

GEO

WISSEN

83406

Nr. 2 / Montag, 30. 11. 1987

DM 13,50

sfr 13,50; ös 100,-

KLIMA · WETTER · MENSCH

TREIBHÄUSEFFEKT

**Das
unheimliche Spiel
mit dem Feuer**

WETTERVORHERSAGE

**Die Megaflop-
Propheten**

HEILKLIMA

**Reizendes an
der Luft**

ERDGESCHICHTE

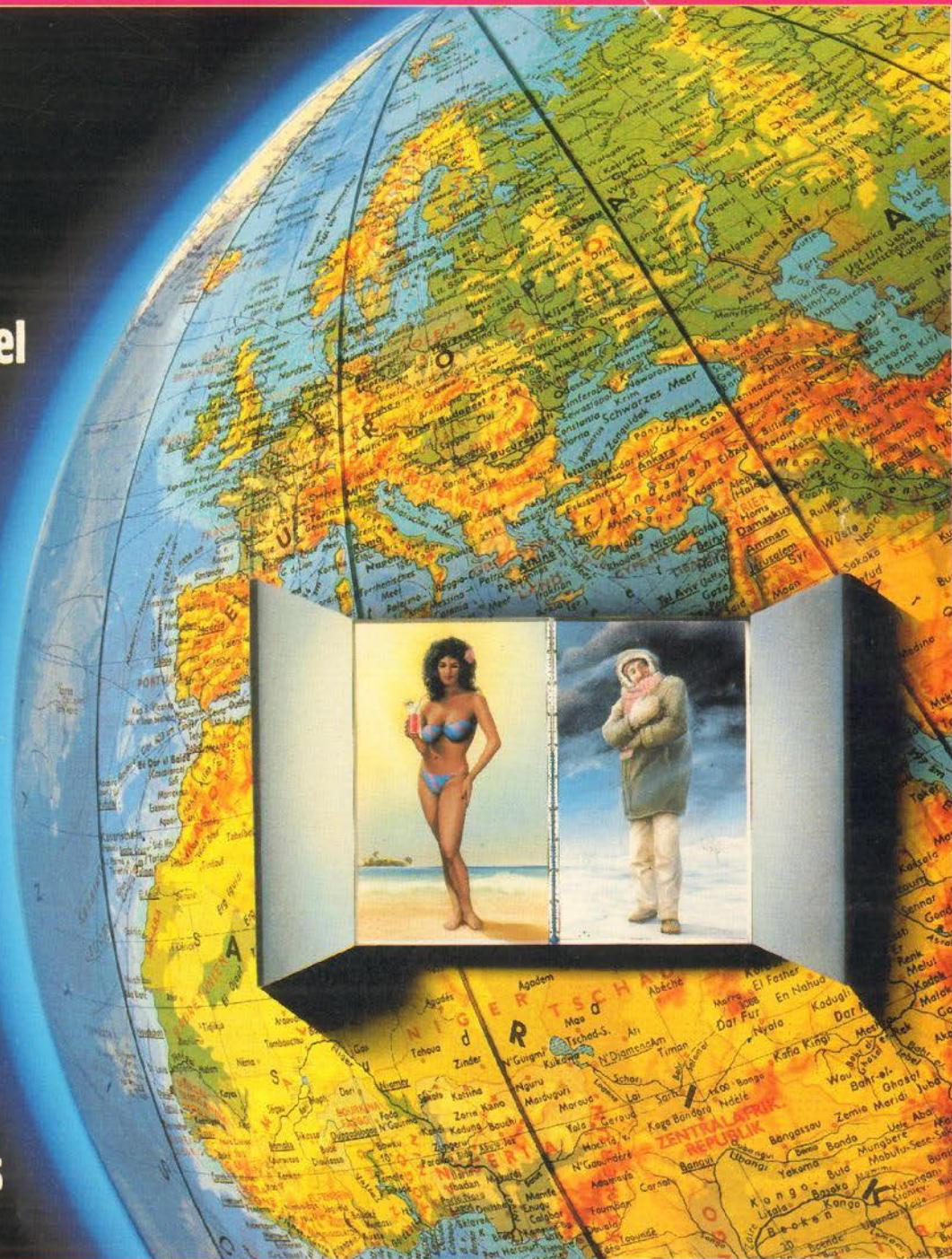
**Botschaften
aus der Eiszeit**

KLIMAANLAGEN

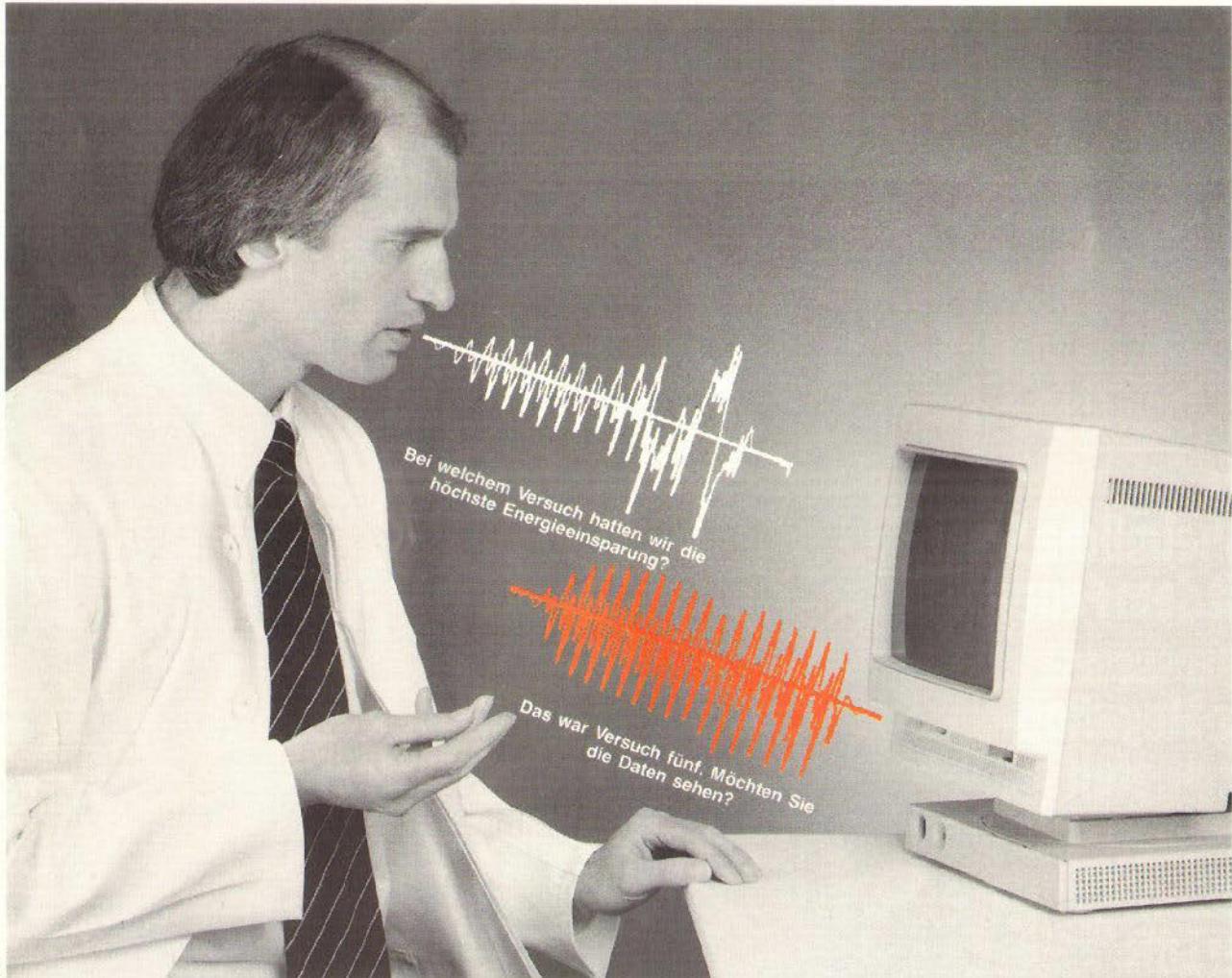
**Niemandsland
der Düfte**

ZUM BEISPIEL 1987

**Das Jahr, als das
Un-Wetter kam**



Ein Computer, mit dem man auch ohne Tastatur kommunizieren kann – in Hochdeutsch.



AEG entwickelt eine automatische Spracherkennung, mit der zukünftige Computer-Generationen korrekt auf gesprochene Anweisungen reagieren und antworten. Der Dialog mit Computern wird menschlicher.

Ein Erfolg innovativer Technik von AEG. Weitere:

 AEG bietet leistungs-fähige elektronische Systeme für den Umweltschutz. Vollautomatisch werden Schadstoffe in der Luft und im Wasser analysiert, meß-technisch aufbereitet und mit Grenzwerten verglichen. Prozeßabläufe in Abgasreinigungsanlagen für Kraftwerke, Müllverbrennungsanlagen und Wasseraufbereitungsanlagen werden durch Prozeßautomatisierungssysteme und Leittechnik exakt gesteuert.



In der Fertigung spielt Software eine wichtige Rolle: zuverlässige Programme garantieren reibungslosen Materialfluß, kostengünstige Automation. ProMod ist eine Entwicklungsumgebung für Software und macht sie zum Qualitätsprodukt: fehlerfrei, wartbar. ProMod ist integriert in den Beratungsservice des Systemhauses GEI, einer AEG Tochtergesellschaft.



Bei der M-Bahn, dem weltweit neuartigen Nahverkehrssystem, halten Magnete anstelle von Rädern die Fahrzeuge schwebend auf ihrer Bahn. Magnetfelder beschleunigen und bremsen die Fahrzeuge – ohne Lärm und Abgase. Das Betriebsführungs-, das Sicherungs- und das Energieversorgungssystem sowie die elektrische Fahrzeugausrüstung stammen von AEG.

AEG



lieber Jörg, lieber Jörg,

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

CHEFREDAKTEUR

Hermann Schreiber

CHEF VOM DIENST

Ernst Artur Albaum, Wolfgang Vollmert

ART DIRECTOR

Erwin Ehret

FOTOGRAFIE

Christian Breustedt

CHEFREPORTER

Peter-Matthias Gaede

TEXTREDAKTION

Dr. habil. Reinhard Breuer, Günter Haaf,

Dr. Erwin Lausch, Dr. Jürgen Neffe

BILDREDAKTION

Elke Ritterfeldt (Stellv. Leitung), Julianne Berensmann, Nele Braas, Venita Kaleps, Sabine Wuensch

LAYOUT

Franz Braun (Leitung), Peter Dasse, Johannes Dönges, Andreas Knoche, Andreas Krell, Peter Voigt

KARTOGRAPHIE: Günther Edelmann

SCHLUSSREDAKTION

Hans-Werner Kühl, Peter Jordan, Karsten Mehner, Hinnerk Seelhoff, Jens Utecht

DOKUMENTATION

Martin Boeckh

MITARBEITER

Bernhard Borgeest, Prof. Dr. Paul J. Crutzen, Prof. Dr. Hartmut Graßl, Prof. Dr. Hans Hinzpeter, Charlotte Kerner, Prof. Dr. Karin Labitzke, Reiner Luyken, Inge Maisch, Franz Mechler, Dr. Maufred Pietschmann

GEO-BILDARCHIV

Sybille Dürmeyer, Birgit Heller, Peter Müller

FARBIMPRIMATUR: Norbert Kunz

GEO-BÜROS

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

New York: Brigitte Barkley, 685 Third Avenue, 23st fl.; New York, N. Y. 10 017, Tel. (212) 599-4040/43/44/45

Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:

Günter Haaf

VERLAGSLEITER: Heiner Eggert

ANZEIGENLEITER: Rolf Grimm

(verantwortlich für Anzeigen)

VERTRIEBESLEITER: Udo Steinmetz

HERSTELLER: Bernd Zahn

GEO-Wissen-LESER-SERVICE

Gruner + Jahr AG & Co

Postfach 11 16 29, 2000 Hamburg 11

Postscheckkonto Hamburg 240 00-209

BLZ 200 100 20

Tel. 0 40/41 18 32 36

Schweiz: GEO-Wissen-Leser-Service

Seeburgstraße 18, 6002 Luzern

Tel. 0 41-31 37 41

Heftpreis: DM 13,50 inkl. MwSt.
Auslandspreise: Schweiz sfr 13,50; Österreich ös 100,-; übriges Ausland auf Anfrage.

© 1987 Gruner + Jahr, Hamburg

ISBN-Nr.: 3-570-06919-2

Anzeigenpreisliste Nr. 14 vom 1.1.1987.

Bankverbindung: Deutsche Bank AG, 2000 Hamburg 1, Konto-Nr. 03 22 800

Offsetdruck: FRITZ BUSCHE

Druckerei-Gesellschaft m.b.H., Dortmund

Das deutsche Klima", warnt Friedrich Nietzsche in seinem „Ecce Homo“, „ist ausreichend, um starke und selbst heroisch angelegte Eingeweide zu entmutigen . . .“ Und Nietzsches Freundfeind Richard Wagner spöttelte 1850 in seinem Essay „Kunst und Klima“ über des Deutschen Sehnsucht nach dem Südlichen: „Nun bringen wir diese, ihres schützenden und wärmenden Farbenschmucks beraubten (griechischen) Monamente, nackt und frosterstarrt in den christlichen germanischen Sand der Mark Brandenburg geschleppt, stellen sie zwischen die windigen Kiefern von Sanssouci auf, und klappern mit den Zähnen einen gelehrten Seufzer über die Ungunst des Klimas hervor.“

Inzwischen haben wir hierzulande gelernt, mit der Ungunst des Klimas etwas souveräner umzugehen: Wir können uns für ein paar Wochen unser Traumklima im Reisebüro kaufen, machen Winterferien im Sommer und Sommerferien im Winter. Wir heizen unsere Wohnungen, Büros und Autos thermostatreguliert oder kühlen sie gar, was selten genug wirklich nötig ist, auf genehmte Temperaturen herab. Wenn aber die Sonne einen ganzen Sommer lang über Hamburg kaum zu sehen ist, wenn am Gotthard nach „sintflutartigen Regenfällen“ gar nichts mehr geht, wenn Regionen kontinentalen Ausmaßes von Dürre überzogen werden, wenn Tornados den Tand der Technik zerfetzen, dann wird uns wieder bewußt, mit welcher Gewalt und Unausweichlichkeit die Vorgänge in der Erdatmosphäre unse-

rem Hochmut Kontra geben. Allerdings: Zum Schlimmsten hin beeinflussen können wir sie schon. Wir sind dabei, dieses gigantische System aus Sonnenlicht und Luft und Wasser, dem alles Leben und also auch wir Menschen die Existenz verdanken, aus dem Gleichgewicht zu hebeln – mit unserem rastlosen Wirtschaften und unserem Drang, es uns bequemer zu machen: Treibhaus-Klima und Ozonloch sind zwei Schlagworte dieses bislang „größten geophysikalischen Experiments“, des hochaktuellen Dramas, das eine Re-

volution aller wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse auf der Erde zur Folge haben könnte.

Dabei schicken wir uns an, etwas zu verändern, ohne genau zu wissen, was es ist. Immerhin konnten in jüngster Zeit wesentliche und überraschende Erkenntnisse über das Klima, das sich im Wetter oft so empfindlich äußert, gewonnen werden. Wir wissen heute, welche Sonderrolle die Erde im Kosmos spielt: Als einziger Planet des Sonnensystems hat sie eine Atmosphäre ausgebildet, die ein lebensfreundliches Klima zuläßt. Wir wissen heute eine Menge über die zahllosen Faktoren, die das Klima ausmachen – zumal über deren komplizierte Interdependenz. Wir wissen, daß das Klima – bei aller erstaunlichen Konstanz in den letzten zwei, drei Milliarden Jahren – niemals eine gegebene Größe war, sondern ein dynamischer Prozeß, den das irdische Leben selbst vermutlich entscheidend mitbestimmt hat und weiter mitbestimmt.

Aber je mehr Vermutungen zum gesicherten Wissen wurden, desto mehr Fragen stellten sich auch. Wir verschweigen sie nicht. Denn offene Fragen sind für meine Kollegen und mich – wie auch für jeden Wissenschaftler – oft sehr viel spannender als wohlfieile Antworten.

Übrigens: Die Premiere von GEO-Wissen, unser Heft über „Gehirn, Gefühl, Gedanken“, wurde mit solchem Applaus aufgenommen, daß es sehr rasch vergriffen war. Das Heft wird inzwischen nachgedruckt.

