

Neben den Eskimos leben mehr als 30 andere Völker im Eishauch der Arktis. Eskimos und Jakuten, Samojeden und Lappen – in ihren eigenen Worten: Inuit, Sacha, Nenzen und Samen – unterscheiden sich in ihrer Sprache, Herkunft und Lebensweise teils erheblich voneinander (siehe Seite 140–141). Doch alle haben sich kulturell und teilweise sogar biologisch an das Leben in der Kälte angepaßt.

Denn das Leben im polaren Klima hat Tradition. Schon während der Eiszeit, die vor 10 000 Jahren zu Ende ging, waren steinzeitliche Jäger ihrer Beute bis an den Rand der Gletscher gefolgt. In den Eisschilden Europas, Asiens und Nordamerikas war so viel Wasser gebunden, daß der Meeresspiegel bis zu 100 Meter tiefer lag als heute. So konnten die Vorfahren der amerikanischen Ureinwohner über „Beringia“ – eine längst ertrunkene Landbrücke zwischen Sibirien und Alaska – trockenen Fußes von Asien ins damals

noch menschenleere Amerika gelangen. In einer der letzten Einwanderungswellen stießen die Inuit, aus Sibirien kommend, bis nach Grönland vor. Dort lebten Menschen, wie archäologische Funde belegen, schon 2600 v. Chr.

Die archaische Kultur der hohen Arktis hat an der Nordwestküste Grönlands bis heute einigermaßen überdauert. In einem halben Dutzend Siedlungen rund um Qaanaaq leben die Polar-Eskimos. Diese nördlichste aller Inuit-Gruppen bekam erst ab 1818 Kontakt mit Europäern und ist noch heute so isoliert, daß ihre Traditionen ursprünglicher erhalten geblieben sind als anderswo auf Grönland oder in Nordamerika.

Wie gut Lars und seine Leute noch immer dem Leben in Eis und Kälte angepaßt sind, habe ich bei einem monatelangen Besuch in Saviksivik erfahren: Sie ertragen Schneestürme sogar im Sommer und Temperaturen bis minus 50 Grad, sie hausen für dreieinhalb Monate im Dunkel der Polarnacht und benutzen dasselbe Wort für Jahr und Winter – „ukioq“.

Wer so lebt, muß ein besonderes Verhältnis zur Kälte haben. Das lernte ich gleich nach meiner Ankunft Mitte Mai auf der Thule Air Base, die von den USA mit Billigung Kopenhagens betrieben wird: Dänemark besitzt zwar seit dem 18. Jahrhundert diese größte Insel der Welt; aber seit 1979 dürfen die Grönländer ihre eisige Heimat unter dem Inuit-Namen „Kalaallit Nunaat“ – Land der Menschen – innerpolitisch selbst verwalten.

Von der Thule Air Base aus sollte mich ein Hubschrauber in die rund 110 Kilometer südöstlich gelegene Siedlung fliegen. Aber er konnte nicht starten, weil es neblig war und ein Schneesturm aufkam. Beim Warten traf ich zufällig Kaernak. Der Jäger wollte gerade mit dem Hundeschlitten nach Saviksivik zurückfahren. Er bot mir an: „Ich kann dich mitnehmen.“

„Das Wetter ist doch sehr schlecht“, meinte ich. „Wenn schon der Hubschrauber nicht fliegen kann . . .“

„Aber mit dem Schlitten können wir fahren“, sagte Kaernak und lachte. „Das Wetter ist zum Reisen gut. Wenn es sich ändert, ist es für den Hubschrauber gut, aber nicht für mich, weil das Eis aufbricht.“

Bald werde die Frühlingssonne den Schnee am hügeligen Küstensaum wegtauen und den Weg durch Geröll und Morast unpassierbar machen. Robben könne er nur noch mit dem Kajak jagen, und die versänken nach dem Fangschuß zuweilen im Wasser. Auf dem Eis sei alles viel einfacher.

Während unseres Gesprächs, gut eine Stunde lang, saß Kaernak lässig im

Schnee, als befände er sich auf einer Sommerwiese. Seine Hose aus Eisbärfell schützte ihn nicht nur gegen Kälte, sondern auch gegen Feuchtigkeit. Denn die fettreichen Haare des Pelzes sind, selbst wenn sie vollständig ins Wasser getaucht werden, schon nach wenigen Sekunden an der Luft wieder völlig trocken. Die Beine des Jägers steckten bis zu den Knien in Kamiit, den doppelwandigen hohen Stiefeln der Polar-Eskimos: außen Robbenleder und innen eine Art Strumpf aus Schaffell. Zwischen beiden Stiefelteilen liegt als isolierende Schicht eine Packung Moos, heute zuweilen auch Watte.

Dann fuhren wir los. Zunächst bergan, hinauf aufs Inlandeis, das fast ganz Grönland bedeckt und bis zu dreieinhalb Kilometer mächtig ist. Um die Hunde zu entlasten, sprangen wir vom Schlitten. Schon nach wenigen hundert Metern schnaufte



Ein Polar-Eskimo richtet Hunde zur Eisbärjagd ab



Inuit-Oberschüler in Qaqortoq, Grönland



Ostgrönländischer „Tupilaq“: von Schamanen geschaffener Unglücksbringer

ich hinter Kaerngak her. Der kleine, fast schmächtige Mann rannte mit wiegendem Oberkörper und sehr kurzen, fast schleppenden Schritten noch vor den Hunden.

Der Nebel wurde immer dichter. Himmel und Eis verschmolzen zu einem konturlosen Hellgrau. Ich erwartete, daß wir hält machen würden, um uns nicht zu verirren. Doch Kaerngak stoppte nicht. Plötzlich standen wir vor einer Eisschlucht, die er freudig begrüßte. Als ich verwundert fragte, wie er in diesem Nebel hierhergefunden habe, deutete er auf den Schnee: Dessen Oberfläche wies kleine Windriefen auf. Sie sind für die Inuit eine wichtige Orientierungshilfe.

Langsam verzog sich der Nebel. Um uns herum breitete sich eine unendliche Eislandschaft aus. Das offene Meer hatte für mich immer etwas Magisches. Doch hier fühlte ich mich verloren.

**Bei den  
Polar-Eskimos  
gilt dasselbe Wort  
für Jahr und Winter:  
»ukioq«**

Nach zwölf Stunden Fahrt übers Inlandeis lenkte Kaerngak den Schlitten hinunter zur eisbedeckten See. Plötzlich stoppte er das Gespann, lief voraus und steckte den Stock seiner Peitsche prüfend an mehreren Stellen in den Schnee. Der sah für mich auch nicht anders aus als anderswo: eine feste, leicht glänzende Oberfläche. „Ajorpoq“, sagte Kaerngak – „schlecht“. Wir waren kaum 300 Meter im rechten Winkel von unserer früheren Richtung weggefahren, als es hinter uns krachte. Dort, wo wir abgebogen waren, stürzte eine riesige Eisfläche in sich zusammen. Ich erschrak, der Inuk lachte.

Weitere acht Stunden vergingen. „Kommen wir bald an?“ wollte ich wissen.

„Imaka“ – „vielleicht“.

Wenige Minuten später kam Saviksivik in der Ferne in Sicht. Doch Kaerngak hat-



Furchtlos schleudert ein Polar-Eskimo seine Harpune auf einen Eisbären. Dessen Pelz wird begehrte wasser- und kälteabweisende Hosen liefern

te mich nicht narren wollen. Wäre uns beispielsweise ein „nanok“, ein Eisbär, über den Weg gelaufen, hätten wir den verfolgt – vielleicht tagelang.

Im Dorf mußte ich lernen, mit diesem „imaka“ zu leben. Kalli, bei dessen Familie ich wohnte, hatte versprochen, mich bei einer Ausfahrt mitzunehmen. Während er schon das Geschirr der Hunde überprüfte, fragte ich: „Geht es bald los?“ „Imaka.“

Er wußte es wirklich nicht. Ein Inuit-Jäger macht seine Entscheidungen stets vom extremen – und extrem schnell wechselnden – polaren Wetter abhängig. Pläne, gerade gefaßt, werden im nächsten Moment umgestoßen.

#### **Bei den Inuit ist ein jeder sein eigener Herr**

Eine Stunde später lenkte Kalli den Schlitten zur kleinen Insel Saleq, die schneedeckt aus dem Eis rachte. Ein breiter Riß in der Eisdecke versperrte uns den Weg. Wir fuhren auf und ab, es gab keine Passage. Also wendete Kalli und nahm Kurs auf Kap York, in die entgegengesetzte Richtung. Dort trafen wir andere Jäger. Unsere Schlitten standen dicht an der Eiskante, vor uns lag das offene Meer.

Für mich sah das nach einem längeren Lager aus: „Bleiben wir hier ein paar Tage?“

„Imaka.“

Erst schneite es mächtig, später umwallte uns Nebel. Wir blieben. Dann kam die Sonne hervor, und der Wind – eine leichte Brise, die uns den Rücken streichelte – drehte nach Nordost. Plötzlich brachen die Jäger das Lager ab. Sie fürchteten, der Wind könnte eine riesige Scholle vom übrigen Eis trennen und uns mit ihr in die offene See treiben.

Zwar hatten die Männer kurz die Situation besprochen. Aber das war auch schon das Ende der Gemeinsamkeit. Kein Be- schluß. Jeder fuhr ab, wie es ihm paßte. Augo, vorneweg, nahm einen südlicheren Weg. Kalli und ich, weit hinter allen, fuhren mehr nach Norden.

Bei den Inuit ist jeder sein eigener Herr. Die klimatischen Bedingungen bestimmen nicht nur, ob und wann ein Jäger aufbricht. Sie haben auch die Sozialstruktur geprägt. Die Polar-Eskimos leben zwar in Dorfgemeinschaften, unternehmen aber oft mit ihren Familien gefährliche Reisen in weit entfernte Gebiete. Als egalitar-individualistische Halbnomaden kennen sie keine Hierarchie. Das hat, wie mir während unserer Heimfahrt klar geworden ist, lebenswichtige Gründe.

Zunächst begann ein breiter werdender Riß in der Eisdecke uns von Augo zu trennen. Dann hüllte uns ein Schneesturm ein. Mühsam kämpften wir uns gegen die heulende Flockenwand an. Zum Glück brauchte Kalli nur seinen eigenen Fähigkeiten zu vertrauen und mußte keinen Weisungen folgen, die uns vielleicht geradewegs ins Unglück geführt hätten – wie so manche jämmerlich gescheiterte Polar-expedition der Europäer.

Nach acht Stunden erreichten Kalli und ich endlich Saviksivik. Bald darauf trafen Augo und die anderen Jäger ein. Unsere Ankunft erregte kaum Interesse. Nur ein paar Kinder liefen den Männern entgegen, und einige Frauen schlenderten heran: Familie eben – die einzige soziale Einheit der Polar-Eskimos.

Die Dorfbewohner fühlen sich nicht als Stamm. Sie haben keinen Häuptling. Und der angesehene Jäger Kaerngak wurde nur Gemeindevorsteher, um einer vom Mutterland Dänemark übernommenen Verwaltungsvorschrift zu genügen. Ohne ausdrücklich danach gefragt worden zu sein, würde er anderen nicht einmal Ratschläge geben – geschweige denn Anordnungen erteilen.

Auch in der Ehe herrscht bei den Polar-Eskimos keine Hierarchie. Mann und Frau sind frei in ihren Entscheidungen, trotz der strengen Rollenverteilung: Der Mann jagt und sorgt für Nahrung, die Frau bereitet die Felle auf und näht daraus die Kleidung für die Familie. „Eine Frau“, sagen die Inuit, „macht aus dem Mann einen guten Jäger.“

Kaerngaks Bruder Iggianauk beispielsweise war nur ein halber Jäger, trotz seines Talents und seines Gespürs für den Lebensraum. Da er keine Frau hatte, mußte er mit ungelenken Stichen seine alte Eisbärhose selber flicken. Sein verheirateter Bruder konnte derweil in neuen Kamiit jagen, die seine Frau mit vielen kunstvollen Stichen in langwieriger Arbeit genäht hatte. Und nach der Jagd, wenn die Stiefel wieder trocken waren, kaute sie das Leder Stück für Stück mühevoll wieder weich. Weil sie auf diese Weise auch ihre eigenen Kamiit und die ihrer Kinder pflegte, waren ihre Zähne schon erheblich runtergeraspelt.

Jungen wie Mädchen leben bei den Inuit im Kinderparadies. Sie werden umhegt und haben zugleich alle erdenklichen Freiheiten. So spielte Augos dreijähriger Sohn Josef um vier Uhr nachts noch mit anderen Kindern. Niemand befahl ihnen, endlich zu schlafen. Nur im Notfall werden Kinder durch ein Verbot gestoppt. Ansonsten lernen sie von früh auf, selbstständig und nur nach dem eigenen Willen zu handeln. Einige Forscher nahmen des-

Inukjuak-Kunst,  
Kanada: »Mutter und  
Kind«; Stein und  
Elfenbein



Jede Menge Auslauf

#### **Jenseits des Polarkreises leben die Kinder wie im Paradies**



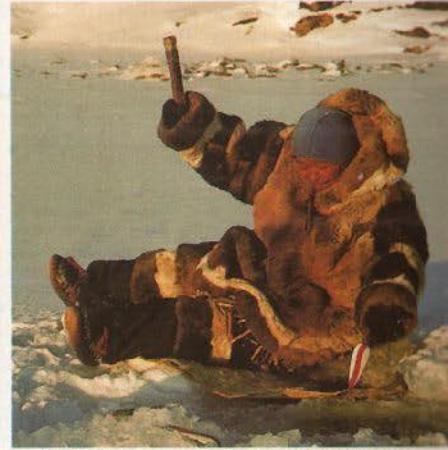
finden die beiden Inuit-Kinder mit ihren Rädern auf dem Eis des zugefrorenen Eclipse Sound vor der Nordküste der großen kanadischen Insel Baffinland



Inuit-Frau Amatea, 75, kaut »Kamiit« weich



Inuit-Künstlerin in Baker Lake, Kanada



Inuit-Anglerin am Eisloch bei Cape Dorset

halb an, daß Inuit ihre Kinder nicht erziehen würden. Sie tun es, aber nur durch das eigene Vorbild.

Hinter dieser respektvollen Haltung steckt auch ein spiritueller Grund. Alle Familien Saviksiviks sind zwar seit über hundert Jahren bekehrte Christen. Rudimente ihres alten Glaubens sind aber noch erhalten. So hörte ich, daß Eltern ihren kleinen Jungen mit „Großvater“ anredeten: Nach Auffassung der Inuit geht die Seele eines Verstorbenen in ein Neugeborenes über, wenn es dessen Namen erhält. Und so wie die Eltern dem wirklichen Großvater niemals vorschreiben würden, was er zu tun oder zu lassen hat, so behandeln sie auch das Kind.

Ahnlicher Respekt wird Tieren entgegengebracht. „Wenn du auf eine Robbe oder ein Walroß anlegst“, klärte mich der alte Jäger Angutirdluarsuk auf, „sollst du das Tier fragen, ob du es jagen darfst. Und nach dem Fangschuß sollst du dich entschuldigen, daß du es töten mußtest.“ Nach dem ursprünglichen Glauben der Inuit besitzen auch Tiere eine Seele. Ihnen steht es frei, sich fangen zu lassen – oder zu verschwinden, wenn zuviel gejagt wird. So haben sich die Inuit über Jahrtausende davor geschützt, ihre Lebensgrundlage zu zerstören – die einzige, die sie in ihrem Eisland haben.

Freunde wollten nach meiner Rückkehr immer wieder wissen, was ich im hohen Norden gegessen hätte. Nun, was die Inuit auch aßen: meist Robbenfleisch, hin und wieder Wildgeflügel, seltener Fisch.

„Niemals Gemüse oder Früchte?“

Woher denn?

„Und wie ging es dir gesundheitlich?“

Ausgezeichnet.

#### **Bei allem Individualismus denken die Inuit an andere und geben stets einen Teil ihrer Beute ab**

Auch ich hatte vor meiner Abreise das Klischee vom „Rohfleischesser“ im Kopf. Zu Gast war ich dann bei Genußmensch, die mich immer wieder fragten: „Mammator?“ – „Iii“ – ja, es schmeckte gut. Bei Jagdausfahrten aßen wir meist im Abstand von zwei bis drei Stunden. Mal setzte der eine Jäger, mal der andere einen Topf mit Schnee auf den Primuskocher und siedete kurz das Robbenfleisch. Wurde ein Tier erlegt, gab es sofort eine Extraption. Immer wurde das Fleisch geteilt. Denn bei allem Individualismus denken die Inuit an andere und geben bereitwillig einen Teil ihrer Beute ab.

Mahlzeiten waren Momente einer gewissen Andacht. Wir saßen gemeinsam auf den Schlitten und schmausten. Das Fleisch wurde mit dem Messer sorgfältig

vom Knochen geschnitten und mitsamt der Knochenhaut und den Knorpeln gegessen.

„Da, nimm die Leber“, sagte Iggianguak, „die ist gesund.“

Ich aß sie mit Genuss.

„Du mußt auch den Speck dazu nehmen, dann frierst du nicht immer so sehr.“

Das war nun doch zuviel, lieber fror ich weiter. Auch wenn wir tagelang auf dem Eis waren, bauten die Jäger nur bei extremer Kälte ein Zelt über ihrem Schlitten auf. Ansonsten schlummerten sie bei zehn Grad minus meist ohne Decke oder Schlafsack auf einem Schlitten unter freiem Himmel. Ich dagegen wachte alle paar Minuten schlitternd und völlig verkrampft auf.

Wie gut die Inuit den Nährwert ihrer Speisen kennen, belegen wissenschaftliche Untersuchungen: Fischöle und Robbenspeck sind reich an Vitamin A und D; Robbenleber und die Haut des Narwals – „matak“ – enthalten viel Vitamin C. Und das für den menschlichen Organismus notwendige Kalzium ist in den schwammähnlichen Teilen der Robbenknochen enthalten.

Haben meine Jagdgenossen die Knochen deshalb so sorgfältig abgeschabt?

Auch bei der Suche nach einer Erklärung, weshalb die Inuit ihren immensen Energiebedarf ganz ohne pflanzliche Nahrung decken können, stießen die Forscher auf eine verblüffende Antwort. Wegen der extremen Kälte verbraucht ein Jäger wie Kalli pro Tag rund 3600 Nahrungs-kalorien, ein Drittel mehr als etwa ein Mitteleuropäer. Menschen anderer Völker nehmen bei so hohem Bedarf vor allem pflanzliche Kohlenhydrate zu sich, etwa in Form von Brot, Nudeln oder Kartoffeln, die im Körper rasch in Traubenzucker – Glucose – umgewandelt werden.

Eskimos stillen ihren Hunger fast ausschließlich mit Fleisch und Speck. Letzterer enthält im wesentlichen Fett, also ebenfalls einen potentiellen Kalorienlieferanten. Das Fleisch von Wildtieren besteht praktisch nur aus Proteinen: Eiweißstoffen, die für den Aufbau von Körpergewebe wichtig sind, aber vergleichsweise wenig Energie liefern – zumindest im Körper von Nicht-Eskimos. Inuit dagegen können, wie amerikanische Forscher herausfanden, Proteine besonders effizient in Glucose umsetzen: Offenbar als Ergebnis einer bereits Jahrtausende währenden biologischen Anpassung vermag ihr Organismus Eiweißbausteine – Aminosäuren – leichter in kraftspendenen Traubenzucker umzuwandeln. Und der Speck, den die Polarbewohner immer zusammen mit dem Fleisch essen, scheint diese Umwandlung zu begünstigen, bei

Schlitten aus dem Eichenholzeines gestrandeten Walfangschafts; Bering-Straße, UdSSR



#### **Der Staat mischt sich ein in die Freiheit des Nordens**



Auf der sibirischen Jamal-Halbinsel sammelt ein Nenzen-Mädchen Brennholz. Mit sieben müssen die Kinder des Arktis-Volkes in ungeliebte Schulen



Als stolze Eltern präsentieren sich der Nganasan-Jäger Stepan Porotow und seine Frau Vera. Ihr »Balok«, eine Wohnhütte, steht im nordsibirischen Khatanga



Alt und Neu geht nahtlos ineinander über, wenn Samen im nordnorwegischen Kvenik ihre Rentiere auf die Fähre treiben



Jagd-Utensilien von der Bering-Straße:  
Netzgewichte, Eiskratzer, Griff für Zugseil



Ein Walroß-Jäger harpuniert seine Beute in der Bering-See

der überdies Energie in Form von Wärme anfällt.

Aber nicht nur deshalb froren meine Jagdgenossen aus Saviksivik weniger als ich. Eskimos tragen – den Robben ähnlich – eine isolierende Speckschicht unter der Haut, die bislang von keinem Schlankheitsideal bedroht ist. Ihr Körper ist zudem gedrungener als etwa der eines Europäers, weshalb er ein günstigeres Verhältnis zwischen Volumen und Oberfläche besitzt, also weniger Wärme durch Abstrahlung verliert. Und obendrein sind sie dank lebenslanger Abhärtung viel weniger kälteempfindlich als die an Wärme gewohnten Südländer.

Im Licht der neuen Erkenntnisse wird klar, daß sich eine Veränderung des ange-

stammten Speiseplans verhängnisvoll auf die Gesundheit der Inuit auswirken muß. Mit den Dänen kamen zum Beispiel auch Kekse nach Grönland, von denen jüngere Inuit Unmengen essen. Die Folgen sind schlechte Zähne und verdorbene Mägen. Reihenuntersuchungen zeigen, daß etwa zehn Prozent der Eskimos an chronischer Diarröhle leiden.

Importe verändern die Welt der Inuit in allen Lebenslagen, selbst im abgelegenen Saviksivik. Dort wurde kurz nach meiner Abfahrt ein Generator zur Stromversorgung aufgestellt. Bald werden alle Familien Videogeräte haben und – auch wenn es absurd erscheint – große Kühlboxen für ihre Sommervorräte. Bislang wurden Fleisch und Wildgeflügel in Seehundfelle

eingenäht und, manchmal ein ganzes Jahr lang, unter Steinhaufen gespeichert.

Ein Kühlhaus mit eigener Stromversorgung steht bereits. Dort wird „matak“ eingelagert. Die begehrte Haut des Narwals verkaufen die Dorfbewohner an Grönländer im Süden der Insel. Von den Einnahmen erwerben sie unter anderem importiertes Holz, das sie zu Schlitten, Kajaks und auch Iglus – „Unterkünften“ – verarbeiten. In runden Hütten aus Schneebausteinen hatten die Inuit niemals ständig gelebt; sie dienen bis heute Jägern zuweilen als Notunterkunft. Bis vor gut 30 Jahren lebten die Polar-Eskimos in den traditionellen, kuppförmig aus Steinen aufgeschichteten Häuschen, deren Dächer mit Torf und Moos isoliert waren.



Inuit mit erlegtem Eisbär auf der Kleinen Diomedes-Insel in der Bering-Straße, Alaska

## »Könnten wir dann in der heutigen Welt noch überleben?«

Heute stehen in Saviksivik ausschließlich Iglus à la Dänemark – bunte Holzhäuser.

Wie problematisch die Anpassung an die westliche Kultur für die Polar-Eskimos ist, hat mir Kalli erklärt. Sie hatte begonnen, als die „kraslunit“ – die fremden Weißen – Pelze gegen Gewehre eintauschten. So wurden die bis dahin völlig autarken arktischen Jäger allmählich vom Pelzhandel abhängig. Und es ist schon eine Ironie des Schicksals, daß ausgerechnet ihnen, die stets ökologisch sinnvoll gehandelt hatten, diese Abhängigkeit fast zum Verhängnis wurde. Denn als Folge einer Greenpeace-Aktion gegen das Abschlachten von Robbenbabys vor der kanadischen Atlantikküste fielen die Weltmarktpreise für Seehundfelle Mitte der

achtziger Jahre um mehr als die Hälfte ihres ursprünglichen Wertes. Daran leiden die Inuit, die nie an den Robbenschlächtereien beteiligt waren, noch heute. „Die haben verlangt“, empörte sich Kalli über die Ignoranz mancher Umweltschützer, „wir sollten keine Robben, sondern Gemüse essen.“

Noch mehr bedrückte Kalli ein anderer „Segen“ der westlichen Kultur – Alkohol. Er selbst hat nie einen Schluck davon getrunken. Doch im Lager der Handelsstation von Saviksivik sah ich Flaschen aller bekannten Schnapssorten. Grönländer haben den höchsten Alkoholverbrauch der Welt – Ausdruck auch ihrer Zerrissenheit. Im statistischen Mittel trinkt jeder erwachsene Inselbewohner mehr als 20 Liter puren Alkohol pro Jahr, fast doppelt soviel wie ein Durchschnittsdeutscher.

Der Suff hat oft böse Folgen. Vor der Ankunft der Kraslunit war Selbstmord selten, ebenso wie Mord. Trotz ihres Individualismus kennen Eskimos kein aggressives Konkurrenzdenken. Ein Mann muß sich schon sehr bedroht fühlen, ehe er zum Angriff übergeht. Deshalb war ich tief getroffen, als ich in Saviksivik hörte, daß zwei mir befreundete Jäger im Rausch andere Dorfbewohner erschlagen hatten. Ins Gefängnis mußten sie allerdings nicht: Strafe und Sühne sind den Inuit von Thule immer noch fremd.

Kalli befürchtete, daß auch die Polar-Eskimos ihrer angestammten Jägerkultur entwurzelt werden könnten – wie ihre Verwandten im Süden Grönlands. Dort hatte eine wohlmeinende dänische Regierung in den sechziger Jahren kleine Eskimo-Siedlungen aufgelöst, um den Menschen industrielle Arbeit in größeren Gemeinden anzubieten. Die Familien zogen in große Wohnblocks, doch nur ein kleiner Teil der Inuit fand Arbeit. Die anderen wurden abhängig von der Sozialhilfe, zugeschnitten für Europäer, nicht aber für Menschen, die kurz zuvor noch autarke Jäger gewesen waren.

Ein Ausweg ist kaum in Sicht. Kalli war es leid, Ratschläge der Kraslunit zu hören – weder die der weißen Erneuerer mit ihren Wohnblocks und Generatoren noch die der Bewahrer mit ihren romantischen Vorstellungen vom „heilen“ Eskimo-Leben. Er meinte, die Inuit sollten in einem eigenen, unabhängigen Staat ein Jägervolk bleiben, ihrem eisigen Lebensraum wie eh und jeh verbunden. Doch kaum hatte er das gesagt, stockte er und fragte: „Könnten wir dann in der heutigen Welt noch überleben?“ □

Der Hamburger Journalist und Kisch-Preisträger Christian Jungblut, 47, GEO-Lesern aus vielen Reportagen bekannt, berichtete in GEO Nr. 4/1988 über den Inuit-Jungen Rasmus aus Saviksivik.



Als müßten sie Licht auf Vorrat tanken, durchtanzen Skandinavier – hier im nordschwedischen Luleå – die taghelle Mittsommernacht. Solche

VON JÜRGEN NEFFE

**W**er mag in dieser Nacht noch an Hormone denken, an Depression und Dämmerung? Wer schaut noch auf die Kirchenuhr, die sinnlos ihre Zeiger dreht? Der Tag gehört den Bürgern, wenn Tromsø seinen Sommer feiert: Ein Tag, so will es scheinen, der nie vergeht. Wie aufgeputscht, vernarbt in Heiterkeit und Leichtsinn, ziehen sie durch ihre triste Stadt und lachen in staunende Touristengesichter, Stunde um Stunde, als müßte ein jeder das Soll auf seinem Lichtkonto in ein dickes Gut haben verwandeln. Es ist, als hätte es die lange, dunkle Zeit hier nie gegeben, 350 Kilometer nördlich des Polarkreises.

Auf der Terrasse des „Verthus Skarven“, gleich unten am Hafen, stehen die Tische voller Gläser. Vom Preis – zehn Mark pro Bier – lassen sich die Feiernden nicht abschrecken. Sie trinken, als müßten sie ihr hart verdientes Geld in dieser einen lauen, taghell Sommernacht verschwenden. Sie schwärmen vom Winter und der ewigen Nacht, als schwelgten sie in fernen Kindheitserinnerungen. Dabei ist es nur Wochen her, daß hier der letzte Schnee verschwunden ist, nur Monate, daß manche die Furcht überfiel, die Sonne käme nie wieder.

„Im Sommer, wenn das Wetter schön ist, kannst du nichts machen gegen das Hochgefühl“, erklärt Anne Balteskard, eine braungebrannte Krankenschwester, „und im Winter kannst du die Niedergeschlagenheit nicht verhindern.“ Sie arbeitet im städtischen Hospital und weiß, daß sich in den Wochen um den Jahreswechsel die Fälle von Schlafschwierigkeiten und Depression häufen. „Auch dann trinken die Leute

# Endlos der Tag und endlos die Nacht

Euphorie mündet, vor allem jenseits des Polarkreises, oft in die Depressionen des düsteren Winters



viel, aber aus anderen Gründen.“

Zwei Uhr zeigt die Kirchenuhr, und vor allem die zunehmende Trunkenheit der Gäste im „Skarven“ verrät, daß es nicht kurz nach Mittag, sondern kurz nach Mitternacht ist. Hinter dem Wasser, im Süden, leuchten die schneedeckten Berge im prallen Licht der Sonne. Keine Spur von nördlicher Verschlossenheit oder Blutarmut. Nur die Touristen ziehen sich allmählich zurück, entzückt und verwundert zugleich über das mediterran anmutende Treiben am „Strandtorget“.