Herzlich Ihr

Günter Haaf
Günter Haaf



BILDESSAY

Das Drama mit dem Klima

Mit Regen und Sturm, Hitze und Frost zeigt das Klima seinen Charakter. Doch nie hat es solche Kapriolen geschlagen, daß irdisches Leben unmöglich geworden wäre. Jetzt beginnen Forscher, mit Hilfe ausgeklügelter Meßmethoden die Vorgänge zu verstehen, die wir Klima nennen. Seite 6



PORTRAIT

Auf den Spuren von Gaia

Das Erdklima ist erstaunlich gut auf die Bedürfnisse des Lebens abgestimmt. Bewirkt hat das nach der Theorie von James Lovelock das Leben selbst. Günter Haaf besuchte den englischen Forscher und Erfinder im Kreise seiner Familie. Seite 56



WUNSCHKLIMA

Der Traum von der Lust im Süden

Über die Sehnsucht der Nordländer nach Licht und Wärme und die mystische Attraktivität nördlicher Breiten reflektiert der deutsche Philosoph Ernst Bloch in seinem Hauptwerk »Das Prinzip Hoffnung«. Das Kapitel »Südland oder die Utopie Thule« ist abgedruckt auf Seite 92



HÖHENKLIMA

Zugzwang für die Lungen

Piloten wissen, wie gefährlich düne Luft sein kann: Sie trägt schlechter. Doch auch im täglichen Leben machen geringe Luftdichte und Sauerstoffmangel Menschen in großen Höhen zu schaffen - zumindest Europäern. Manfred Pietschmann mußte das in den Anden erfahren. Seite 134



TREIBHauseffekt

Das unheimliche Spiel mit dem Feuer

Die größte Umweltbedrohung für die Menschheit ist flüchtiger Natur: Es sind Gase, die, durch Aktivitäten des Menschen in der Atmosphäre angereichert, zu einer fatalen Erwärmung unseres Planeten führen können - zum »Treibhauseffekt«. Seite 24



KLIMAGESCHICHTE

Botschaften aus der Eiszeit

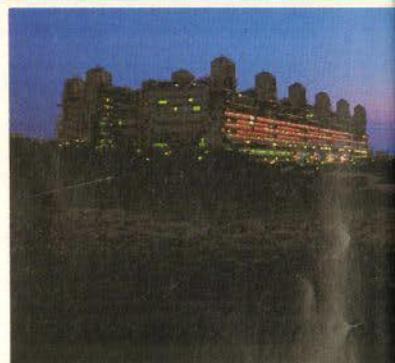
An altem Holz, in Höhlen und Korallenriffen, in der Tiefsee und in arktischen Gebieten finden Paläoklimatologen Belege, die ihnen über das Klima längst vergangener Tage Auskunft geben. Seite 62



KUNSTKLIMA

Die windige Burg

Eine der größten Klimaanlagen Europas atmet im Aachener Klinikum. Jürgen Neffe und Wolfgang Volz haben das Innenleben jener künstlichen Riesenlunge erkundet, deren Betreibern bei der Arbeit zugesehen - und sie haben Freud und Leid der Klimatisierten kennengelernt. Seite 96



WETTERVORHERSAGE

Propheten mit 800 Megaflops

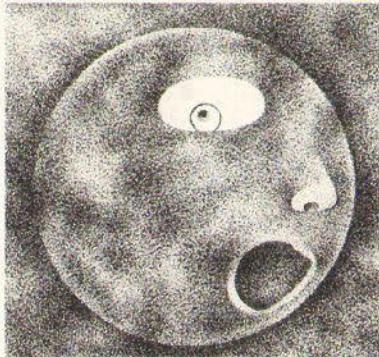
Nur mit immer schnelleren Rechenmaschinen sind immer bessere Wettervorhersagen möglich. Das europäische Wettervorhersagezentrum im englischen Reading speist Wetterdaten aus aller Welt in ein kompliziertes Modell, mit dem kommende Witterungen simuliert werden. Seite 146



OZONLOCH

Die sprühende Gefahr

Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe stehen im Verdacht, den schützenden Ozonschleier über unseren Köpfen zu zerstören. Das entscheidende Indiz zur Erhärting des Verdachts wurde jetzt gefunden: Chlormonoxid im antarktischen Ozonloch. Seite 40



ZUM BEISPIEL '87

Ein Jahr, das aus der Reihe tanzte

1987 fiel das Wetter aus dem langjährigen Mittel. Der Norden erschauerte unter endlosen Gewittern, im Süden schmorten die Menschen in Backofenhitze. Alpentäler wurden überschwemmt, und in Nordchilien brannten riesige Waldflächen. Seite 74



ARCHITEKTUR & KLIMA

Bauten gegen alle Wetter

Der nackte Affe Mensch ist ein klimatischer Anpassungskünstler. Ob auf Grönland aus Schnee, in Norwegen aus Holz, in Arabien aus Lehm oder auf Bali aus Palmwedeln: Aus den verfügbaren Rohstoffen hat er sich Behausungen mit erträglichem Mikroklima geschaffen. Seite 110



GLOSSAR

Von Absorption bis Zyklone

Wissenswertes über Hoch und Tief, Wolken und Ozeane, Stickoxide und Stadtklima. Was ist mit dem »nuklearen Winter«? Was haben Sonnenflecken mit der Eiszeit zu tun? Was bedeuten Albedo, Beaufort oder Temperaturgradient? Die wichtigsten Begriffe zu Klima und Wetter. Seite 156



PLANETENKLIMA

Unser unwahrscheinlicher Planet

Mars, Venus und Erde: Am Anfang waren ihre Atmosphären noch fast gleich. Doch bald ging die Erde ihre eigenen Wege – und entwickelte ein Klima, das im Kosmos nicht seinesgleichen hat. Seite 46



HEILKLIMA

Reizendes an der Luft

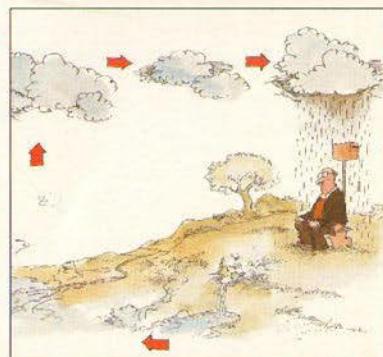
Schon Hippokrates maß den Winden besondere Bedeutung für die Heilkunst bei. Das gilt auch noch heute: In der Bundesrepublik gibt es 53 heilklimatische Kurorte. Aber: Hält der heilende Reiz des Klimas auch wissenschaftlicher Prüfung stand? Seite 134



FRAGEN

Enzyklopädie der Ignoranz

Auch für die Naturwissenschaftler ist Unbekanntes oft reizvoller als Bekanntes. Vier renommierte Meteorologen und Klimaforscher schreiben über offene Fragen ihres Spezialgebiets, über Grenzen der Erkenntnis und über den Stellenwert der bundesdeutschen Klimaforschung. Seite 170



DAS DRAMA MIT



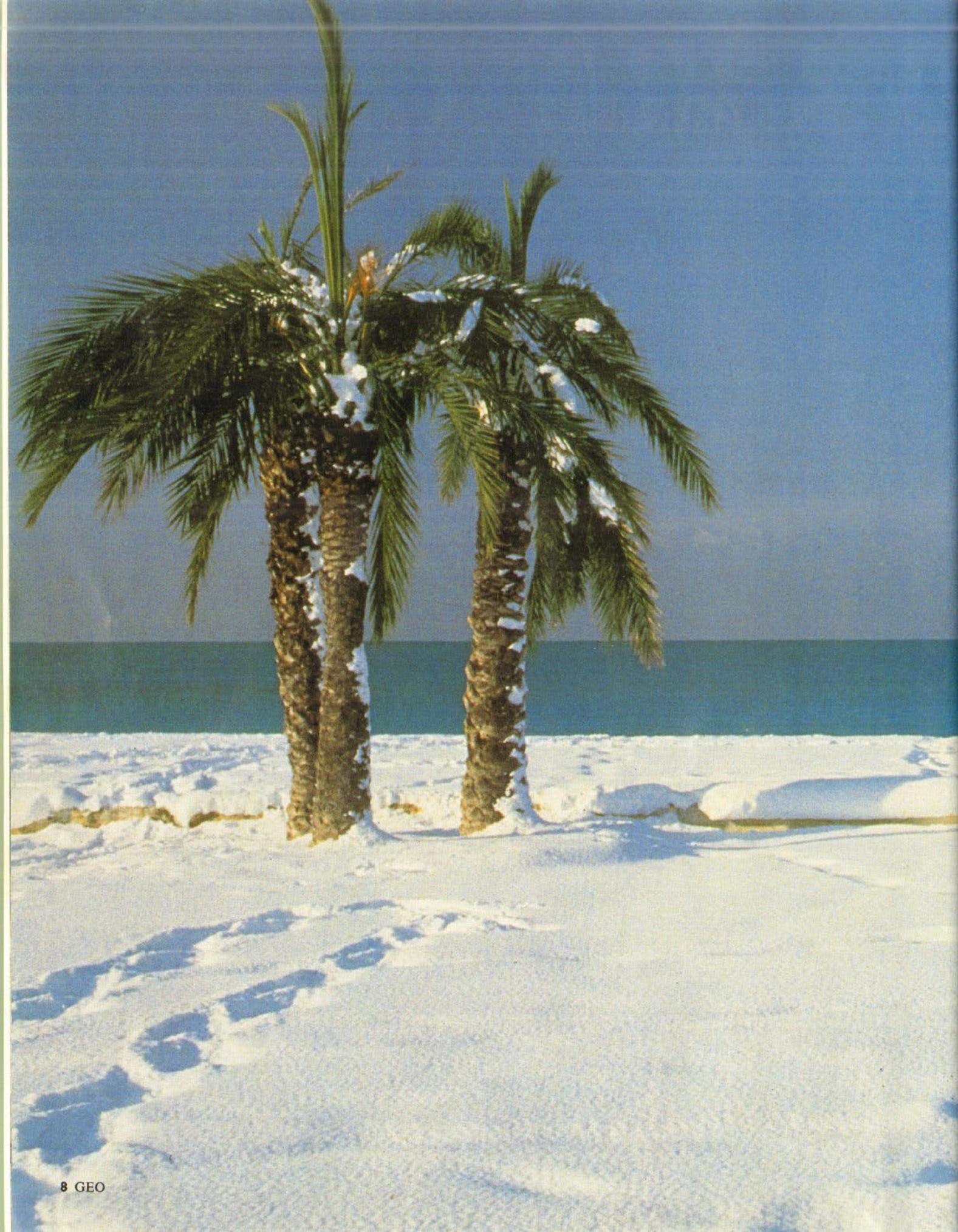
DEM KLIMA

Herrscht das, was wir ein Sauwetter nennen, dann ist das natürlich klimatisch bedingt. Ein Wetter allein macht freilich noch kein Klima. Dafür bedarf es deren viele, die sich im statistischen Mittelmaß der Jahre niederschlagen. Aber auch das Klima ist – über längere Zeiträume – wetterwendisch. Niemals jedoch hat es solche Kapriolen geschlagen, daß Leben auf der Erde un-

möglich geworden wäre – vermutlich auch deshalb, weil das Leben selbst regelnd ins Klimageschehen eingreift. Dies tut, in wachsendem Maße, auch der Mensch. Über Jahrtausenden hat sich der nackte Affe als klimatischer Anpassungskünstler erwiesen. Dennoch ist er – mit all seiner Technik – den Wettern oft machtlos ausgeliefert und muß vor Dürre, Überschwemmung, Sturm oder Frost kapitulieren. Auf der anderen Seite verändert er nicht zuletzt mit dem Abfall dieser Technik womöglich das Erdklima. Welche Folgen das haben kann, beginnen Wissenschaftler soeben zu verstehen

Im Wetter verrät das Klima seinen Charakter







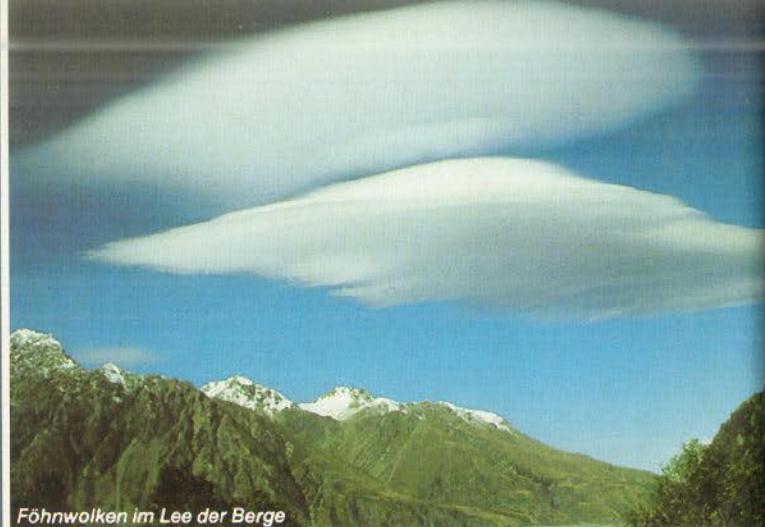
**Schnee unter
Palmen ist noch nicht
rekordverdächtig**



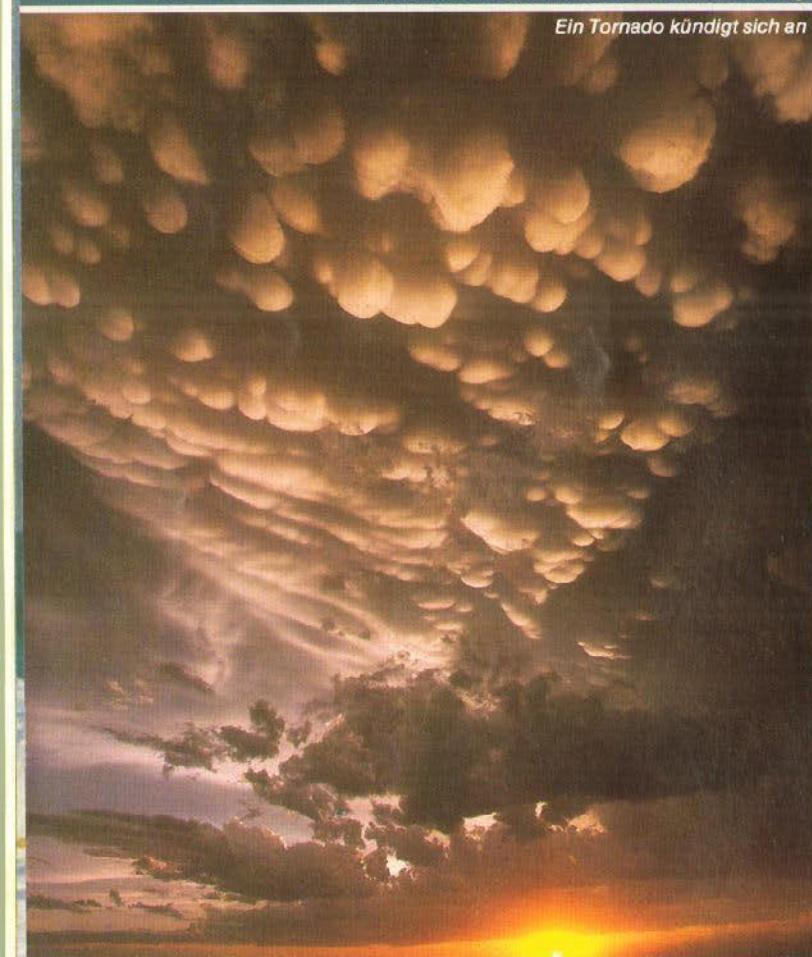
Wenn Nizza einmal weiße Weihnachten feiert oder Minneapolis im Eise erstarrt, dann werden gleich Vermutungen über Wetterrekorde laut. Doch meist zeigt ein Blick in die Chronik, daß alles schon da war. Wetterextreme verführen gleichwohl zur Annahme, das Klima insgesamt habe sich verändert. Doch erst wenn die Stadt Nizza einen Schneepflug kaufen muß, weil weiße Winter dort zur Regel geworden sind, lohnen sich solche Spekulationen



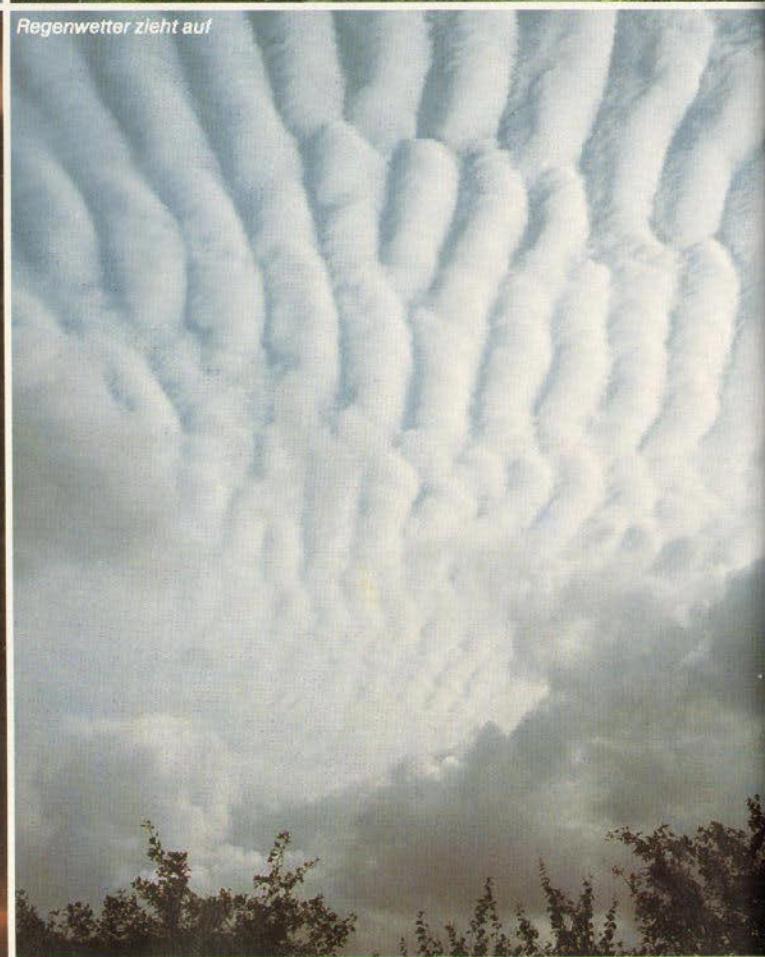
Irisierende Wolkenränder bei der Wolkenauflösung



Föhnwolken im Lee der Berge



Ein Tornado kündigt sich an



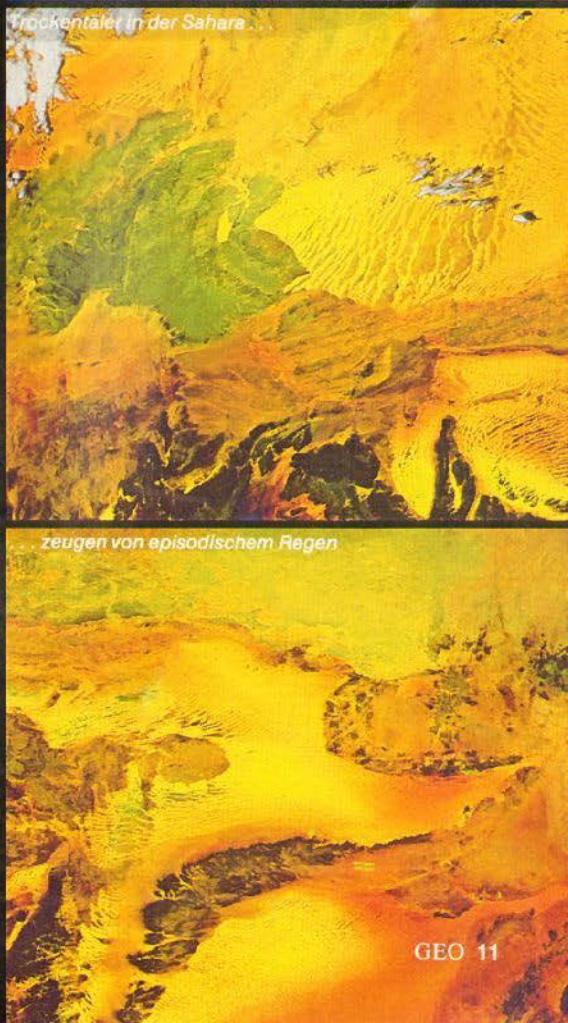
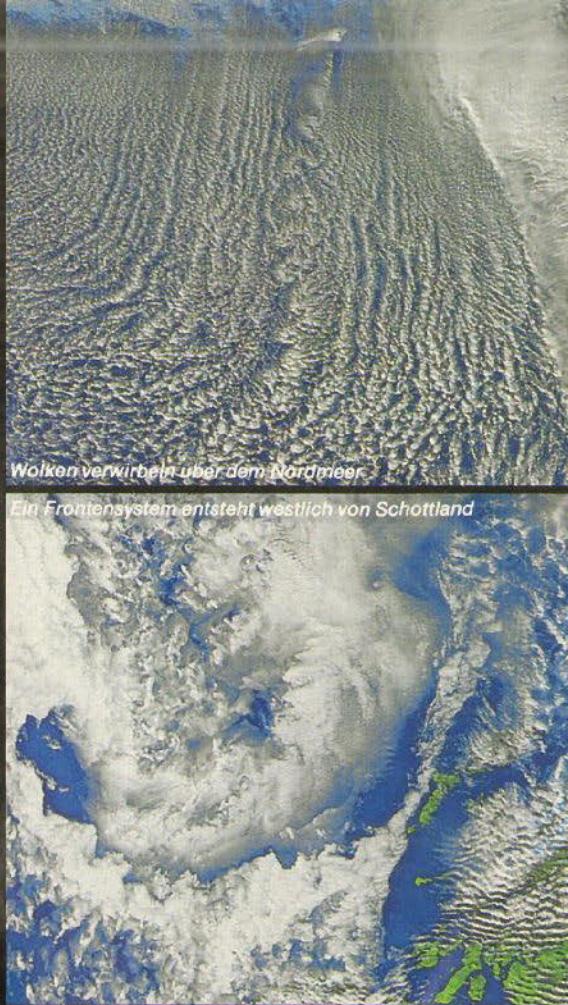
Regenwetter zieht auf

Die Zeichen des Himmels täuschen selten

Schon von jeher blicken die Menschen zum Himmel, wenn sie nährende Wetter abschätzen wollen. Denn auch ohne Meßinstrumente läßt sich allein an Form und Farbe der Wolken ein heranrückendes

Tief oder gar ein drohender Tornado ausmachen. Die Erscheinungen am Firmament sind ebenso aufschlußreich wie faszinierend. Wie bizarre Sprünge in schwarzem Porzellan durchzucken Blitze den Nachthimmel. Wolkenfelder wandern in Wirbeln über Meere und Kontinente. Und seit der Mensch in den Weltraum vorgedrungen ist, haben ihm Satellitenkameras völlig neue Wetterperspektiven eröffnet



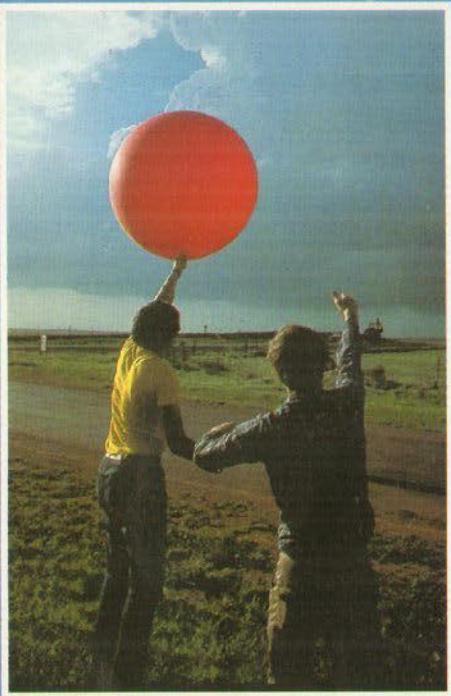


Wolken verwirbeln über dem Nordmeer

Ein Frontensystem entsteht westlich von Schottland

Trockentäler in der Sahara

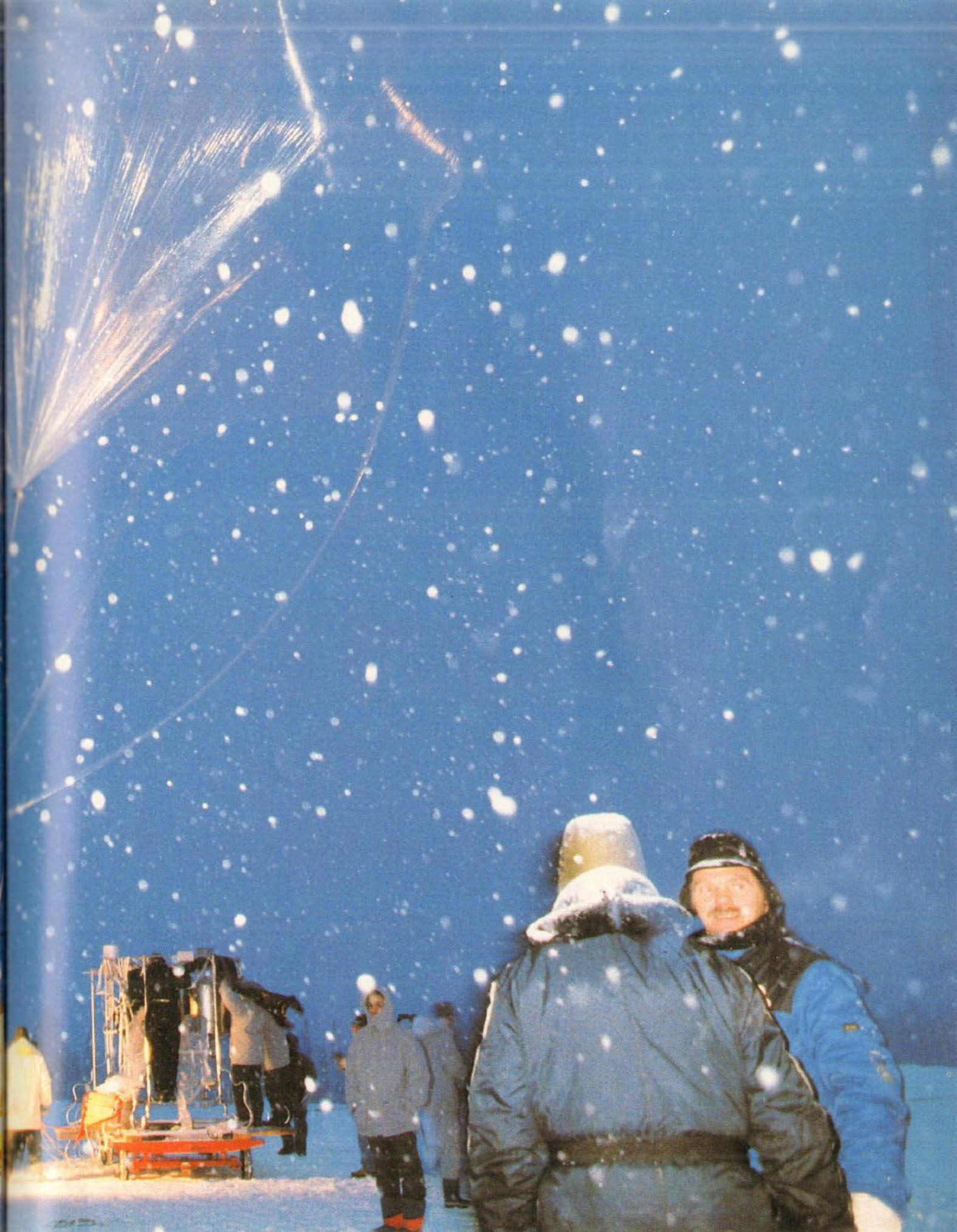
zeugen von episodischem Regen



Reise ins Chemicelabor der Lüfte

Wer sich für die Chemie der Luft interessiert, der muß bisweilen hoch hinaus: Mit Hilfe kleinerer Ballons wird das aktuelle Wettergeschehen beobachtet. Atmosphärenforscher vertrauen ihre Analysegeräte riesigen Heliumballons an, die sie bis zu 50 Kilometer hoch in die Stratosphäre steigen lassen. Dort entsteht in komplexen chemischen Reaktionen das Ozon, das einen Großteil der lebensbedrohenden Ultraviolett-Strahlung aus dem Sonnenlicht filtert. Analysen zeigen, daß Spurengase aus technischer Produktion den Ozon-Chemismus empfindlich stören





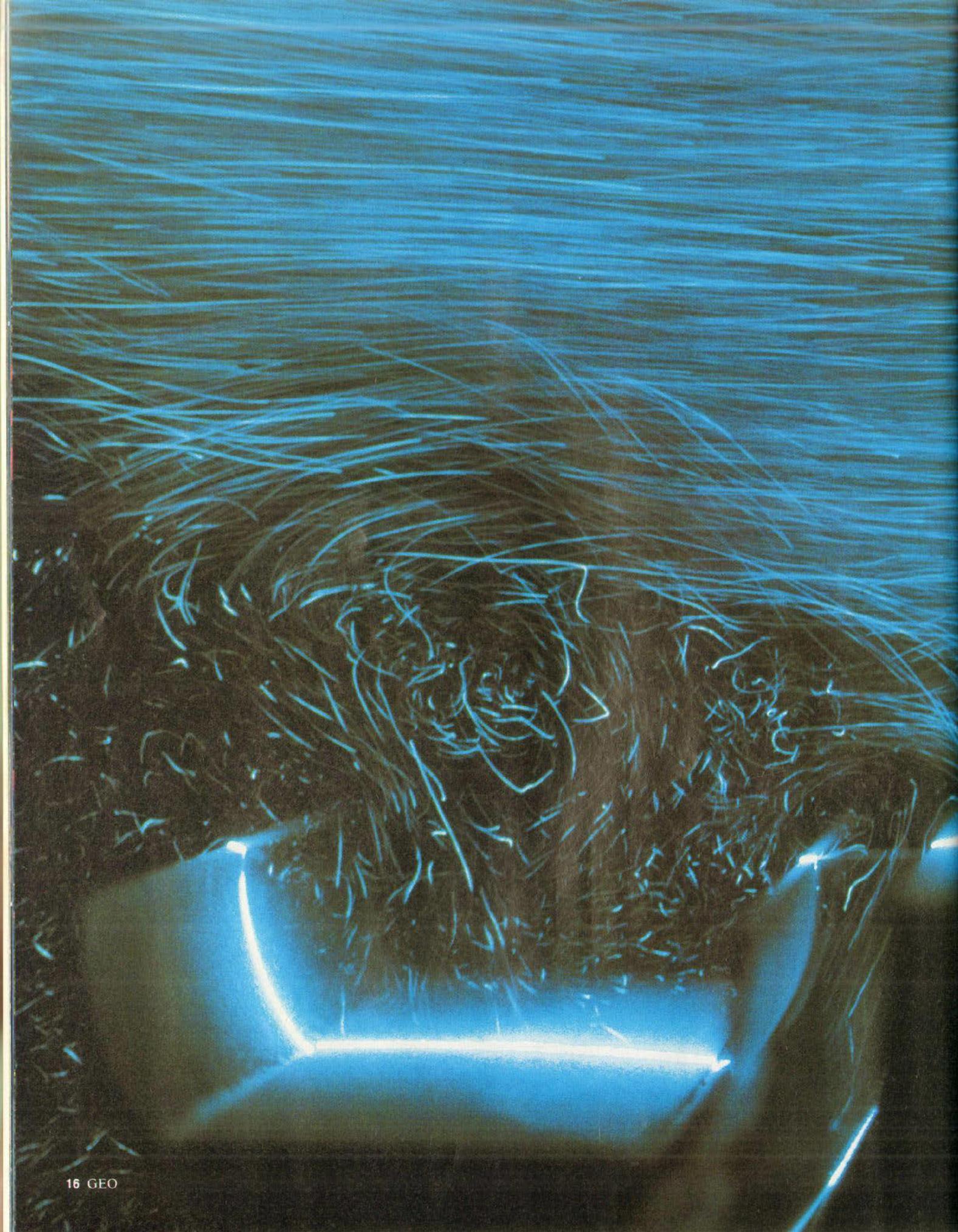


**Wenn die
Sonne in die Seele
scheint**

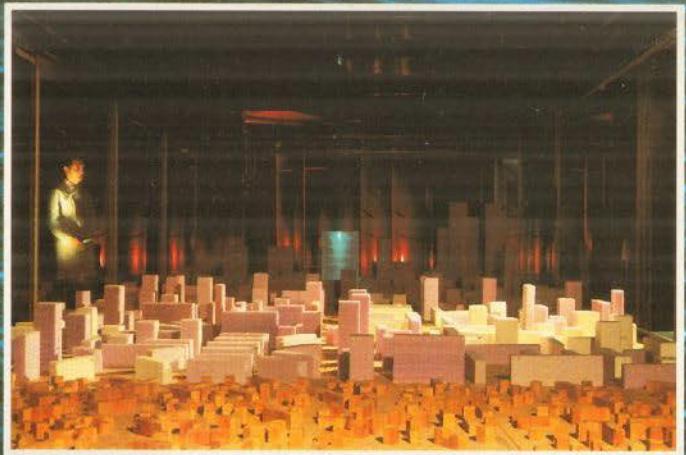


Üppig feiern die Weisen ihr Festival der Düfte und der Farben. Dem lebenspendenden Licht wachsen die Halme entgegen. Die Sonne scheint, und heiter lacht das Gemüt. Der Sommer ist gekommen. Und er wird wieder gehen. Im Wandel liegt der Reiz des Klimas in unseren gemäßigten Breiten. Die Jahreszeiten bauen dem Theater des Lebens immer neue Kulissen – Kreationen aus einem uralten Repertoire. Alles vergeht, und alles kehrt wieder. Wachsen und Ruhem folgen einander im Rhythmus der Jahre





Städte haben ihr eigenes Klima. In ihrem Innern ist es im Durchschnitt wärmer als vor ihren Toren. Scheint die Sonne, dann absorbieren Stein, Beton und Asphalt die Wärme. Städte haben auch ihre eigene Atmosphäre. Abgase mischen sich in die Luft, bei ungünstigem Wetter kann sich eine düstere Dunstglocke tagelang festsetzen. Und auch die Winde wehen in Städten anders: An Häusern und Türmen entstehen Turbulenzen. Im Windkanal lassen sich solche Verwirbelungen simulieren und optisch darstellen