Den Fremden aus dem Süden mag es ohnehin sonderbar erscheinen, daß es hier oben eine Stadt mit 50 000 Einwohnern gibt, mit mehr Kneipen und Restaurants pro Kopf als sonstwo im Lande. Daß sich auf dem Breitengrad, der sich mitten durchs vereiste Grönland zieht, die Menschen im Sommer an Badestränden drängen. Und daß hier, wo der Winter acht Monate dauert, schon in prähistorischer Zeit Menschen lebten. Von Steinzeichnungen, 4500 Jahre alt, schwärmt der Prospekt der Stadt Tromsø, „die uns über das Treiben der Samen\* in der Umgebung erzählen“.

#### **Die Vorfahren aller heutigen Menschen lebten in den Tropen**

Ein paar tausend Jahre – und doch nur eine kurze Episode der langen Menschheitsgeschichte. Wenig scheint die nordischen Weißen mit den afrikanischen Schwarzen zu verbinden. Dennoch tragen die Bewohner polarer wie äquatorialer Regionen das gleiche biologische Erbe in sich, die gleiche Abhängigkeit vom Sonnenlicht.

Die Vorfahren aller heutigen Menschen lebten in den Tropen. Tag und Nacht sind dort etwa gleich lang; sie wechseln einander so verlässlich ab wie die Schläge des Herzens. Den Tagesrhythmus tragen alle Nachfahren in sich: Eine eingebaute innere Uhr steuert viele physiologische

\* korrekte Bezeichnung der „Lappen“

Funktionen – vor allem Müdigkeit, Einschlafen und Erwachen. Deren Takt entspricht allerdings nicht genau der Länge der Tage. Er muß täglich nachgestellt werden – durch Licht: Menschen, die längere Zeit in abgeschirmten Schlaflabors oder Höhlen verbringen, entwickeln einen eigenen, „circadian“ Tagesrhythmus von etwa 25 1/4 Stunden. Kommen sie zurück an den Tag, dann synchronisiert das Sonnenlicht den Takt wieder auf 24 Stunden.

#### **»Das ist, als würden wir von hier aus den Pazifik sehen«**

Wie alle Savannentiere kannten auch die urtümlichen Menschen keine ausgesprochenen Jahreszeiten. Je weiter die prähistorischen Wanderer jedoch nach Norden vordrangen, desto weiter von ihrer Heimat entfernte sich auch ihre Physiologie. Es wurde kalt, kälter als es der Affe ohne Fell gewohnt war. Er paßte sich kulturell an, lernte durch Feuer, Kleider und Häuser in der klimatischen Fremde zu überleben. Doch die biologischen Rhythmen ließen sich durch technisches Genie nicht überwinden. Die wenigen Jahrtausende nahe am Polarkreis haben dem Menschen offenbar nicht ausgereicht, sich an die dortigen extremen Licht- und Klimaschwankungen völlig anzupassen: Er ist, sagt der Brite Nick Tyler, Gastforscher in der Abteilung für arktische Biologie der Universität Tromsø, ein Savannentier geblieben, auch 70 Grad nördlich des Äquators.

Tromsø, das „Tor zur Arktis“, erlebt die Mittsommernacht 1990 unter wolkenlosem Himmel. Wenn fern im Süden, am Wendekreis des Krebses, die Schatten mittags zu Punkten gerinnen, schaut das „Paris des Nordens“ um Mitternacht Richtung Nordpol. Dort, weit hinter der Insel Kvaløy, will die Sonne nicht untergehen. Und während die letzten Gäste aus Frankreich, England oder Deutschland auf der Aussichtsplattform des „Storsteinen“ – des 400

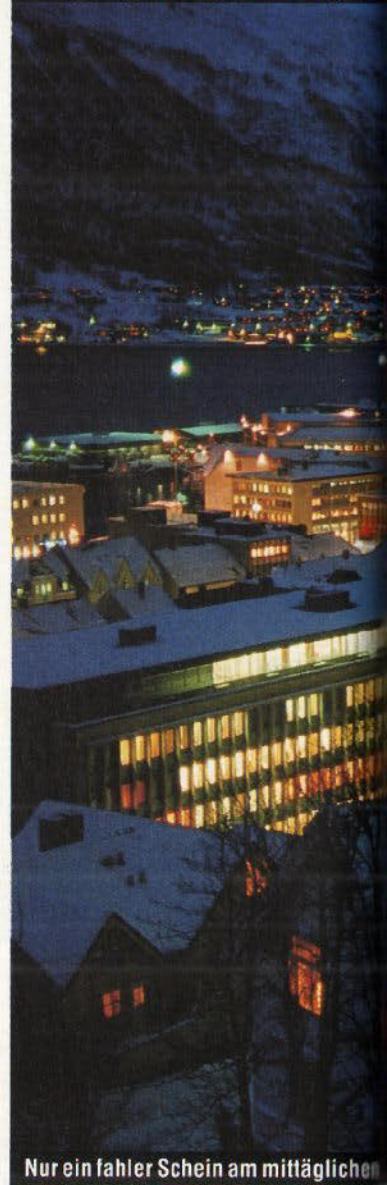
Meter hohen Hausbergs von Tromsø – wieder und wieder das gleiche Foto machen und hingerissen von der „Einmaligkeit“ der Mitternachtssonne schwärmen, zünden Vibeke Simonsen und Tove Haldorsen gerade ein Häufchen Reisig an.

Die beiden Schülerinnen treffen sich seit ein paar Jahren in der Nacht vom 21. auf den 22. Juni, die südlich des Polarkreises als kürzeste gefeiert wird und nördlich davon keine ist. Wenn die Seilbahn um halb eins die letzten Touristen zurückschaukelt, kehrt endlich die betörende Stille auf den „großen Stein“ zurück. Hoch über dem tiefblauen Meer grillen die Norwegerinnen Würstchen, trinken Limonade, rollen sich später in ihre Schlafsäcke und erzählen sich Geschichten. Wie ein Großteil der Einheimischen unten im Tal, schlafen auch sie in dieser Nacht kaum.

„Wer schlafet, erlebt nichts“, sagt Vibeke und blickt über die weite Hochebene. „Die Erlebnisse sind in uns“, erklärt ihre Freundin. „Ich meine: Wir schauen im selben Augenblick zur Sonne wie die Menschen in Neuseeland und auf den Fidschi-Inseln. Das ist, als würden wir von hier aus den Pazifik sehen.“ Sie seien, sagen die Schülerinnen wie zur Entschuldigung, auf das Leben in diesen Breiten geprägt: „Wir möchten hier auch sterben.“ Der Tod sei ihnen irgendwie nicht fremd, jeder Winter bringe ja einen kleinen Abschied. „Später, im Frühling, erleben wir die Wiederauferstehung.“

Bei aller Ausgelassenheit, selbst am Höhepunkt der Mittsommerfeiern, schimmt ein wenig von der Melancholie durch, die bald wieder

Wenige Tage vor Beginn der langen

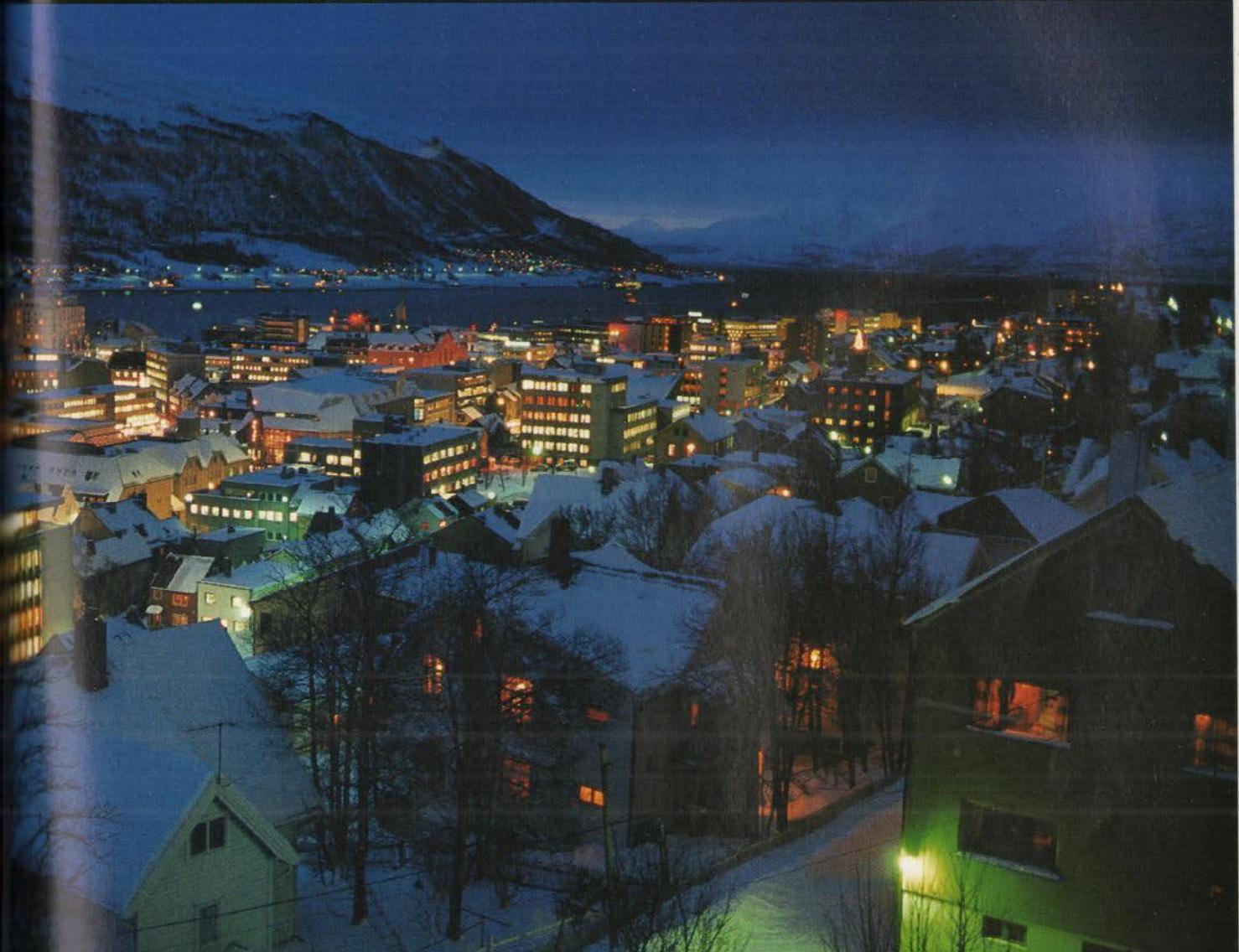


**Im Winter lastet Finsternis über dem »Tor zur Arktis«**

Nur ein fahler Schein am mittäglichen



Polarnacht – sie dauert im nordnorwegischen Tromsø vom 25. November bis zum 21. Januar – hebt sich die Sonne nur ganz knapp über den Horizont



Horizont erinnert die 50 000 Einwohner Tromsøs während der finsternen, »Mørketiden« genannten Zeit daran, daß fern im Süden die Sonne scheint



In hellen Juni- und Julinächten kurven Jugendliche durch Luleå, als läge die Stadt in Kalifornien und nicht am Polarkreis



An düsteren Wintertagen treibt es Tromsø in die Kneipen: Davon gibt es hier mehr pro Kopf als anderswo in Norwegen

die meisten Menschen hier befallen wird. Sie wissen nicht nur, was sie erwarten: Sie scheinen es auch zu spüren mit ihrem eigentümlichen Sinn für die Zeit. Fast jeder kann auf den Tag genau sagen, wann die Sonne wieder hinter dem Horizont verschwinden wird. Bis zum 25. Juli währt das Dauerlicht, dann geht es rapi-de bergab mit der Tageslänge. Am 25. November verabschiedet sich die Sonne dann für die acht Wochen lange Polarnacht.

„Mørketiden“ nennen die Nordländer diese „Finsterzeit“, die allerdings nicht völlig duster ist. Indirektes Licht erhellt den südlichen Horizont selbst am 21. Dezember – dem kürzesten Tag – 124 Minuten lang. Auch leuchtet bei klarem Wetter der Mond, und nicht selten zeigen sich am Himmel über Tromsø atemraubende Nordlichter. Doch so schön dies Dämmerlicht auch sein mag, seine Stärke von höchstens 500 Lux reicht nicht aus fürs Nachstellen der inneren Uhr. Sie braucht offenbar Tageslicht – etwa 2500 Lux – als „Zeitgeber“.

Wie Menschen, die fast zwei Monate in der Dämmerung leben, ihre innere Uhr nachstellen, kann niemand genau sagen. „Wahrscheinlich spielt dabei nicht nur die Lichtstärke eine große Rolle“, sagt Trond Bratlid, Chefarzt für Psychiatrie im Åsgård-Krankenhaus, „sondern auch die subjektive Wahrnehmung.“ Viele schaffen es offenbar, durch Anpassung an die Rhythmus des Alltags den 24-Stunden-Takt zu halten, sozusagen durch Verinnerlichen der äußeren Uhr. Doch ein Fünftel der Bewohner Tromsøs klagen im Winter

über Einschlafstörungen – vermutlich, weil ihr Schlaf-Wach-Rhythmus wegen des Lichtmangels „phasenverschoben“ ist. Diese „Mittwinter-Insomnie“ – kurz MI – verschwindet im Frühjahr von alleine.

Forscher wie Bratlid sehen die Schlaflosigkeit nicht nur als Übel, sondern auch als ergiebiges Betätigungsfeld. „Tromsø ist ein natürliches Schlaflabor“, sagt der Professor, „zumindest im Winter.“ Warum leiden etwa vier Fünftel der Leute nicht unter MI, obwohl doch auch sie kein Tageslicht abbekommen? „Vielleicht“, sagt der Chefarzt, „ist Licht als Zeitgeber nicht für alle Menschen so wichtig.“ Da die Krankheit in manchen Familien häufiger vorkomme, könnte sie zumindest teilweise erblich bedingt sein.

Wie die innere Uhr funktioniert, ist noch weitgehend unbekannt. Die Epiphyse oder „Zirbeldrüse“ tief im Gehirn scheint dabei eine wichtige Rolle zu spielen: Sie schüttet das Hormon Melatonin vor allem bei Dunkelheit aus, weniger jedoch, wenn helles Licht in die Augen dringt.

#### Die Freude auf den »Sol Dag« macht alles wieder wett

Melatonin ist zwar nicht, wie lange vermutet, das „natürliche Schlafmittel“ des Organismus. Aber es hilft dem Körper, sich zu beruhigen und schließlich einzuschlafen. MI-Patienten haben abends deutlich weniger Melatonin im Körper als Gesunde. Werden die Kranken jedoch mit starkem künstlichen Licht bestrahlt, morgens eine halbe Stunde mit 2000 Lux, normalisiert sich nicht nur ihr Melatonin-Spiegel. Auch die Schlafstörungen gehen oft zurück.

Licht beeinflusst, wie Forscher vermuten, den gesamten Hormon-Haushalt: Das lichtgesteuerte „Meister-Hormon“ Melatonin „herrsche“ über andere Botenstoffe. Im Körper gibt es allerdings nicht nur den Schlaf-Wach-Rhythmus, sondern eine Reihe anderer „Phasen“. Deshalb be-



Sowjetische Kinder in Siedlungen nördlich des Polarkreises werden im Winter per Höhensonnen bestrahlt, um Vitamin-D-Mangel zu verhindern

zweifelt Bratlid, daß die morgendliche Bestrahlung das Einschlafproblem generell lösen kann. In manchen Fällen schade es sogar. Vielen Menschen sei durch Schlaftabletten besser zu helfen.

Womöglich hängt auch ein anderes, im hohen Norden vermehrt auftretendes Problem mit Melatonin zusammen: Mehr als 20 Prozent der Einwohner Tromsøs zeigen depressive Symptome; nach US-Studien leiden fünf bis acht Prozent unter dem voll ausgebildeten Syndrom, das Experten SAD nennen – „Seasonal Affective Disorder“. Es ist, als schwinge die Seele im jahreszeitlichen Wechsel von Klima und Tageslänge – Optimismus und Frohsinn im Sommer, Niedergeschlagenheit und Pessimismus im Winter. Ebenfalls nach US-Untersuchungen reagieren Menschen, die unter jahreszeitlich bedingten Depressionsschüben leiden, extrem lichtempfindlich und zeigen oft abnormale Melatoninwerte. Es soll schon gelungen sein, winterliche Depressionen mittels künstlichem Licht zu lindern.

Nicht jeder sehnt sich jedoch nach Linderung. „Ich wüßte nicht“, sagt der Ge-sangslehrer David Halvorson, „wie es mir ohne diese miese Zeit ginge.“ Die Freude auf den „Sol Dag“ mache doch alles wieder wett: Am 21. Januar feiert Tromsø die Wiederkehr

der Sonne. Um 11.36 Uhr geht sie auf – für vier Minuten. „Nur wer tief fällt“, erklärt Halvorson, „kann hoch hinaus“ – und beschreibt so das Lebensgefühl vieler Landsleute. „Im Prinzip“, überlegt Anne Balteskard, „weiß ja jeder, was uns bevorsteht, aber nur mit dem Kopf. Die Seele lebt vom Vergessen.“

„Ich vermisste diesen Lebensrhythmus“, sagt Mathias Calmeyer, der den größten Teil des Jahres als Schauspieler „im Süden“ arbeitet, in Oslo. „Im Winter hast du viel Zeit zum Lesen und Nachdenken. Außerdem: Die Menschen rücken zusammen.“ Im Sommer gehe jeder seine eigenen Wege – es sei denn, sie feiern die Mittsomernacht wie einen Karneval.

Die Terrasse vor dem „Skarven“ leert sich allmählich. Die Kirchenuhr zeigt vier. Durch die Straßen kurven – so wie in vielen anderen Städten am Polarkreis – noch immer die Jugendlichen mit ihren Cabrios und Coupés, als wären sie in Kalifornien. Typisch skandinavisch bleiben nur die Scheinwerfer der Autos: sie brennen immer. □

GEO-Autor Dr. Jürgen Neffe, 34, hat sich schon im allerersten GEO-Wissen – Nr. 1/1987: „Gehirn-Gefühl-Gedanken“ – mit gestörten Lebensrhythmen auseinandergesetzt: In seinem Report „Die entzauberte Nacht“ berichtet er auch über Schlafstörungen. Viel Ruhe konnte er während seiner Recherchen im mittsomernächtlichen Tromsø nicht finden.

## Die Dunkelheit fördert die Flucht in den Alkohol

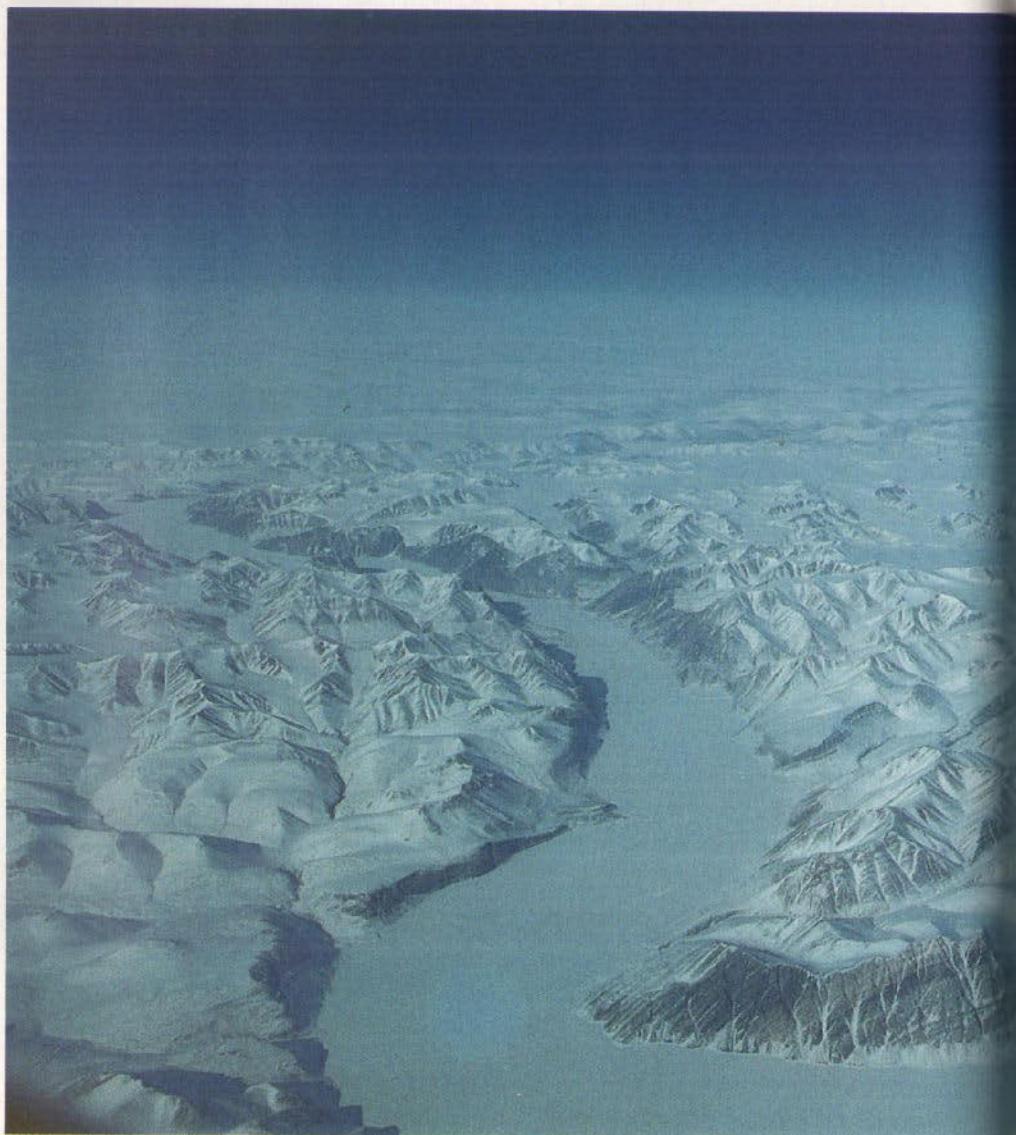
**B** VON ALBERT GERDES

Bremen, 4. April 1869 – „Unsere nationale Zerrissenheit, der dumpfe, enge Binnenlandssinn, welcher durch die Vielstaaterei genährt wurde, war schuld, daß wir Deutschen, eines der ersten Kulturvölker der Gegenwart, in diesem großen wissenschaftlichen Eroberungskampf als Nation selbst hinter solchen Völkern zurückblieben, die im Kulturreiben der Gegenwart nicht als tonangebend auftreten.“

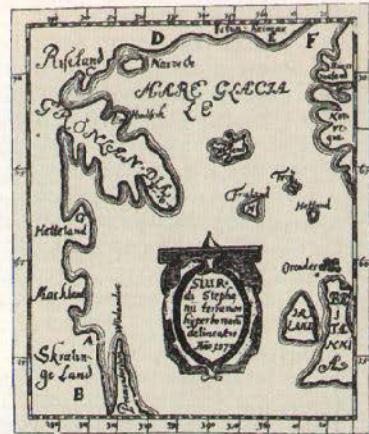
Ein geharnischter Leitartikel der „Weser-Zeitung“ erregt Aufsehen. Es geht um Neuland in der Arktis, dessen Entdeckung und Inbesitznahme Deutschland so gut wie verschlafen habe. Ganz im enthusiastischen Ton des aufkommenden Nationalismus rechnet der Verfasser Moritz Lindemann seinen Lesern vor, daß die Deutschen den Sounds und Inlets der Engländer, den Klips und Hoeks der Holländer, den Fjords der Dänen kaum einen „Hamburger“ Hafen entgegenzusetzen hätten. Aber: „Die Dinge stehen jetzt anders.“ Lindemann ist der Sekretär des „Bremischen Comités für die zweite Deutsche Nordpolarfahrt“.

Am Vorabend der Reichseinigung zeigt sich das liberale Bürgertum durchaus angetan von den politisch und wissenschaftlich glänzenden Aussichten einer Exkursion zum „nur etwa 10 Tage per Schraubendampfer entfernten Nordpol“. Handelshäuser an der Küste und im Binnenland bringen 84 000 Taler zur Finanzierung der Entdeckungsreise auf. Hinter den ideellen verbergen sich indes handfeste wirtschaftliche Motive: Offenbar hoffen die hanseatischen Kaufleute und Reeder entgegen allen Mißerfolgen der Engländer und Amerikaner, daß die Expedition eine schiffbare Handelsroute ent-

# Das lockende Nichts



Grönlands Küstenlinie ist bei klarer Sicht kostenlose Beigabe für Transatlantik-Flieger. Die vermutlich



lang der grönländischen Ostküste in den Pazifik findet – eine Nordwest-Passage.

Am 16. April 1869 läuft der 26 Meter lange und sechseinhalb Meter breite Schoner „Germania“ vom Stapel. Mit einer 30 PS starken, dampfgetriebenen Maschine macht das 143-Tonnen-Schiff auch ohne Segel gute viereinhalb Knoten Fahrt. Am 15. Juni verläßt die Expedition Bremerhaven, in Gegenwart des

Königs von Preußen, „dessen warmes Interesse für das schöne nationale Unternehmen“ die Teilnehmer mit patriotischem Stolz erfüllt.

**Wer auf einem Fischkutterrettungslos ins Eis gerät und ersäuft, verhungert oder erfriert, hat keinen Anspruch auf eine historische Notiz. So spricht auch keiner mehr von verschollenen Wal-**

fängern und Tranjägern – von Seeleuten, die das Nördliche Eismeer jährlich befuhren, ohne ihre Unternehmungen mit dem emphatischen Namen einer Expedition zu versehen. Auch die Tranjäger machten Entdeckungen und überwinterten auf Inseln, die den Kosmographen noch lange verborgen blieben; sie kannten das Eis und schifffbare Routen besser als die Vertreter der Akademie – aber wer, außer

dem Schreiber in einem Handelskontor, hätte ihre Namen aufzeichnen sollen? Was sind zehn verschwundene Robben-schlägerfregatten gegen ein einziges Expeditionsschiff, das in königlichem Auftrag segelt und sinkt?

Christoph Ransmayr  
„Die Schrecken des Eises und der Finsternis“

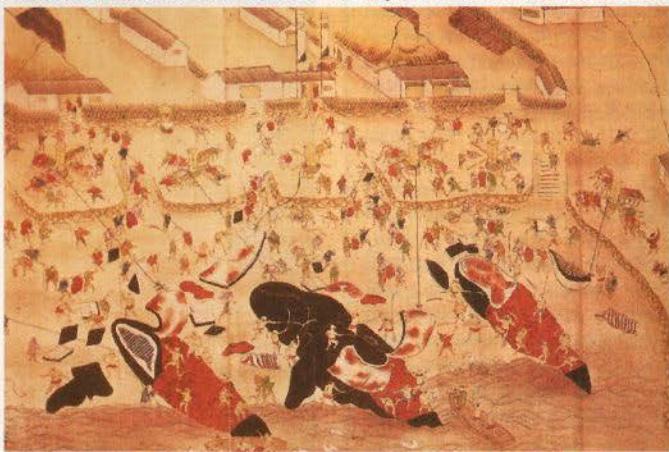
Zum Nordpol gelangt man, wie sich bald herausstellt, kei-



erste Karte der Rieseninsel zeichnete der Isländer Sigurd Stephanus anno 1570



Flenssen eines Wals auf den Färöer-Inseln; Leviathan lockt in den Norden

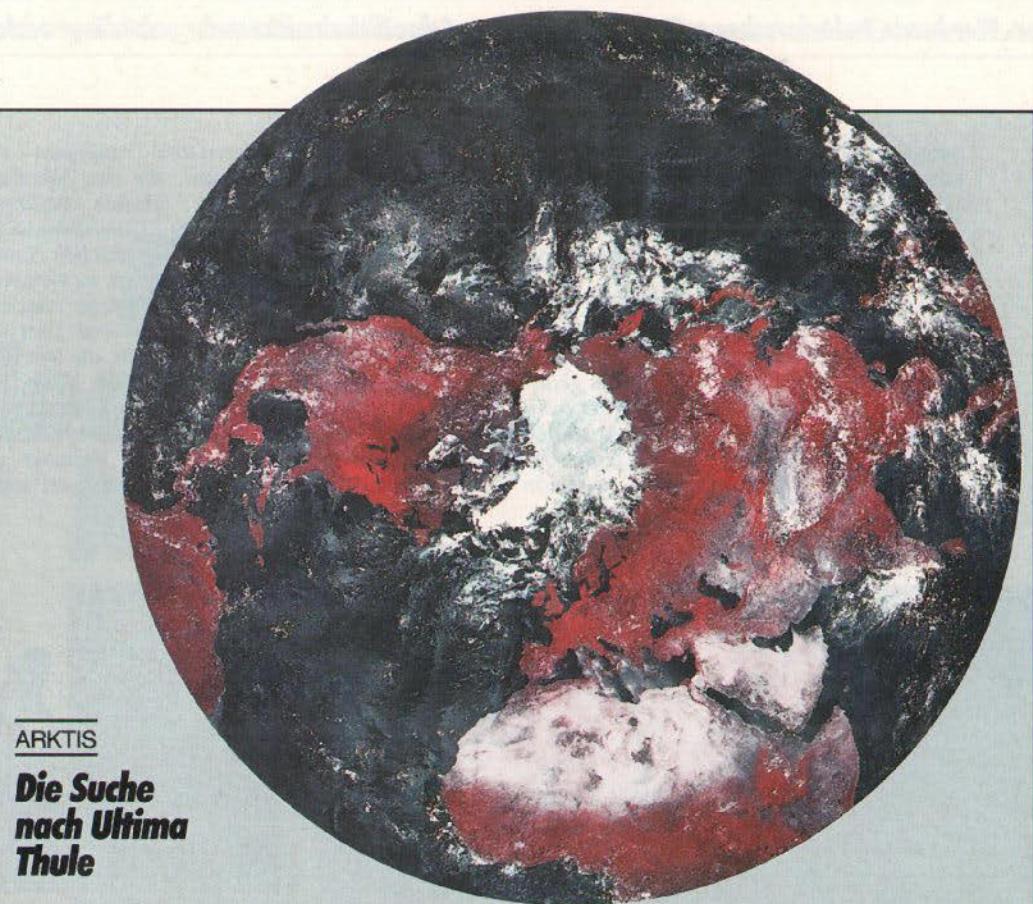


Tranjäger als Polar-Pioniere: Japanische Walfänger um 1850

neswegs in nur zehn Tagen. Schon während der „Ersten Deutschen Nordpolarfahrt“ im Jahr 1868 hat die „Grönland“ vor dem Packeis kapitulieren müssen. Schwierige Eisverhältnisse zwingen nun auch die „Germania“, an der grönlandischen Ostküste, 1600 Kilometer vom Pol entfernt, zu überwintern. Das Begleitschiff „Hansa“ ist schon bei der Anreise im Preßeis zerstört worden. Im September 1870 kehrt die „Germania“ zurück, mit einer Fülle geographischer und meteorologischer Daten, aber ohne den Seeweg in den Pazifik gefunden zu haben.