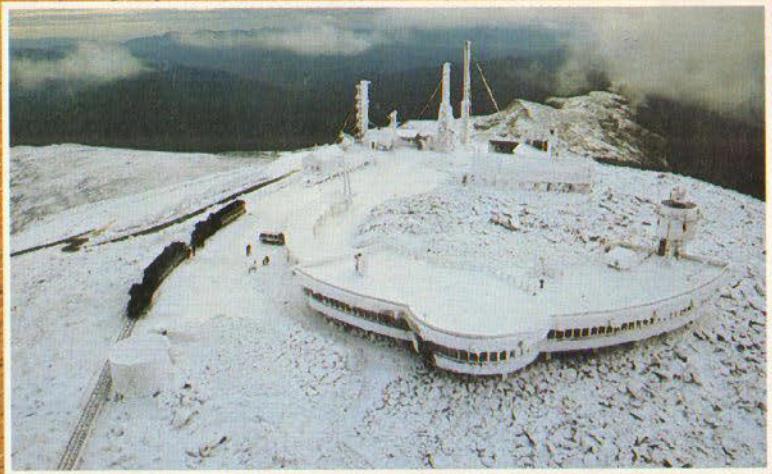


**Leben
in hausgemachten
Turbulenzen**

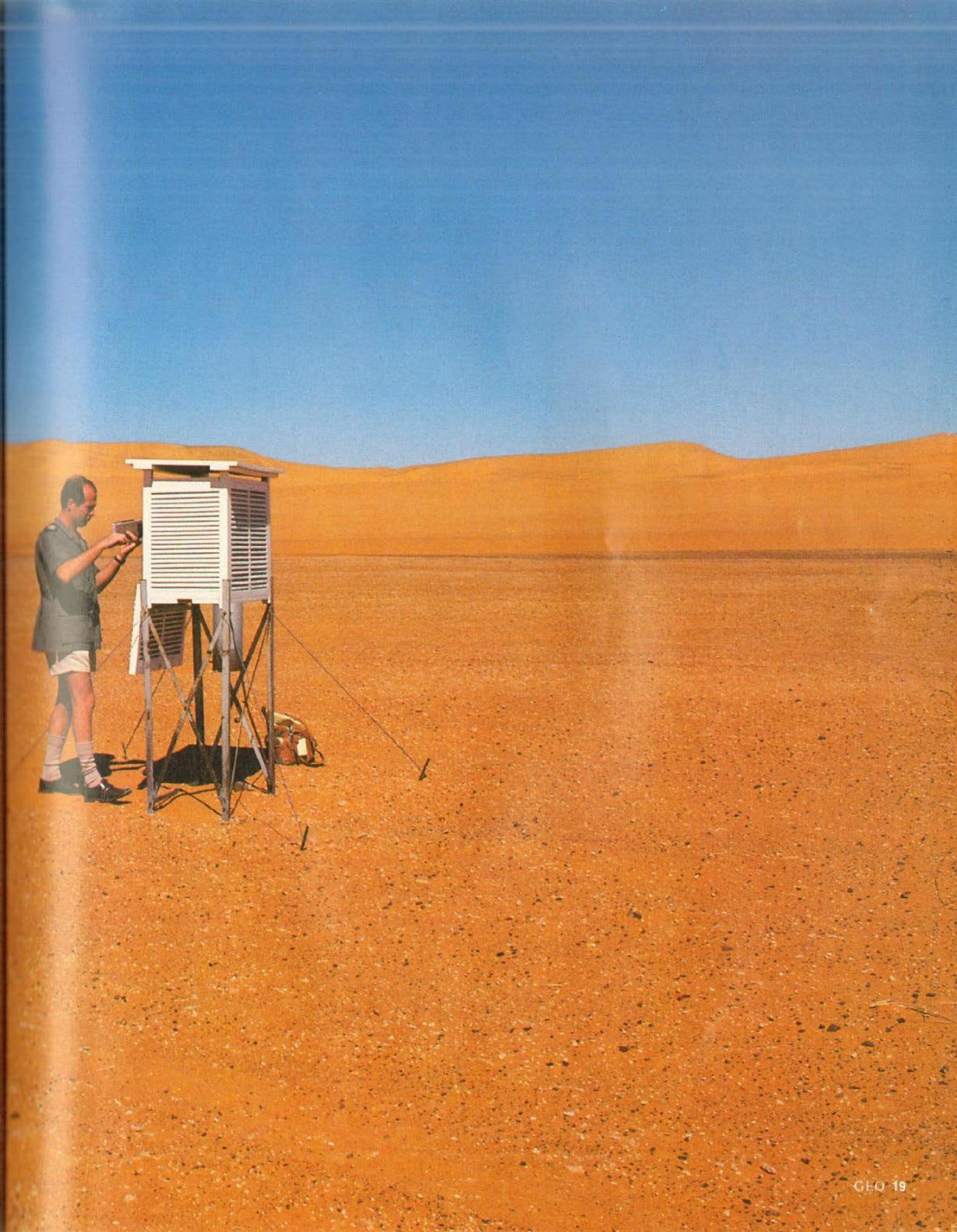


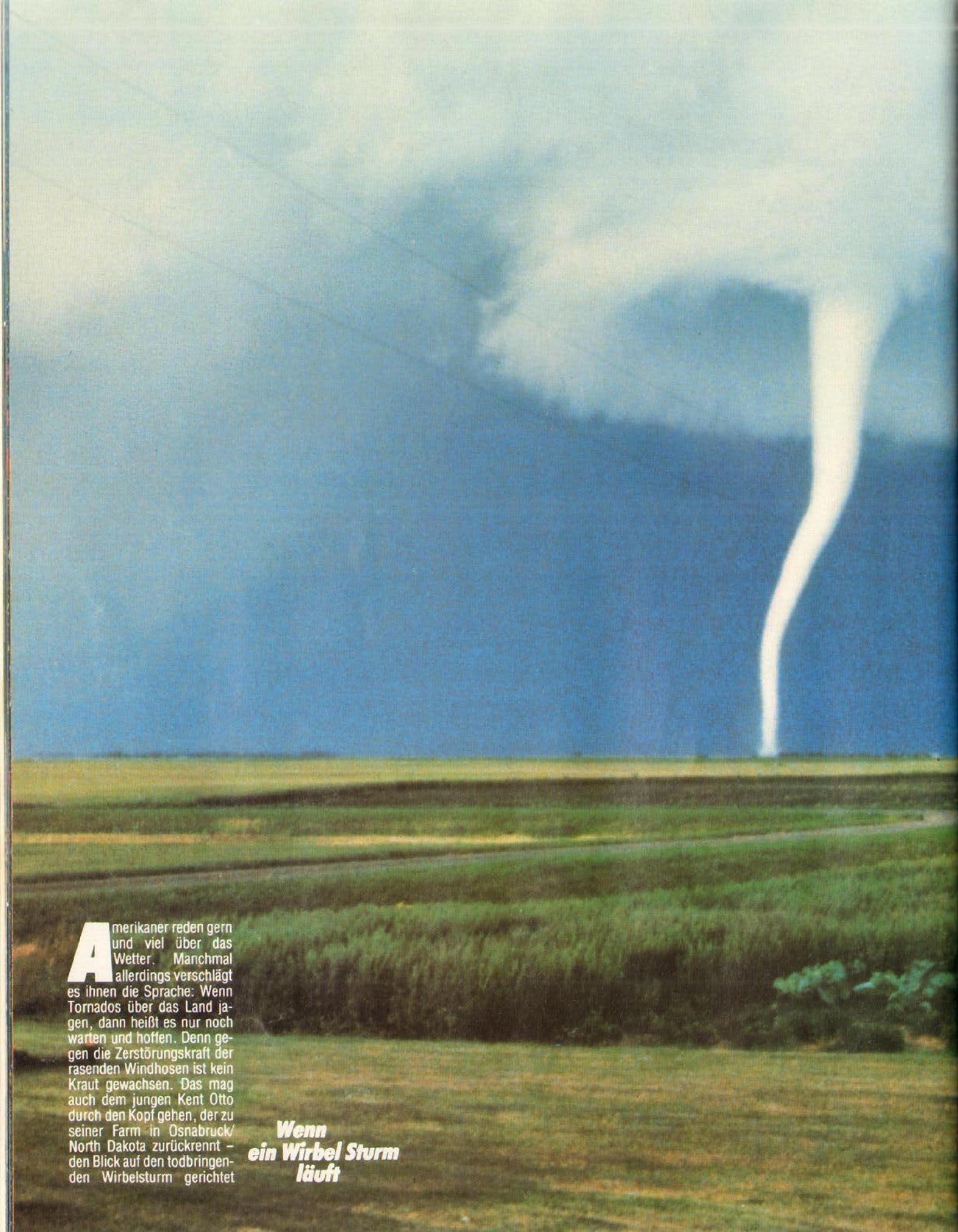


**Wetterforscher
auf der Jagd nach den
Extremen**



Die Jagd auf Klimarekorde hat ganzjährig Saison. Gesucht wird die höchste Temperatur, der kälteste Tag oder der heftigste Niederschlag. Eine der trockensten Wetterstationen der Erde steht in der südwestafrikanischen Namibwüste. Auf dem 1916 Meter hohen Mount Washington im Nordosten der USA haben sich Meteorologen einen Spähposten für widrige Wetter eingerichtet. Dort gibt es Eisregen, Schnee und Hagel, mitunter stürzen die Temperaturen dramatisch. Und 1934 wurde dort die absolut höchste Windgeschwindigkeit in Bodennähe gemessen: 428 Kilometer pro Stunde.





Amerikaner reden gern und viel über das Wetter. Manchmal allerdings verschlägt es ihnen die Sprache: Wenn Tornados über das Land jagen, dann heißt es nur noch warten und hoffen. Denn gegen die Zerstörungskraft der rasenden Windhosen ist kein Kraut gewachsen. Das mag auch dem jungen Kent Otto durch den Kopf gehen, der zu seiner Farm in Osnabrück/North Dakota zurückrennt – den Blick auf den todtbringenden Wirbelsturm gerichtet

**Wenn
ein Wirbel Sturm
läuft**



REINE SCHURWOLLE.
DAS GUTE
GEFÜHL.



KEINE KOMPROMISSE: WOLLE



SIEGEL

■ *Reine Schurwolle ist ein Versprechen. Sich wohl zu fühlen. Sicher. Überlegen in jeder Situation. Reine Schurwolle ist unmachahmlich. Und das Wollsiegel ist die Garantie für das alles.* ■ Internationales Woll-Sekretariat Düsseldorf - Wien - Zürich.

■ *Wollsiegel-Modelle der nachstehenden Hersteller gibt es in guten Fachgeschäften. Von links: Jacke und Rock - fallwick by Helmut Lang, Liechtensteinstr. 2, A-1090 Wien. Von rechts: Jacke und Rock - fallwick. Jacke und Hose - polo's for you, Mariahilfstr. 5, D-5000 Köln 1. Mantel und Hose - Schella Kamm, Singerstr. 6/2/8, A-1010 Wien.* ■ *Das Wollsiegel ist das offiziell anerkannte Gütezeichen (RAL) für Reine Schurwolle.*



Die größte Umweltbedrohung für die Menschheit kommt in flüchtiger Gestalt: Es sind Gase, die aus Scharnsteinen strömen, von Automotoren und Flugzeugdüsen ausgestoßen werden, aus Reisfeldern und Rindermägen entweichen, aus Kunstdünger freigesetzt werden, aus Spraydosen und Kühl anlagen in die Luft gelangen. Zwar sind sie nur als Spuren in der Atmosphäre enthalten. Dennoch führen sie, durch menschliche Aktivitäten weiter angereichert, zu einer fatalen Erwärmung unseres Planeten. Dieser »Treibhauseffekt« könnte weitreichende Klimaänderungen auslösen - mit katastrophalen Dürren in heute fruchtbaren Gebieten und verheerenden Überflutungen an den Küsten

Das unheimliche Spiel mit dem Feuer

TREIBHAUS-EFFEKT

F

VON ERWIN LAUSCH

für das, was die Menschheit mit der Lufthülle der Erde treibt, hat der amerikanische Meeresforscher und Klimatologe Roger Revelle einen treffenden Namen gefunden: das „größte geophysikalische Experiment“. Das Experiment läuft ab nach einem einfachen Konzept: Man jage soviel Kohlendioxid in die Luft, wie man kann, und warte ab, was passiert. Kohlendioxid, in chemischer Kurzform CO_2 , ist leicht zu erzeugen: Es entsteht reichlich bei jeglicher Art von Verbrennung, einerlei ob man Holz oder Kohle verfeuert, Erdöl oder Erdgas oder was sonst noch brennt.

Über die Konsequenzen haben schon 1827 der französische Mathematiker und Physiker Jean Baptiste Joseph Fourier und 1896 der schwedische Chemiker Svante Arrhenius nachgedacht. Bei steigendem CO_2 -Gehalt der Luft müßte sich, so sagten sie aufgrund ihrer Berechnungen voraus, die Atmosphäre erwärmen. Jahrzehntelang fanden diese Überlegungen kaum Beachtung. Doch heute besteht unter Experten kaum noch ein Zweifel, daß Fourier und Arrhenius recht hatten.

„Es wird auf jeden Fall wärmer werden“, faßte Peter Usher, Meteorologe bei UNEP, dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen, den Stand der Erkenntnis zusammen, „die Frage ist nur, wann und wie sehr.“ Schon geringe Temperaturerhöhungen reichen allemal aus, die Lebensbedingungen auf der Erde drastisch zu verändern, wie die für die Zukunft errechneten Ergebnisse hochkomplizierter „Klimamodelle“ nahelegen. Bei einer Verdoppelung des CO_2 -Gehalts in der Luft könnte es auf der Erde wärmer werden als in mindestens 100 000 Jahren zuvor – und das schon in wenigen Jahrzehnten.

Doch damit nicht genug: Die Forscher entdeckten, daß die Menschheit nicht nur ein einziges „größtes geophysikalisches Experiment“ in der Atmosphäre angezettelt hat. Nicht allein der Kohlendioxidgehalt wird ständig größer, sondern auch der anderer Gase mit ähnlicher Wirkung. Solche „Spurengase“, nur in sehr geringen Anteilen in der Luft enthalten, stammen aus vielerlei Quellen. Verursacher der verstärkten Emission auch dieser Gase – mögen sie nun aus Reisfeldern oder Rindermägen entweichen, aus Kunstdünger freigesetzt werden oder aus Spraydosen und Klimaanlagen in die Luft gelangen – ist letztlich wieder der Mensch. Halten die Zuwachsrate dieser Gase in der Atmosphäre an, könnte die durchschnittliche Temperatur am Erdboden dadurch

noch einmal etwa ebenso stark steigen wie durch das Kohlendioxid allein.

Was zum Klimawandel führt, vollzieht sich schleichend: Weder bedarf es spektakulärer Zwischenfälle noch unheimlicher neuer Techniken. Zur Bedrohung geworden sind überwiegend simple Naturprodukte, die auch ohne Zutun des Menschen in der irdischen Atmosphäre vorkommen. Aber wie üblich kommt es auf die Dosis an. Nach den Berechnungen einer Gruppe von Klimatologen an der Universität von East Anglia im englischen Norwich ist die Durchschnittstemperatur auf der Erde bereits deutlich gestiegen: seit 1861 um 0,7 Grad. Die Jahre 1980, 1981 und 1983 waren die wärmsten in über 120 Jahren.

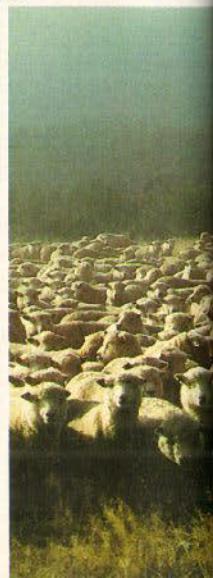
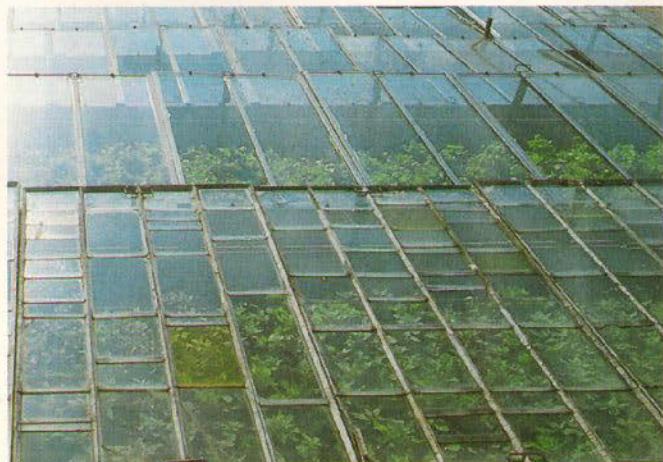
Freilich: Das Klima ändert sich auch ohne Eingriff des Menschen, und noch liegt die Erwärmung im Rahmen von Schwankungen, die in historischer Zeit beobachtet wurden. Doch schon in ein bis zwei Jahrzehnten kann die Temperatur derart gestiegen sein, daß eine Beeinflussung des Weltklimas durch den Menschen nicht mehr zu bestreiten ist. Klimatologen in aller Welt bemühen sich, im „Klimarauschen“ möglichst frühzeitig zu entdecken, was sie bedeutungsschwer „das Signal“ nennen.

Kühler Sommer und feuchtkalter Winter überdrüssig, mag sich mancher fragen, was denn so schlimm daran sein kann, wenn es wärmer wird. Unbestritten dürfte ein wärmeres Klima das Leben vielerorts angenehmer machen, in weiten Gebieten der Erde überhaupt erst eine Existenzgrundlage schaffen. Doch schwerer wiegt, daß eine Erwärmung im vorhergesagten Ausmaß in anderen Regionen verheerende Folgen hätte, von denen sich auch die Bewohner begünstigter Gebiete nicht isolieren könnten.

Denn mit den Temperaturen, und folgenreicher noch als diese, wird sich nach den Modellrechnungen die Verteilung

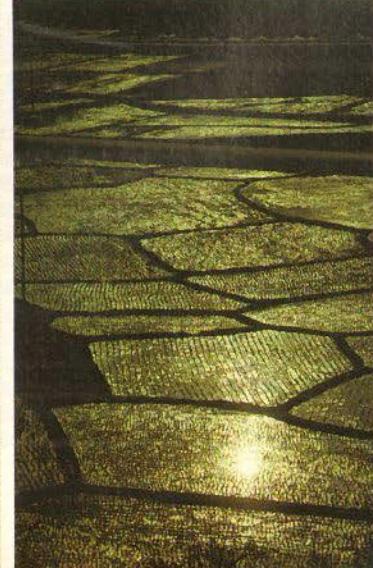
Ähnlich wie die Glasscheiben eines Treibhauses für die Erwärmung der eingeschlossenen Luft sorgen, führen auch bestimmte Gase zur Aufheizung der Atmosphäre. Dazu zählt das „Sumpfgas“ Methan. Es bildet sich bei der Zersetzung von organischer Materie unter Luftabschluß – so auch in Rinder- und Schafsmägen, wo Bakterien sonst unverdauliche Bestandteile der pflanzlichen Nahrung zerlegen. Heute strömt so viel Methan aus Müllhalden, Reisfeldern und Wiederkäermägen in die Atmosphäre, daß sein Anteil weltweit steigt. Und je mehr die Weltbevölkerung wächst, desto mehr Deponien, Reisfelder und Viehherden gibt es, die Methan in die Atmosphäre schicken

Sumpfgas aus Re





feldern und Rindermägen: Die Bevölkerungsexplosion verändert das Klima



der Niederschläge auf der Erde ändern. Heute fruchtbare Regionen könnten ausdörren, zu Hungergebieten verkommen. Wenn das Eis zunehmend schmilzt, zunächst die Gletscher in den Gebirgen und später die Inlandeismassen Grönlands und schließlich auch der Antarktis, steigt der Meeresspiegel, und weite Küstengebiete, vielfach besonders dicht besiedelt, versinken im Wasser. Hunderte von Millionen Menschen brauchen dann, von Wasserarmut oder Überflutung vertrieben, eine neue Heimat.

Nur die größten Optimisten können annehmen, daß jene Länder, die von verhängnisvollen Folgen verschont bleiben, die Opfer mit offenen Armen empfangen werden. Historische Erfahrungen lassen das Gegenteil befürchten: Unruhen und Konfrontationen weltweit, erbitterte Auseinandersetzungen zwischen Verlierern und Gewinnern, am Ende eine tiefgreifende Gefährdung der gegenwärtigen, im ganzen recht und schlecht funktionierenden Weltordnung. Solche Perspektiven vor allem lassen die befürchtete Erwärmung zu einer beispiellosen Gefahr werden, zur – vom Atomkrieg abgesehen – größten Bedrohung für die Menschheit.

Die Politiker nehmen die größte Umweltbedrohung kaum zur Kenntnis

„Von der Aussicht auf einen weltweiten Klimawandel“, so schrieb schon vor Jahren George Woodwell vom Marine Biological Laboratory in Woods Hole im US-Staat Massachusetts, „kann nahezu kein Aspekt der nationalen und internationalen Politik unberührt bleiben.“ Aber noch geben sich die Politiker gelassen. Sie fördern zwar Forschungsprojekte, aber nehmen die Ergebnisse kaum ernsthaft zur Kenntnis. „Kern des Problems ist“, so erläuterten Forscher des Oak Ridge National Laboratory in den USA, „ein von Menschen ausgelöster Klimawandel, der zu allmählich eintritt, um entdeckt zu werden, bevor er weit fortgeschritten ist; der zu weit fortgeschritten ist, um zum Zeitpunkt der Entdeckung noch gestoppt zu werden.“

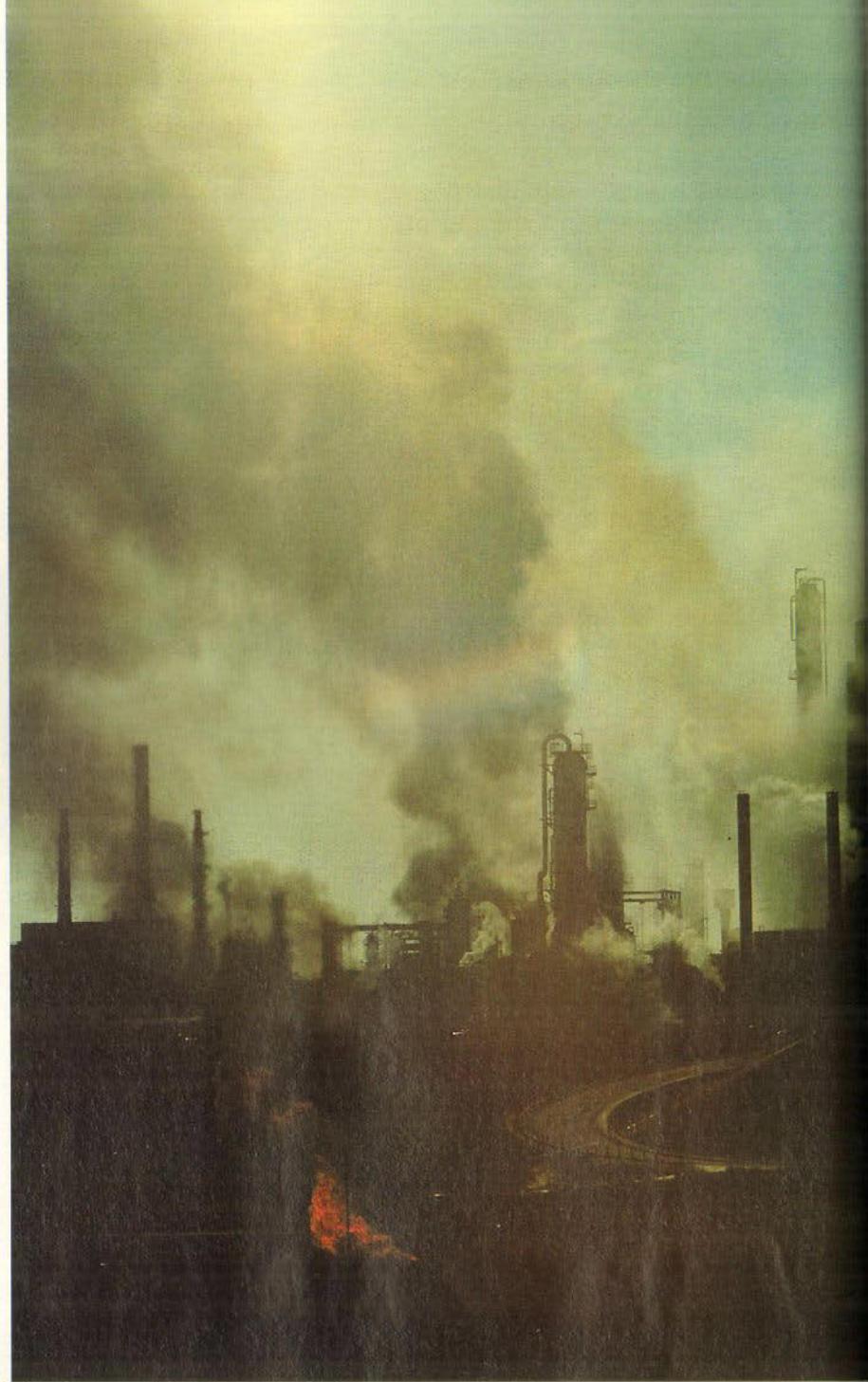
Zugegeben, der Fall ist kompliziert. Die Schwierigkeiten beginnen schon mit den Vorstellungen darüber, was Klima ist. Das Wort bedeutet „Abhang, Neigung“. In der Antike war damit auch der unterschiedliche Einstrahlungswinkel der Sonne gemeint, von dem in groben Zügen die Temperatur in den verschiedenen Klimagürteln abhängt: Steht die Sonne hoch, gelangt mehr Energie pro Flächeneinheit zur Erde als bei flachem Einstrahlungswinkel.

Nach neuerem Verständnis handelt es sich beim Klima in erster grober Annäherung um einen Durchschnitt des Wetters. Gutes oder schlechtes Wetter hält einen oder wenige Tage an, vielleicht nur Stun-

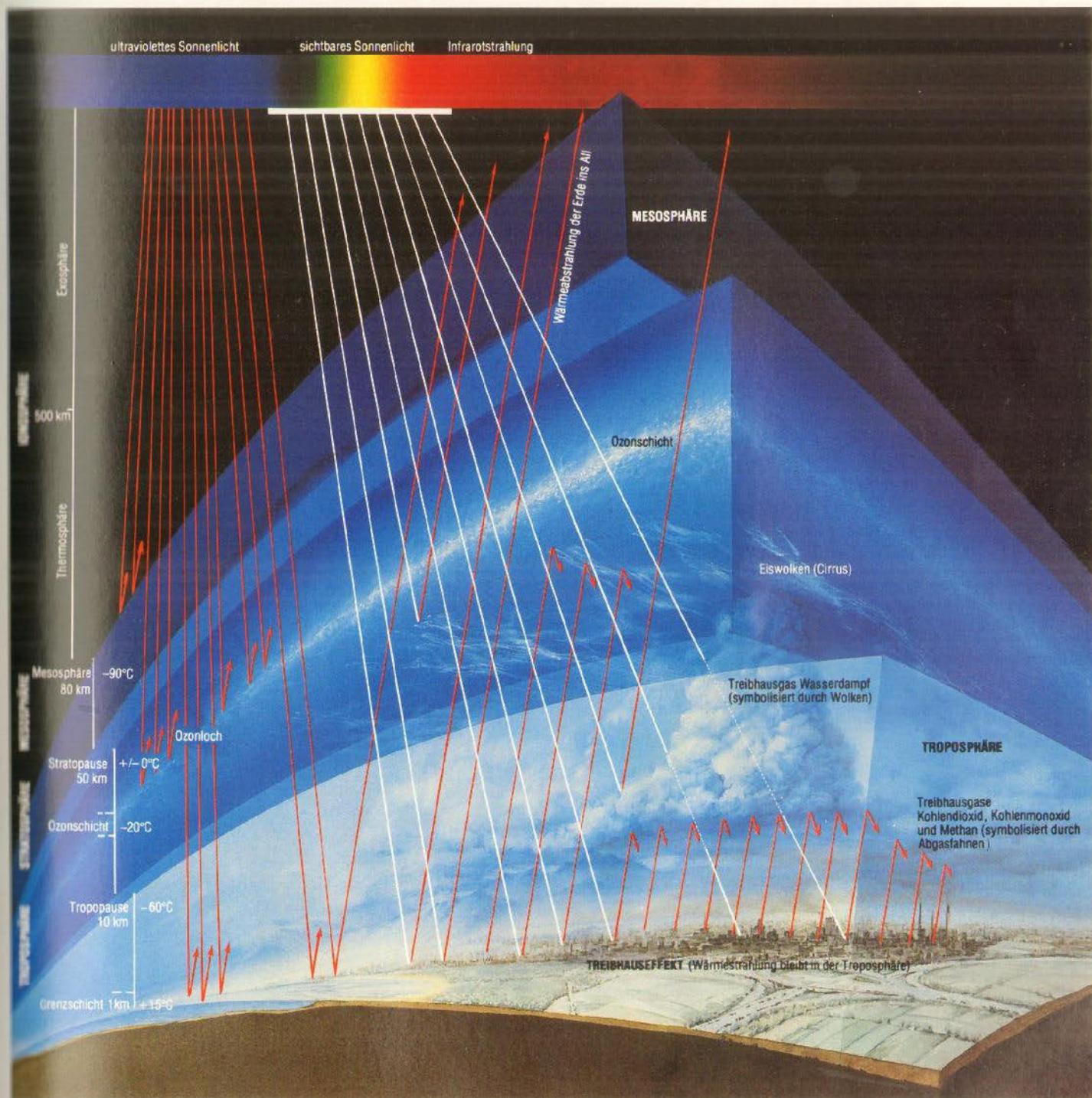
den. Die Wetterlagen mehrerer Tage – bis zu einer Jahreszeit – werden als Witterung zusammengefaßt. Was in der Zussammenschaub darüher hinausgeht, ist Klima. „Unter Klima verstehen wir“, definierte etwa der deutsche Meteorologe Wladimir Köppen 1923, „den mittleren Zustand und gewöhnlichen Verlauf der Witterung an einem gegebenen Orte.“

Mit einer derart allgemeinen Definition ist jedoch, wollen die Wissenschaftler etwa Klimaschwankungen erfassen,

wenig anzufangen. Denn „an einem gegebenen Orte“ können je nach Betrachtungsweise vielerlei und sehr unterschiedliche Klima herrschen. Für das Kleinklima im Umkreis von einigen Metern ergeben sich andere Werte als für großräumigere Klima, für das Landschafts-, das Zonen- oder das globale Klima, das die ganze Erde umfaßt. Ähnlich ist es mit den Zeitmaßstäben: Je nachdem wie viele Jahre ein Klimatologe seinen Berechnungen zugrunde legt – etwa 10, 100 oder



Die Erde leide



an Verdauungsstörungen. Alles was brennt, wird zum Übel



Kohlendioxid, das normale Endprodukt jeglicher Verbrennung, trägt am stärksten zu dem Treibhauseffekt bei, der das Klima auf der Erde tiefgreifend zu verändern droht. Knapp 20 Milliarden Tonnen dieses Gases werden jährlich beim Verfeuern von Holz,

Kohle, Erdöl und Erdgas freigesetzt und in die Luft geblasen. Der Treibhauseffekt wirkt sich zum allergrößten Teil im untersten Stockwerk der Atmosphäre aus, in der Troposphäre: Hier läuft unser alltägliches Wettergeschehen ab.

1000 Jahre -, erfaßt er in unterschiedlichem Ausmaß teils kurz-, teils langfristige Schwankungen und kann so zu recht unterschiedlichen Werten gelangen.

Auf der Spur des durchschnittlichen Wetters begnügten sich frühere Generationen von Forschern damit, die „klassischen“ Klima-Elemente in der Atmosphäre aufzuzeichnen: Lufttemperatur, Niederschlagsmenge, Luftdruck, Luftfeuchte, Wind, Sonnenscheindauer. Für eingehendere Analysen jedoch genügt das längst nicht mehr. Die Atmosphäre ist kein isoliertes System. Sie ist mit den anderen Sphären der Erde eng verbunden: mit den Gewässern (Hydrosphäre), den Landflächen (Lithosphäre), den von Eis und Schnee bedeckten Gebieten (Kryosphäre) und den Lebewesen, besonders der Pflanzenwelt (Biosphäre).

**Für das Klima ist
nicht nur wichtig, was sich
in der Atmosphäre tut**

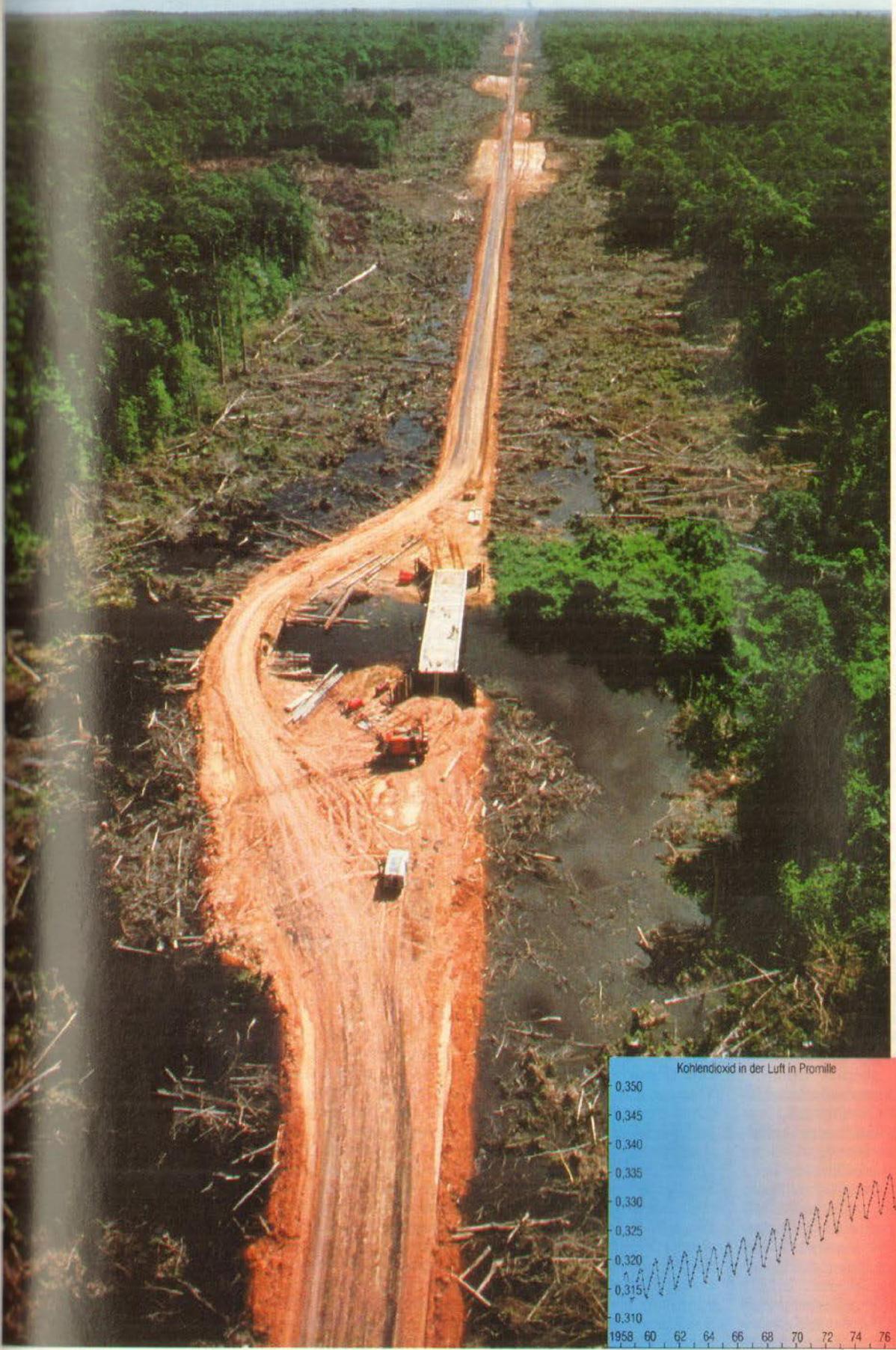
Je nach Beschaffenheit der Erdoberfläche wird die von der Sonne eingestrahlte Energie in ganz unterschiedlichem Ausmaß festgehalten oder zurückgeworfen. Die Meere reflektieren nur drei bis zehn Prozent des eingefallenen Lichts, Wiesen und Felder 12 bis 30 Prozent, eine geschlossene Wolkendecke 45 bis 80 Prozent, eine Neuschneedecke 75 bis 90 Prozent. Wasserflächen speichern viel größere Wärmemengen als Land- oder Eisflächen und können so an die darüber liegende Atmosphäre auch viel mehr Wärme abgeben.

In großem Ausmaß transportieren Luft- und Meeresströmungen aus äquatornahen Meeresgebieten gewaltige Energiemengen polwärts, die den von der Sonne weniger begünstigten Regionen zugute kommen. Mitteleuropa beispielsweise wäre ohne eine derartige Zusatzheizung, ohne Golfstrom und westliche Winde, ein unwirtliches Land wie Labrador mit der gleichen geografischen Breite auf der anderen Seite des Atlantischen Ozeans.

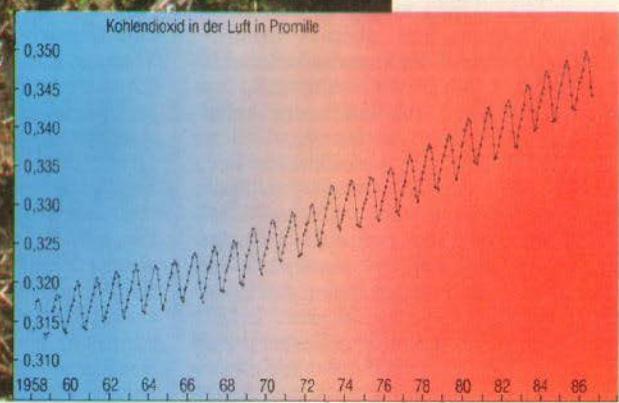
Aus den Ozeanen steigt, getrieben von der eingestrahlten Sonnenenergie, der größte Teil der Wassermengen, die über Land niedergehen, in die Atmosphäre auf – 350 000 Kubikkilometer Wasser verdunsten alljährlich aus den Meeren. Doch auch Vegetation und Eisflächen tragen durch Verdunstung zu den Niederschlägen bei. Andererseits: Ausreichender Niederschlag bedarf es, damit Leben gedeihen kann und die Eisflächen auf der Erde erhalten bleiben. Schrumpft etwa das Eis, reflektiert das nun nicht mehr gleißende Gebiet weitaus weniger der eingestrahlten Sonnenenergie, und dadurch wird die Erwärmung weiter verstärkt.

„Alles hängt mit allem zusammen“, stöhnen Klimatologen angesichts der viel-





Jahr für Jahr fallen tropische Urwälder – von der Fläche Bayerns und Baden-Württembergs zusammen – der Säge und dem Feuer zum Opfer. Der Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre wird dadurch auf zweifache Weise gefördert: Zum einen wird beim Verbrennen massenhaft Kohlendioxid in die Luft gejagt, zum anderen eine üppige Vegetation zerstört, die dazu beigetragen hätte, Kohlendioxid erneut aus der Luft zu binden. Wie sehr der Kohlendioxid-Gehalt in der Atmosphäre zunimmt, zeigen Messungen, die seit 1958 regelmäßig am über 4000 Meter hohen Vulkan Mauna Loa auf Hawaii vorgenommen werden. Jeder Punkt gibt den Durchschnittswert für Kohlendioxid im Laufe eines Monats an. Das saisonale Wachstum der Pflanzen lässt die Kurve jeweils vom Frühjahr bis zum Herbst zurückfallen und im Winter weiter ansteigen – bislang jedes Jahr höher



Wälder werden vernichtet, und die Fieberkurve der Erde steigt weiter an

fältigen Beziehungen zwischen den so verschiedenenartigen Sphären. Meteorologen, die sich nur um das augenblickliche Wettergeschehen kümmern, können sich darauf beschränken, die Vorgänge in der Atmosphäre zu beobachten. Einflüsse der anderen Sphären schwanken kaum in den kurzen Zeiträumen, in denen Wettervorgänge ablaufen. Beim Klima aber geht es um längere Zeiträume, und da kann sich mancherlei verändern, das sich auf die Atmosphäre auswirkt: die Wassertemperaturen in verschiedenen Teilen der Ozeane, der Verlauf und die Geschwindigkeit von Meeresströmungen, die Verbreitung von Meeresfeuer sowie Eisflächen an Land, die Ausdehnung von Vegetationszonen, um nur wenige Beispiele zu nennen.