Schlummer ergeht es dem Dreimaster „Admiral Tegetthoff“ im Verlauf der „Österreichisch-Ungarischen Nordpolexpedition 1872/74“. Das Kommando haben Carl Weyprecht und Julius Payer, der schon auf der „Germania“ dabei war. Er weiß die Vorteile des 220 Tonnen großen Schiffes zu schätzen, ist doch „die Cajute, welche Weyprecht, Brosch, Orel, Kepes, Krisch und ich bewohnen, weitaus jener vorzuziehen, in welcher wir einst, acht Menschen, auf der grönlandischen Expedition zusammengedrängt gewesen waren“. Bereits zwei Monate nach Aufbruch bekommt das Packeis den komfortablen Barkschoner bei der russischen Insel Nowaja Semlja in den Griff. Über ein Jahr driftet die 24köpfige Besatzung durch das vereiste Nordpolarmeer. Dann erteilen die beiden Kommandanten den Befehl, das Schiff nahe dem von ihnen entdeckten Franz-Joseph-Land zu verlassen. In zwei Monaten schlägt sich die Expedition nach Nowaja Semlja durch.

**DD** ... als die italienischen Matrosen der Tegetthoff die Segel setzten, hatte die abendländische See fahrt einen ihrer längsten Träume noch immer nicht zu Ende geträumt: Irgendwo entlang der sibirischen Polarküste, immer nordöstlich, mußte ein kurzer, packeisgesäumter Seeweg nach Japan, China und Indien zu finden sein, eine



#### ARKTIS

## Die Suche nach Ultima Thule

**1497** Giovanni Caboto (I) sucht erstmals nach der Nordwest-Passage

**1616** William Baffin (England) erreicht 78 Grad nördlicher Breite und entdeckt den Smith-Sound

**1734 – 1743** Auf der Suche nach der Nordost-Passage erforscht Vitus Bering (DK) im Auftrag Rußlands die nordsibirische Küste

**1806 – 1813** Geologische Untersuchungen in West-Grönland durch Karl Ludwig Giesecke (D)

**1819 – 1827** William Parry (GB) erkundet die Melville-Bucht (Grönland), Spitzbergen und Teile der NW-Passage

**1829 – 1833** James Clark Ross (GB) entdeckt den magnetischen Nordpol

**1845 – 1850** John Franklin (GB) kehrt von der Suche nach der NW-Passage nicht zurück; bis 1879 folgen über 40 Suchexpeditionen

**1868** Erste Deutsche Nordpolarfahrt

**1869 – 1870** Zweite Deutsche Nordpolarfahrt

**1872 – 1874** Österreichisch-Ungarische Nordpol-Expedition;

Entdeckung von Franz-Joseph-Land

**1878 – 1880** Adolf Erik Nordenskjöld (S) durchsegelt die NO-Passage

**1882 – 1883** Erstes Internationales Polarjahr

**1888** Fridtjof Nansen (N) überquert erstmals das grönlandische Inlandeis

**1893 – 1896** Nansen driftet mit der „Fram“ durch das Nordpolarmeer, verläßt sein Schiff, erreicht 86 Grad nördlicher Breite und schlägt sich gemeinsam mit Johansen nach Franz-Joseph-Land durch

**1903 – 1906** Roald Amundsen (N) durchsegelt die Nordwest-Passage

**1906 – 1908** Alfred Wegener (D) nimmt an „Danmark“-Expedition nach Grönland teil

**1908** Frederick Cook (USA) behauptet, am 21. April den Nordpol erreicht zu haben

**1909** Robert Peary (USA) nähert sich am 6. April dem Nordpol bis auf wenige Meilen

**1912 – 1913** Wegener und Johann Peter Koch (DK) überqueren das grönlandische Inlandeis

**1926** Richard Byrd (USA) fliegt von Spitzbergen zum Nordpol

**1926** Amundsen, Lincoln Ellsworth (USA) und Umberto Nobile (I) fliegen mit einem Luftschiff von Spitzbergen über den Nordpol nach Alaska

**1930 – 1931** Wegeners Grönland-Expedition; Tod Wegeners

**1932 – 1933** Zweites Internationales Polarjahr

**1937 – 1938** Iwan Papanin (SU) richtet in Nordpolnähe eine Forschungsstation ein und driftet auf Eisschollen bis nach Ostgrönland

**1957 – 1963** Internationale „Expédition Glaciologique Internationale au Groenland“ (EGIG) unter bundesdeutscher Beteiligung

**1958** Das amerikanische Atom-U-Boot „Nautilus“ unterquert den Nordpol

**1987** Das deutsche Forschungsschiff „Polarstern“ erreicht als erster westlicher Eisbrecher 86 Grad 11 Minuten nördlicher Breite

**1990** Europäische und amerikanische Tiefbohrungen im grönlandischen Inlandeis

**1773 – 1774** James Cook (England) umsegelt die Antarktis und überquert erstmals den südlichen Polarkreis

**1819 – 1821** Fabian von Bellingshausen (Rußland) umsegelt den Kontinent

**1821** John Davis (USA) betritt erstmals antarktisches Festland

**1822 – 1823** James Weddell (England) dringt bis auf 72 Grad Süd vor

**1830 – 1832** John Biscoe (England) entdeckt die Antarktische Halbinsel

**1839 – 1843** James Clark Ross (Schottland) entdeckt das Transantarktische Gebirge und das nach ihm benannte Schelfeis

**1882 – 1893** Carl Larsen (N) findet erste Pflanzenfossilien an der Spitze der Antarktischen Halbinsel

**1885** Carsten Borchgrevink (N) betrifft als erster Forscher antarktisches Festland

**1897 – 1899** Adrien de Gerlache „Belgica“-Expedition

**1898 – 1900** Borchgrevink überwintert während der „Southern Cross“-Expedition (GB) erstmals auf dem Kontinent

**1901 – 1903** Erich von Drygalski leitet die „Erste Deutsche Südpolar-Expedition“

**1901 – 1903** Otto Nordenskjöld (S) überwintert auf der Antarktischen Halbinsel

**1901 – 1904** Robert Scott (GB) leitet die „Discovery“-Expedition und erreicht mit Ernest Shackleton und anderen 82 Grad Süd

**1908 – 1909** Shackleton stößt bis auf 88 Grad Süd vor

**1908 – 1943** Verschiedene Staaten erheben Territorialansprüche: Argentinien, Chile, Australien, Neuseeland, Frankreich, Großbritannien und Norwegen

**1911 – 1912** Wilhelm Filchner (D) leitet die „Zweite Deutsche Südpolar-Expedition“ in das Weddell-Meer

**1911** Roald Amundsen (N) erreicht am 14. Dezember den Südpol

**1912** Scott erreicht am 18. Januar den Südpol und stirbt mit seinen vier Begleitern auf dem Rückmarsch

**1928 – 1929** Hubert Wilkins (USA) erkundet Teile der Antarktischen Halbinsel mit dem Flugzeug

**1929** Richard Byrd (USA) fliegt zum Südpol

**1935** Lincoln Ellsworth (USA) gelingt der erste Transantarktis-Flug

**1938 – 1939** Deutsche „Schwabenland“-Expedition im östlichen Weddell-Meer

**1946 – 1947** „Operation Highjump“ der USA

**1949 – 1952** Norwegisch-Britisches-Schwedische Antarktis-Expedition; erste Eisdickenmessungen

**1957 – 1958** Internationales Geophysikalisches Jahr; Fortsetzung der Polarjahre: Forschungsschwerpunkt ist erstmals die Antarktis; amerikanische Amundsen-Scott-Station am Südpol entsteht; Sowjetunion errichtet Station „Wostok“ nahe des geomagnetischen Pols

**1959** Zwölf Staaten unterzeichnen den Antarktis-Vertrag

**1961** Antarktis-Vertrag ratifiziert

**1979** Eine mit Touristen besetzte DC-10 stürzt am Mount Erebus nahe Scotts ehemaliger Hütte ab; keine Überlebende

**1979** Beirat der Bundesrepublik Deutschland zum Antarktis-Vertrag

**Herbst 1991** Die Antarktis-Vertragsstaaten treffen sich zur 16. Konsultativtagung in Bonn

Durchfahrt vom Atlantischen in den Stillen Ozean – die Nordost-Passage.  
Aber bis zum Jahre 1872 waren schon ganze Flotten im Packeis verschwunden, ohne eine nordöstliche Durchfahrt gefunden zu haben. Die Chronisten hatten mit ihren Aufzeichnungen von Katastrophen im Eis Folianten gefüllt, hatten von Schiffen berichtet, die mit Handelsgütern, Geschenken, schweren Kanonen und Empfehlungsbriefen an die Kaiser von Japan und China ausgelaufen, nirgendwo angekommen und niemals zurückgekehrt waren. Schließlich hatten selbst die Chronisten nicht mehr gewußt, wie viele Seeleute auf der Suche nach der nordöstlichen Route umgekommen waren.

Christoph Ransmayr:  
„Die Schrecken des Eises und der Finsternis“

Den Entbehrungen folgt der Triumphzug nach Wien. Österreich-Ungarn feiert seine neuen Helden. Weyrecht läßt sich von den Ehrungen und Lobreden indes nicht blenden. Enttäuscht von der mageren wissenschaftlichen Ausbeute der „Tegetthoff“-Reise, macht er aus seiner Kritik keinen Hehl: Polare Entdeckungen ständen in keinem Verhältnis zu den erbrachten Opfern an Geld, Zeit und Menschenleben.

Die „große Depression“ der siebziger Jahre beendet vorläufig die ehrgeizigen Projekte europäischer Nordpolfahrer. England, die führende Wirtschaftsmacht, meldet Preisstürze auf dem Getreidemarkt, Einbrüche im Außenhandel und Arbeitslosigkeit in der Stahlindustrie. Auch den Staaten auf dem Kontinent geht es schlecht. Private Sponsoren verlieren das Interesse an der Jagd nach hohen Breitengraden.

Weyrecht stirbt 1881. Doch seine nüchterne Bilanz der eigenen Expedition und die Mahnung, lieber „Polarwarten statt Polarfahrten“ auszurüsten, zeigen Wirkung: Das Jahr zwischen den Sommern 1882 und 1883 wird zum „Ersten Internationalen Polarjahr“ erklärt. Langzeitmes-

## ANTARKTIS

### Wie die Terra australis ihr Inkognito verlor



Den spektakulären Blick auf die sommerliche Nord- (links) und Südhalbkugel der Erde ermöglichen radio-metrische Daten eines US-Forschungssatelliten. Wolken und Schnee sind weiß, die Vegetation ist rot

sungen erhalten Vorrang vor aufwendigen und oberflächlichen Entdeckungsreisen.

Bereits ein halbes Jahrhundert vorher hat der Schotte James Clark Ross die Position des magnetischen Nord- und Südpols bestimmt. Seither gehört die Beobachtung der stetig wandernden Magnetpole zum Standardprogramm arktischer und antarktischer Expeditionen. Im Ersten Internationalen Polarjahr werden

Schwankungen des Magnetfeldes gleich an 15 „Polarwarten“ gemessen, von denen allein zwölf das arktische Becken säumen.

Doch die friedliche Koexistenz der polarforschenden Nationen währt nicht allzu lang. Als ein Jahrzehnt später die Depression überwunden ist, Reallöhne und Kaufkraft steigen und auf dem Weltmarkt die Preise anziehen, beginnt ein fieberhaftes Ren-

nen um Absatzmärkte, Kolonien und Neuland.

Auch die Polarforscher erliegen der Verführung des imperialistischen Zeitgeistes. Ihr weißer Fleck auf der Landkarte umfaßt einen riesigen Kontinent: die Antarktis. Zwar sind bereits um 1820 einige dem sechsten Kontinent vorgelagerte Inselgruppen entdeckt worden, hat 1841 Ross an der Küste des Viktorialandes das transantarkti-

sche Gebirge gesichtet und damit die Existenz des antarktischen Festlands bewiesen. Aber auf dem Kontinent selbst hat bis 1895 noch kein Forscher seinen Fuß gesetzt. Die Terra australis incognita ist noch zu entdecken. Dem ersten Menschen am Südpol winkt unsterblicher Ruhm.

 Jeder Ansturm zer-schellte an den blan-ken Wällen des Frostes. Seit Jahrtausenden bis in unsern Tag verhüllt hier die Erde ihr Antlitz, zum letztenmal sieg-reich gegen die Leidenschaft ihrer Geschöpfe. Jungfräulich und rein trotz ihre Scham der Neugier der Welt.

Aber das junge zwanzigste Jahrhundert reckt ungeduldig seine Hände. Es hat neue Waf-fen geschmiedet in Laborato-rien, neue Panzer gefunden gegen die Gefahr, und alle Wi-derstände mehren nur seine Gier. Es will alle Wahrheit wissen, sein erstes Jahrzehnt schon will erobern, was alle Jahrtausende vor ihm nicht zu erreichen vermochten. Dem Mut des Einzelnen gesellt sich die Rivalität der Nationen. Nicht um den Pol allein kämp-fen sie mehr, auch um die Flag-ge, die zuerst über dem Neu-land wehen soll: ein Kreuzzug der Rassen und Völker hebt an um die durch Sehn-sucht geheiligte Stätte.

  
Stefan Zweig:  
„Sternstunden der Menschheit“

James Clark Ross steht 1831 als erster Forscher am magnetischen Nordpol. Ein Jahrzehnt später entdeckt er in der Antarktis das nach ihm benannte Schelfeis (Foto)



Inuit vom Kotzebue Sound in Alaska, 1822



Britische Expedition mit Inuit, Regents Bay, 1818



Der internationale Geogra-phenkongreß setzt 1895 in London das entscheidende Signal zur Eroberung Antark-tikas. Carsten Borchgrevink, ein norwegischer Naturfor-scher, der Anfang des Jahres bei Kap Adare als erster For-scher den Kontinent betreten hat, berichtet dem Kongreß über seine Reise. Vier Jahre später überwintert er als Leiter der englischen „Southern Cross“-Expedition erstmals freiwillig in der Antarktis.

Ein Jahr zuvor war eine bel-gische Expedition unter der Leitung des Marineoffiziers Adrien de Gerlache zur Über-winterung gezwungen wor-den, als ihr Schiff, die „Belgi-

## Angebot mit 3 Vorteilen

- Gratis zur Begrüßung eine aktuelle GEO-Ausgabe
- Gratis 4 außergewöhnliche GEO-Farbdrucke
- Ca. 15% Preis-Vorteil = DM 1,50 pro Heft gespart gegenüber Einzelpreis

### Detail-Garantie auf der Rückseite



### Ein Kunstwerk von bleibendem Wert: Der neue GEO-Kalender

Exklusiv für unsere Leser gibt es den neuen GEO-Kalender 1991, der der Welt von oben gewidmet ist. Faszinierende, brillant gedruckte Fotos – die besten, die GEO-Fotografen von ihren Reisen mitgebracht haben – werden Sie mit diesem Kalender das ganze Jahr begleiten. Die Auflage des Kalenders ist limitiert, ein Nachdruck ist nicht vorgesehen.

Großformat: 60x55 cm. Gedruckt auf schwerem, zusätzlich lackiertem Kunstdruckpapier in perfekter GEO-Qualität. Im Preis eingeschlossen ist eine 16seitige Broschüre mit Detail-Informationen.

Ihr besonderer Vorteil: Wenn Sie vor dem 12.12.90 bestellen, nutzen Sie den Subskriptionspreis von DM 78,- (statt DM 98,- nach Ablauf der Subskriptionsfrist).



Bitte mit 60 Pf freimachen, falls Marke zur Hand

Antwort-Postkarte

GEO  
Leser-Service  
Postfach 10 25 25

W-2000 Hamburg 1

Bitte mit 60 Pf freimachen, falls Marke zur Hand

### SAISON: Das Reisemagazin von GEO – für alle, die mehr über ihr Reiseziel erfahren möchten

Ein unerlässlicher Urlaubsplaner – kompromisslos recherchiert bekommen Sie auf ca. 180 Seiten klare und nutzbare Informationen zum Thema Reisen. Wobei Unterhaltung und Erlebnis nie zu kurz kommen. Jede Ausgabe von SAISON stellt Ihnen die Vielfalt lohnender Urlaubsziele vor: Städteporträts mit herausnehmbarer Reiseführer, kulturelle Schauplätze und verborgene Kleinodien, persönliche Eindrücke und getestete Fakten; Erlebniszonen, Attraktionen, Dokumentationen. Und damit Sie keine Ausgabe versäumen und das neue SAISON sofort frei Haus beziehen können, gibt es SAISON jetzt im Abonnement zum Preis von derzeit DM 6,50 pro Heft (statt DM 7,50 bei Einzelheftkauf).



Nutzen Sie den Preis-Vorteil!

Bitte mit 60 Pfennig freimachen, falls Marke zur Hand

Antwort-Postkarte

SAISON  
Leser-Service  
Postfach 10 25 25

W-2000 Hamburg 1

## Abruf-Karte für ein GEO-Abonnement

**JA, ich nehme Ihre Einladung an.**  
Schicken Sie mir bitte kostenlos die GEO-Begrüßungs-Edition, dazu 4 GEO-Farbdrucke und die GEO-Dokumentation. Ich darf diese Geschenke auch dann behalten, wenn ich mich nicht für GEO entscheide. Nach Erhalt habe ich 14 Tage Zeit, GEO kennenzulernen. Nur wenn mich GEO überzeugt und ich nicht widerrufe, möchte ich GEO jeden Monat per Post frei Haus beziehen: Für nur DM 9,- statt DM 10,50, also z. Zt. mit ca. 15% Preis-Vorteil. Ich kann keine Kündigungsfrist versäumen, denn ich darf jederzeit kündigen.

Name/Vorname \_\_\_\_\_

Straße/Nr. \_\_\_\_\_

W- \_\_\_\_\_  
 O- \_\_\_\_\_  
Postleitzahl \_\_\_\_\_ Wohnort \_\_\_\_\_

Telefon-Nummer für evtl. Rückfragen \_\_\_\_\_

Datum \_\_\_\_\_ Unterschrift \_\_\_\_\_

Ich erlaube Ihnen, mir interessante Zeitschriftenangebote auch telefonisch zu unterbreiten (ggf. streichen).

**Widerrufsgarantie:** Diese Vereinbarung kann ich binnen einer Frist von 14 Tagen nach Erhalt des Probeheftes schriftlich widerrufen. Zur Wahrung der Frist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs an GEO-Leserservice, Postfach 10 25 25, W-2000 Hamburg 1.

Datum \_\_\_\_\_ Unterschrift \_\_\_\_\_

**Wenn ich bei GEO bleibe, bezahle ich bequem und bargeldlos durch 1/4jährliche Bankabbuchung DM 27,-**

Bankleitzahl (bitte vom Scheck abschreiben): \_\_\_\_\_

Meine Kontonummer: \_\_\_\_\_

Geldinstitut: \_\_\_\_\_

**Ich möchte statt 1/4jährlicher Bankabbuchung lieber eine Jahresrechnung (12 Hefte DM 108,-).**

Bitte ankreuzen, falls gewünscht:

Auslandspreise: Schweiz: Fr. 8.50 statt Fr. 10.50 Einzelpreis.  
Österreich: S 65,- statt S 80,- Einzelpreis.  
Sonstiges Ausland: DM 9,- zuzüglich Porto. 87340 A/O

## Detail-Garantie

- Gratis zur Begrüßung eine aktuelle GEO-Ausgabe und dazu 4 außergewöhnliche GEO-Farbdrucke, 21x15 cm groß: die 900jährige Bavaria-Bude. (Abbildung auf der Vorderseite.) Beide Geschenke gehören in jedem Fall Ihnen.
- Dazu: eine umfangreiche Dokumentation über GEO, die Ihnen zeigt, welche Themenbreite GEO bietet.
- Ca. 15% Preis-Vorteil, wenn Sie sich für GEO entscheiden. Sie sparen DM 1,50 pro Ausgabe gegenüber Einzelpreis.
- Sie können keine Kündigungsfrist versäumen, denn Sie dürfen jederzeit absagen.

## Subskriptions-Karte für den GEO-Kalender 1991

**JA,** bitte liefern Sie mir gegen Rechnung sofort nach Erscheinen \_\_\_\_\_ Exemplar(e) des GEO-Kalenders 1991 (G 0642) zum Subskriptionspreis von DM 78,-\*. Diese Subskriptions-Ersparnis kann ich bis zum 12.12.1990 in Anspruch nehmen. Danach gilt der reguläre Preis von DM 98,-\*. Bei Auslandsbestellungen gegen Vorkasse per Scheck zuzüglich DM 12,50.

Name/Vorname \_\_\_\_\_

Straße/Nummer \_\_\_\_\_

W- \_\_\_\_\_  
 O- \_\_\_\_\_  
Postleitzahl \_\_\_\_\_ Wohnort \_\_\_\_\_

Datum \_\_\_\_\_ Unterschrift \_\_\_\_\_

87341

\*) zuzüglich DM 2,- Versandkostenanteil pro Lieferung.

## Abruf-Karte für ein SAISON-Abonnement

**JA, ich möchte den Preis-Vorteil nutzen.**  
Ich bestelle SAISON - das Reisemagazin von GEO - im Abonnement. Senden Sie mir bitte alle Ausgaben sofort nach Erscheinen zum Preis von derzeit nur DM 6,50 je Heft (statt DM 7,50 Einzelpreis), inkl. Porto und Verpackung.

Falls ich auf SAISON nach einem Jahr verzichten möchte, teile ich Ihnen dies 6 Wochen vor Ablauf der Bezugsfrist mit. Nach einem Jahr kann ich jederzeit die Zustellung beenden lassen.

Name/Vorname \_\_\_\_\_

Straße/Nr. \_\_\_\_\_  
 W- \_\_\_\_\_  
 O- \_\_\_\_\_  
Postleitzahl \_\_\_\_\_ Wohnort \_\_\_\_\_

Datum/Unterschrift \_\_\_\_\_ Bitte unbedingt hier unterschreiben!

Ich erlaube Ihnen, mir interessante Zeitschriftenangebote auch telefonisch zu unterbreiten (ggf. streichen).

Meine Zahlungsweise (bitte ankreuzen):

Bequem und bargeldlos durch jährliche Bankabbuchung (DM 39,- für 6 Hefte).

Bankleitzahl (bitte vom Scheck abschreiben): \_\_\_\_\_

Kontonummer: \_\_\_\_\_

Geldinstitut: \_\_\_\_\_

Gegen Jahresrechnung (DM 39,- für 6 Hefte). Bitte keine Vorauszahlung leisten.

Rechnung abwarten.

**Widerrufs-Garantie:** Diese Bestellung kann ich durch Absenden einer kurzen Mitteilung an den SAISON Leser-Service, Postfach 10 25 25, W-2000 Hamburg 1, innerhalb von 10 Tagen widerrufen. Rechtzeitiges Absenden genügt.  
Ich bestätige dies mit meiner zweiten Unterschrift.

2. Unterschrift (bitte nicht vergessen) 87342 F1/O

Auslandspreis z. Zt., Schweiz: Fr. 6.50 statt Fr. 7.50 Einzelpreis;  
Österreich: S 45,- statt S 55,- Einzelpreis; sonstiges Ausland:  
DM 6,50 zuzüglich Porto.

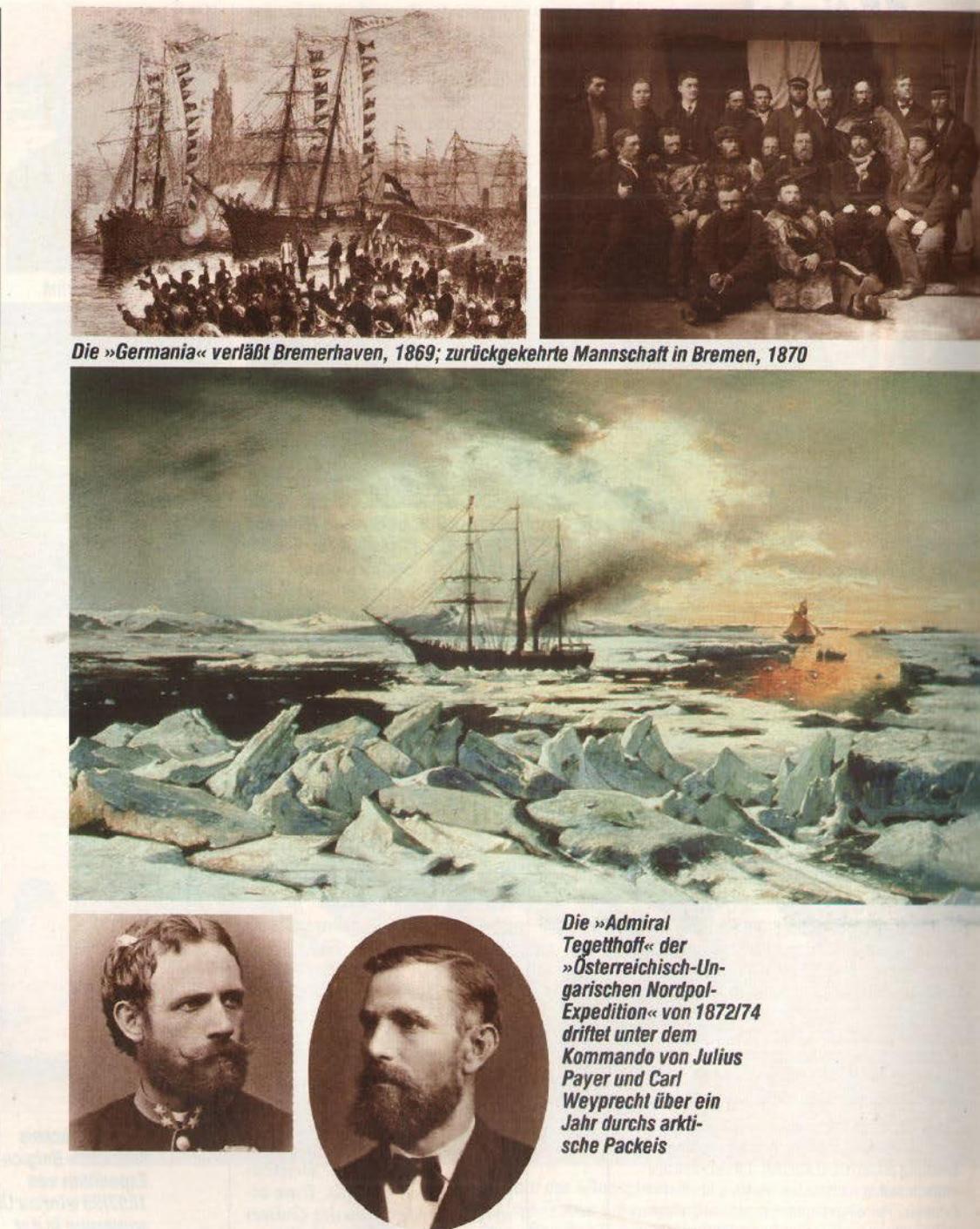
## Ihre Vorteile, wenn Sie SAISON jetzt im Abonnement bestellen:

- Sie zahlen derzeit nur DM 6,50 je Heft (statt DM 7,50 Einzelpreis).
- Sie können kein Heft versäumen - Lieferung sofort nach Erscheinen.
- Frei-Haus-Lieferung. Zustellung und Verpackung sind bereits im günstigen Preis enthalten.
- Sie können die Bestellung durch Absenden einer kurzen Mitteilung an den SAISON Leser-Service, Postfach 10 25 25, W-2000 Hamburg 1, innerhalb von 10 Tagen widerrufen. Rechtzeitiges Absenden genügt.

ca“, westlich der Antarktischen Halbinsel im Packeis einfroren. Wissenschaftler und Besatzung der „Belgica“ kamen aus aller Herren Länder. Der Schiffsarzt Frederick Cook, der den späteren Nordpolfahrer Robert Peary auf dessen Nordgrönland-Expeditionen begleiten und schließlich behaupten wird, vor Peary den Nordpol erreicht zu haben, ist Amerikaner; Henri Arctowski, der Geologe, stammt aus Polen. Und dann ist da noch der norwegische 2. Offizier, ein gewisser Roald Amundsen.

Nationale Rivalitäten hindern die Wissenschaftler selbst in der „heroischen“ Epoche der Polarforschung nicht an internationaler Zusammenarbeit. Von 1901 bis 1903 erkundet etwa der Berliner Geograph Erich von Drygalski auf der „Ersten Deutschen Südpolar-Expedition“ mit dem Forschungsschiff „Gauß“ den „Kontinent des eisigen Südens“. Während der Vorbereitung hält er engen Kontakt zu einer schwedischen und einer schottischen Expedition, die zur gleichen Zeit in antarktische Gewässer segeln wollen. Zusammen mit der „Gauß“ geht die „Discovery“ auf Südkurs. Die nautische und wissenschaftliche Leitung an Bord des englischen Seglers hat Kapitän Robert Falcon Scott.

Drygalskis penible erdmagnetische und meteorologische Messungen taugen nicht für Schlagzeilen. Scott dagegen avanciert nach der Rückkehr aus dem Eis zum Publikumsliebling. Er kann mit einer 94tägigen Schlittenreise aufwarten, die ihn bis auf 82 Grad 17 Minuten Süd geführt hat. England triumphiert. Jetzt, da das Empire den Zenit seiner Machtentfaltung überschritten hat, kommt Scotts Erfolg gerade recht. Der Südpol scheint in greifbare Nähe gerückt zu sein, und natürlich soll ein Engländer ihn als erster betreten. War nicht Francis Drake schon Ende des 16. Jahrhunderts segelnd auf 57 Grad südlicher Breite vorgestossen? Hatte nicht James Cook die Terra australis incognita erstmals umschifft?



Die »Germania« verlässt Bremerhaven, 1869; zurückgekehrte Mannschaft in Bremen, 1870

Die »Admiral Tegetthoff« der »Österreichisch-Ungarischen Nordpol-Expedition« von 1872/74 driftet unter dem Kommando von Julius Payer und Carl Weyprecht über ein Jahr durchs arktische Packeis

Um Haaresbreite gelingt Scotts Rivalen Ernest Shackleton der eiskalte Coup. Der irische Forscher führt 1908 ein Expeditionsteam zum Ross-Schelfeis und entdeckt am Beardmore-Gletscher einen Aufstieg durch das transantarktische Gebirge zum südpolaren Hochplateau. Kein Hindernis versperrt jetzt mehr den Weg zum Pol. Doch Erschöp-

fung und Lebensmittelangefangen zwingen Shackleton zur Umkehr – auf 88 Grad und 23 Minuten, nur 97 Meilen vom Ziel entfernt.

Zwei Jahre später hat Scott seine Chance. Am 15. Juni 1910 segelt er mit der „Terra Nova“ auf südlichem Kurs dem erhofften Triumph entgegen. Unerwartet erhält der britische Offizier Konkurrenz

vom einstigen 2. Offizier der „Belgica“: Roald Amundsen, der in den Jahren 1903 bis 1906 die Nordwest-Passage erzwungen hat, ist im Rennen um den Nordpol von Cook und Peary geschlagen worden. Nun hat sich der ehrgeizige Forscher um 180 Grad gewendet und beschlossen, Scott zuvorzukommen. Im Januar 1911 erreichen beide Expedi-

# // tiptel. A busy girl's best friend. //



An mehreren Orten zugleich sein. Kann man das? Zum Beispiel im Büro und trotzdem zu Hause keinen wichtigen Anruf verpassen? Kein Problem. tiptel ist ein schöner Beweis dafür, wie hilfreich modernste Technologie sein kann. Dieser Anrufbeantworter kann nicht nur alles, was Sie von einem guten Gerät erwarten. Er hat einiges, das ihn zum echten Spitzengerät macht. Und das zu einem überraschend günstigen Preis.

Sie benötigen z. B. zunächst keine Fernabfrage? Gut. Bei tiptel können Sie problemlos Ihre Meinung ändern. Sie können die Fernabfrage einfach selbst nachrüsten. Zweites Komfort-Erlebnis: Per eingebauter Sprache sagt Ihnen tiptel während der Fernabfrage die Anzahl der Gespräche und die Abhördauer. Dazu Datum und Uhrzeit der Aufzeichnung.

tiptel kommt aus gutem Hause und ist Qualität made in Germany mit 12 Monaten Garantie. Noch mehr gute Gründe für eine enge Freundschaft erfahren Sie in führenden Fachgeschäften oder direkt bei Tiptel Electronic GmbH, Halskestraße 14, D-4030 Ratingen, Telefon 0 21 02 / 4 50 10.

(A) 02 22 / 894 27 74 (B) 011 / 52 36 47 (C) 01 / 7 32 15 11

(E) 03 / 2 32 91 67 (NL) 0 30 / 43 44 84

# tiptel®

Der Anrufbeantworter

tionen das Ross-Schelfeis, wo sie überwintern, 600 Kilometer voneinander entfernt. Am 20. Oktober 1911 machen sich die Norweger auf den Weg, zehn Tage später die Briten.

Das Rennen ist entschieden, ehe es begonnen hat. Amundsen, der in verschiedenen Depots drei Tonnen Verpflegung hinterlegt hat, führt eine Gruppe von vier Männern, die vor allem auf die Kraft und Ausdauer grönlandischer Schlittenhunde vertrauen. Scott dagegen hat lediglich eine Tonne Vorrat für sich und 14 Expeditionsteilnehmer deponieren lassen; seine motorisierten Raupenfahrzeuge versagen in der Kälte; die 19 Island-Ponys erweisen sich als untauglich. Scott spannt sich und seine Männer vor die Schlitten. Das Schlittenziehen „bricht einem das Kreuz“, notiert Henry Bowers. „Es ist die schlimmste Arbeit, die ich je getan habe.“

Das Ergebnis ist absehbar. Amundsen erreicht den Pol am 14. Dezember 1911. Scott dagegen sieht am 16. Januar 1912 schon von weitem das Zeichen seiner Niederlage: eine schwarze Fahne inmitten der weißen Unendlichkeit . . .

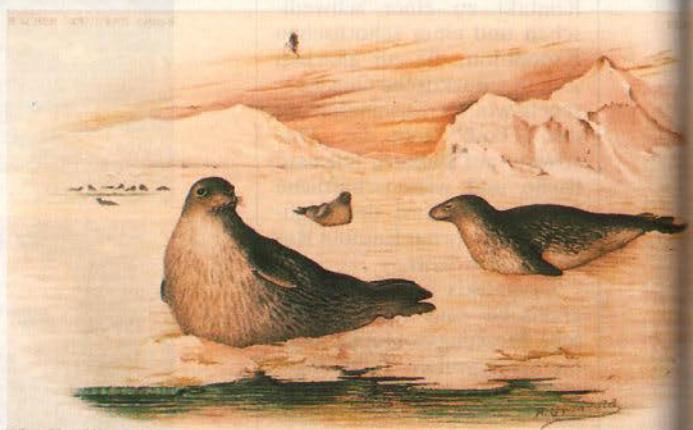
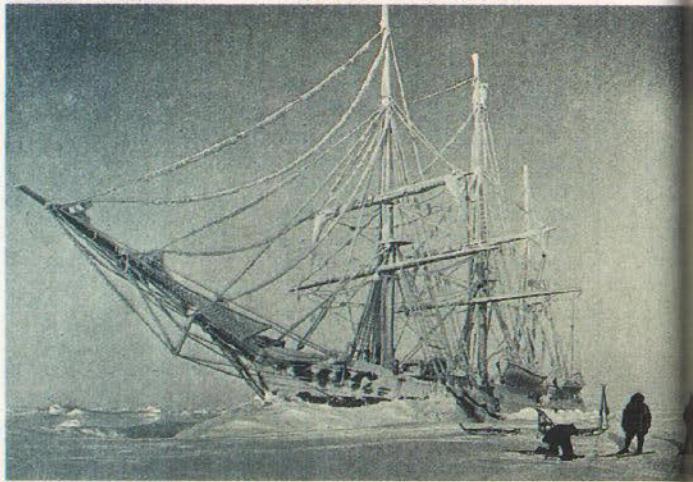
**DD** In diesen Augenblicken, einsam gegenüber dem unsichtbaren und doch atemhaften Tod, während außen der Orkan an die dünnen Zeltwände wie ein Rasender anrennt, besinnt sich Kapitän Scott aller Gemeinsamkeit, der er verbunden ist. Allein im eisigsten Schweigen, das noch nie die Stimme eines Menschen durchatmet, wird ihm die Brüderschaft zu seiner Nation, zur ganzen Menschheit heroisch bewußt. Eine innere Fata Morgana des Geistes beschwört in diese weiße Wüste die Bilder all jener, die ihm durch Liebe, Treue und Freundschaft jemals verbunden waren, und er richtet das Wort an sie. Mit erstarrenden Fingern schreibt Kapitän Scott, schreibt Briefe aus der Stunde seines Todes an alle Lebendigen, die er liebt . . . Er schreibt an seine Frau. Er mahnt sie, das höchste Vermächtnis, seinen Sohn, zu hü-



Carsten Borchgrevink



Fotograf auf Grönland, 1870



LEPTONYCHOTUS (WEDDELLI)

**Sitz im Packeis fest:** Die »Belgica«-Expedition von 1897/99 wird zur Überwinterung in der Antarktis gezwungen. Zur internationalen Mannschaft gehören unter anderem der Norweger Roald Amundsen und

**Frederick Cook aus den USA, der das Bild des eingefrorenen Schiffes aufnimmt. Zur selben Zeit überwintert dort freiwillig – auch die britische »Southern Cross«-Expedition unter Leitung des Norwegers Borchgrevink. Mit ihr wird unter anderem das Leben von Weddell-Robben erforscht**

ten, er legt ihr nahe, ihn vor allem vor Schlappeit zu bewahren, und bekenn von sich selbst, am Ende einer der erhabensten Leistungen der Weltgeschichte: „Ich mußte mich, wie Du weißt, zwingen, strebsam zu werden – ich hatte immer Neigung zur Trägheit.“

Stefan Zweig:  
„Sternstunden der Menschheit“

Es ist das letzte Mal, daß traditionelle Transportmethoden über moderne Technik triumphieren. Schon Shackleton hat 1908 am McMurdo-Sund mit einem umgerüsteten Automobil experimentiert. Sein Begleiter Douglas Mawson bringt 1911 Propellerschlitten in die „Heimat des Blizzards“. Bald gibt es neue, bessere Maschinen. Vorbei ist die Zeit der Heroen wie Knud Rasmussen, der ausrief: „Gebt mir Hunde, gebt mir Eis, den Rest könnt ihr behalten.“ Oder wie Nansen, der die driftende „Fram“ im Irgendwo des vereisten Nordpolarmeeres verließ, um sich monatelang, gemeinsam mit Johansen, zu Fuß und per Schlitten bis zum Franz-Joseph-Land durchzuschlagen.

Die während des Ersten Weltkriegs aufgeblühte Flugzeugindustrie setzt alles daran, ihre Maschinen auch in Friedenszeiten zu vermarkten. Junge, kriegserfahrene Piloten wie der Amerikaner Richard Evelyn Byrd brennen darauf, den Luftraum über den Polen zu erobern. Am 9. Mai 1926 startet Byrd von Spitzbergen aus zum ersten erfolgreichen Nordpolflug. Fünfzehnthalb Stunden benötigt er für den 2600 Kilometer langen Hin- und Rückweg. Amundsen, der Amerikaner Lincoln Ellsworth und der Italiener Umberto Nobile folgen wenige Tage später mit dem Luftschiff „Norge“ nach. Der Versuch des Norwegers ein Jahr zuvor, mit einem Dornier-Flugboot den Pol zu erreichen, war an einem Motorschaden gescheitert.

Amundsen war damals dreißig Jahre alt... Für ihn gab es



Erich von Drygalski



A. E. Nordenskjöld



»Roaring Forties«: Alle Antarktis-Fahrer müssen durch die tobende See



An Bord der »Roosevelt«: Eskimo-Frauen schwingen das Bein. Das Schiff bringt Amerikas Nordpolfahrer Robert Peary im Jahr 1909 bis zur Packeisgrenze. Peary (l.) nähert sich am 6. April dem Pol bis auf wenige Meilen. Sein antarktiserfahrener Begleiter Frederick Cook behauptet später, vor Peary am Ziel gewesen zu sein



*kein Problem der Technik und der Grenze. Wenn die Technik dazu taugte, die Grenze zu überschreiten, so mußte sie dazu benutzt werden. Er muß ein von dem um zehn Jahre älteren Nansen völlig verschiedener Mann gewesen sein. Nansens Augen waren tiefliegend, freundlich, ernst, über seinem Gesicht lag der Ausdruck intensiver Offenheit; Amundens Blick hingegen war kühl, fast kalt, die großen Flächen seines Gesichts verschlossen den Mann wie Eisen. Nansen*

*war einer der letzten großen Humanisten aus dem 19. Jahrhundert. Amundsen gehörte schon zur Generation der Byrd und Papanin.*

Alfred Andersch:  
„Hohe Breitengrade“

Auch Alfred Wegeners letzte Grönland-Expedition scheitert an den Tücken der noch unausgereiften Technik. Schon zweimal – 1906 bis 1908 und 1912 bis 1915 – ist der deutsche Geophysiker und Meteorologe in Grönland ge-

wesen und hat dabei wichtige Indizien für seine Kontinentalverschiebungshypothese gesammelt. Diesmal kehrt Wegener nicht aus dem Eis zurück. Kolbenfresser zerstören die Maschinen seiner beiden Propellerschlitten bei dem Versuch, noch im Oktober die Forschungsstation „Eismitte“ zu erreichen. Der Forscher erliegt einem Herzschlag.

Dennoch werden die Risiken allmählich kalkulierbarer, und mit der Einsamkeit in

den hohen Breiten ist es bald vorbei. Byrd beispielsweise, dem 1929 auch der erste Flug zum Südpol gelingt, hat während dieser Expedition ständig Funkverbindung mit der Heimat. Nachrichten aus dem Eis, exklusiv für die „New York Times“! Der drahtlose Funk macht Polarexpeditionen zu PR-Unternehmungen, insbesondere im Land der unbegrenzten Möglichkeiten. In den dreißiger Jahren zählen Zeitungskonzerne zu den wichtigsten Sponsoren amerikanischer Fahrten in die Antarktis. Doch mit zunehmender Bedeutung antarktischer Gewässer und Territorien erklären Regierungen Polarforschung zur Staatsangelegenheit und bezahlen sie auch. England und Norwegen etwa betreiben biologische Untersuchungen an Walen und Krill. Die Briten finanzieren ihr Programm aus einer Steuer auf Walöl.

Im Südsommer 1938/39 befahren auch fünf deutsche Walfangmutter-Schiffe mit über 40 Fangbooten antarktische Gewässer. Gleichzeitig operiert die „Schwabenland“, das Schiff der „Deutschen Antarktischen Expedition“, im östlichen Weddell-Meer. Vom Katapult auf dem Achterdeck starten abwechselnd zwei Flugboote der gerade zwölf Jahre alten Lufthansa zum Festland. Zwei darin eingebaute „Zeiss-Reihenmeßkammern“ erfassen ein Gebiet so groß wie zwei Drittel des Deutschen Reiches. Tiefseelotungen und Radiosondenauftaue zur Erforschung der Atmosphäre runden das Forschungsprogramm ab.

Dem Schirmherrn der Expedition, Reichsluftfahrtminister Hermann Göring, geht es indes um mehr als nur um Walfang und Wissenschaft. Wie bei Expeditionen jener Tage üblich, wirft die Besatzung während der Flüge markierte Leichtmetallpfeile ab: ein erster Schritt, Teile Antarktikas dem Deutschen Reich zu unterstellen.

Der Konflikt ist absehbar, insbesondere mit Norwegen, das im Arbeitsgebiet der „Schwabenland“ vielfältig geforscht hat und dessen antark-



*Der Ire Ernest Shackleton gewinnt im Jahr 1908 beinahe den Wettkauf zum Südpol: Er kommt ihm bis auf 97 Meilen nahe. Im Innern der Hütte, die seine Expedition am Cape Royds errichtet hat, ist auch 1990 alles noch so, wie es 1909 verlassen wurde. Dagegen*

*wird Shackletons Schiff „Endurance“ während der Antarktis-Expedition 1914/16 vom Packeis zermalmt*

We shall check it out  
to the end but we  
are getting weaker &  
colder and time has  
come to go before  
it turns a frost & we  
do not think I am  
worth more —  
R. Scott

Last writing  
for Gods sake look  
after one people



Robert Scotts letzter Tagebuch-Eintrag vom 29. März 1912; seine Mannschaft vor dem Aufbruch



Zuversichtlich:  
Captain Robert Scott  
läßt sich vor der Über-  
winterung am 13. April  
1911 in der Antark-  
tis fotografieren. Noch  
ahnt er nicht, daß er  
das Rennen zum Südpol  
schon so gut wie  
verloren hat: Seine Island-  
Ponyen erweisen sich  
als untauglich, die moto-  
risierten Raupenfahr-  
zeuge versagen.  
Amundsen hat sich besser  
vorbereitet. Als Mahn-  
mal bleibt Scotts Hütte  
am Cape Evans



# **Jack London hätte sich bei uns ausgerüstet, wenn es uns schon gegeben hätte!**

Fordern Sie unser kostenloses **Globetrotter Handbuch** an: Repräsentative Auswahl an Outdoor-Ausrüstung und viel Qualitäts-Information (zusammengestellt von Profis für die Praxis). Sie können wählen: Fachkundige Beratung in unserem Geschäft oder schnellen **Versand-Service.**



## **Globetrotter Ausrüstung**

Denart & Lechart GmbH  
Versand: Postfach 70 07 09  
2000 Hamburg 70  
Telefon 040/654 80 25  
Geschäft: Wiesendamm 1  
2000 Hamburg 60

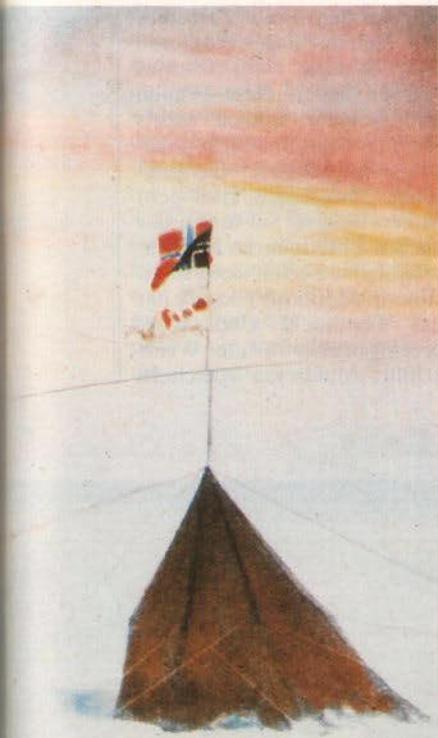
tischer Walfang für die Wirtschaft des Landes von großer Bedeutung ist. Alarmiert durch ihren Berliner Botschafter, hat die Regierung in Oslo nur zwei Tage vor Expeditionsbeginn der „Schwabenland“ antarktisches Gebiet zwischen 20 Grad West und 45 Grad Ost unter ihre Hoheit gestellt. Dies wiederum schreckt Chile und Argentinien auf. Die dem eisigen Kontinent am nächsten gelegenen Länder wollen für die absehbaren politischen Auseinandersetzungen gerüstet sein; Chile proklamiert 1940 die bereits seit 1925 von Argentinien beanspruchte Antarktische Halbinsel für sich. Dabei ignorieren beide Staaten den Anspruch der englischen Krone. Sie hat sich Graham-Land, wie die Halbinsel seit den Zeiten des englischen Walfängers John Biscoe heißt, bereits 1908 unterstellt. Jetzt, mitten im Krieg, ist Großbritannien schon aus strategischen Gründen nicht bereit, diesen Anspruch aufzugeben. Schließlich kontrollieren die Briten von der Spitze der Halbinsel aus alle Schiffsbewegungen in der Drake-Passage.

Davon abgesehen, bleibt der sechste Kontinent vom Zweiten Weltkrieg verschont. Erst nach Kriegsende leben die alten Rivalitäten wieder auf. Britische Kriegsschiffe kreuzen vor argentinischen Forschungscamps auf, Argentinier und Briten tauschen regelmäßig Protestnoten aus. Stationen der jeweils anderen Seite werden zerstört, und 1952 fallen sogar Schüsse.

Die Vereinigten Staaten beginnen gleich nach Kriegsende eine wissenschaftliche und technische Großoffensive. Mit 13 Eisbrechern, Zerstörern und Flugzeugträgern fallen 4700 Marineangehörige während der „Operation Highjump“ in die Antarktis ein. Zeitweilig erwägen die Amerikaner, bislang noch nicht beanspruchtes Terrain zu annexieren. Schließlich beschränken sie sich jedoch darauf, den Rivalen Sowjetunion mit den Mitteln der Diplomatie von der Terra australis fernzuhalten. Der Kalte Krieg greift selbst auf die men-



17. Januar 1912: Tag der Niederlage für Scotts Truppe



**14. Dezember 1911,**  
Tag des Triumphes: Die  
norwegische Flagge  
weht am Südpol. Roald  
Amundsen hat mit  
seiner kleinen Mannschaft  
Scott um fünf Wochen  
geschlagen

schenleere Landschaft des weißen Erdteils über.

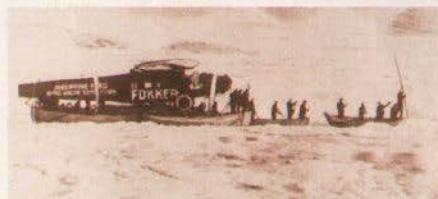
**B**ekanntlich ist die Natur dazu da, von uns ausgebeutet zu werden. Seitdem die Wissenschaften sich entwickelt und wir begonnen haben, uns zu vermehren wie die Kaninchen, dürfen wir über die Natur verfügen, wie es uns gefällt... Was mit den Harpunen und den Zunderflinten begann, endet heute in Seen, in denen niemand mehr badet, in vergifteter Luft und im Häuser-Schund und Fabriken-Unrat, der sich über Wiesen- und Wälderlandschaften und über Meeresküsten zieht wie ein Geschwür. Aber wir vermehren uns weiter wie die Kaninchen. Der große Fortschritts-Phallus stößt sein Sperma aus, und der große Gedanke der Askese ist noch nicht gedacht. Als unvorstellbar gilt, der Mensch könne sich aus freiem Entschluß zurückziehen. Grenzen sind dazu da, überschritten zu werden: dies gilt als Lehrsatz und als Schicksal, am unerbittlichsten bei denen, die von Freiheit sprechen; den furchtbaren Widerspruch zu ihr, der in einem Zwang zum Überschreiten steckt, bemerken sie nicht. Freiheit wäre da, wo wir an einer Grenze sagten: es ist genug. Es reicht uns. Dies ist meine Utopie, und sie ist so gut wie jede andere.

Alfred Andersch  
„Hohe Breitengrade“

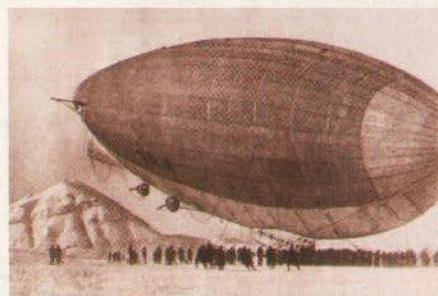
Als der „Internationale Rat der Wissenschaftlichen Unionen“ 1950 ein weiteres Polarjahr vorschlägt, liefert er den Anstoß, die Konflikte buchstäblich auf Eis zu legen. Die Wissenschaft erwartet für 1957/58 ein Sonnenfleckemaximum. Die Antarktis wäre ein ideales Freiluftlabor, um damit einhergehende erdmagnetische Schwankungen, Polarlichter und kosmische Strahlung mit Hilfe verbesserter Methoden zu erforschen. Dem stehen allerdings die teilweise sich überlappenden Gebietsansprüche im Weg. Doch das scheinbar Utopische gelingt: Die beteiligten Staaten einigen sich darauf, territo-



Alfred Wegener überquert 1912 das grönländische Inlandeis. Während einer weiteren Expedition, die gut ausgerüstet das Transportschiff verlassen hat, stirbt er 1930 auf dem Inlandeis



Richard Byrd fliegt am 9. Mai 1926 mit seiner Fokker von Spitzbergen zum Nordpol



Umberto Nobile, Roald Amundsen und Lincoln Ellsworth folgen Byrd wenige Tage später mit einem Luftschiff



Die deutsche »Schwabenland«-Expedition erkundet 1937/38 das östliche Weddell-Meer. Zwei mitgeführte Flugzeuge machen Luftbilder des antarktischen Kontinents

riale Fragen aus dem Forschungsprogramm des „Internationalen Geophysikalischen Jahres 1957/58“ auszuklämmern. 66 Nationen sind schließlich bei dem weltweiten Großereignis dabei. Zwölf von ihnen, darunter die Sowjetunion, errichten zusammen über 50 neue Stationen im südlichen Eis.

Ein Forschungsjahr mit Folgen: Am 2. Mai 1958 richtet der Kreml eine diplomatische Note an die Regierung der

USA. Moskau schlägt darin vor, den Südkontinent künftig der freien, ungehinderten Forschung zu widmen. Am gleichen Tag lädt Präsident Eisenhower die zwölf dort wissenschaftlich engagierten Nationen nach Washington ein, um über die weitere Nutzung der Antarktis zu verhandeln. Eineinhalb Jahre später, am 1. Dezember 1959, wird der Antarktis-Vertrag unterschrieben. Die strittige Frage der Gebietsansprüche bleibt

zwar weiterhin ausgeklammert. Doch immerhin: Erstmals in der Geschichte der Menschheit wird ein ganzer Kontinent ausschließlich friedlichen Zwecken dienen. Forschung – ja, militärische Manöver und Kernwaffentests – nein. Wer in der Antarktis mitreden will, muß sich wissenschaftlich engagieren.

Das System funktioniert. Heute arbeiten während des Südsommers mehrere tausend Wissenschaftler in 100 Statio-

nen auf dem weißen Erdteil. Mit jenen Polar-Pionieren vom Schlag eines Fridtjof Nansen haben diese Frauen und Männer freilich nichts mehr gemein. Es sind hochkarätige Spezialisten – Geophysiker, Glaziologen, Biologen, Meteorologen. Sie tun in der eisigen Einöde ihren Job, unterstützt von erfahrenen Logistikern. Moderne Technik hat das Testament Carl Weyprechts in unerwarteter Weise erfüllt: Meßbojen speichern

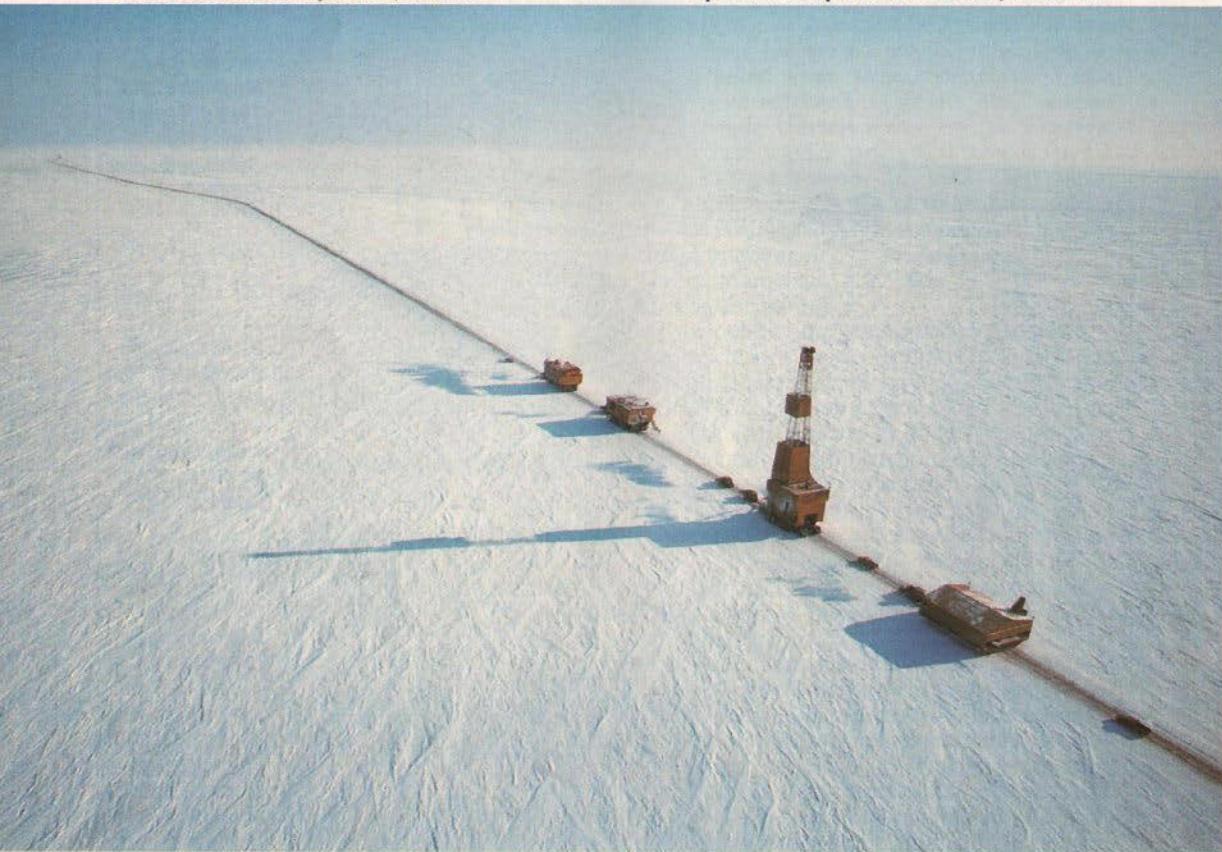


Britische Antarktis-Expedition, 1957/58



»Operation Deep Freeze« der USA, 1957/58

*Das Internationale Geophysikalische Jahr 1957/58 eröffnet die moderne wissenschaftliche Zusammenarbeit in der Antarktis. Während in der Südpolarregion laut Antarktis-Vertrag von 1959 ausschließlich geforscht werden darf, wird das Nordpolargebiet innerhalb bestehender Hoheitsgebiete zusehends wirtschaftlich erschlossen – zum Beispiel an der Nordküste Alaskas, wo ein amerikanischer Ölbohr-Konvoi durch die Eiszüge Richtung Prudhoe Bay fährt*



das ganze Jahr über Luft-, Eis- und Wassertemperaturen bis zum Bruchteil eines Grades; unterseeische Sonden protokollieren die Strömungen in den Polarmeeren; Satelliten registrieren weitaus mehr Daten über Eisverteilung, Wellenhöhe und -länge als Wissenschaftler an Bord eines Forschungsschiffes es je könnten: Wer heute Polarforscher sein will, muß seinen Schreibtisch nicht unbedingt verlassen.