**Ohne den natürlichen
Treibhauseffekt wäre es auf
der Erde 35 Grad kälter**

Zu den Wechselwirkungen zwischen den Sphären, „interne Vorgänge“ genannt, kommen noch „externe Einflüsse“, die auf das Klimasystem einwirken, ohne selbst von Rückwirkungen betroffen zu sein. Dazu gehört die Sonnenstrahlung, die das ganze Klimasystem mit Energie versorgt. Extern wird das Klimasystem auch von Vulkanausbrüchen beeinflußt, bei denen Riesenmengen Staub hoch in die Atmosphäre geschleudert werden. Der Staub macht die Luft weniger durchlässig für die Sonnenstrahlung, und das kann zur Abkühlung führen.

„Das Klima“, so lautet denn eine moderne Definition des Frankfurter Klimatologen Christian-Dietrich Schönwiese, die dies alles berücksichtigt, „ist eine Folge der Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Lithosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre und Biosphäre der Erde. Neben diesen Wechselwirkungen unterliegt es gewissen externen Einflüssen. Zur näheren Kennzeichnung dienen statistische Beschreibungen der Klimaelemente. Meist werden mehrjährige Betrachtungen durchgeführt. Die örtliche Größenordnung des Klimas reicht vom kleinräumigen Mikroklima zum globalen Makroklima.“

Ihr örtliches Klima verändert haben Menschen schon vor Jahrtausenden, wenn sie Wälder abholzten, um Acker- und Weideland zu gewinnen, wenn sie Sümpfe entwässerten oder Flüsse zu Seen staute. Wo sie Städte bauten, stülpten sie dem ursprünglichen Landschaftsklima ein Stadtklima über mit erhöhten Temperaturen, geringerer Sonneneinstrahlung und kürzerer Sonnenscheindauer, verminderter Windgeschwindigkeit, erhöhten Niederschlägen und größerer Anzahl von Nebeltagen. Doch die Auswirkungen beschränkten sich im wesentlichen auf die betroffenen Gebiete; das großräumige Klima wurde davon kaum berührt.

Wie es zu den Effekten des Stadtklimas kommt, ist leicht zu begreifen. Die Umwandlung grünen Landes in eine Wüste aus Stein und Asphalt, dazu Heizungen und massenhafter Energieverbrauch, bei dem unweigerlich viel Wärme anfällt, erhöhen in den Städten die Temperatur. Die Verschmutzung der Luft liefert reichlich Kondensationskerne für Nebelbildung, und die dichte Bebauung setzt die Windgeschwindigkeit herab.

Zu lange wiegten sich die Luftverschmutzer – wir alle – in der scheinbaren Sicherheit, die Atmosphäre und das Klima nur lokal, allenfalls regional zu beeinflussen. Daß jedoch geringste Mengen von Bestandteilen der Atmosphäre, wirklich nur Spuren in einem Ozean aus Luft, das Klima der ganzen Erde in einer für die Menschheit höchst bedrohlichen Weise verändern sollen, will den meisten Zeitgenossen bis heute nicht in den Kopf. Denn alle Spurengase zusammen, einschließlich harmloser, machen in trockener Luft weniger als 0,05 Volumen-Prozent aus – neben 78,08 Prozent Stickstoff, 20,95 Prozent Sauerstoff, und 0,93 Prozent Argon. Kohlendioxid, das am weitesten verbreitete, am längsten beargwöhnte und mit Abstand am besten untersuchte der unheilschwangeren Spurengase, ist heute in der Luft zu 0,0347 Prozent erhalten.

Der Grund für die zunehmende Dringlichkeit der Experten-Warnungen vor dem Anstieg von CO_2 und anderen Spurengasen ist der „Treibhauseffekt“, den diese Gase in der Atmosphäre ausüben. Im Treibhaus ist es, wenn die Sonne scheint, spürbar wärmer als draußen. Die Glasscheiben lassen Sonnenlicht ungehindert ins Innere strömen. Dort trifft es etwa auf den Boden, der das Licht absorbiert und sich durch die dabei aufgenommene Energie erwärmt. Der erwärmte Boden sendet – unsichtbare – Wärme- oder Infrarot-Strahlung aus, die in längeren Wellen als sichtbares Licht schwingt und Glas nicht durchdringen kann. Die Wärme bleibt hinter den Scheiben gefangen.

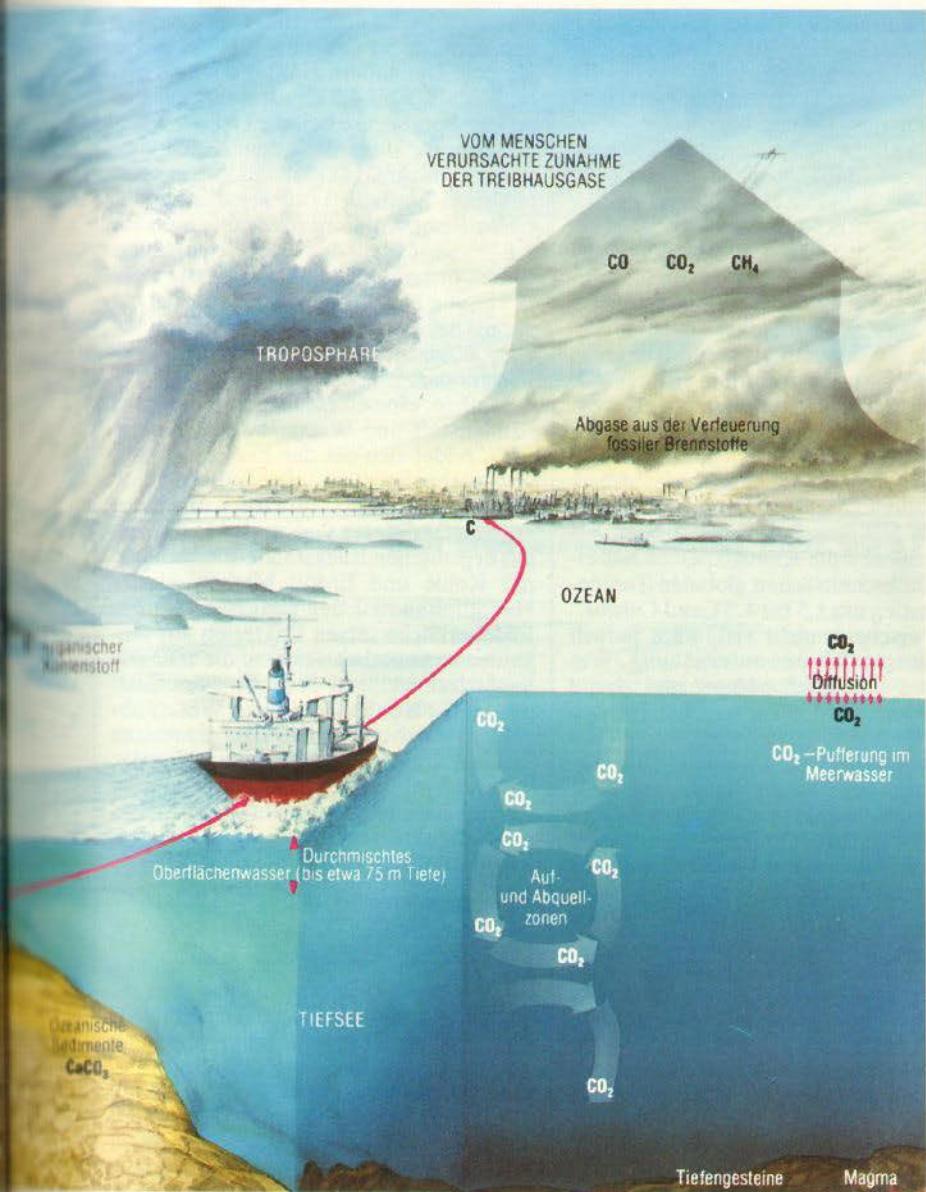
In der Atmosphäre gibt es auch ohne Zutun des Menschen einen starken Treibhauseffekt. Die Rolle der wärmestauenden Glasscheiben spielen hauptsächlich Wasserdampf und Kohlendioxid. Ohne diese Bestandteile der Lufthülle, so haben Forscher errechnet, läge die Durchschnittstemperatur auf der Erde um 35 Grad tiefer – anstatt plus 15 Grad Celsius betrüge sie nur minus 20 Grad. Den größten Anteil daran hat der Wasserdampf. Doch Wasserdampf-Moleküle vermögen nicht die Wärme-Rückstrahlung vom Erdboden im gesamten Infrarot-Spektrum aufzuhalten. Strahlung mit bestimmten Wellenlängen lassen sie durch. In diesen Lücken, die der Wasserdampf zum All offen lässt, im „Wasserdampf-Fenster“, entfaltet dann CO_2 seine Wirkung und trägt so zum Wärmestau in der



Blindlings zerstt der

unteren Atmosphäre bei. Dieser Effekt wirkt sich um so stärker aus, je mehr CO_2 die Atmosphäre enthält.

Kohlendioxid quillt aus Hausschornsteinen und Fabrikschloten, strömt aus den Kaminen von Kraftwerken, die mit Kohle, Erdöl oder Erdgas befeuert werden, wird von Automotoren und Flugzeugdüsen ausgestoßen, steigt auch aus offenen Feuern auf. Es ist kein Rückstand, von dem man die Abgase einfach reinigen müßte, sondern es entsteht neben Wasser als natürliches Endprodukt der Verbrennung. Seit 1900 hat sich der jährliche Energieverbrauch der Menschheit etwa verzölfacht. Auf knapp 20 Milliarden Tonnen jährlich schätzen Experten die Menge CO_2 , die aus Kohle, Erdölprodukten einschließlich Benzin



Mensch und die Kohlenstoff-Balance des Planeten

und Erdgas freigesetzt wird. 600 Milliarden Tonnen Kohlendioxid mögen es insgesamt in den letzten 100 Jahren gewesen sein.

Lange Zeit sah es so aus, als würden aus den Unmengen CO_2 keinerlei Probleme erwachsen. Die früher vergleichsweise groben Meßverfahren, mit denen die Zusammensetzung der Luft bestimmt wurde, zeigten keine Veränderungen des Gehalts an CO_2 . Die Atmosphäre schien sich fortwährend des von der Menschheit in die Luft gepufften Kohlendioxids wieder zu entledigen.

Tatsächlich schwelt jeweils nur ein kleiner Teil des Kohlendioxids, das es auf der Erde gibt, in der Luft. Das CO_2 in der Atmosphäre ist durch ein kompliziertes System von Kreisläufen mit Kohlendioxid

Über ein kompliziertes System von Kreisläufen ist das Kohlendioxid in der Atmosphäre mit Kohlendioxid und anderen Kohlenstoff-Verbindungen in den Gewässern und im Boden, in Lebewesen und Gesteinen verknüpft

und anderen Kohlenstoffverbindungen in den Gewässern – speziell in den Ozeanen –, in den Lebewesen, im Boden und in den Gesteinen verknüpft. Da das Wasser der Ozeane nicht mit CO_2 gesättigt ist, gehen laufend große Mengen des Gases aus der Atmosphäre ins Meerwasser über. Neben Wasser ist Kohlendioxid, ob im Meer oder an Land, Baustein für den grundlegenden biochemischen Prozeß

der Photosynthese, bei dem mit Hilfe des Sonnenlichts energiereiche Kohlenhydrate produziert werden.

Die Photosynthese fängt also Sonnenenergie ein und liefert Pflanzen und Tieren, Menschen und vielen Mikroben die Kraft, die sie zum Leben brauchen. Der eigentliche Aufbauprozess spielt sich zwar nur in Pflanzen und einigen Gruppen von Bakterien ab, die den grünen Farbstoff Chlorophyll besitzen. Doch alle anderen Organismen profitieren davon, indem sie Pflanzen verzehren oder von Tieren leben, die sich ihrerseits an pflanzlicher Nahrung gütlich getan haben.

Beim Abbau der Kohlenhydrate werden CO_2 und Wasser wieder frei – und die von der Sonne bezogene Energie. Sie dient zum Aufbau von Eiweißstoffen, Fetten und anderen lebenswichtigen Substanzen oder wird direkt genutzt, etwa zur Fortbewegung. Kohlendioxid bildet sich auch beim Verwesen und Verfaulen abgestorbener Organismen.

In musterhaft verwickelter Weise zeigt sich beim CO_2 die Verknüpfung der Atmosphäre mit der Hydrosphäre und der Biosphäre, auch mit der Lithosphäre. Denn im Laufe der Erdgeschichte haben sich Unmengen Kohlendioxid mit dem Element Calcium zu Kalkstein verbunden. Das so fixierte Kohlendioxid ist aus den Kreisläufen ausgeschieden, bis der Kalkstein von Wasser gelöst und das CO_2 dadurch wieder mobilisiert wird.

Die Treibhaus-Bande schließt ganz allmählich das Wasserdampf-Fenster

Auch wenn wir Holz oder Kohle, Erdöl oder Erdgas verbrennen, setzen wir Kohlendioxid aus Kohlenstoff frei, der aus den Kreisläufen ausgeschieden war: Statt völlig zu verwesen, blieben Reste von Lebewesen teilweise erhalten, und die organische, kohlenstoffhaltige Substanz verwandelte sich allmählich in die heute so begehrten fossilen Brennstoffe. Mit Hilfe der Photosynthese wurde in einigen hundert Millionen Jahren die (Sonnen)-Energie gespeichert, die wir nun innerhalb kürzester Zeit verbrauchen.

Hinzu kommt, daß in wachsendem Ausmaß tropische Urwälder der Säge und dem Feuer zum Opfer fallen. Jahr für Jahr werden, Schätzungen zufolge, weltweit Tropenwälder auf einer Fläche von der Größe Bayerns und Baden-Württembergs vernichtet – auf rund 100 000 Quadratkilometern. Wenn das Holz verbrennt, entweicht der Kohlenstoff, der in Form organischer Substanzen in den Stämmen gespeichert ist, als CO_2 in die Luft. Die landwirtschaftlichen Kulturen, die den Wäldern folgen, binden in aller Regel nur einen Bruchteil des früher in Wäldern gespeicherten Kohlenstoffs.

Die ersten verlässlichen Daten darüber, wie die Menschheit die Atmosphäre und

damit das Erdklima verändert, sind noch keine drei Jahrzehnte alt. 1958 begann der Amerikaner C. David Keeling von der Scripps Institution of Oceanography, den CO₂-Gehalt der Luft mit bis dahin unbekannter Präzision und Regelmäßigkeit zu messen. Keeling richtete seine Meßstation in einem Reinaluftgebiet fernab der großen Industriezentren ein: am gut 4000 Meter hohen Vulkan Mauna Loa auf der Insel Hawaii. Schon nach wenigen Jahren stand fest: Der CO₂-Gehalt der Luft nimmt von Jahr zu Jahr zu.

Inzwischen beschäftigen sich nahezu 40 Stationen in einem weltweiten Netz mit dem Kohlendioxid in der Atmosphäre. Den Forschern ist es auch gelungen, zum Vergleich den CO₂-Gehalt der Luft aus vergangenen Zeiten zu messen: Sie analy-

sierten Luftblasen, die im antarktischen und grönlandischen Eis konserviert waren. Das Ergebnis: Um 1800, vor Beginn des Industriezeitalters, enthielt die Luft 0,028 Prozent Kohlendioxid oder – wie sich Klimaforscher ausdrücken – 280 ppm („parts per million“, auf deutsch: Teile pro Million). Seitdem hat sich der CO₂-Gehalt – nun bei 347 ppm – um fast ein Viertel erhöht.

Die Atmosphäre ist längst nicht mehr imstande, sich von all dem Kohlendioxid zu entlasten, das die Menschheit unablässig in sie hineinpumpt. Nur rund die Hälfte davon wird sie wieder los, größtenteils an die Ozeane. Der verbleibende Rest erhöht den Treibhauseffekt. Schon in hundert Jahren könnte sich, wenn die Menschheit so weiter macht wie bisher, der vorindustrielle Ausgangswert des CO₂ auf 560 ppm verdoppelt haben. Als Folge rechnen die Klimaexperten mit einem durchschnittlichen globalen Temperaturanstieg um 1,5 bis 4,5 Grad Celsius.

Das erscheint nicht viel, wäre jedoch eine enorme Temperaturerhöhung. Weniger als ein Grad wärmer und wenig mehr als ein Grad kälter war es in Europa während der Klimaschwankungen, die aus historischer Zeit bekannt sind, im „Optimum der Römerzeit“ und im „Pessimum der Völkerwanderungszeit“, im „Mittelalterlichen Optimum“ und in der „Kleinen Eiszeit“ mit ihrem Höhepunkt im 17. Jahrhundert.

Mit Fleiß haben Wissenschaftler auch das Klima im „nacheiszeitlichen Optimum“ mit seinem Höhepunkt vor 6000 Jahren rekonstruiert, in der wärmsten Periode seit dem Ende der letzten großen Kaltzeit vor 12 000 Jahren. Hinweise geben etwa Reste von heute noch lebenden Pflanzen und Tieren, deren Ansprüche an das Klima bekannt sind. Die Forscher kamen zu dem Schluß, es sei unwahrscheinlich, daß damals auf der Erde im Mittel mehr als ein Grad höhere Temperaturen geherrscht haben als heute.