Dennoch ziehen die unwirtlichen Breiten Abenteurer immer noch magisch an. Dabei ist das Wagnis einer Fahrt ins Eis heutzutage vergleichsweise gering geworden: Mit Satellitennavigation und Funkverbindung kann kaum noch jemand verlorengehen. Raffinierte Materialien für Zelt, Bekleidung und Schlafunterlage lassen die Kälte besser ertragen. Die inzwischen übliche Hochleistungsdiät übertrifft in Qualität und Ge-

schmack den Pemmikan von einst bei weitem.

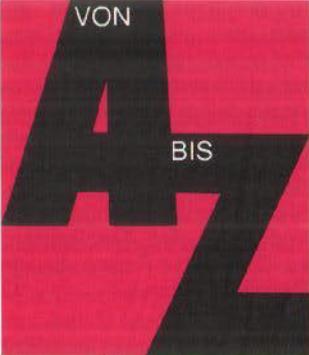
Wer heute Ruhm jenseits der Polarkreise sucht, muß sich deshalb medienwirksame Hindernisse selbst in den Weg legen. Märsche übers Inlandeis, Kajak- oder Segeltouren durchs Polarmeer bergen solche wohlkalkulierten Gefahren. Mit den Expeditionen der Nansen oder Parry haben sie nichts mehr zu tun. Diese, schreibt Alfred Andersch, „wollten in das letzte Geheim-

nis der Erde eindringen, gewiß, aber als sie feststellten, daß es aus einer weißen Endlosigkeit bestand und aus nichts sonst, daß es so wenig enthielt wie eine Cella, zogen sie sich schweigend zurück. Sie vergaßen, ihre Uhren aufzuziehen. Sie lagen in ihren Schlafsäcken und sahen den Nordlichtern zu. Dies waren Reisen, die alle Reisen beendeten.“ □

Der Wissenschaftsjournalist und Fotograf Albert Gerdes, 40, lebt in Bremen



*Der Weiße Kontinent reduziert sich beim kalten Büfett an Bord komfortabler Kreuzfahrtschiffe zur eisigen Kulisse. Sogar Skitouren auf der Antarktischen Halbinsel können im Reisebüro gebucht werden. Und wer neue Abenteuer am Südpol sucht, muß sich – wie Arved Fuchs und Reinhold Messner – schon einiges einfallen lassen, um noch zu Ruhm zu kommen*



VON

BIS

Kursiv gedruckte Wörter sind Querverweise auf andere Stichwörter des Glossars

## Albedo

Die gesamte Erdoberfläche reflektiert rund ein Drittel der einfalenden Sonnenstrahlung in den Weltraum. Das Rückstrahlungsvermögen nennen Fachleute Albedo (lat. *albus*: „weiß“). Es ist um so größer, je mehr Licht reflektiert wird: Meeresoberflächen werfen nur drei bis zehn Prozent des Sonnenlichts zurück, Neuschnee und Wolken dagegen mehr als 90 Prozent. Erwärmst sich die Erde, schmilzt auch mehr Schnee und Eis, so daß es im Klimageschehen zu einer bedrohlichen „positiven Rückkopplung“ kommt: Die Albedo des Planeten sinkt, Land und Meer nehmen mehr Wärme auf und noch mehr Eis schmilzt.

## Alfred-Wegener-Institut

für Polar- und Meeresforschung. Das „AWI“ wurde 1980 als Großforschungsinstitut in Bremerhaven gegründet. Es betreibt die *Georg-von-Neumayer-Station* (GvN) sowie den nur im Sommer besetzten Stützpunkt Fildchner-Station und ein mobiles Camp am Drescher-Inlet. Mit dem *eisbrechenden* Forschungsschiff „Polarstern“ versorgt das AWI nach der deutschen Vereinigung auch die ehemalige DDR-Station „Georg Forster“, rund 1000 Kilometer östlich von GvN gelegen und ebenfalls ganzjährig besetzt.

## Amundsen-Scott-Südpolstation

Die ihrer geographischen Lage nach – direkt am Südpol – wohl ungewöhnlichste Forschungsstation der Erde liegt in 2765 Meter Höhe auf dem dort nur wenig dünnen antarktischen *Inlandeis*. Mit ihm driftet die Station etwa zwei Meter pro Jahr in Richtung Rossmeer. Sie wurde am 24. 1. 1957 während des *Internationalen Geophysikalischen Jahres* von den USA gegründet und nach den beiden Südpolar-Pionieren Roald Amundsen und Robert Scott benannt. Die durchschnittliche Wintertemperatur beträgt minus 57 Grad Celsius.

Deshalb liegen Forschungseinrichtungen und Wohnunterkünfte geschützt unter einer 50 Meter weiten und 15 Meter hohen Aluminiumkuppel.

## Antarktisvertrag

Der internationale Rahmen für die Erforschung des weißen Kontinents wurde am 1. Dezember 1959 von den zwölf Nationen Argentinien, Australien, Belgien, Chile, Frankreich, Großbritannien, Japan, Neuseeland, Norwegen, der Sowjetunion, Südafrika und den USA unterzeichnet und trat am 23. Juni 1961 in Kraft. Seitdem traten Brasilien, die Volksrepublik China, Indien, Polen, Uruguay und – am 3. März 1981 – die Bundesrepublik Deutschland sowie am 5. Oktober 1987 die ehemalige DDR als weitere stimmberechtigte Vollmitglieder bei: Sie müssen unter anderem eine ganzjährig besetzte Forschungsstation in der Antarktis betreiben; im Fall der Bundesrepublik ist dies die *Georg-von-Neumayer-Station*. Weitere 18 Nationen traten als nicht-stimmberechtigte Mitglieder dem „Antarktis-Club“ bei.

Mit dem Vertrag wurden die territorialen Ansprüche der Länder Argentinien, Australien, Chile, Frankreich, Großbritannien, Neuseeland und Norwegen nicht aufgehoben, sondern nur auf Eis ge-

legt. Die Mitglieder des „Clubs“ verpflichten sich, die Region südlich des 60. Breitengrades „nur für friedliche Zwecke zu nutzen“ sowie Information und wissenschaftliches Personal frei auszutauschen. Paragraph VII regelt den freien, ungehinderten Zugang zu den Stationen – ein Recht, das zum Beispiel Greenpeace bei Protestaktionen nutzt, da die Umweltschutzorganisation dank ihrer Ganzjahresstation einen Beobachterstatus genießt (siehe Seite 62).

Der Vertrag kann erstmals 1991, bei der 16. Konsultativtagung des Antarktis-Clubs in Bonn, geändert werden. Umstritten ist vor allem die wirtschaftliche Nutzung antarktischer Rohstoffe. Die Fischereirechte im südpolaren Ozean unterliegen zum Teil dem Seerecht, die Fragen des *Walfangs* regelt die Internationale Walfang-Kommission.

## Aurora

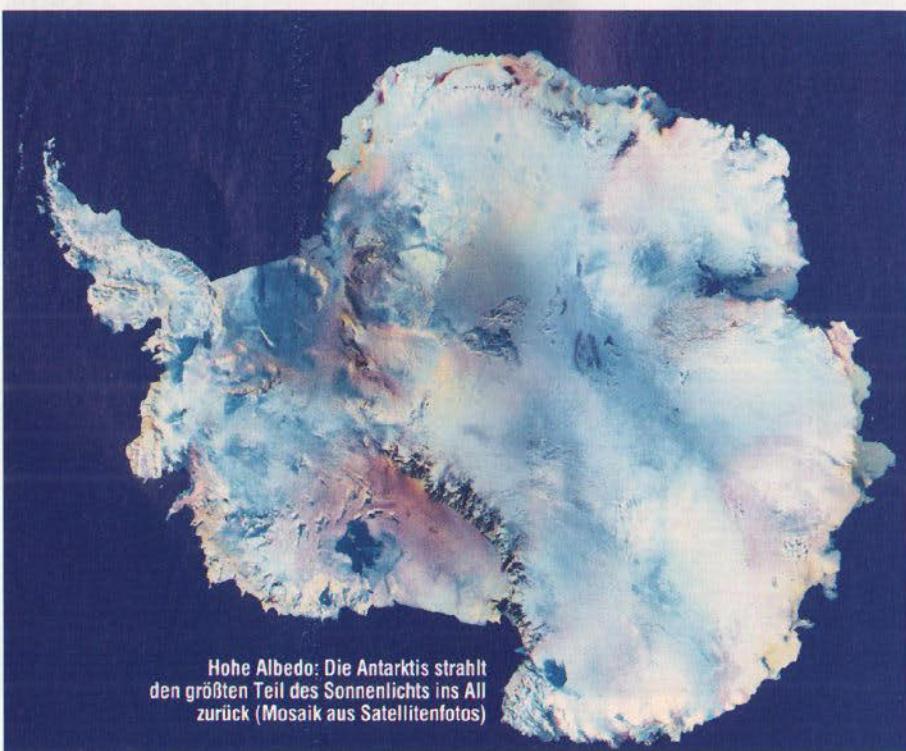
Die römische Göttin der Morgenröte gab der „Aurora borealis“ (Nordlicht) und der „Aurora australis“ (Südlicht) ihren Namen (siehe Seite 104).

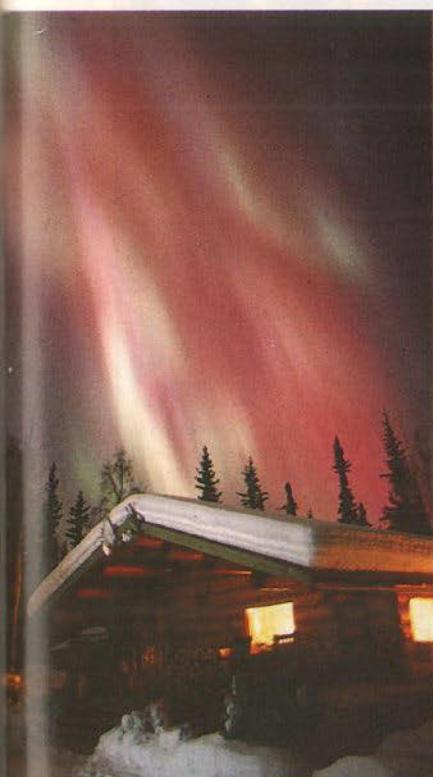
## Beringia

Eiszeitliche Landbrücke, die bis vor 10 000 Jahren Asien und Amerika verband. Sie entstand, als während des *Pleistozäns* die flachen Seegebiete zwischen Sibirien und Alaska inklusive der heute nur 50 Meter tiefen Beringstraße trockenfielen: Während der Vereisungsperioden lag der Meeresspiegel bis zu 100 Meter unter dem gegenwärtigen Niveau, da im *Inlandeis* so viel Wasser gebunden war. Über diese Landbrücke wanderten viele Tierarten und auch die ersten Menschen in den amerikanischen Doppelkontinent ein.

## BIMASS

Das internationale Forschungsprojekt „Biological Investigation of Marine Antarctic Systems and Stocks“ (Biologische Erforschung mariner Ökosysteme und Tierbestände in der Antarktis) entstand 1976; die Abkürzung ist zugleich das englische Fachwort für „lebende Substanz“. Ein Hauptziel der Untersuchung war zunächst die Nutzbarkeit der gewaltigen Krill-Schwärme – Hauptnahrung der fast ausgerotteten Bartenwale – für die menschliche Ernährung. Heute wird vor allem die Rolle des Krills im südpolaren Ökosystem untersucht.





**Hoher Himmel:** Nordlicht über Alaska



**Beringia-Rest:** Kleine Diomedes-Insel

## Blizzard

Amerikanischer Ausdruck für heftige Schneestürme, die durch arktische Kaltluft einbrüche entstehen. Noch höheren Windgeschwindigkeiten erreichen antarktische Blizzards (*katabatische Winde*).

## Boreale Wälder

Die Wälder der kalt-gemäßigten Klimazone (lat. borealis = „nördlich“) Europas, Asiens und Nordamerikas bestehen überwiegend aus Kiefern, Fichten und Lärchen. Das größte boreale Waldgebiet, die Taiga, bedeckt von Skandinavien bis Sibirien über fünf Millionen Quadratkilo-

meter. Nördlich der Baumgrenze – markiert durch das Fehlen über zwei Meter hoher Bäume – beginnt die *Tundra*.

## Diluvium

Altägyptischer Name für das *Pleistozän*: Die eiszeitlichen Sedimente wurden Anfang des 19. Jahrhunderts noch für Ablagerungen der biblischen Sintflut (lat. diluvium) gehalten.

## Dry Valleys

Die schnee- und eisfreien Trockentäler im antarktischen Victoria-Land wurden von Robert Scott während seiner ersten Antarktis-Expedition von 1901 bis 1904 entdeckt. Sie umfassen eine Fläche von rund 3000 Quadratkilometern und entstanden durch extrem trockene und starke *katabatische Winde*. Extrem sind auch die Temperaturschwankungen zwischen minus 80 Grad und plus 15 Grad. Ein Kuriosum ist der Lake Vanda: Das salzhaltige Wasser des Sees ist – anders als üblich – am Boden wärmer als an der von klarem Eis bedeckten Oberfläche, da die eingestrahlte Sonnenenergie nicht entweichen kann.

## Eisalgen

leben sowohl unter Wasser als auch auf Schnee- und Eisflächen. Die marin Arten – überwiegend einzellige Kieselalgen (Diatomeen) – bilden während des Polarsommers einen grünbraunen Belag an der Unterseite von Treibeis und Eisbergen. Auf dem Land färben Schneearlgen (Chlamydomonas nivalis) Firnflächen rötlich bis gelblich.

## Eisberge

brechen beim „Kalben“ von Gletschern ab und können in der Antarktis mehr als 10 000 Quadratkilometer groß sein. Auf dem Nordatlantik warnt die *International Ice Patrol* die Schifffahrt. Der nördlichste Eisberg der Südhalbkugel wurde auf der Breite von Rio de Janeiro gesichtet, der südlichste der Nordhalbkugel schmolz erst auf der Breite von Florida.

## Eisblink

Wenn sich hinter dem Horizont polarer Gewässer eine Eiskeide befindet, hellt sich der Horizont auf: Eis reflektiert Licht stärker als Wasser. Das umgekehrte Phänomen nennt sich Wasserhimmel: Auch wenn bis zum Horizont nur Eis zu sehen ist, kann eine

Wasseroberfläche dahinter den Himmel über dem Horizont dunkler erscheinen lassen.

## Eisbrecher

schieben ihren weit hervorstehenden Bug auf die Eiskeide, bis diese unter ihrem Gewicht einbricht. Eingesetzt werden unterschiedliche Bug-Bauweisen: Konventionelle Eisbrecher haben einen leicht V-förmig zugespitzten Bug, neuere Modelle kämpfen sich mit kastenförmigem Bug voran. Das deutsche Forschungsschiff „Polarstern“ ist Prototyp eines modernen Bautyps mit spitz zulaufendem, konkav geschwungenem Bug (siehe Seite 48). Zum Einsatz kommen auch entsprechend verstärkte eisbrechende Handels- oder Forschungsschiffe. Die Sowjetunion hält ihre polaren Seewege auch mit atomgetriebenen Eisbrechern offen.

zen: Die Algen versorgen die Pilze mit Kohlenhydraten, während sie das Pilzgeflecht als Wasser- und Mineralstoffspeicher nutzen. Flechten können auch in hochpolaren Regionen leben: Der südlichste Fundort liegt nur 430 Kilometer vom Südpol entfernt in 2000 Meter Höhe. In arktischen Gebieten bilden Rentierflechten eine wichtige Nahrungsgrundlage für *Karibus*, Moschusochsen und Elche. Da viele Flechtenarten schon bei geringer Luftverschmutzung langsamer wachsen oder sogar sterben, dienen sie in umweltbelasteten Gebieten als „Bioindikatoren“.

## GANOVEX

Die German Antarctic North Victoria Land Expedition ist ein geologisches Forschungsprogramm der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in



**Nieder mit dem Packeis:** Sowjetischer Eisbrecher vor Spitzbergen

## Fjorde

sind fast immer eiszeitlichen Ursprungs. Wie in Norwegen, wo sie ihren Namen bekamen (altnorwegisch fjordr: „Einlaß“), wurden sie von mächtigen Gletscherströmen ausgehobelt. Die ertrunkenen Täler sind oft sehr tief – bis zu 1308 Meter zum Beispiel im norwegischen Sognefjord. Einige Fjorde erreichen enorme Längen: Der Sognefjord ist 200 Kilometer lang. Fjordküsten gibt es auch in Island, Alaska, Neuseeland, Süd-Chile und in der Westantarktis.

## Flechten

sind eine Symbiose von Grün- oder Blaualgen mit Schlauchpil-

Hannover. Fünfmal seit 1979 haben deutsche Erdwissenschaftler in der stark vergletscherten Hochgebirgsregion westlich des Rossmeers Gesteinsproben gesammelt sowie magnetische und seismische Messungen durchgeführt. Die Ganovex-Forscher suchen nach Spuren des zerbrochenen Superkontinents *Gondwana*, zu dessen Bruchstücken auch der weiße Kontinent zählt. Aus Vergleichen antarktischer und australischer Gesteine und Gebirgszüge lässt sich der Osten von Gondwana rekonstruieren. Demnach sind die Berge des nördlichen Victoria-Lands lange vor dem Zerfall Gondwanas entstanden: Offenbar erhob sich an der Küste eines noch älteren

## Auch wenn es hart wird, Wasser schützt das Leben

Angenommen, Eis wäre schwerer als Wasser. Dann, so spekulierte einmal der amerikanische Science-fiction-Autor Isaac Asimov, wäre die Erde längst eine Eiskugel: Die kalten Kristalle wären auf den Grund der Flüsse, Seen und Meere gesunken und dort zu immer mächtigeren Frostpackungen angewachsen. Den Gewässern hätte nämlich in der kalten Jahreszeit jede Isolierschicht gefehlt, die wir gewöhnlich mit Kälte schlechthin gleichsetzen – Eis.

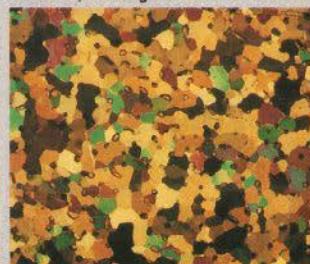
Aber Wasser ist – unser Glück – nicht nur in flüssiger Form ein ungewöhnlicher Stoff. Auch in festem Zustand sprengt es die üblichen Verhaltensnormen chemischer Substanzen: Sein Eis schwimmt obenauf. Denn H<sub>2</sub>O-Moleküle bilden beim Gefrieren ein Kristallgitter, das mehr Raum einnimmt als die Flüssigkeit, aus der es hervorging (siehe GEO-Wissen 2/1988, Seite 38–39). Das Geheimnis hin-

ter der honigwabenartig aufeinander geschichteten Struktur der Eiskristalle steckt in der simplen Raffinesse des Wassermoleküls: Sein Sauerstoffatom ist leicht negativ geladen, die beiden im Winkel von exakt 104,5 Grad von ihm abstehenden Wasserstoffatome zum Ausgleich positiv. Weil positiv und negativ sich anziehen, können sich H<sub>2</sub>O-Moleküle über „Wasserstoffbrücken“ verbinden.

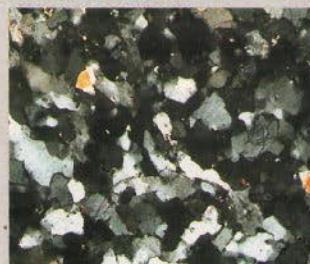
Zu unserem weiteren Glück besitzen die vertrauten Kristalle eine Struktur, die Eisforscher „Eis I h“ nennen: eine hexagonale (sechseckige) Unterform der ersten von acht stabilen Klassen gefrorenen Wassers. Hoch in den Wolken entsteht wahrscheinlich auch „Eis I c“ mit kubischer Grundstruktur – eine instabile, in Schneeflocken nicht nachweisbare Variante. Kristalle der Klassen II bis VIII sind dichter, entstehen indes nicht in der Natur: Sie sind bis zu 50 Prozent schwerer als flüssiges Wasser und würden, siehe oben, Gewässer von Grund auf zufrieren.

Gerade weil Eis schwimmt, beeinflusst es das Klima. Einerseits schützt es die Gewässer selbst gegen die klirrende Polarluft und ermöglicht somit auch im Winter arktisches und antarktisches Wasselleben. Andererseits hat Eis eine hohe *Albedo*: Seine helle Oberfläche reflektiert viel mehr Sonnenlicht und damit Strahlungswärme als Wasser oder Boden, weshalb der Erde um so mehr Wärme verloren-

geht, je größer ihre Eistümpel sind. Die größten Massen kristallisierten Wassers schwimmen allerdings nicht als *Meereis* auf den Ozeanen, sondern lasten kilometerdick als *Inlandeis* auf Grönland und dem antarktischen Kontinent. Dorthin sind sie peu à peu, wie jeder Niederschlag, über die Verdunstung aus dem Meer und vom Wind verfrachtet als *Schnee* gekommen. Aus den zarten Flocken



56 Meter Tiefe (450 Jahre)



1384 Meter (17 000 Jahre)



1839 Meter (32 000 Jahre)

2138 Meter (74 000 Jahre)

wurden rundliche Körner, Alt-Schnee verdichtete sich zu Firn, aus dem sich schließlich – da der Schnee selbst im Sommer nicht schmolz – mit wachsendem Druck Gletschereis bildete.

Auf alpinen Gletschern kann sich Schnee, wie *Glaziologen* herausfanden, schon in zehn Meter Tiefe und in wenigen Jahren zu Eis verdichten. Der sehr trockene Schnee der Antarktis dagegen durchläuft diese Metamorphose erst nach Jahrtausenden und in einer Tiefe von 50 bis 150 Metern.

Obwohl Eis ein Festkörper ist, sind Gletscher ständig – wenn auch sehr langsam – im Fluß. Denn Eis kann sich verformen, ohne die Struktur des Kristalls zu zerstören: Zum einen können die Wabentäler der Kristalle aneinander vorbeigleiten wie Spielkarten; zum anderen verdampfen Moleküle, wenn hoher Druck oder Zug auf das Kristallgitter wirken, um anderswo neu zu kondensieren. Deshalb werden die einzelnen Eiskristalle mit zunehmender Tiefe im Gletscher immer größer (siehe oben). Ganz unten, auf dem Gesteinsbett, können schließlich Wasser oder feuchtes Geröll dem Gletscher das Fließen erleichtern. Bei der Umwandlung aus Schnee werden Luftblasen in das Eis eingeschlossen. Sie geben, bei Bohrungen aus der Tiefe des Inlandeises geholt und analysiert, *Paläoklimatologen* Aufschluß über das Klima längst vergangener Zeiten. Und sie verleihen Drinks, die mit Eiswürfeln aus grönlandischem Gletschereis gekühlt werden, einen Hauch von Ewigkeit. *Barnabas Thwaites*



Alles fließt: in einer antarktischen Gletscherspalte

Urkontinents vor etwa 500 Millionen Jahren ein hohes Gebirge, den Anden an der Pazifikküste Südamerikas ähnlich. Ebenfalls im Rossmeer mündet eine 3000 Kilometer lange, die ganze Antarktis am Rand des Transantarktischen Gebirges durchziehende Bruchzone. Entlang dieser Schwachstelle könnte die Antarktis – wie einst Gondwana – zerbrechen. Der sich öffnende Graben ähnelt dem Roten Meer, wo zwischen Afrika und Arabien ein neuer Ozean entsteht.

### Georg-von-Neumayer-Station

Mit dem Bau dieser ganzjährig besetzten Forschungsstation auf dem Ekström-Schelfeis erfüllte die Bundesrepublik die wichtigste Bedingung für die Aufnahme als stimmberechtigtes Vollmitglied des *Antarktisvertrags*. Die GvN-Station wurde am 24. Februar 1981 eröffnet. Ihr Namensgeber (1826–1909) war erster Direktor der „Deutschen Seewarte“ in Hamburg; von ihm gingen wichtige Impulse für die „Erste Deutsche Südpolar-Expedition“ aus. Im Südwinter 1990 hielt erstmals eine rein weibliche GvN-Besatzung – neun Frauen – Wacht im Eis. Die Station wird vom Forschungsschiff „Polarstern“ versorgt. Das zuständige *Alfred-Wegener-Institut* (AWI) betreibt neben GvN noch die nur im Sommerbesetzte Filchner-Station und ein mobiles Camp am Drescher-Inlet. Die ehemalige DDR-Station „Georg Forster“, rund 1000 Kilometer östlich von GvN gelegen und ganzjährig besetzt, wird nach der deutschen Vereinigung ebenfalls vom AWI versorgt.

### Glaziologie

Ist die Wissenschaft vom Eis. Ursprünglich bedeutete Glaziologie nur Gletscherkunde. Der höher gelegene Teil eines Gletschers wächst durch Schneefall und rutscht langsam talwärts, bis er schließlich an seinem „Terminus“ entweder schmilzt oder Eisberge ins Meer „kalbt“. Gletscherkundler unterscheiden „alpine Gletscher“, die in einem einzigen Tal fließen, „Piedmontgletscher“, die auseinander fließen und mehrere Eistürme bilden, und das *Inlandeis*.



Eis in Scheiben: Bohrkern wird zersägt

### Gondwana

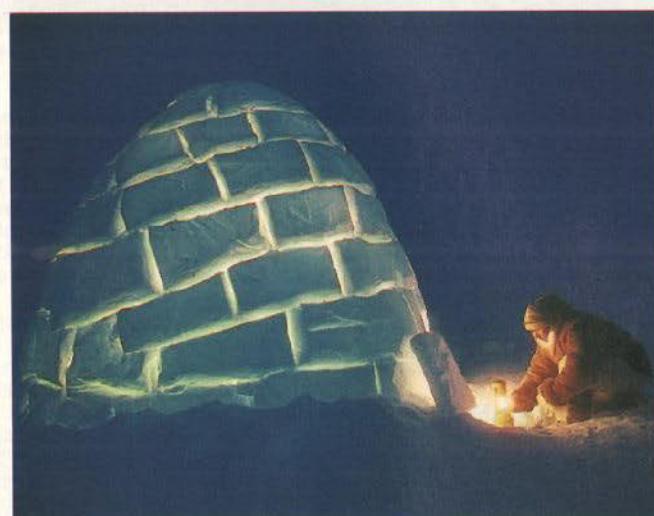
Ist ein auseinandergebrochener Urkontinent, den der österreichische Geologe Eduard Suess im Jahr 1885 nach dem indischen „Land der Gond“ benannte. Gondwana begann sich vor etwa 160 Millionen Jahren aufzuspalten und zerfiel in die Bruchstücke Südamerika, Australien, Afrika, Madagaskar, Indien und die Antarktis.

### Iglu

heißt in der Sprache der Inuit ein festes, sturmsicheres Haus aus Stein und Grassoden. Die traditionellen kuppelförmigen Gebäude aus Schneeklöcken, die wir

Guard durch: Mit Hilfe von Flugzeugen, Schiffen und Satelliten wird je nach Jahreszeit und Eisverhältnissen bis zu dreimal wöchentlich ein fast 70 000 Quadratkilometer großes Gebiet überwacht, das sich von der Davisstraße bis zum Golf von Maine erstreckt. Tägliche Bulletins, ergänzt von gefunkten Eiskarten, informieren alle Schiffe über die aktuelle Eislage und geben Ratsschläge für Ausweichkurse.

In manchen Jahren droht vor der amerikanischen Ostküste bis zum 40. Breitengrad Eisberggefahr. Ursache dafür ist der Labradorstrom, mit dem Eisberge von westgrönlandischen Gletschern südwärts treiben.



Kein »Iglu«: Ein Grönländer vor seinem von innen erleuchteten »Illuliaq«

„Iglu“ nennen, hießen „Illuliaq“ und wurden hauptsächlich von Familien auf langen Jagdausflügen benutzt. Obwohl Schneehäuser heute aus der Mode gekommen sind, reist kaum ein Inuit-Jäger ohne sein Schneemesser: Dicke Mauern aus Schnee sind schließlich auch für hypermoderne Kunststoffzelte ein idealer Windschutz.

### Inlandeis

Die grönlandische und die antarktische Eiskappe enthalten 99 Prozent des Gletscheresa des Erde (siehe Grafik).

### International Ice Patrol

Trauriger Anlaß für die Gründung der „Internationalen Eispatrouille“ war der Untergang der „Titanic“ nach einer Kollision mit einem Eisberg im Jahr 1912. Seit 1914 ist diese Einrichtung – Sitz: Groton im US-Bundesstaat Connecticut – lebenswichtig für die nordatlantische Schiffahrt, die auf ihren Routen Driftgebiete von Eisbergen durchquert. Den Eiswarndienst führt die US Coast



An der Nordwest-Passage: Inuit, 1835

### Inuit

nennen sich die arktischen Völker in Ostsibirien, Alaska, Kanada und Grönland (*Kalaallit Nunaat*). Das Wort bedeutet schlicht „Menschen“ (Einzahl: *Inuk*). Der alte Name „Eskimo“ bedeutet „Rohfleischesser“ und stammt aus der Sprache der Cree-Indianer; er hat für viele Inuit einen verächtlichen Unterton.

### Isostasie

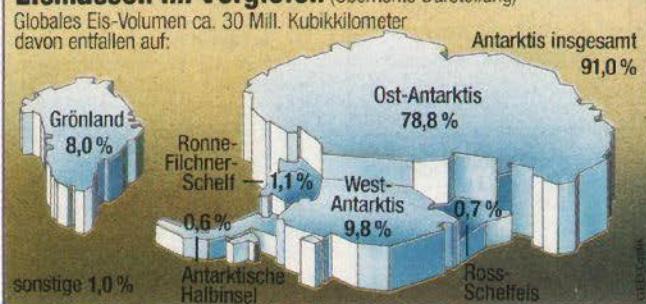
Das Konzept der Isostasie – ein griechisches Kunstwort für „Gleichstand“ – geht auf den englischen Universalgelehrten George Airy zurück. Er stellte 1855 die These auf, die leichte Erdkruste schwimme als feste Gesteinsschicht auf dem schwereren, flüssigen Material des Erdmantels: Wie ein Schiff tauche die Kruste so tief in den Erdmantel ein, bis die verdrängte Flüssigkeit ihrem Gewicht entspricht. Deshalb müßten die Gebirge einen größeren „Tiefgang“ haben als etwa die ozeanische Erdkruste. Heute wird Airys These durch viele Messungen unterstützt.

Auch die Last großer *Inlandeismassen* drückt die Kruste tiefer in den Erdmantel. Geologen beobachten zum Beispiel in Skandinavien, wie sich dort das isostatische Gleichgewicht einstellt. Während der letzten Eiszeit hat der zwei bis drei Kilometer mächtige skandinavische Eisschild die dortige Erdkruste etliche hundert Meter tiefer gedrückt. Seit seinem Abschmelzen hebt sich das Land wieder: Wissenschaftler rechnen damit, daß die Region unter dem einstigen Zentrum des Eisschildes noch um weitere 200 Meter ansteigen wird.

### Internationales Geophysikalisches Jahr

Mit dem „IGY“ vom 1. Juli 1957 bis 31. Dezember 1958, an dem Wissenschaftler aus 67 Nationen in 40 Forschungsstationen teilnahmen, begann die moderne internationale Südpolarforschung, die zwei Jahre später mit dem *Antarktisvertrag* geregelt wurde. Während des IGY errichteten die USA die Amundsen-Scott-Station auf dem Südpol und die UdSSR die Wostok-Station auf dem geomagnetischen Südpol.

### Eismassen im Vergleich (Überhöhte Darstellung)



# Die Naturwissenschaften im synchronoptischen Überblick.



656 Seiten, Großformat. DM 78,-

In übersichtlicher tabellarischer Anordnung werden die wichtigsten Ereignisse aus der Geschichte der Wissenschaft und Technik und die Lebensdaten der bedeutendsten Wissenschaftler von der Antike bis zur Gegenwart aufgeführt.

Die übersichtliche Anordnung in Spalten – für jedes Wissenschaftsbereich eine eigene Kolumne – und die chronologische Reihung ermöglichen dem Leser einen raschen Zugriff zu den stichwortartig gehaltenen Einzelinformationen.

Berücksichtigt werden Fakten und Personen aus Anthropologie und Archäologie, Astronomie und Raumfahrt, Biologie, Chemie, Geowissenschaft, Mathematik, Medizin, Physik und Technik.

Droemer  
Knaur®

## Jökulhlaup

Das gewaltige Naturspektakel – isländisch für „Gletscherlauf“ – ist fast nur aus Island bekannt, wo es vergletscherte Vulkane gibt. Bei einem Ausbruch schmilzt das Eis, so daß ein Gemisch aus Eisbrocken, Wasser, Lava und Geröll als heiße Lawine ins Tal rast. Beim stärksten Gletscherlauf dieses Jahrhunderts strömten 7000 Milliarden Liter Wasser vom Gletscher Vatnajökull herab – so viel, wie alle Deutschen in knapp zwei Jahren verbrauchen.

## Kalaallit Nunaat

Die amtliche Bezeichnung für Grönland stammt aus der Inuit-Sprache und bedeutet „Land der Menschen“. Auf der größten Insel der Welt (2 176 000 Quadratkilometer) leben 9000 Dänen und 44 000 Inuit – knapp die Hälfte ihres Volkes. Im Januar 1979 stimmte die Mehrheit der Einwohner für die „innere Selbstverwaltung“. Seitdem wählen die Insulaner ihr Parlament in Nuuk (Godthåb), das sich um Wirtschaft, Soziales und Kultur kümmert. Für Außen-, Verteidigungs- und Währungspolitik ist nach wie vor Dänemark zuständig. Kalaallit Nunaat ist der erste und bisher einzige selbstverwaltete „Staat“ der arktischen Urbevölkerung.

## Kälteadaptation

Die Anpassung an frostige Temperaturen ist die wichtigste Überlebensstrategie für Tiere und Pflanzen in Polargebieten. Biologen haben eine Reihe unterschiedlicher Prinzipien erkannt:

- Zunehmende Körpergröße, wodurch im Verhältnis zum Volumen die Körperoberfläche verrin- gert wird („Bergmannsche Regel“). Beispiel: Zwergpinguin in Australien, Kaiserpinguin im extremen Polarbereich der Antarktis.
- Reduzierung der Wärmeabstrahlung durch Verringerung der Körperoberfläche: kurze Ohren bei Eisfächsen und Schneehasen.
- Einlagerung von Fettsubstanzen zur besseren Wärmeisolierung bei Säugetieren und Pinguinen sowie ein dichtes Haar- oder Federkleid.
- Wärmeabsorption durch dunkle Farben bei Flechten und Moose.
- Gefrierhemmende Substanzen wie bei antarktischen Eisfischen (siehe Seite 124).

## Karibu

Nordamerikanische Bezeichnung für das Rentier (*Rangifer tarandus*), die ihren Ursprung im indianischen Wort „maccarib“ hat. Die den Hirschen und Elchen nahe verwandten Tiere leben mit mehreren regionalen Unterarten



Leit-Schlitten: Ein motorisierter Same führt seine Rentier-Herde durch Lappland

in der Tundra und in borealen Wäldern Eurasiens und Nordamerikas. Die Männchen sind mit einer Schulterhöhe bis zu 130 Zentimeter und einem Gewicht bis zu 270 Kilogramm erheblich größer als die Weibchen. Aber beide Geschlechter tragen – einzigartig in der Hirschfamilie – einen Geweih. Karibus leben gesellig in kleinen Gruppen, die sich bei ihren Nahrungswanderungen im Herbst und Frühling zu großen Herden zusammenschließen. Ihre Hauptnahrung ist die Rentier-Flechte. Domestiziert wurde das Rentier in Lappland und Nordsibirien.

## Katabatische Winde

Die Fallwinde (griech. kata: „hinunter“) brausen vor allem in der Antarktis mit extremer Geschwindigkeit die Flanken des *Inlandeises* hinab: Gemessen wurden mehr als 150 Kilometer pro Stunde. Die Kaltluftwinnen entstehen, wenn die Sonne Luft auf der Eiskappe erwärmt, wodurch die schwerere Kaltluft abwärts „fällt“.

## Kleine Eiszeit

Zwischen 1450 und 1850 kam es vor allem in Europa zu einer spürbaren Abkühlung von durchschnittlich 1,5 Grad, die von Mißerten und Hungerkatastrophen begleitet wurde. Ein Opfer des Temperatursturzes war der Weinbau in Norddeutschland. Verheerend wirkte sich die Kleine Eiszeit auf Island aus, wo der Getreideanbau unmöglich wurde.

## Konvergenz

Treffen warme und kalte Wassermassen an der Grenze zum südpolaren Ozean aufeinander (lat. convergere: „zusammentreffen“), können sie sich zunächst nicht vermischen. Denn sie werden durch die dort ständig we-

henden Westwinde in parallele Ströme gelenkt. So bildet sich eine scharfe Grenzlinie – die „antarktische Konvergenz“: In dem kaum mehr als 100 Kilometer breiten Wasserring zwischen dem 49. und 55. südlichen Breitengrad kann die Temperatur abrupt um sechs Grad sinken.

## Kreuz des Südens

Was der Polarstern dem Norden, ist das markante Sternzeichen dem Süden – Wegweiser zum Himmelspol: Dazu muß die Längssachse des Vier-Sterne-Kreuses fünfmal verlängert werden. Das Sternzeichen ziert die australische und die neuseeländische Nationalflagge.

## Krill

Der garnelenähnliche „Wakkreb“ der Art „Euphausia superba“ kommen im südpolaren Ozean in riesigen Schwärmen vor (siehe Seite 133).

## McMurdo Station

Der US-Stützpunkt, gegründet 1956, ist mit etwa 1200 Mitarbeitern im Sommer und rund 120 im Winter die größte Siedlung der Antarktis – und die Station mit den wohl größten Umweltproblemen (siehe Seite 62). Hier, am südlichsten Ausläufer des Rossmeeres, wurde bereits 1904 während der „Discovery“-Expedition unter Robert Scott ein noch heute existierendes Quartier errichtet.

## Meereis

entsteht erst, wenn die Temperatur des Meerwassers unter minus 1,8 Grad Celsius sinkt. Zunächst bilden sich kleine, sechseckige Kristalle an der Oberfläche. Daraus entstehen Platten oder Nadeln, der „Eis-Schlamm“, und unter der Oberfläche „Eisbrei“. Beide Komponenten frieren zu „Pfannkucheneis“ zusammen,

dessen Ränder sich durch Kolissionen hochwölben. Die Eiskristalle schließen Tropfen stark salzigen Wassers ein. Dennoch hat einjähriges Meerereis nur ein Zehntel des Salzgehalts von Meerwasser. Das die Schollen umgebende, mit Salz angereicherte Wasser ist schwerer, sackt auf den Meeresboden und treibt dort Tiefenwasser-Ströme an.

### Mißweisung

Die Kompaßnadel weist nicht genau nach Norden: In Hamburg zum Beispiel weicht sie um 0,5 Grad nach Osten ab, in London sogar um 4,3 Grad. Diese „Deklination“ geht auf die unterschiedliche Lage des magnetischen und des geographischen Nordpols zurück. Da die Magnetpole wandern, muß die Mißweisung in See-karten ständig auf den neusten Stand gebracht werden.

### Mitternachtssonne

Die Tageslänge nimmt im Sommer vom Äquator zum Pol hin zu (siehe Grafik). Die Polarkreise markieren die Grenze, an der die Sonne am längsten Tag des Jahres – im Norden der 21. Juni, im Süden der 21. Dezember – nicht untergeht. An den Polen dauern Polartag und -nacht jeweils ein halbes Jahr.



Extreme Tage, extreme Nächte: in Nordnorwegen, jenseits des Polarkreises, gibt es nur im Frühjahr und Herbst einen »normalen« Tagesrhythmus. In Kairo sind auch im Winter die Tage lang

### Nansen-Schlitten

Mit einem selbstkonstruierten Hundeschlitten auf Ski-Kufen hat der norwegische Polarforscher Fridtjof Nansen im Jahr 1888 als erster das *Inlandeis* Grönlands überquert. Sein extrem flexibles Gefährt bestand ausschließlich aus Holzteilen, die von See-hundslederstreifen zusammengehalten wurden. Eine nur leicht abgewandelte Form des Nansen-Schlittens ist bis heute in Gebrauch – mit stählerner Deichsel: Heute ziehen Motorschlitten und nicht mehr Hunde das bewährte Gleitfahrzeug.

### Nunatak

nennen die *Inuit* isoliert aus dem *Inlandeis* oder Gletschern ragende Felsgipfel. Nunatakkers bilden mitunter einzigartige ökologische Oasen in der Eiswüste.

### Packeis

Wenn sich *Meereis* zu einer geschlossenen Decke zusammenschließt, erstarrt die polaren Ozeane unter einem etwa 3,5 Meter dicken weißen Panzer. Packeis bedeckt je nach Jahreszeit zwischen 10 und 13 Millionen Quadratkilometer im arktischen Ozean sowie zwischen 4 und 20 Millionen Quadratkilometer im Südpolarmeer.

### METEORITEN

## Fallen für interplanetare Querschläger



Kosmischer Fund: Forscher mit Meteorit auf einem antarktischen Blaeisfeld

Meteoriten werden in der Antarktis häufiger gefunden als anderswo auf der Erde: Seitdem Ende der sechziger Jahre eine systematische Suche begonnen wurde, konnten Forscher rund 13 000 der kosmischen Bruchstücke auf dem Weißen Kontinent bergen – sechsmal mehr als bisher insgesamt auf

allen anderen Erdteilen. Zwar schlagen die Geschosse aus dem All auch nicht häufiger in der Antarktis ein als in anderen Regionen unseres Planeten. Aber im Eis werden Meteoriten bestens konserviert und von den Gletschern an bestimmten Stellen regelrecht konzentriert.

Solche „Meteoritenfallen“ können dort entstehen, wo sich die Eisströme an Gebirgen stauen und durch den Einfluß von *katabatischen Winden* sogenannte Blaeisfelder bilden. Dabei werden die mitgeschleppten Meteoriten mit der Zeit freigelegt und können dann von Forschern aufgelesen werden – allerdings nicht mit der bloßen Hand: Um die Fundstücke nicht zu verunreinigen, werden sie mit respektvoller Sorgfalt geborgen, in doppelte Teflonbeutel luftdicht verpackt und – mit Trockeneis kalt gehalten – zur weiteren Untersuchung in die Labors transportiert.

Die Analyse ihrer chemischen und physikalischen Zusammensetzung gibt Aufschluß über die Entstehungsgeschichte der Meteoriten, ja des ganzen Sonnensystems inklusive der Erde: Die interplanetaren Querschläger stammen meist aus jener Zeit vor rund vierehinhalb Milliarden Jahren, als sich unsere

Heimat im All formte. Die Auswertung bestimmter radioaktiver Zerfallsvorgänge in den Funden gibt überdies Aufschluß, wie lange die kosmischen Trümmer nach ihrem Absturz im antarktischen Eis lagen: bis zu fünf Millionen Jahre. Ganz selten lesen die Sammler anstatt der üblichen Stein- oder Eisenme-



Steinmeteorit unter Mikroskop

teoriten, die hauptsächlich aus dem Asteroiden-Gürtel zwischen Mars und Jupiter stammen, rare Botschaften unserer himmlischen Nachbarn auf: Gesteinsplitter vom Mond und möglicherweise sogar vom Mars – zur Erde geschleudert wahrscheinlich bei schweren Meteoriteinschlägen.

Erika Brettschneider

## Paläoklimatologie

Der Lehre vom Klima erdgeschichtlicher Zeiten dienen heute Bohrkerne aus Gletschereis als wichtiges Hilfsmittel: Anhand der Luftblasen im Eis lassen sich atmosphärische Zusammensetzung und Lufttemperatur während der letzten 160 000 Jahre rekonstruieren. Jahresringe in Bäumen oder Holzresten erlauben es, das Klima Europas während der letzten 9000 Jahre ziemlich genau zu rekonstruieren.

## Permafrost

herrscht unter einer Fläche von 21 Millionen Quadratkilometern in Sibirien, Alaska und Nordkanada sowie am Grund der angrenzenden Schelfmeere. In den südlichen Grenzbereichen des Dauerfrostgebietes ist der Boden nur wenige Meter tief gefroren. Weiter nördlich sinkt die Frostgrenze Dutzen bis Hunderte von Metern unter die Erdoberfläche ab – 1500 Meter erreicht sie in Ostasien. In Dauerfrostböden werden immer wieder gut konservierte Kadaver ausgestorbener eiszeitlicher Tiere wie Mammut und Steppenbison gefunden.

Wissenschaftler befürchten, daß beim Auftauen der Permafrost-Gebiete große Mengen des Sumpfgases Methan frei werden, die den Treibhauseffekt verstärken und so die befürchtete Erwärmung der Erde noch beschleunigen könnten.

## Pleistozän

Wissenschaftlicher Name der Eiszeit; früher auch *Diluvium* genannt. Das Pleistozän (griech. *pleistos*: das Meiste) begann vor rund 1,6 Millionen Jahren und endete vor etwa 10 000 Jahren. Es ist erste Abschnitt des Quartärs, des jüngsten Erdzeitalters; den zweiten, noch andauernden Abschnitt nennen Geologen Holozän oder Alluvium.

## Polarstern

Fast genau im Zentrum des nördlichen Himmelspol steht „Polaris“, der letzte Stern im „Schwanz“ des Sternbildes Kleiner Bär (auch Kleiner Wagen oder Ursa Minor genannt). Vom himmlischen „Bären“ – griech. *arctos* – wurde der Name der Arktis und ihrer Gegenwelt, der Antarktis, abgeleitet.

## Pole

Die beiden **geographischen Pole** markieren den Punkt, wo die Drehachse der Erde die Oberfläche des Planeten durchstößt (griech. *polos*: „Achse“). Sie wackeln im Rhythmus zweier unterschiedlicher Zyklen: Würde der Weg des Nordpols Spuren auf dem Eis hinterlassen, ent-

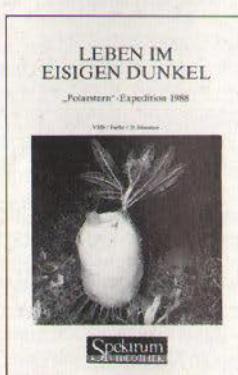


**Permafrost** herrscht auf den Kontinenten weit südlich des Polarkreises. Dort bleibt der Boden selbst im Sommer unter einer dünnen Schicht Morast stets gefroren – wie in der Tundra der kanadischen Provinz Yukon. Die Karte zeigt zwei weitere klimatische Grenzen der Arktis: die Waldgrenze und die Zehn-Grad-Juli-Isotherme – dort, wo auch im wärmsten Monat die mittlere Temperatur bei nur zehn Grad liegt

stunde eine spiralförmige Figur. Dabei wandert die Erdachse um gut elf Meter vom Ausgangspunkt weg, zu dem sie nach knapp sieben Jahren zurückkehrt. Der erste Zyklus dauert zwölf Monate und geht auf die saisonale Verlagerung von Luft- und Wassermassen zurück. Der zweite – nach seinem amerikanischen Entdecker „Chandler Wobble“ genannt – hat eine Periode von



## Video:



### Inhalt:

Antarktis · Weddellmeer · Tiergesellschaften · Pantopode · Seegurke · Schlangensterne · Unbekanntes · Igelwurm · Haarsterne · Fische · Anpassungsmechanismen.  
31 Min. DM 99,- / sfr 92,- / öS 891,-

Die Spektrum-Videothek enthält momentan 35 lieferbare Titel. Stichwortlisten erhalten Sie auf Anfrage.

**Spektrum**  
DER WISSENSCHAFT

Mönchhofstraße 15, D-6900 Heidelberg



## Bücher + Karten zum Thema Polargebiete

finden Sie in unserem aktuellen Katalog in Hülle und Fülle, denn die Polarregionen und Skandinavien sind unsere Spezialgebiete. Unseren großen Gesamtkatalog – Bestellzeichen P90 – mit Bildbänden, Reise- und Sprachführern, Expeditionsberichten, Polar-Klassikern und Video-Filmen senden wir Ihnen gern kostenlos zu.

**Versandbuchhandlung Angelika Haardiek**  
Postfach 5 · D-4555 Neuenkirchen  
Tel. 0 54 65 / 4 76 · Fax 0 54 65 / 8 34 · Btx haardiek@

Arved Fuchs **Von Pol zu Pol** 240 S. mit sehr vielen Abb. Geb. 18 x 24 cm. 39,90 DM. Nr. 9718  
Arved Fuchs erreichte 1989 als erster Mensch in einem Jahr beide Pole zu Fuß.  
Gleich mitbestellen!

## Die phantastische Reise in das Innere des Menschen

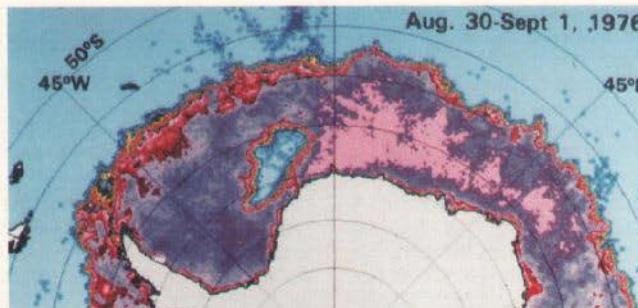


Dieses Buch von GEO zeigt, was bisher nur Mediziner gesehen haben: den Menschen von innen. Modernste Aufzeichnungsverfahren wie die Makrofotografie und die Computer-Tomografie machen bisher Unsichtbares sichtbar. Ein faszinierender Einblick in die neuesten Erkenntnisse der Forschung, die unser Bild vom Menschen ändern.

**Der Mensch**  
384 Seiten mit 400 farbigen Abbildungen, gebunden, DM 98,-  
In jeder guten Buchhandlung erhältlich!

rund 14 Monaten und ist nicht so einfach zu erklären. Zwar resultiert der 14-Monats-Rhythmus, wie Berechnungen zeigen, aus Größen wie der Umdrehungsrate, der Masse und der Trägheit des Planetenkörpers. Aber ähnlich dem Pendel einer Standuhr müßte der „Chandler Wobble“ mit der Zeit zum Stehen kommen, wenn er nicht gelegentlich angestoßen wird. Kürzlich hat ein US-Forscherteam eine Lösung des Rätsels vorgeschlagen: Demnach oszillieren die Luftmassen zusätzlich zum zwölftmonatigen Rhythmus nahe der Erdoberfläche auch in einem 14,7 Monate langen Zyklus.

Neben den geographischen Polen vermerken Karten der Arktis und Antarktis eine Reihe weiterer Pole: jeweils einen nördlichen und südlichen **magnetischen** und **geomagnetischen Pol** (siehe Seite 104 und Karten Seite 24 bis 27) sowie einen **Kältepol**, der im Norden beim ostsibirischen Ort Oimjakon ( $-71,1^{\circ}\text{C}$ ) und im Süden nahe der sowjetischen Antarktis-Station Wostok ( $-89,2^{\circ}\text{C}$ ) liegt. Der antarktische **Pol der Unzugänglichkeit** liegt bei  $82^{\circ}6' \text{ Süd}$  und  $54^{\circ}58' \text{ Ost}$ , der am wei-



Öffnet sich alle Jahre wieder: die Weddell-Polynia (hellblau)

testen von der Küste entfernte Punkt der Arktis befindet sich in der Beaufortsee bei  $83^{\circ}40' \text{ Nord}$  und  $170^{\circ} \text{ West}$ .

Wichtig für nächtliche Ortsbestimmungen sind die **Himmelpole**: Sie markieren die Punkte am Firmament, die direkt über den jeweiligen geographischen Polen liegen – im Norden gekennzeichnet durch den *Polarstern*, im Süden durch das *Kreuz des Südens*.

#### Polynia

Die oft viele Kilometer weiten, freien Wasserflächen mitten im Packeis werden mit dem rus-

sischen Wort **Polynia** bezeichnet. Sie brechen in jedem Frühjahr erneut auf, wenn wärmeres *Tiefenwasser* hier an die Oberfläche kommt, das *Eis* auftaut oder Winde es zur Seite schieben.

#### Robbenschlag

Traditioneller Ausdruck für das Töten von Robben mit langen Holzkeulen, wobei das wertvolle Fell nicht beschädigt wird. Die Schlachtszenen vor der Küste von Labrador, wo Robbenschläger im Akkord weißfellige Sattelrobbe-Babys erschlugen, lösten weltweite Proteste aus. Der

Profitgier von Robbenschlägern fiel beinahe die antarktische Pelzrobbe zum Opfer, wäre sie nicht in den dreißiger Jahren unter Schutz gestellt worden: Ihr Bestand hat sich heute auf fast 500 000 Tiere erholt.

#### Samen

In Norwegen, Schweden, Finnland und der Sowjetunion leben schätzungsweise 60 000 bis 80 000 Samen. Ihren altschwedischen Namen „Lappen“ wollen sie nicht mehr tragen, seit sie – wie heute fast alle arktischen Völker – selbst- und nationalbewußt sind.

#### Sastrugi

Bezeichnung aus dem Russischen („Rinne“) für gezackte Schneekanten. Sie können entstehen, wenn der Wind Schneisen in eine Schneedecke oder in Schneedünen fräst. Die Hindernisse sind der Schrecken vor allem antarktischer Expeditionen.

#### SCAR

Das 1957 gegründete „Scientific Committee for Antarctic Research“ ist eine regierungsunabhängige Organisation, die als

## Ein afrikanisches Tagebuch.



Klett-Cotta

**TRAUMATISCHE TROPEN**

**Nigel Barley**

Notizen aus meiner Lehrhütte

249 Seiten, 1 Karte, Linson, 36,- DM

Ein amüsanter, selbstironischer und absolut ehrlicher Bericht über die erste Begegnung eines akademisch ausgebildeten Ethnologen mit einer afrikanischen Wirklichkeit, die sich ganz einfach den abstrakten Regeln entzieht, welche die wissenschaftliche Literatur für die Feldforschung bereithält. Was sich

wie eine köstliche Persiflage auf die Ethnologie liest, ist ihre Wirklichkeit.

Bei Klett-Cotta lieferbar:

#### Die Raupenplage

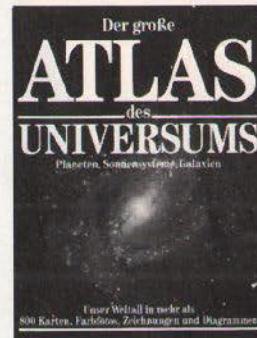
Von einem, der auszog, Ethnologie zu betreiben  
191 Seiten, 32,- DM

„Nigel Barleys Buch ist nicht nur eines der amüsantesten, sondern auch eines der ehrlichsten, das je über Feldforschung geschrieben wurde... Die witzigste Abrechnung mit der ethnologischen Euphorie der letzten Jahre.“

Frankfurter Allgemeine Zeitung

**Klett-Cotta**  
Postfach 10 60 16, 7000 Stuttgart 10

## KEINE SCIENCE-FICTION – SONDERN WIRKLICHKEIT:



Spektakuläre Fotos von Planeten und Galaxien, bizarre Marslandschaften und unheimlichen Schwarzen Löchern, eine überwältigende Fülle von Zeichnungen, Schaubildern und Diagrammen machen diesen Bildband zu einem faszinierenden Bucherlebnis.

Patrick Moore  
**Der große Atlas des Universums**

Unser Weltall in mehr als 800 Karten, Farbfotos, Zeichnungen und Diagrammen. 272 Seiten, ca. 800 s/w- und farb. Abb. Geb. mit Schutzmantel im Schuber 128,- DM, ISBN 3-570-04626-5



DIE NEUEN SEITEN DES LEBENS

## Durchblick auf polaren Bahnen

Für sie geht die Sonne nie unter, obwohl jeder von ihnen mehrmals täglich die Pole überquert: Ohne Satelliten wäre Kommunikation, Navigation und vor allem Forschung an den eisigen Enden der Erde heute kaum noch denkbar. Oder gar nicht möglich, wie im Fall

der Enträtselung des irdischen Magnetfeldes und dessen Wechselwirkung mit dem Sonnenwind, bei der die Aurora genannten Polarlichter entstehen. Kunstmonde umkreisen unseren Planeten gewöhnlich auf Ellipsenbahnen, in deren Brennpunkt sich der Erdmittelpunkt befindet. Viele von ihnen bewegen sich dabei auf äquatorialen Bahnen; begeht für Wetter- und Kommunikationssatelliten sind die geostationären Bahnen in rund 36 000 Kilometer Höhe. Dort umrundet ein Trabant in 24 Stunden einmal den Planeten und scheint somit für einen Beobachter am Erdboden stillzustehen. Diese äquatorialen Satelliten „sehen“ jedoch die Polargebiete nur teilweise oder gar nicht.