Droht schon allein der Treibhauseffekt durch CO₂ bald alles weit zu übertreffen,

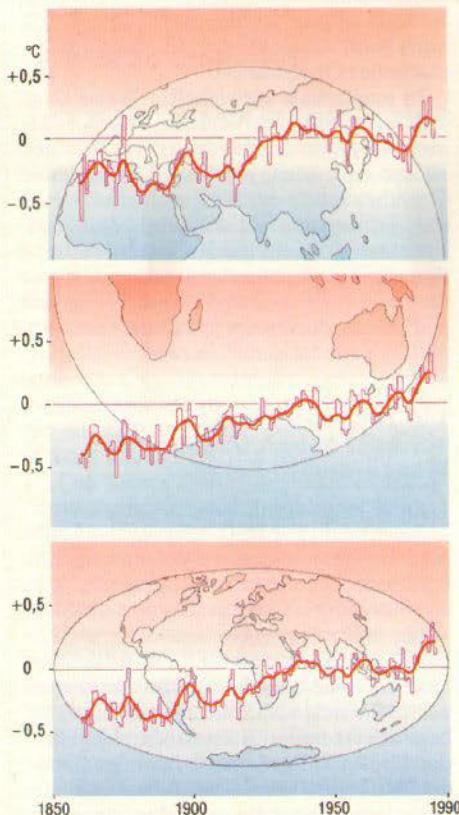
was nach den Überlieferungen vorstellbar erscheint, so ist das doch erst der halbe Horror. Die andere Hälfte, noch einmal im Mittel 1,5 bis 4,5 Grad, steuern einige andere Spurengase bei, die erst vor wenigen Jahren, lange nach dem Kohlendioxid, ins Blickfeld der Klimatologen geraten sind: Methan, Distickstoffmonoxid, Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe, Ozon. All diese Mitglieder der „greenhouse gang“, der „Treibhaus-Bande“, wie amerikanische Forscher diese Substanzen genannt haben, absorbieren ähnlich wie CO₂ Wärmestrahlung im Wasserdampf-Fenster der Atmosphäre.

Methan, eine einfache Verbindung aus Kohlenstoff und Wasserstoff, abgekürzt CH₄, bildet sich bei der Zersetzung von organischer Substanz unter Luftabschluß. Unter dem Einfluß von Druck und Wärme entsteht dieses Gas in der Erdkruste aus organischen Rückständen, zusammen mit Kohle und Erdöl. Methan ist der Hauptbestandteil des Erdgases. An der Erdoberfläche setzen Bakterien aus faulenden organischen Resten, die mangels Sauerstoff nicht zu den normalen Endprodukten Kohlendioxid und Wasser abgebaut werden können, das geruchlose Methan frei. Der penetrante Gestank, den faulende organische Substanz ausströmt, stammt von Zersetzungprodukten anderer Mikroben.

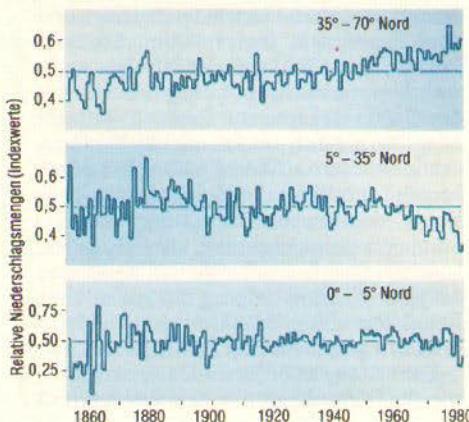
Eine Kuh entläßt täglich bis zu 120 Liter Methan in die Luft

Auf über 500 Millionen Tonnen schätzen Experten die Menge des Methans, die jährlich in die Luft geht. Das Gas steigt aus den Sumpfgebieten der Erde auf, aber auch aus Müll- und Misthaufen. Methan-erzeugende Bakterien sitzen in den Mägen von Wiederkäuern. Die Mikroben machen sich dort nützlich, indem sie die unverdauliche Zellulose der pflanzlichen Nahrung in verdauliche Bausteine zerlegen. Dabei fällt Methan an, das ins Freie gelangt, wenn die Tiere den Nahrungsbrei noch einmal durchkauen. Eine ähnliche Symbiose, bei der Methan gebildet wird, besteht zwischen Einzellern und Termiten, die ohne diese Hilfe Holz nicht verdauen könnten.

Dies alles sind ebenso natürliche Vorgänge wie das Verbrennen kohlenstoffhaltiger Substanz. Aber auch hier ist es die Masse, die Probleme schafft, und da ist auch beim Methan die Grenze dessen, was dem gegenwärtigen Erdklima zuträglich ist, bereits überschritten. Für den Reisanbau wurden weite Gebiete künstlich überschwemmt, zu Sümpfen gemacht, aus denen nun jährlich Unmengen Methan aufsteigen. Wachsende Mengen Methan dringen aus den Müllkippen der Welt in die Atmosphäre. Und der gewaltig erhöhte Bestand an Rindern hat die Methanproduktion aus Wiederkäuermä-



Der Klimawandel hat schon begonnen

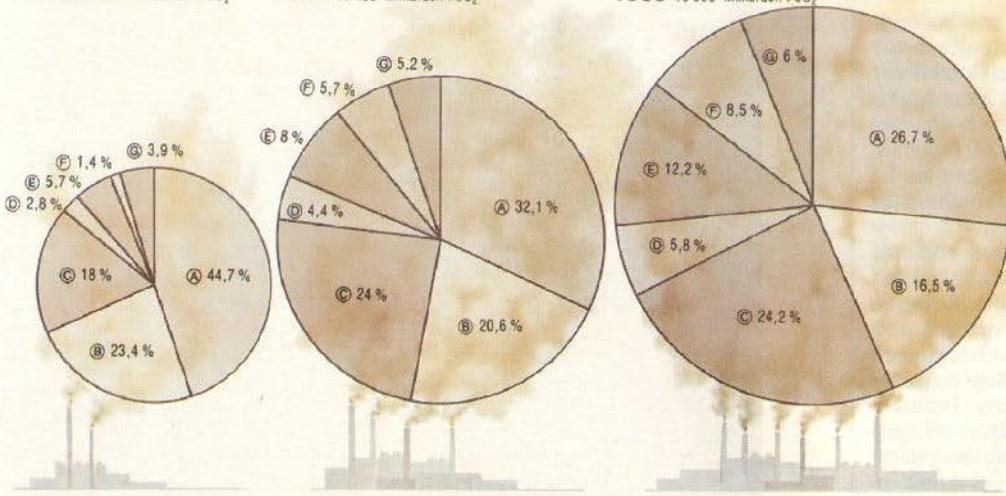


Die drei Kurven oben zeigen, wie sehr die durchschnittlichen Temperaturen auf der Nord- und Südhalbkugel sowie der ganzen Erde seit 1861 zugenommen haben. Die Niederschläge über den Kontinenten der Nordhalbkugel (Grafik unten) haben zwischen dem 35. und 70. Breitengrad zu-, aber zwischen dem 5. und 35. Breitengrad abgenommen. Nur am Äquator haben sie sich kaum verändert. Noch fehlt allerdings der eindeutige Beweis, daß diese Trends nicht auch ohne menschliches Zutun eingetreten wären

1950 5930 Milliarden t CO₂

1965 11 460 Milliarden t CO₂

1980 18 950 Milliarden t CO₂



Die Kohlendioxid-Mengen, die jährlich in die Luft entlassen werden, haben sich von 1950 bis 1980 mehr als verdreifacht – wobei sich allerdings die prozentualen Anteile der Ländergruppen verschoben haben:
A = Nordamerika;
B = Westeuropa;
C = UdSSR, Osteuropa;
D = Japan, Australien;
E = Entwicklungsländer;
F = China und andere kommunistische Länder Asiens;
G = andere Regionen

Bei der Produktion von CO₂ hat der Ostblock Weltniveau

gen auf ein Vielfaches dessen anschwellen lassen, was die wildlebenden Wiederkäuer ausstoßen. Eine gut ernährte Kuh produziert bis zu 120 Liter Methan am Tag.

In der Atmosphäre reagiert Methan mit anderen Bestandteilen der Luft und wird dabei zerstört. Doch diese Abbau-mechanismen sind längst überfordert: Der Methan-Gehalt nimmt zu, inzwischen um etwa ein Prozent jährlich. Ver-gleiche alter, im Eis eingeschlossener Luft mit derjenigen, die uns heute um-gibt, zeigen bereits eine Verdoppelung des Methan-Gehalts seit 1850, von 0,8 auf 1,6 ppm. Nach herkömmlichen Maßstäben ist der Anteil des Methans in der Luft immer noch außerordentlich gering. Doch der Treibhauseffekt lässt aus einer sehr kleinen Ursache eine bedrohlich gro-ße Wirkung befürchten.

Noch grotesker erscheint das Verhältnis zwischen Ursache und Wirkung beim Distickstoffoxid (N₂O), dem narkotisie-renden „Lachgas“. In die Atmosphäre gelangt es aus dem Boden – ein Naturprodukt, das Bakterien aus anderen stick-stoffhaltigen Verbindungen erzeugen. N₂O ist in der Luft mit nur 0,3 ppm ent-halten, doch mit deutlich steigender Ten-denz. Zwei Ursachen machen die Wissen-schaftler für die Zunahme verantwort-lich: den freigebigen Gebrauch von Kunstdünger, der die Tätigkeit von N₂O-erzeugenden Bakterien stimuliert, und die Verbrennung von Biomasse.

Einige Kunstdünger in der Treib-haus-Bande sind die Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe, abgekürzt CFK. Sie waren zuerst als mutmaßliche Zerstörer der Ozonschicht in der Stratosphäre ins Gere-de gekommen (siehe Seite 40). Inzwischen gelten sie auch als hinreichend ver-dächtig, zur Erwärmung der erdnahen Luftschicht unterhalb der Stratosphäre beizutragen, der Troposphäre, in der sich das Wettergeschehen abspielt. Die gängi-

gen CFK zeichnen sich durch große che-mische und thermische Stabilität aus. Sie brennen nicht, greifen Metalle nicht an, sind ungiftig und geruchlos. Solche Ei-genschaften sind höchst erwünscht für Treibgase in Spraydosen, für Kältemittel in Kühl- und Klimaanlagen oder für Sub-stanzen, die zum Aufschäumen von Kunstu-stoffen dienen.

Doch die Stabilität wird zum Problem, wenn die CFK ihre Funktion erfüllt ha-ben. Bestimmungsgemäß versprüht oder durch Leckagen entwischen, reichern sie sich in der Luft an, und die Atmosphäre hat wenig Möglichkeiten, sich ihrer wie-der zu entledigen. Solange sie in der Tropo-sphäre hängen, verstärken sie den Treibhauseffekt. Nach Jahren schließlich bis in die Stratosphäre aufgestiegen, sind sie dem Bombardement energiereicher UV-Strahlung ausgesetzt, das die wider-standsfähigen Moleküle doch noch knackt. Chlor-Atome werden herausge-schlagen, die mit anderen Bestandteilen der dünnen Luft in der Stratosphäre rea-gieren. Dabei bleibt Ozon (O₃), eine be-sondere Form des Sauerstoffs, auf der Strecke, wird zu normalem Sauerstoff (O₂) umgewandelt.

In der Wetterzone verstärkt das Ozon den Treibhauseffekt

Die ersten CFK-Dünste gelangten vor gut einem halben Jahrhundert in die At-mosphäre. Seit den siebziger Jahren wird der CFK-Gehalt regelmäßig gemessen. Noch ist der Gehalt gering, verglichen selbst mit den anderen Spurengasen. Er wird nicht einmal in ppm gemessen, son-dern in Bruchteilen von ppb (parts per bil-lion, Teile pro Milliarde). Doch selbst in abgelegenen Teilen der Erde, von Alaska bis in die Antarktis, steigt der CFK-Ge-

halt der unteren Atmosphäre um 4 bis 5 Prozent jährlich an – Resultat von etwa 700 000 Tonnen CFK-Jahresproduktion auf der Erde.

Paradoxe-weise nimmt das Ozon, des-sen Schwinden in der Stratosphäre soviel Sorge bereitet, in der Troposphäre zu, wo es den Treibhaus-Effekt verstärkt. Ozon bildet sich im Sonnenlicht und bei An-wesenheit von gasförmigen Kohlenwasser-stoffen und Stickoxiden. Kohlenwasser-stoffe gelangen mit Autoabgasen und bei anderen Verbrennungsprozessen in die Luft, werden auch von Bäumen in großen Mengen in Form ätherischer Stoffe ausgedunstet. Stickoxide sind Ergebnis einer Liaison von Stickstoff und Sauerstoff, die bei hohen Temperaturen größtenteils mit Hilfe des Menschen zustandekommt. Stickstoff und Sauerstoff, die beiden Hauptbestandteile der Atmosphäre, ver-einigen sich in den Kesseln von Kraft- und Heizwerken, in Feuerungsanlagen aller Art und in Verbrennungsmotoren, sofern die Abgase nicht durch Katalysatoranla-gen gereinigt werden.

Weil alles mit allem zusammenhängt, weil die Wechselwirkungen innerhalb der Atmosphäre und zwischen den Sphären so überaus kompliziert sind, stehen die Klimatologen bei ihren Bemühungen, die Zukunft des Weltklimas vorherzusagen, vor äußerst schwierigen Problemen. Vor-aussetzung sind möglichst viele Meßdaten aus allen Teilen der Welt, sind Laborex-perimente, in denen unter kontrollierten Bedingungen Einzelreaktionen un-ter-sucht werden. Doch um zu sehen, wie al-les ineinander greift, um herauszufinden, welche Folgen es hat, wenn hier oder dort etwas verändert wird, brauchen die For-scher das ganze Klimasystem.

Da können nur Computer weiterhel-fen. Entsprechend programmiert, simu-lieren sie mathematisch die physikali-schen Prozesse, aus denen das globale

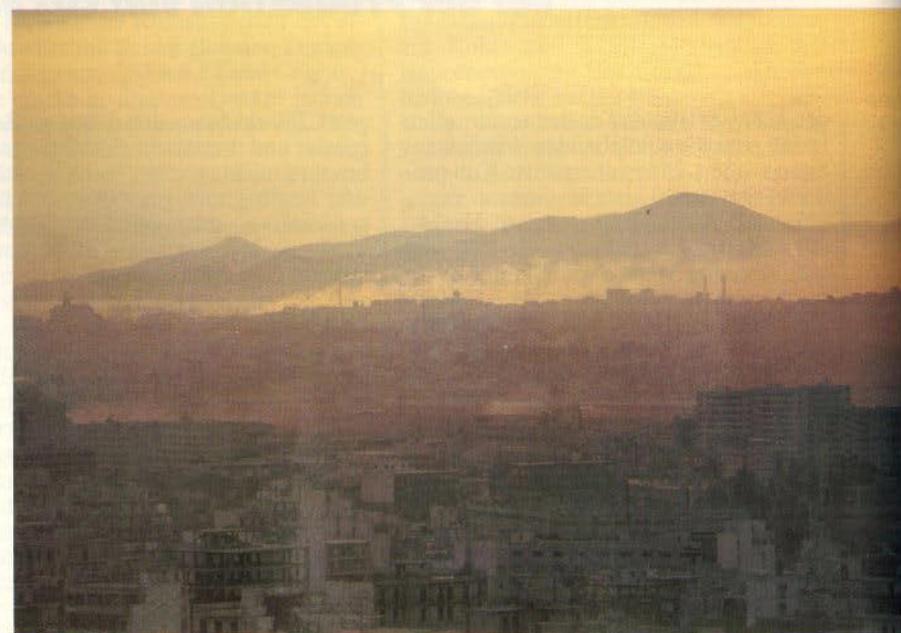
Klima hervorgeht. An einem Klimamodell zu arbeiten sei etwas Ähnliches wie eine Welt zu erschaffen, erläuterte der amerikanische Meteorologe Jerry Mahlman: „Zuerst schaltet man die Sonne an, dann gibt man ein paar Ozeane hinzu, fügt die Atmosphäre bei und versetzt die Erde in Rotation“ – alles mit mathematischen Formeln.

Es gibt vergleichsweise einfache Modelle für Spezialfragen und möglichst naturgetreue von umfassender Komplexität. Aber noch sind die Forscher weit davon entfernt, alle Wechselwirkungen im Klimasystem mit wünschenswerter Exaktheit in mathematische Formeln fassen zu können. Vor allem mangelt es an gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Modellen mit hinreichender Aussagekraft.

Ein Gitternetz – aus neun Schichten über die Erde gespannt

In Klimamodellen ausnehmend schwierig zu handhaben sind auch etwa Wolken. Je nach den Umständen kühlen sie die Erdoberfläche ab, indem sie das Sonnenlicht abschirmen, oder sie erhöhen die Oberflächentemperatur, indem sie die Wärmeabstrahlung behindern. Welche Rückkopplungsmechanismen werden überwiegen, wenn bei einer Erwärmung der Erde mehr Wasser verdunstet und sich mehr Wolken bilden? Wirken die zusätzlichen Wolken der Erwärmung entgegen oder verstärken sie den Trend? An solchen Unsicherheiten liegt es, daß die Forscher die durchschnittlichen globalen Temperaturerhöhungen, die bei einer Verdoppelung des CO₂-Gehalts in der Luft einerseits, des Gehalts an den übrigen wärmefördernden Spurengasen andererseits zu erwarten ist, in der großen Spannweite von jeweils 1,5 bis 4,5 Grad angeben.

Auch die leistungsfähigsten Rechner sind außerstande, für alle Punkte der Erde und der Atmosphäre die Klimavariablen wie Temperatur, Niederschläge, Luftfeuchtigkeit, Wind unter verschiedensten Bedingungen zu berechnen. Die Klimatologen behelfen sich, indem sie ihre Berechnungen lediglich für weit auseinanderliegende Punkte in einem imaginären dreidimensionalen Gitternetz ausführen, das sie ihre Computer über der Erde aufspannen lassen. Am amerikanischen National Center for Atmospheric Research in Boulder, Colorado, so berichtete Stephen H. Schneider, verwenden er und seine Kollegen ein Gitter aus neun Schichten, das bis in 30 Kilometer Höhe reicht. Die horizontalen Abstände der Gitterpunkte betragen ungefähr 4,5 Breiten- und 7 Längengrade – das entspricht in unseren Breiten etwa den Entferungen Stuttgart-Paris und Stuttgart-Bremen.