Im Netz der Bahnen: Die farbigen Linien zeigen die ERS-1-Umläufe für drei Tage. Die Empfangsstation O'Higgins liegt etwa im Zentrum der einmontierten Weltraum-Aufnahme; ihre Antenne wird Signale des Satelliten empfangen können, solange dieser sich innerhalb des weißen Kreises bewegt

Deshalb fliegen vor allem Erdbeobachtungs- und Spionagesatelliten auf Bahnen, die meist in mehreren 100 Kilometer Höhe über beide Pole führen. Dabei tauchen sie niemals in den Nächtschatten der Erde ein und ihre Solarzellen liegen immer im Licht: Die Ebene ihrer Bahn steht, stets zur Sonne gewandt, senkrecht zur Bahnebene der Erde. Außerdem dreht sich der Planet gleichsam unter ihnen weg, so daß ihre Kameras und Instrumente im Lauf einiger Tage nahezu die gesamte Erdoberfläche – inklusive der Polargebiete – bei Tageslicht „sehen“. Solche Vorteile nutzt beispielsweise die amerikanische See- und Wetterbehörde NOAA mit elf Polbahn-Satelliten; die NASA brachte unter anderem auch fünf Erdbeobachter des Typs „Landsat“ auf den Weg.

Deren Blick ist allerdings getrübt, wenn Wolken aufziehen. Mit Hilfe von Mikrowellen – millimeterkurzer Radiostrahlung – kann die Bewölkung jedoch durchdringen. Aber aus 300 Kilometer Höhe zeigen Mikrowellen-Aufnahmen nur noch Details, die größer als 30 Kilometer sind – genug, um etwa den Verlauf von Eiskanten zu sehen, aber zuwenig, um das Schicksal einzelner Schollen zu verfolgen.

Deshalb will die Europäische Raumfahrtbehörde ESA im April 1991 einen Fernerkundungs-Satelliten starten, dessen Blick scharfer ist und dennoch die Wolken durchdringt: Der „European Remote Sensing Satellite“ ERS-1 soll Arktis und Antarktis per Radar abtasten. Von ihm erhoffen sich die Polarforscher Aufnahmen, die noch Details von nur 30 Meter Größe erfassen. Als Teil des ERS-Programms baut die Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DLR) eine Empfangsstation bei der chilenischen Basis O'Higgins auf der Antarktischen Halbinsel. Dorthin wird ERS-1 seine Datenflut funken, die er an Bord nicht speichern kann. Die Bänder mit den Aufzeichnungen sollen dann von O'Higgins zur DLR nach Oberpfaffenhofen bei München verschifft und dort ausgewertet werden. Mit den so gewonnenen Informationen hoffen Polarforscher, künftig präzise Angaben über den Massenhaushalt des antarktischen und grönlandischen *Inlandeises* und der Bewegungen der davon abgebrochenen Eisberge machen zu können. Dann läßt sich möglicherweise auch die Frage beantworten, ob die polaren Eiskappen im Zug der befürchteten Erwärmung der Erde durch den Treibhauseffekt schon zu schmelzen beginnen. Johann Grottel

Ausschuß des internationalen Rats wissenschaftlicher Gesellschaften gegründet worden ist. Die SCAR-Empfehlungen sind für niemanden bindend, haben aber dennoch großen Einfluß auf die antarktische Forschung.

### Schelfeis

entsteht, wenn Gletscher ins Meer fließen, ohne dabei abzubrechen. Das 538 000 Quadratkilometer große Ross-Schelfeis der Antarktis ist am Übergang zum Festland – der „grounding line“ – 700 Meter und am Abbruchrand zum Meer hin immer noch 200 Meter dick. Hier „kalben“ gigantische Tafel-Eisberge.

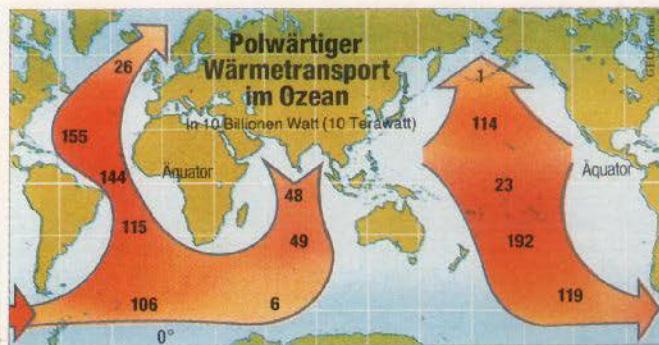
### Schnee

Wahrscheinlich hat es noch nie zwei identische Schneeflocken gegeben. Die Eis-Gebilde wachsen im Fallen, und die Bedingungen in der Atmosphäre wechseln von Meter zu Meter. So entstehen die unterschiedlichsten Sterne, Nadeln, Körner, Säulen, Prismen oder Plättchen. „Schneebotaniker“ unterscheiden 80 verschiedene Grundformen. Die Veränderung der Flocken setzt sich am Erdboden fort. In frisch gefallenem Schnee kommt etwa ein Teil Eis auf 50 Teile Luft. Schon nach wenigen Stunden hat sich das Verhältnis auf eins zu zehn verdichtet. Das luftige Weiß ist ein sehr guter Wärmedämmisolator, den *Inuit* für Schneebauten nutzen. Daher kann in einer meterdicken Schneeschicht eine Temperatur um den Gefrierpunkt herrschen, obwohl darüber ein Wind von minus 40 Grad weht. Weil warme Luft viel mehr

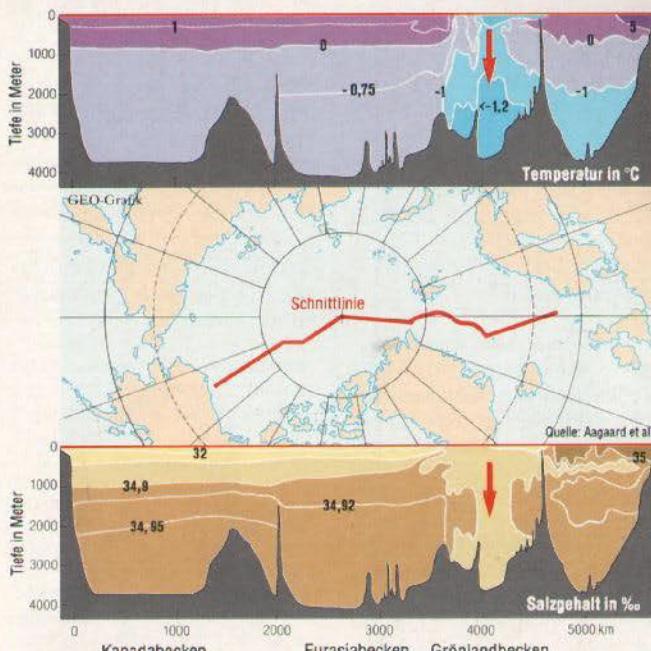


Spuren im Schnee: Sowjet-Babyschlitten

Wasserdampf aufnehmen kann als kalte, führt der Temperaturunterschied dazu, daß tiefergelegene Schneekristalle verdunsten und höhergelegene wachsen. Diese „konstruktive Metamorphose“ des Schnees kann destruktiv wirken – etwa, wenn die unterste Schicht so ausgezehrt wurde, daß sie unter den Schritten eines Menschen zusammenbricht. Aus mehrjährigem Schnee entsteht Firn, der schließlich zu Gletschereis verdichtet werden kann.



**Warmwasser-Heizung:** Meeresströme verteilen überschüssige Tropenwärme



**Enthüllender Schnitt:** In der Grönlandsee sackt das Wasser in die Tiefe

## Tiefenwasser

Im Atlantik sacken zwischen 55 und 65 Grad nördlicher Breite große Wassermassen ab (siehe Grafik). Sie bilden dort das Tiefenwasser, das sich im gesamten Atlantikbecken zwischen 1000 und 4000 Meter unter der Meeressoberfläche ausbreitet. Dabei strömt das kalte Wasser – mittlere Temperatur: etwa plus drei Grad – Richtung Südpolarmeer, wo es teils in den Zirkumpolarstrom eintritt, teils wieder an die Oberfläche kommt und Polynias bilden kann.

## Tundra

Der Begriff aus dem Russischen bezeichnet die baumlose Zone jenseits der borealen Wälder. Für die Tundra ist Permafrost-Boden typisch. In ihr dominieren Flechten, Moose, Zwergrasheiden, Gräser und überwinternde Kräuter. Die Vegetationsperiode beschränkt sich auf drei bis vier Monate. In der Tundra leben je nach Jahreszeit Tierarten wie Braunbären, Wölfe, Karibus, El-

che, Schneehasen, Lemminge und Schneehühner. Neben den Inuit siedeln unter anderem Samen, Sacha (Jakuten) und Nenzen (Samojeden) in der Tundra.

## Walfang

Während die Jagd zur Selbstversorgung etwa der Inuit den Bestand der Meeressäuger kaum bedrohte, gefährdete der kommerzielle Fang die Existenz vor allem der großen Bartenwale. Bereits gegen Ende des vorigen Jahrhunderts waren die Wale in arktischen Gewässern so stark dezimiert, daß die Jäger ihre Harpunen auf antarktische Leviathane zu richten begannen. Die Zahl der erlegten Wale stieg auf 41 323 im Jahr 1931. Schon 1937 wurde ein Abkommen zur Regulierung des Walfangs und 1946 die Gründung einer Internationalen Walfang-Kommission (IWC) beschlossen. Sie stellte zwar besonders gefährdete Arten wie den Blauwal unter Schutz, aber erst 1960, als die Fänge drastisch zurückgingen, zogen sich bis auf

Norwegen, Japan, die Sowjetunion und Island alle Nationen vom Walfang zurück. Auf Druck der Weltöffentlichkeit trat 1986 ein Walfang-Moratorium in Kraft, das Länder wie Japan allerdings unter dem Vorwand des „wissenschaftlichen Walfangs“ nach wie vor umgehen.

## Wärmetransport

Der Überschuß an Sonnenenergie, den tropischen Meere empfangen, strömt unter anderem mit dem Golfstrom langsam polwärts (siehe Karte), wo die Wärme für ein gemäßigtes Klima sorgt.

## White Out

Wenn Sonnenlicht zwischen bewölktem Himmel und Schneoberfläche hin und her reflektiert wird, verschwinden alle Schatten und Konturen. Die Folge: völlige Orientierungslosigkeit.

## Winterschlaf

ist ein wirkungsvolles Schutzverhalten mancher kleiner Säugetiere wie Fledermaus, Igel und Hamster, die der lebensfeindlichen Kälte des Winters trotzen müssen. Voraussetzungen für die winterliche Ruhepause ist eine Reduzierung der physiologischen Aktivität. Während der „Hibernation“, in der Atem- und Herzfrequenz drastisch sinken, kann der Energieumsatz um mehr als neun Zehntel abnehmen. Wärme-isolierende Fettschichten dienen zugleich als Nahrungsvorräte. Winterschläfer suchen rechtzeitig festen Unterschlupf und sammeln Nahrungsvorräte. Unterschreitet die Lufttemperatur eine bestimmte Grenze, wird der Winterschlaf durch Hormone des Hypothalamus tief im Gehirn eingeleitet. Schließlich verfallen die Tiere bei eingeschränkter Schilddrüsenfunktion



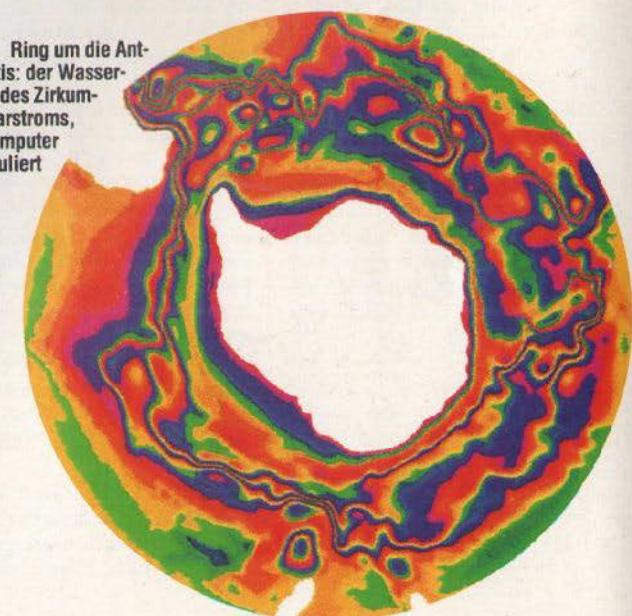
**Waljagd 1880:** Isländer töten Pottwale

und Körpertemperaturen knapp über dem Gefrierpunkt in einen schlafähnlichen Zustand. Dabei erhöht sich der Kaliumgehalt im Blut.

Beim Erwachen aus dem Winterschlaf müssen die Tiere große Energiereserven mobilisieren, um ihren Organismus zu reaktivieren. Den Großteil der Kalorien beziehen sie aus „braunem Fett“, das in den Fettdepots aller Winterschläfer eingelagert ist, und durch Proteinabbau in der Leber. Das braune Fett sorgt beim Erwachen für die rasche Erwärmung des Blutes. Wechselwarme Tiere schützen sich vor allem durch die Bildung frosthemmender Substanzen vor dem Erstarren ihrer Körperflüssigkeit.

## Zirkumpolarstrom

Wie ein riesiges Endlosband umkreist der Zirkumpolarstrom die Antarktis. Zwischen 40 und 60 Grad südlicher Breite verbindet er als einziger Meeresstrom die drei Ozeane. Von deren relativ warmem Oberflächenwasser ist der Strom an der antarktischen Konvergenz deutlich geschieden: Selbst im Südsommer bleibt seine Wassertemperatur nahe dem Gefrierpunkt.



Ring um die Antarktis: der Wasserwirbel des Zirkumpolarstroms, im Computer simuliert

**1** Welche offene Frage aus Ihrem Arbeitsbereich würden Sie in den nächsten zehn Jahren am liebsten beantworten?



**Prof. Dr. John Houghton**

ist Generaldirektor des britischen Meteorological Office in Bracknell bei London. Der Atmosphärenphysiker sitzt auch dem »Intergovernmental Panel on Climate Change« vor, einem bedeutenden wissenschaftlichen Gremium, das Regierungen zum globalen Klimawandel berät

Eine der Hauptfragen, die in der Klima- und damit auch in der Polarforschung stärker bearbeitet werden müssen, betrifft die Rolle der Wolken. Wenn die globale Temperatur steigt, ziehen mehr Wolken auf, weil mehr Wasser verdunstet wird. Bewölkt sich jedoch der Himmel etwa zwei Kilometer über der Erde stärker, reflektiert er mehr Sonnenlicht, wodurch es wieder kühler wird. An den Polen bedeutet das: Es schmilzt weniger.

**2** Welche Probleme behindern die Erforschung der globalen Klimaveränderung am stärksten?

ger Schnee und Eis. Eine dichtere Wolkendecke oberhalb von sieben Kilometern hält dagegen die sonst ins All entweichende Wärme-(Infrarot-)Strahlung zurück, was in Arktis und Antarktis zu stärkerer Eisschmelze führt.

Wolken blockieren den Wärmefluß also in beiderlei Richtung. Ob sich die dabei auftretenden, widerstreitenden Temperatureffekte global – oder auch nur in den Polarregionen – aufheben, läßt sich nur mit weit besseren als den bisherigen Modellen herausfinden. Denn Wolken sind in Modellen schwer zu fassen, weil ihr unregelmäßiges Aufziehen und Verschwinden sehr komplexe Formeln nötig macht. Außerdem fehlt es an umfassenden Beobachtungen über die Bewegung der Wolken. Ich hoffe, daß durch den verstärkten Einsatz von Satelliten, speziell solchen mit polnäher Umlaufbahn, ein besseres Bild über die Bewegung der Wolken und ihren Einfluß auf das Eis der Pole zustandekommt.

Ein zweites Gebiet, in dem wir dringend mehr lernen müssen, ist die Wasserzirkulation in den Ozeanen. Durch die Strömungen der Meere wird ungefähr dieselbe Wärmemenge vom Äquator in Polrichtung transportiert wie durch die Luftbewegung der Atmosphäre. Gerade Westeuropa ist für die Wichtigkeit dieses Wärmetransports ein gutes Beispiel: Ohne den Golfstrom wäre es hier viel kühler.

Überall auf der Welt würde sich das Klima ändern, wenn die großen Meeresströme anders verließen. Eine entschei-

dende Rolle spielt hierbei das Nordpolargebiet. Vor allem in der Grönland- und Labradorsee sinken große Mengen kalten, salzreichen Wassers zum Meeresboden. Durch diese Bildung von Tiefenwasser werden wesentliche Strömungen der Ozeane angetrieben.

Um diese Kopplung von Ozean und Atmosphäre in Modellen besser erfassen zu können, müssen die Rechnerkapazitäten weiter gesteigert werden. Außerdem benötigen wir intensivere Messungen der Meeresoberfläche durch Satelliten sowie Tiefendaten, die man zum Beispiel durch automatische Unterwasserboote – „Autosubs“ – gewinnen kann.

**2** Was für die Wettervorhersage zutrifft, gilt auch für die Klimaforschung: Je weiter die Prognose reicht, um so unsicherer wird sie. Einerseits scheint das Klima auch ohne äußeren Anstoß, gleichermaßen aus sich selbst heraus zu schwanken. Diese natürliche Variabilität überlagert und verzerrt dasjenige Geschehen, das nach den uns bekannten Gesetzen verläuft. Andererseits steigt bei der Vielzahl der klimabestimmenden Faktoren im Lauf der Zeit die Komplexität der Wirkungen und Gegenwirkungen ins Unermessliche. Und damit nicht genug: Wir kennen auch die Anfangsbedingungen des Klimas auf der Erde nicht – wir müssen mitten im chaotischen Geschehen mit den Berechnungen anfangen.

Trotz dieser grundsätzlichen Schwierigkeiten könnten wir schon weiter sein, wenn nicht einige ganz praktische Probleme die Klimaforschung speziell in Europa behinderten. Das fängt mit dem Geld an: Die USA geben für die Erforschung von Atmosphäre und Kryosphäre (Eis und Schnee) sowie für die

Klimamodellierung zwei bis dreimal mehr aus als Europa. Außerdem mangelt es an einer klaren Politik in den europäischen Ländern. So ist gerade der Bedarf an Erdbeobachtung aus dem Weltraum enorm gestiegen. Aber zwischen der European Space Agency (ESA) in Paris und den Klimaforschern besteht keine deutliche Übereinkunft darüber, was gebraucht wird und wie es sich erreichen läßt. In der Ozeanologie haben wir in Europa nicht einmal ein Büro, das die nationalen Forschungsanstrengungen koordiniert, geschweige denn genug eisbrechende Schiffe für die flächendeckende Erforschung von polaren Gewässern.



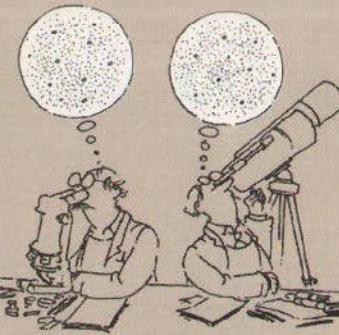
**Prof. Dr. Jens Meincke**

ist physikalischer Ozeanograph und geschäftsführender Direktor des Instituts für Meereskunde der Universität Hamburg

**1** Ich habe besonderes Interesse daran, die Beschreibung klimarelevanten Prozesse des Ozeans so voranzutreiben, daß sie in die Klimamodellierung einzbezogen werden können.

Von zentraler Bedeutung sind dabei die Ozeane der hohen Breiten: Durch saisonale Eisbildung werden diese Meeresgebiete zu „Separatoren“ für Ozeanwasser, denn beim Gefrieren trennen sich Wasser und Salz weitgehend. Das salzarme Eis sowie das salzarme und somit leichte Schmelzwasser verbleiben an der Oberfläche und breiten sich mit der windgetriebenen

# Enzyklopädie der Ignoranz



Oberflächenzirkulation aus. Das beim Gefriervorgang freigesetzte Salz erhöht die Dichte der Wassermassen unter dem Eis. Sie sinken dadurch in große Tiefen und treiben so die globale Zirkulation des kalten Tiefenwassers an, das etwa 75 Prozent des Gesamtvolumens der Ozeane ausmacht. Ein Tiefenwasser-Zyklus – die Zeitspanne zwischen dem Absinken und dem Durchlaufen der globalen Zirkulation bis zum Rücklauf in die Absinkregion – beträgt rund 1000 Jahre.

Meine Prioritäten liegen hier in zwei Bereichen:  
1. Bestimmung von Absinkraten im Europäischen Nordmeer und im Arktischen Ozean. Dabei wollen wir auch die Abhängigkeit dieser Raten von den atmosphärischen und ozeanographischen Bedingungen ergründen. Ohne diese Kenntnisse können Ozean und Atmosphäre im Modell nicht ausreichend genau gekoppelt werden, weshalb bisher keine verlässlichen Aussagen über die Aufnahmekapazität der Ozeane für das klimawirksame Kohlendioxid, für die Versorgung der Tiefsee mit Sauerstoff und für viele vom Menschen in die Umwelt entlassene Gase möglich sind.

2. Untersuchung, wie empfindlich die erwähnten „Separatoren“ auf Veränderungen der heutigen Bedingungen

reagieren. Tiefsee-Sedimentkerne belegen globale Veränderungen der Meereis-Ausdehnung und der kalten Tiefenzirkulation in der Vergangenheit. Modellrechnungen deuten an, daß die „Separatoren“ nicht mehr arbeiten können, wenn leichtes Schmelzwasser aus den Polarmeeren sich verstärkt im Weltmeer verbreitet. Denn dann verlagert sich, den Modellrechnungen zufolge, das Absinken von den hohen in die niedrigen Breiten. Dies hätte eine Umkehr der Tiefenzirkulation mit klimatisch weitreichenden Konsequenzen zur Folge – zum Beispiel Eiszeiten. Um die Schwankungen des Wasserhaushaltes der hohen Breiten besser zu verstehen, bereiten wir derzeit für die Arktis erste Meßkampagnen vor. Mit ihnen soll erforscht werden, wie der Eis- und Schmelzwasserexport von den ozeanographischen Bedingungen im inneren Nordpolarmeer abhängt.

**2** Für die Prognose von Klimaveränderungen müssen Rechenmodelle eingesetzt werden, die sich aus den physikalischen Zustands- und Bewegungsgleichungen für Atmosphäre und Ozean ableiten. Die notwendige Koppelung der Vorgänge in den beiden Sphären bleibt auch für die absehbare Zukunft schwierig. Denn die energetischen Vorgänge in Luft und Wasser laufen in sehr unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen ab, so daß ein Teil der Prozesse durch die „Maschen“ des Netzes

von Rechenpunkten eines Klimamodells fallen muß. Ein Ausweg liegt darin, diese „subskaligen“ Prozesse pauschal zu beschreiben, zu „parametrisieren“.

Ein Beispiel für einen subskaligen Prozeß aus der Sicht der Klimamodellierung ist das Absinken von Tiefenwasser – trotz dessen globaler Bedeutung. Seine Parametrisierung läßt sich nur durch hohen experimentellen Aufwand erreichen. Und das wird entsprechend lange Zeit in Anspruch nehmen.

Auch die Untersuchungen, wie die „Separatoren“ auf Veränderungen reagieren, können nicht ohne langwierige Vorbereitungen begonnen werden. In der zentralen Arktis mit ihrer Bedeckung durch mehrjähriges Meereis können die derzeit verfügbaren eisbrechenden Forschungsschiffe nur sehr eingeschränkt arbeiten. Dabei ist gerade die Arktis, gespeist von den „Separatoren“ und den sibirischen Flüssen, die größte Süßwasserquelle der hohen Breiten, und ihre Schwankungen spielen bei Klimaveränderungen eine zentrale Rolle. Für die systematische Erforschung dieser Prozesse sind weiterhin internationale Anstrengungen nötig, damit die erforderlichen logistischen und – leider auch noch – politischen Voraussetzungen geschaffen werden.

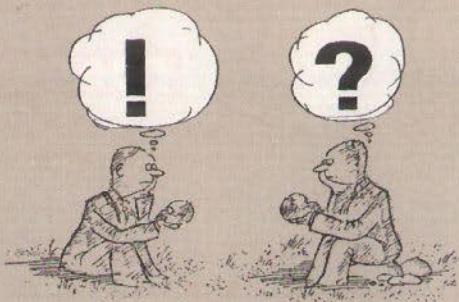
Ein drittes großes Problem ist die Bewältigung der zu-

künftigen Datenflut. Die geplanten Beobachtungssysteme – Satelliten, im Meer fest verankerte und treibende Meßgeräte, von Forschungsschiffen aus eingesetzte Sensorpakete – werden große Datenmengen liefern, ebenso wie die Modellrechnungen. Und beide „Datenströme“ müssen unbedingt gekoppelt werden. So ist es abzusehen, daß die Wissenschaftler in Datenmengen „ertrinken“ werden. Nur der Aufbau eines qualifizierten technischen Mittelbaues in den Forschungsinstitutionen kann sicherstellen, daß die geplanten Beobachtungssysteme und Großrechner wirklich effektiv genutzt werden – ein Problem für die Haushaltplanungen der öffentlichen Hände.



**Dr.-Ing. Hans Oerter**  
ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven

**I** Ich bin an glaziologischen Arbeiten beteiligt, mit denen der physikalische Aufbau, der Massenhaushalt und die Dynamik des Schelfeises in der Antarktis erforscht werden. Aus diesem Arbeitsbereich scheint mir die Frage nach dem Massenhaushalt – also nach den quantitativen Veränderungen der Eismasse – auch in der nächsten Dekade vordringlich zu sein, weil wir damit einen wichtigen Beitrag zur Kenntnis und zum Verständnis unseres Klimasystems leisten können. Dieses wird nämlich ganz entscheidend



von den großen polaren Eismassen beeinflußt. Meine Kollegen und ich wollen nun verstärkt wissen, wie sich die Abschmelz- und Gefrierprozesse an der Unterseite des Schelfeises theoretisch erklären, meßtechnisch vor Ort erfassen und großräumig quantifizieren lassen.

Wir wissen heute, daß die Schelfeis-Gebiete der Antarktis von großer Bedeutung für den Massenhaushalt und die Dynamik der gesamten kontinentalen antarktischen Eismassen sind, da sie in hohem Maße den Abfluß des Inlandeises beeinflussen. Auf eines der beiden größten Schelfeis-Gebiete, das Filchner-Ronne-Schelfeis, konzentrieren sich die deutschen Aktivitäten, die im Rahmen des Schwerpunkts „Antarktisforschung“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert werden und in das international abgestimmte „Filchner-Ronne Ice Shelf Programme“ eingebunden sind.

Geophysikalische Messungen der Arbeitsgruppe von Professor Franz Thyssen von der Universität Münster zeigten in den letzten Jahren, daß im zentralen Bereich dieses Schelfeises die bislang angenommene Schelfeisunterseite in Wirklichkeit eine Grenzschicht zwischen zwei unterschiedlichen Eiskörpern bildet und das gesamte Schelfeis tatsächlich bis zu einigen hundert Metern dicker ist. Dies konnte dann während der letzten „Polarstern“-Expedition im Südsommer 1989/90 mit einer Kernbohrung, die das Alfred-Wegener-Institut in das Schelfeis abgeteuft hatte, bewiesen werden: Unter

dem dort rund 240 Meter mächtigen Gletschereis, das aus dem Inland zum Meer fließt, liegt ein weiterer Eiskörper aus gefroremem Meerwasser, der am Ort der Bohrung 80 Meter dick ist.

Nun steht also erstes Probenmaterial für weitere Untersuchungen zur Verfügung. Mit ihnen hoffen wir, die Mechanismen aufzuklären zu können, die zum Ausgefrieren von Meerwasser und zur Anlagerung an die Unterseite des Schelfeises führen.

Ein zweiter Schwerpunkt meines Interesses ist die Ablation – das Abschmelzen – an der Unterseite des Schelfeises. Sie findet vorwiegend im Bereich der „grounding line“ – wo das Inlandeis aufschwimmt und zum Schelfeis wird – nahe der Schelfeiskante zum offenen Meer statt. Es liegen zwar bereits Modellvorstellungen und auch Computer-Simulationen vor. Aber wir müssen diese theoretischen Ansätze durch Messungen in der Natur überprüfen, um ein realistisches Bild der Ablation zu bekommen.

Anlagern und Abschmelzen des Eises werden durch das Meerwasser gesteuert. Das Schmelzen der Eismasse trägt zur Bildung antarktischen Bodenwassers bei, einem entscheidenden Faktor in der Wärmebilanz der Meere. So spielt die Unterseite des Schelfeises eine wichtige Vermittlerrolle zwischen dem antarktischen Inlandeis und dem Ozean – also letztlich dem globalen Klima.

**2** Ein großes Problem scheint mir nach wie vor die Unzugänglichkeit der Polargebiete zu sein. Expeditionen dorthin erfordern einen sehr hohen Aufwand. Tiefbohrungen, die einen ganzen Vereisungszyklus umspannen und Eis aus dem letzten Interglazial –

der letzten Warmzeit – erreichen wollen, lassen sich nicht beliebig häufig durchführen und wiederholen. Demzufolge ist die Punktdichte solcher Bohrungen nach wie vor sehr dünn.

Die Klima-Informationen sind im Eis nicht im Klartext gespeichert, sondern müssen aus den gemessenen Parametern abgeleitet werden – Meßgrößen wie etwa die Zusammensetzung der im Eis eingeschlossenen alten Luft. Hierfür können wir meist nur die aus dem gegenwärtigen Klima abgeleiteten Wechselbeziehungen heranziehen und hoffen, daß dieselben Korrelationen auch im letzten Interglazial gegolten haben.

Eine weitere Schwierigkeit tritt bei der Interpretation tiefer Bohrungen auf. Das Eis hat, je älter es wird, einen um so längeren Weg im Innern des Eiskörpers durchlaufen, so daß den zeitlichen Schwankungen immer auch die räumlichen Schwankungen entlang des Fließweges überlagert sind. Diese Schwierigkeit kann nur durch die optimale Lage einer Bohrstelle auf einer Eisscheide umgangen werden – also dort, wo das Eis sich im Laufe der letzten Jahrtausende möglichst wenig bewegt hat. Das kann erstmals mit den zur Zeit laufenden Tiefbohrungen des amerikanischen Programms GISP II und des europäischen Programms GRIP auf „Summit“ – der höchsten Erhebung des Inlandeises – für Grönland verwirklicht werden.

Polarforschung und die Beschäftigung mit globalen Fragen erfordert ein hohes Maß an Kontinuität. Das läßt sich nur durch langfristige Forschungsprogramme realisieren. Außerdem müssen polare Expeditionen über den Zeitraum von vielen Jahren hinweg vorbereitet werden. Dies steht im Widerspruch zu einer Forschungsförderung mit jährlichen Bewilligungszeiträumen und oft kurzfristigen Bescheiden. Denn die damit verbundenen Unsicherheiten und eine daraus resultierende Personalfluktuation erschweren die geforderte Kontinuität erheblich.

## Der Treibhauseffekt und



**Prof. Dr. Paul J. Crutzen** ist Direktor der Abteilung Chemie der Atmosphäre des Max-Planck-Instituts für Chemie in Mainz. Er hatte in GEO-Wissen Nr. 2/1987 »Klima-Wetter-Mensch« in der »Enzyklopädie der Ignoranz« geschrieben, daß er vor allem mehr über die Rolle des Ozons in der Atmosphäre wissen wolle. Wir fragten ihn, welche Probleme er heute bei der Erforschung der gefährdeten Ozonschicht über der Arktis und Antarktis sieht



**Prof. Dr. Hartmut Graßl** ist Direktor am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg. Er hatte in GEO-Wissen Nr. 2/1987 an dieser Stelle geschrieben, daß er vor allem mehr über den zunehmenden Treibhauseffekt der Atmosphäre wissen wolle. Wir fragten ihn, welche Probleme er heute bei der Erforschung dieses Effektes unter besonderer Berücksichtigung der Polargebiete sieht. Graßl ist zusammen mit GEO-Redakteur Reiner Klingholz Autor des kürzlich erschienenen Buchs »Wir Klimamacher. Auswege aus dem globalen Treibhaus«

Die Entdeckung des antarktischen Ozonlochs liegt erst etwa fünf Jahre zurück und ist inzwischen durch viele weitere Untersuchungen bestätigt worden. In jedem antarktischen Frühjahr (September bis November) und in zunehmendem Maße seit Ende der siebziger Jahre, schwindet das Ozon über dem antarktischen Kontinent in Höhen zwischen etwa 15 und 20 Kilometer. Damit geht in dieser Zeit etwa die Hälfte des gesamten Ozons über der Antarktis verloren.

Mittlerweile stehen die Hauptmechanismen der Ozon-Vernichtung eindeutig fest: Aktive „Ozonkiller“ – vor allem reaktive Chlorverbindungen, die aus der photochemischen Zerstörung von Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW)-Gasen entstehen – verursachen den rapiden Ozonverlust.

Inzwischen hat sich gezeigt, daß diese chemisch gestörten Bedingungen sich auch über der Arktis entwickeln können, bisher allerdings nur bis spätestens Ende Februar, also zeitlich viel mehr eingeschränkt als in der Antarktis. Infolge der häufiger vorkommenden dynamischen Störungen auf der Nordhalbkugel kann sich die Luft über der Arktis nicht so stark abkühlen wie über der Antarktis. Da während der Kälteperiode der größte Teil der arktischen Stratosphäre im Dunkeln liegt und die ozonzerstörenden Reaktionen auch Sonneneinstrahlung benötigen, ist der Ozonabbau im Norden viel geringer als über der Antarktis. Wir haben Glück gehabt.

Durch die Entstehung des Ozonlochs wurde die Atmosphärenwissenschaft auf die wichtigen, aber äußerst

schwierigen Probleme der Bildung und der physikalisch-chemischen Eigenschaften atmosphärischer Eis-Partikel aufmerksam gemacht:

1. Welche Größenverteilung der Partikel stellt sich in der winterlichen Stratosphäre ein? Können einige Teilchen so stark anwachsen, daß sie aus der Stratosphäre ausfallen und vielleicht in erheblichem Maß Salpetersäure und Stickoxide entfernen, wodurch ein verstärkter Ozonabbau durch Chlorgas auch nach dem „Abtransport“ des Ozonlochs in niedrigere geographische Breiten stattfinden kann?
2. Kennen wir denn wirklich alle wichtigen chemisch-physikalischen Reaktionen? Ich habe Zweifel. Auch glaube ich, daß die Modelle, die bisher zur Erklärung des Ozonlochs entwickelt wurden,

noch auf zu vielen Ad-hoc-Annahmen basieren.

3. Die Länder der Welt haben sich glücklicherweise dazu entschlossen, keine FCKW-Produktion vom Jahr 2000 an mehr zuzulassen. Dennoch muß man sich fragen: Wird nicht durch die Zunahme des stratosphärischen Gehaltes an Stickoxiden und Wasserdampf – als Folge des Anwachsens der troposphärischen Quellgase Distickstoffoxid („Lachgas“) und Methan – die Wahrscheinlichkeit der Ausbildung der festen Salpetersäure- und Eis-Partikel erhöht? Dadurch würde die Aktivierung der Chlorchemie, trotz der langsam abnehmenden Gesamtmenge der Chlorgase, weiter angekurbelt. Auch der Eintrag von Stickoxiden und Wasserdampf aus dem zukünftigen Flugverkehr könnte dabei eine Rolle spielen.

In nur drei Jahren ist unser Wissen über das Klima der Erde – speziell über den zunehmenden Treibhauseffekt – rasch angewachsen:

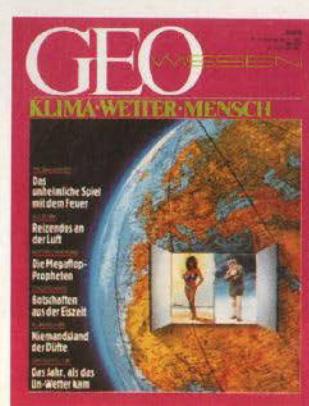
- Die als Klimamodell-Komponenten benutzten Rechenmodelle der Luftzirkulation im wolkenlosen Teil der Atmosphäre beschreiben korrekt die verstärkende Wirkung des Wasserdampfes bei Zunahme anderer Treibhausgase, etwa des Kohlendioxids ( $\text{CO}_2$ ) und der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Hätten wir das Problem mit den Wolken nicht, so stiege nach diesen Modellen bei einer Verdoppelung des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes und nach voller Anpassung des Klimasystems die mittlere globale Temperatur an der Erdoberfläche um 2,2 Grad Celsius.

● Die Erde war, wie die Analyse von Eisbohrkernen zeigt, während der vergangenen 160 000 Jahre immer dann kalt, wenn die Luft wenig Kohlendioxid und Methan enthielt. Es war in diesem Zeitraum nie so viel Methan

und  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre wie heute.

● Der Ozean verzögert die Erwärmung kräftig, so daß wir bei gegenwärtig exponentiellem Anstieg der Spuren-gas-Konzentration nur etwas mehr als die Hälfte der Reaktion auf die Störung messen können. Selbst bei einem spontanen Stop aller Emissionen würden wir noch über Jahrzehnte hinweg eine weitere Erwärmung der Erdoberfläche erleben.

Besonders wenig wissen wir darüber, wie die Kryosphäre auf die durch mehr Treibhausgase veränderte Strahlungsbilanz unseres Planeten reagiert. Warum steigt der Meeresspiegel an, obwohl in Südgroenland in der Zeit von 1978 bis 1986 die Eismasse zunahm? Wie rasch wird der ständig gefrorene Boden in Teilen Chinas, Kanadas und Sibiriens auftauen? Wie stark schrumpft das Meereis? Wieviel zusätzlicher Schnee fällt auf die Antarktis, wenn es dort wärmer wird? Je früher wir wenigstens Teilaufgaben



In GEO-Wissen Nr. 2/1987 war der vom Menschen verursachte Klimawandel das zentrale Thema

auf diese Fragen haben, um so eher können wir die Unsicherheit über den globalen Meeresspiegelanstieg vermindern.

Besonders wichtig für die Erforschung des Klimawechsels in Polargebieten sind in naher Zukunft vor allem drei Bereiche:

1. Speziell bei der Vorhersage des Verhaltens von Meer-eis werden die seit einem Jahr vorhandenen gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Modelle vor eine bisher ungelöste Aufgabe gestellt.

2. Bei der Messung des Massenhaushaltes der großen Inlandeisgebiete wird in naher Zukunft die Beobachtung aus dem Weltraum eine wesentliche Stütze sein. Genaue Abstandsmessungen – auch mit dem europäischen Fernerkundungssatelliten ERS-1 (Start: April 1991) – werden uns ermöglichen, den Meeresspiegelanstieg und das Anwachsen oder Schrumpfen der Inlandeismassen präzise zu beobachten.

3. Die Hunderttausende von Jahren alten Eisablagerungen der Antarktis und Zentralgrönlands enthalten in eingeschlossenen Luftblaschen die Zusammensetzung der Atmosphäre während dieses Zeitraums. Sie sind ein Geschichtsbuch, das uns auch den Blick in die Zukunft erleichtert.

## Übersichten

**Antarktische Informations- und Schutzmehrheit:** „Antarktis – das letzte Paradies?“; Trotzdem Verlag, Grafenau 1986. **Fred Bruemmer:** „The Arctic World“; Sierra Club, San Francisco 1985. **John May:** „Das Greenpeace-Buch der Antarktis“; Ravensburger Buchverlag, Ravensburg 1988. **Reader's Digest Association (Hrsg.):** „Antarctica“; Capricorn Press, Sidney 1985. **Steven Young:** „To The Arctic. An Introduction to the Far Northern World“; John Wiley & Sons, New York 1989.

## Biologie/Ökologie

**Fred Bruemmer:** „Arctic Animals“; Northwood, Hongkong 1987. **Jacques-Yves Cousteau, Yves Paccalier:** „Whales“; Harry Abrams, New York 1988. **Jim Flegg, Eric und David Hosking:** „Poles Apart“; Pelham Books, London 1990. **Eric Hoyt:** „Alle Wale der Welt“; Conrad Stein Verlag, Kiel 1987. **John Pickard (Hrsg.):** „Antarctic Oasis. Terrestrial environments and history of the Vestfold Hills“; Academic Press, 1986. **Jürgen Sieg, Johann Wolfgang Wägele (Hrsg.):** „Fauna der Antarktis“; Paul Parey, Berlin 1990. **Ian Sterling:** „Polar Bears“; University of Michigan Press, 1988.

## Erdgeschichte

**John Imbrie, Kathrine Palmer Imbrie:** „Die Eiszeit“; Econ, Düsseldorf 1981. **Kurt-Dietmar Schmidtke:** „Auf den Spuren der Eiszeit. Die glaziale Landschaftsgeschichte Schleswig-Holsteins“; Verlag Husum, Husum 1985. **Otfried Wagenbreth, Walter Steiner:** „Geologische Streifzüge. Landschaft und Erdgeschichte zwischen Kap Arkona und Fichtelberg“; Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1985. **Paul Woldstedt, Klaus Duphorn:** „Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter“; Koehler, Stuttgart 1974.

## Expeditionen/Historie

**Alfred Andersch:** „Hohe Breitengrade“; Diogenes Verlag, Zürich 1984. **Owen Beattie, John Geiger:** „Der eisige Schlaf. Das Schicksal der Franklin-Expedition“; vgs Verlagsgesellschaft, Köln 1989. **Johann Georg Gmelin, Georg Wilhelm Steller:** „Große Nordische Expedition von 1733 bis 1743“; Beck, München 1990. **Roland Huntford:** „The Amundsen Photographs“; The Atlantic Monthly Press, New York 1987. **Reinhild Messner:** „Antarktis, Himmel und Hölle zugleich“; Piper, München 1990. **Sten Nadolny:** „Die Entdeckung der Langsamkeit“; Piper, München 1989.

**Christoph Ransmayr:** „Die Schrecken des Eises und der Finsternis“; Fischer, Frankfurt 1987. **Christine Reinke-Kunze:** „Den Meeren auf der Spur. Geschichte und Aufgabe der deutschen Forschungsschiffe“; Koehler, Herford 1986. **Stefan Zweig:** „Sternstunden der Menschheit“; S. Fischer, Frankfurt 1981.

## Klima/Umwelt

**Deutscher Bundestag, Referat für Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.):** „Schutz der Erdatmosphäre“; Bonn 1988. **Hartmut Graßl, Reiner Klingholz:** „Wir Klimamacher“; S. Fischer, Frankfurt 1990. **Jochen Vorfelder:** „Eispatrouille – Greenpeace in der Antarktis“; Rowohlt, Reinbek 1987.

## Magnetfeld

**Robert Eather:** „Majestic Lights. The Aurora in Science, History and the Arts“; American Geophysical Union, Washington 1980. **Ronald Merrill, Michael McElhinny:** „The Earth's Magnetic Field“; Academic Press, Orlando 1983. **Wolfried Schröder:** „Phänomen des Polarlichts. Geschichtsschreibung, Forschungsergebnisse und Probleme“; Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1984.

## Völker

**Gerhard Hoffmann (Hrsg.):** „Zeitgenössische Kunst der Indianer und Eskimos in Kanada“; Edition Cantz, Stuttgart + Canadian Museum of Civilization, Ottawa 1988. **William Fitzhugh, Aaron Crowell:** „Crossroads of Continents, Cultures of Siberia and Alaska“; Smithsonian Institution Press, Washington 1988. **Charlotte und David Yue:** „The Igloo“; Houghton Mifflin Company, Boston 1988.



Fotovermerke nach Seiten. Anordnung im Layout: l. = links, r. = rechts, o. oben, m. = Mitte, u. = unten

Titel: Ben Osborne

INTERN  
Frans Lanting/Minden Pictures: 3 u.

SEITE 4: Ben Osborne: o.l.; Galen Rowell/Mountain Light: o.r.; Jens Fooke: m.o.; Stuart Franklin/Magnum: m.u.; Ivars Silis: u.l.; Dennis Stock/Magnum: Focus: u.r.

SEITE 5: Walter Mayr: o.; David C. Fritts: m.o.; Flip Nicklin: m.u.; B. & C. Alexander: \*

BANGES WARTEN AUF DIE WÄRME  
Ira Block: 6/7; Ben Osborne: 8/9, 20/21; Alexander Polakow: 10/11; George Steinmetz: 12/13; Stuart Franklin/Magnum: 14/15; Jim Brandenburg: 16/17; Colin Monteath: 18/19; Doug Allan/Oxford Scientific Films Ltd.: 22/23

SEITE 9  
Allan Morgan, M. MacFarlane, Ben Osborne: (2x), Ann Haworth/Black Star, S. Franklin/Magnum (5x), Gordon Wiltsie (2x), Chris Sattler/Anzenberger, D. Allan/SPL/Focus, H. Rappi/WWF-Bildarchiv, M. Morosini

DER LANGE WEG NACH GONDWANA  
Manfred Pietschmann: 30-37, 40/41; Lynn Johnson/Black Star: 39 o.; Jim Frazier/Mantis Wildlife: 39 o.r., u.l., u.m.; T. Dickinson/Comstock: 39 u.

DIE EISIGE ERNTE  
Reiner Klingholz/Focus: 42, 43 o. und u.r., 44 o.; Bill Curtsinger/Photo Researchers: 43 u.t.

PENDELN ZWISCHEN DEN POLEN  
H. Rappi/WWF-Bildarchiv: 46/47; M. Pietschmann: 48/49; Peter Wending et alii/DLR + Universität Stockholm: 50/51; Reiner Klingholz/Focus: 52/53

BIBBERN FÜR DIE WISSENSCHAFT  
Peter Menzel: 54-60

PROTEST IM FROST  
Stuart Franklin/Magnum: 62-71; Greenpeace: 72 o.; Art Woofe: 72 u.; Michael Parfit: 73 o. (2x), Gordon Wiltsie/Peter Arnold: 73 m.; Gordon Wiltsie: 73 u.; Kevin Schafer: 73 u.r.; Klaus D. Francke/Bildarchiv: 74 o.; George Herben: 74 m.; H. J. Burkhardt/Bildberg: 74; 75; Joel W. Rogers: 75 o.; Sergei Lidov: 75 u.

WENN ES DEM EIS ZU WARM WIRD  
Chris Johns/Allstock: 76/77; EOSAT/IG, Offenbach; TH Darmstadt/IAG, Frankfurt: 78/79; EOSAT/IG, Offenbach + IAG, Frankfurt: 79 u.; DLR, Oberpfaffenhofen: 80 o.; Stuart Franklin/Magnum: 81 o.; Walter Imber: 81 o.; Ivars Silis: 82; Harald Sund: 83; Ben Osborne: 84/85

DEM SCHWUND AUF DER SPUR  
Ulrich Baatz: 86/87 o., 89; Laboratory for Atmospheres/GSFC/NASA: 86/87 u.; NASA/SPL/Focus: 88

DIE KÄLTE KAM VOM  
DACH DER WELT  
Matthias Kuhle: 90-94

DIE ZEIT, ALS DEUTSCHLAND  
EISLAND WAR  
Walter Mayr: 96/97, 98 o.; Deutsche Luftbild: 98 u.; Lothar Eißmann/Universität Leipzig: 102/103

AURORAS TANZ IM SONNENWIND  
L. A. Frank/University of Iowa: 104 o., 112 u.; Bryan & Cherry Alexander: 104/105; Bapst Library/Boston College: 106 o.; Widener Library/Harvard University: 106 m., u.; Marconi: 106 m.r.; Granger Collection: 106 u.r.; David Hiser/Photographers Aspen: 107, 112 o.; Robert H. Eather/Boston College: 108/109

LEBEN UNTER NULL  
Dan Guravich: 114/115, 132 o.; Chris Sattler/Anzenberger: 116/117; Jeff Lepore: 118/119 o.; Jim Brandenburg: 118/119 u., 123 u.; Flip Nicklin: 120/121; Ben Osborne: 122 o.; C.J. Gilbert/British Antarctic Survey: 122 u.r.; Flip Nicklin & Associates: 122 u.r.; Kathy Dawson: 123 o.; Doug Allan/OSF Ltd.: 124/125 o., 126/127 o., 126 u.; Dr. S. P. Alexander: 124 u.; William Curtsinger: \*

Photo Researchers: 125 u.l., 132 u.l.; Armin Maywald: 125 u.r., 44x); H. Rappi/WWF-Bildarchiv: 127 u.l.; Colin Monteath: 127 u.r.; Bruno Zehnder/Peter Arnold: 128 o.; André Fratas: 128 m.; Frans Lanting/Minden Pictures: 128 u.; Claus Gültow: 129; K. Westerskov/OSF Ltd: 130; Den Gurevich/Photo Researchers: 131; S. Kraseman/Peter Arnold: 132 u.r.; Paul G. Rodhouse/British Antarctic Survey: 133; G. Feldman/GSFC/NASA: 134 o.l.; SPL/Focus: 134 o.r., (2x); Flip Nicklin: 134 u.; Uwe Kils/Institut für Meereskunde, Kiel: 134/135;

## KULTUREN, DIE DER KÄLTE TROTZEN

Ivars Silis: 136/137, 141 m., 144 o., m.; Werner Forman Archive: 137 o., 144 u.; Hans-Jürgen Burkhardt/Bildberg: 138/139, 140 m.o., 149 o.; „Crossroads“/SITES/Courtesy Smithsonian Institution: 139 o., 143 o., 148 o., 150 u.l.; Alexander Polakow: 140 o., m., 149 u.; A. Reiser/Bildberg: 140 o.l.; Photo Researchers: 140 o.; Jim Yuskaevitch: 140 u.m.; Porter+Chickerling/Photo Researchers: 140 u.l.; B. & C. Alexander: 140 u.r., 141 m.u., u.l., 145; Danièle Pellegren: 141 o.; S. Brimberg/Woodfin Camp/Focus: 141 m.c.; Ben Gibson/Impact: 141 u.r.; Lowell Georgia/Photo Researchers: 142/143; Swinton Collection/Winnipeg Art Gallery: 146 m.; Gordon Wiltsie: 146/147 o.; Ben Gibson/Impact: 147 u.l.; David Hiser/Photographers Aspen: 147 u.m.; Hans Madej/Bildberg: 150 o.; A. Milovsky: 150 u.r.; Ira Block: 151

## ENDLOS DER TAG UND ENDLOS DIE NACHT

Tilman Schuppis: 152/153, 156 o.; Marcel Yamson: 154/155 o.; Wolfgang Kunz/Bildberg: 154/155 u.; B. & C. Alexander: 156 u.; W. McNamee/Woodfin Camp/Focus: 157

## DAS LOCKENDE NICHTS

Archiv Gerstenberg: 158 o.; Voujour/Gamma: 158/159; E.R.L./Spa Icono: 159 o., 159 u.r.; Courtesy ERM, Ann Arbor: 160/161; Archives de la Marine, Paris/Jean Vigne: 162 o., m.r.; Bettmann Archive: 162 m.l.; Ann Haworth/Black Star: 162 u.; BPK Berlin: 165 o., 167 m.o.l., 171 o.; Landesmuseum für Kärnten: 165 m.; AKG Berlin: 165 u., 167 o.l.; Granger Collection: 166 o.l.; Sammlung Scheid: 166 o.l.; Archiv H.C. Adam: 166 m., 167 u., 168 o.l.; 170 u., 171 u.l.; Reiner Klingholz/Focus: 167 o.r.; National Archives: 167 m.; Royal Geographical Society: 168 o.r., 172 o.l.; G. Holton/Photo Researchers: 168 u.; British Library: 169 o.p.; Popofoto: 169 o.m., o.r., u., 172 o.r.; Stuart Franklin/Magnum: 169 m., 173 u.r.; „Die Amundsen Fotografien“/Georg Westermann Verlag: 170/171 o.; Ulstein Bilderdienst: 171 (3x); UPI/Bettmann Newsphotos: 171 m.u.; George Steinmetz: 172 u.; Colin Monteath: 173 o., u.l.

## GLOSSAR

NOAA/Nesdis/NRSC: 174; Charles Mason/Black Star: 175 o.; Ira Block: u.; Klaus D. Francke/Bildberg: 175 u.r.; A. Gow/CRREL: 176 o.r.(4x); Ben Osborne: 176 u.; Jean Vigne: 177 o.r.; B. & C. Alexander: 177 m., 178 s.; Fraser/SPL/Focus: 177 u.; Hans Madej/Bildberg: 179 o.; Ludolf Schulz/MPRI für Chemie: 179 u.; A. Bischoff/Institut für Plastologie: 179 u.r.; Steve Wilson/Entrepri: 180; A. Gordon + J. Comiso/Lamont-Doherty Geol Observatory/NASA: 181; Mit freudl. Genehmigung DLR: 182 L; Pavel Krutov: 182 r.; Kendall Whaling Museum: 183 o.r.

Seite 188: W. Curtsinger/Science Source/Photo Researchers

VORSCHAU  
W. Hubbel/Woodfin Camp/Focus

ZEICHNUNGEN/ILLUSTRATIONEN:  
Jörg Kühn/Rainer Droste: 24-27; Rainer Droste/CEO Grafik: 28, 38, 101, 140/141, 180, 183 u.; Holger Everling: 35, 82, 98, 99, 100, 129, 177, 179, 183 o.; Alfred Wegener Institut: 42, 44, 183 u.r.; Mit frdl. Genehmigung Werk Nobiskrug GmbH/Hovaldtswerke, Deutsche Werft AG: 48/49; J. LeMonnier/Natural History: 80; MPI für Meteorologie: 83; Spektrum der Wissenschaft: 110 (Jul 89), 111 (Feb 90)

Einem Teil der Auflage liegen Prospekte für Time Life und Gruner + Jahr AG & Co bei.

# ALTERSFORSCHUNG



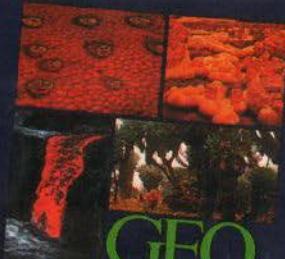
Warum altern wir? Was veranlaßt Moleküle und Zellen, Organe und Organismen ihre Funktionen irgendwann, wie von einer inneren Uhr gesteuert, einzuschränken? Ist Altern vermeidbarer Verschleiß oder unwiderrufliches Schicksal? Forscher, die jene Mechanismen zu durchschauen versuchen, stehen hoch im Kurs, denn das Durchschnittsalter der Bevölkerung westlicher Industrienationen scheint unaufhaltsam zu steigen, wäh-

rend Altsein noch mehr zum Makel wird. Dennoch hofft mancher Gerontologe, menschliches Leben grundsätzlich verlängern zu können. Selbst wenn dieser molekulare Jungbrunnen nie sprudeln wird, erwarten Statistiker, daß um das Jahr 2030 jeder vierte Europäer älter als 60 Jahre sein wird. Dies wird Folgen für jeden von uns, für die Medizin, die Wirtschaft und den Sozialstaat haben: Wie werden alt und jung miteinander auskommen?

Von der Wiege bis zur Bahre – Leben heißt Altern. Und die Zahl der Alten wächst. Schon heute zählt jeder fünfte Bundesbürger mehr als 60 Jahre. Nun haben Forscher einen Großangriff auf dieses zentrale Geheimnis der Biologie gestartet: Die Suche nach dem biochemischen Motor des unaufhaltsamen Zerfalls

# Die schönsten Seiten des Lesens. Von GEO.

## Geburt eines Ozeans



GEO

### Ein Kontinent zerbricht

Das aufregende Geschehen, wie ein Ozean entsteht, hat Uwe George auf mehreren Expeditionen beobachtet. Hier faßt er seine Erfahrungen und Erkenntnisse der modernen Wissenschaft zusammen. Ausgezeichnet mit dem Kodak-Fotobuchpreis.

Uwe George **Geburt eines Ozeans**

362 Seiten mit 278 farbigen Fotos, Leinen,  
DM 98,-.

### Begegnung mit Völkern, die es morgen nicht mehr gibt

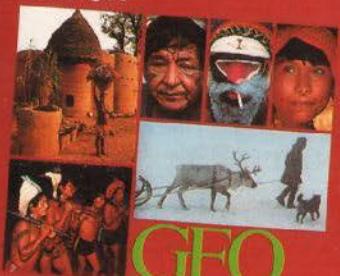
Dieser Band führt zu den letzten Naturvölkern unserer Zeit, zeigt ihr paradiesisches Dasein und beschreibt ihren Weg in den Untergang.

In Text und Bild ein aufrüttelndes Buch.  
Bökemeier/Friedel **Verlorene Menschen**

348 Seiten mit 268 farbigen Abbildungen,  
Leinen, DM 98,-.

## Rolf Bökemeier/Michael Friedel Verlorene Menschen

Begegnungen mit Völkern, die es morgen nicht mehr gibt



GEO

## Islam

KARL GÜNTER SIMON

Und alles  
in Allahs Namen



### Bedroht uns der Islam?

Kaum eine andere Religion hat heute soviel Einfluß auf das Weltgeschehen wie der Islam. Das Buch gibt einen tiefen Einblick in die arabische Seele.

Karl Günter Simon **Islam**

Und alles in Allahs Namen. 364 Seiten mit 315 farbigen Abbildungen, Leinen, DM 98,-.

### Die Erforschung des kosmischen Feuers

Ein Standardwerk, das die vielfältigen wissenschaftlichen Erkenntnisse über unser Zentralgestirn zusammenfaßt.

Joachim W. Ekrutt **Die Sonne**

368 Seiten mit 274 farbigen Fotos,  
Leinen, DM 98,-.

## Joachim W. Ekrutt Die Sonne

Die Erforschung des kosmischen Feuers



In jeder guten Buchhandlung erhältlich