Gegen Smog hilft



Dunstglocken wie über Mexico City, Athen, Duisburg (links von oben) oder Los Angeles beengen den Atem in vielen Städten der Welt. Ursache des Smog sind Schwefeldioxid, Stickoxide und Kohlenwasserstoffe, die vor allem beim Verfeuern fossiler Brennstoffe und beim Autofahren entstehen. Während solche Luftverschmutzungen durch moderne Technik stark eingeschränkt werden können, etwa durch Abgasreinigung in Kohlekraftwerken und Katalysatoren in Automobilen, ist Kohlendioxid mit technischen Tricks nicht auszufiltern.

Technik, gegen Kohlendioxid nur der Verzicht

„Mathematische Klimamodelle können die Wirklichkeit nicht in ihrer ganzen Vielfalt simulieren“, räumt Schneider ein, „aber sie können die logischen Konsequenzen von plausiblen Annahmen über das Klima aufzeigen.“ Zu solchen Konsequenzen gehört, daß sich die Temperaturen in der Nähe des Äquators nur wenig erhöhen, um so mehr aber in hohen Breiten ansteigen werden, im polaren Winter auf das Doppelte bis Dreifache des durchschnittlichen globalen Temperaturanstiegs. Die Modellrechnungen weisen auch aus, daß die Niederschläge, weltweit gesehen, zunehmen werden. Mehr regnen und schneien könnte es in den höheren Breiten, weniger indes in heute fruchtbaren Regionen.

„Die heutigen Trockenzenen im nördlichen Afrika, in Arabien, in Zentralasien und im Süden der USA“, so heißt es in einer „Warnung vor drohenden weltweiten Klimaänderungen durch den Menschen“, die von der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft und der Deutschen Physikalischen Gesellschaft im Sommer 1987 veröffentlicht wurde, „können sich um einige hundert Kilometer nach Norden verlagern und damit die heute dicht besiedelten, fruchtbaren Winterregenzenen um das Mittelmeer, in den USA und in der südlichen UdSSR in subtropische Trockengebiete verwandeln.“

Werden Italien und Spanien bald zur Wüste verderren wie auch der Mittlere Westen in den USA, heute die größte Kornkammer der Welt? In vielen Modellrechnungen haben Wissenschaftler versucht, die regionalen Folgen einer globalen Temperaturerhöhung abzuschätzen. Eine bei erhöhten Temperaturen gestiegerte Verdunstung, verbunden mit zehn Prozent geringeren Niederschlägen, könnte, so ergab etwa eine Computer-Simulation, die Wasserführung des Colorado River um 40 Prozent senken. Damit wäre die Wasserversorgung in weiten Teilen des amerikanischen Westens gefährdet. Die mit starken Niederschlägen einhergehenden Sommermonsune, die Unmengen aus dem Meer verdunstetes Wasser an Land schaffen und in Asien, Afrika und Australien die halbe Weltbevölkerung damit versorgen, könnten in manchen Gebieten ausbleiben. Als mutmaßliche Gewinner der großen Wärmekrise gelten Kanada und die Sowjetunion mit ihren riesigen, wegen klimatischer Ungunst noch kaum besiedelten Gebieten.

Zwar sind sich die Experten ihrer Grundaussage über eine enorme globale Temperaturerhöhung sehr sicher. Aber sie bewerten die Ergebnisse von Studien, in denen ein detailliertes Bild von der Erde nach dem Temperaturanstieg gewonnen werden soll, eher zurückhaltend. Da herrscht der Konjunktiv vor, werden Unsicherheiten betont. Aussagen über regionale Veränderungen sollten, heißt es, mehr als Beispiele denn als Vorhersagen verstanden werden. Was wo genau pas-

sieren wird, weiß niemand zu sagen. Doch unumstritten ist, daß ein weiterhin ungehemmt geschürter Treibhauseffekt die Erde gravierend zu verändern, die Lebensgrundlage von Hunderten von Millionen Menschen zu gefährden oder zu vernichten droht.

Unzählige Existenzen werden allein dem Anstieg des Meeresspiegels zum Opfer fallen. Seit Anfang des Jahrhunderts ist der Meeresspiegel weltweit bereits um 10 bis 20 Zentimeter gestiegen. Dazu haben zwei Umstände beigetragen: Viele Gletscher in den Gebirgen sind durch die Erwärmung der Erde verstärkt abgeschmolzen, und das Oberflächenwasser der Ozeane hat sich etwas ausgedehnt. Mit einem Anstieg des Meeresspiegels um 30 bis 140 Zentimeter ist zu rechnen, wenn die Temperatur der Erde allein durch CO_2 um 1,5 bis 4,5 Grad steigt. Die übrigen den Treibhauseffekt fördernden Spurengase sind bislang noch nicht einmal in die Berechnungen über den künftigen Meeresspiegel einbezogen.

Um 70 bis 80 Meter steige der Meeresspiegel, würde alles Eis auf der Erde abschmelzen. Damit rechnen Glaziologen erst in Tausenden von Jahren, da die gewaltige Eismasse der Antarktis, die 90 Prozent zu diesem Anstieg beisteuern würde, auf eine Temperaturerhöhung viel langsamer reagiert als etwa Alpen-gletscher. Vorerst scheint das Eis in der Antarktis trotz der bereits registrierten

Temperaturerhöhung sogar noch etwas zugenommen zu haben – durch verstärkten Schneefall.

Zu einer Erhöhung des Meeresspiegels um immerhin 5 bis 6 Meter könnte es bei einem Eisausbruch in der Westantarktis kommen. Hinter den riesigen schwimmenden Tafeln der Eisschelfe ruhen dort etwa zwei Millionen Kubikkilometer Eis auf Felsen weit unter dem Meeresspiegel. Solange die Schelfe intakt sind, liegt das westantarktische Inlandeis stabil. Schmelzen die schwimmenden Tafeln jedoch ab, wird das Inlandeis instabil, driftet in Eisbergen davon und schmilzt. Geologen haben Hinweise darauf gefunden, daß genau dies vor 125 000 Jahren, in der Warmzeit zwischen den beiden letzten Kaltzeiten, geschehen ist.

Mit jedem Jahr, das ungenutzt verstreicht, wachsen die Probleme

So liegen wahrlich, trotz mancher Wissenslücken im Detail, hinreichend Erkenntnisse vor, die Schlimmstes befürchten lassen. Der CO_2 -Gehalt der Luft steigt nachweislich, ebenso der Gehalt an den anderen Warmmachern. Nachgewiesen ist bereits nicht nur eine Temperaturerhöhung, sondern auch eine Veränderung der Regen- und Schneefälle: Nach einer Untersuchung amerikanischer und

britischer Forscher haben in den letzten Jahrzehnten die Niederschläge über den Landgebieten der Nordhalbkugel zwischen 5 und 35 Grad Nord ab-, zwischen 35 und 70 Grad Nord zugenommen. Schließlich steigt der Meeresspiegel bereits eindeutig, gar nicht so wenig, und der Anstieg könnte sich bald noch erheblich beschleunigen.

Was noch fehlt, ist „das Signal“, ein Temperaturanstieg, der andere Ursachen als die Treibhausgase extrem unwahrscheinlich macht. Aber müssen wir wirklich darauf warten? Mit jedem Jahr, das ungenutzt verstreicht, wird die Aufgabe schwieriger. Dabei geht es nicht um Alles oder Nichts. Auch begrenzte Erfolge im Umgang mit den Treibhaus-Gasen haben ihren Nutzen, verzögern den Klimawandel, verschaffen der Menschheit mehr Zeit, sich anzupassen.

Schon um das zu erreichen, bedarf es eines ganzen Bündels von Maßnahmen. Doch warum sollte es nicht möglich sein, die nach jahrelangem Feilschen endlich abgeschlossene internationale Vereinbarung über Einschränkungen bei den Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffen bald in Kraft zu setzen? Warum sollten Autos mit Katalysatoranlagen, die den Ausstoß an Stickoxiden mindern und dadurch keinen Beitrag mehr zur Ozonbildung in der Troposphäre leisten, nicht auch international verbreitung finden? Warum sollte nicht auf Kunstdünger für eine absurde Überproduktion verzichtet werden, die mit Milliardensubventionen erzeugt und anschließend vernichtet wird?

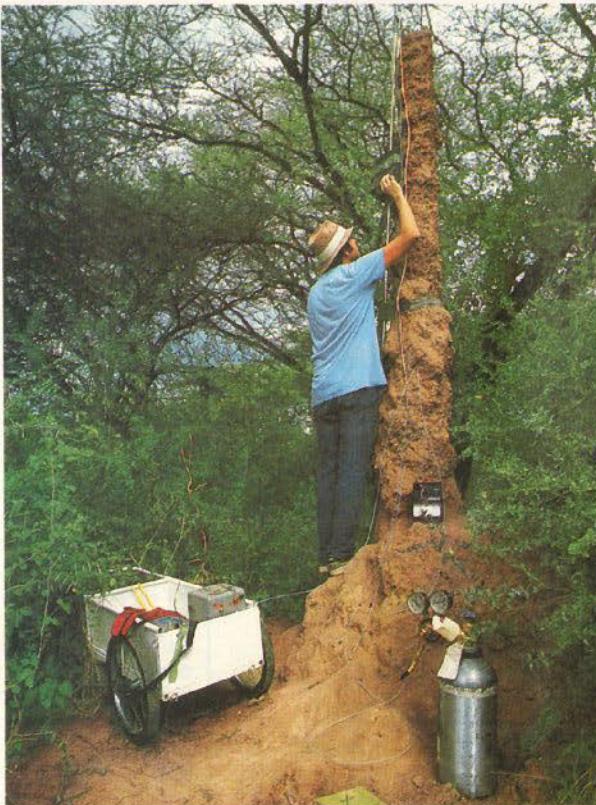
Gegen Reis und Rinder, die den Methan-Gehalt ansteigen lassen, ist wenig auszurichten, solange die Bevölkerungsexplosion nicht gebremst wird. Aber Länder wie China haben gezeigt, daß dieses Problem zu lösen ist. Daß Mülldeponien immer schneller zunehmen müssen, ist kein Naturgesetz. Wo sie unvermeidlich sind, könnte versucht werden, das brennbare und als Energieträger wertvolle Methan, das ihnen entströmt, zu nutzen.

Der entscheidende Beitrag zur Abwehr des Treibhauseffekts aber ist beim CO_2 zu leisten. Es gilt, fossile Brennstoffe – Kohlen, Erdöl, Erdgas – wo immer möglich nicht mehr zu verfeuern. Neben den längst noch nicht ausgeschöpften Möglichkeiten beim Energiesparen helfen dabei Energiequellen, die kein CO_2 freisetzen: Wasser- und Kernkraft, Sonnenenergie und Wind. Daneben heißt es, jeden pflanzlichen Prozeß zu fördern, der CO_2 der Luft wieder entzieht, Wälder wachsen zu lassen, anstatt sie zu vernichten, grünes Leben jeder Art zu schützen.

Es geht, alles in allem, um altbekannte Probleme der Menschheit mit sich selbst: um Übervölkerung, Überproduktion, Energieverschwendungen. Es geht um Maßlosigkeit. Der Treibhauseffekt drängt nun zu Lösungen – so oder so. □

Termiten – auch schuld am Treibhauseffekt?

Ähnlich wie Rinder und andere Wiederkäuer leben auch Termiten in Symbiose mit Einzellern, die ihnen ihre Nahrung, nämlich Holz, überhaupt erst verdaulich machen. Auch dabei fällt Methan ab. Weil Termiten auf der Erde weit verbreitet sind, untersuchen Forscher, ob diese staatenbildenden Insekten maßgeblich zum Anstieg des Treibhausgases Methan in der Luft beitragen



Dr. Erwin Lausch, 58, ist GEO-Redakteur.



Wasser – zu kostbar, um sorglos damit umzugehen.

Im Integrierten Pflanzenbau kümmern sich die Landwirte nicht nur um unser täglich Brot.

Seit einiger Zeit ist in der öffentlichen Diskussion ein Stoff besonderer Brisanz aufgetaucht: Nitrat. Die Tatsache, daß Nitrat überall in der Natur vorkommt, ist wenig bekannt. Sie rechtfertigt aber nicht, sich mit stellenweise hohen Werten im Trinkwasser abzufinden. Denn ein Zuviel an Nitrat im Trinkwasser kann ein Gesundheitsrisiko bedeuten. Was ist Nitrat? Wie kommt es ins Trinkwasser? Jeder Boden, ganz gleich, ob landwirtschaftlich genutzt oder nicht, enthält Nitrat. Ein lebenswichtiger Stoff im biologischen System. Nitrat entsteht bereits in der Luft bei gewittrigen Entladungen. Mit dem Regen kommt es auf die Erde und dient seit Millionen von Jahren den Pflanzen als Nährstoff. Hauptsächlich entsteht es jedoch im Boden bei der natürlichen Zersetzung organischen Materials. Auch Bodenbakterien und bestimmte Pflanzen produzie-

Gezieltes, überlegtes Düngen ist eine von vielen Maßnahmen, die man unter dem Begriff „Integrierter Pflanzenbau“ zusammenfaßt. Integrierter Pflanzenbau ermöglicht durch eine bewußtere, ganzheitliche Praxis der Bodenbewirtschaftung, naturbelastende Maßnahmen so weit zu reduzieren, daß die Fruchtbarkeit des Bodens, die Reinheit des Wassers und die Artenvielfalt von Pflanzen und Tieren langfristig erhalten bleiben.

ren Nitrat – sogar unsere Autos und Schornsteine. In der Natur ist dies ein weitgehend geregelter Vorgang. Trotzdem kann es hier ohne menschliches Zutun zu erhöhten Nitratwerten im Wasser kommen. Neben natürlichen Quellen spielt auch der Einsatz organischer und mineralischer Düngemittel eine Rolle. Denn in der Landwirtschaft müssen nach jeder Ernte entzogene Nährstoffe wieder ersetzt werden. Hier wird der Nitrat-Problematik mehr und mehr Beachtung beigemessen. Mit den Methoden des Integrierten Pflanzenbaus (Bodenanalysen, gezielte Düngegaben und -termine, Anbau nitratnutzender Zwischenfrüchte und überwinternder Kulturen) kann der Nitrathaushalt so reguliert werden, daß unser Wasser nicht unnötig belastet wird. Schließlich ist es so wichtig wie unser täglich Brot. Wie denken Sie darüber?



Die sprühende Gefahr

Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe drücken Flüssiges

OZONLOCH

In jedem Frühling klafft hoch über der Antarktis eine bedrohliche Lücke in der Ozonschicht – so groß wie Nordamerika. Hat sie natürliche Ursachen? Oder berauben menschengemachte Chemikalien die Erde allmählich ihres lebensschützenden Schleiers?



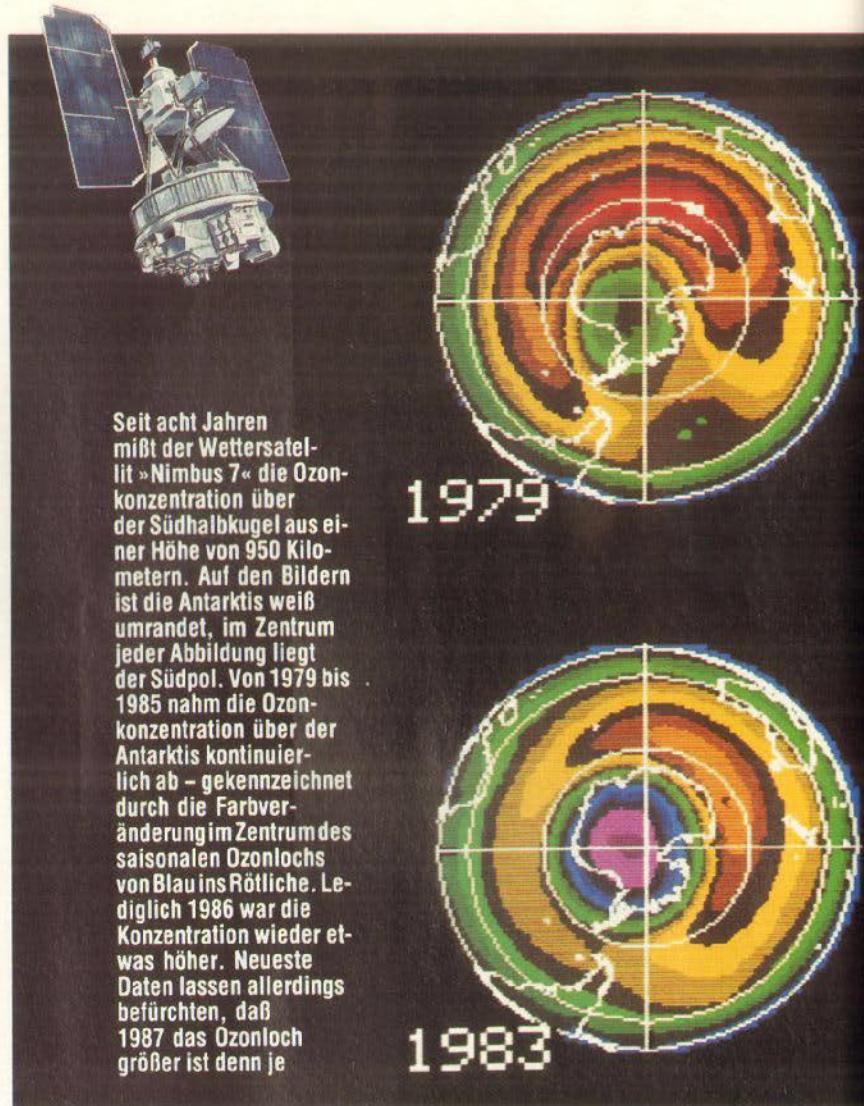
aus Spraydosen. Doch was so bequem ist, kann uns zum Verhängnis werden

Eine internationale Truppe fiel Mitte August in die südlichste Stadt der Erde ein. Rund 160 Wissenschaftler und Techniker aus Argentinien und Chile, Großbritannien, Frankreich und den USA begannen im chilenischen Punta Arenas ihre Computer zu installieren, eine Direktverbindung zum Wettersatelliten „Nimbus 7“ zu schalten und letzte Hand an zwei mit empfindlichsten Meßinstrumenten vollgestopfte Spezialflugzeuge zu legen.

Das Zehn-Millionen-Dollar-Unternehmen galt dem Loch in der Ozonschicht, das sich alljährlich Mitte August zu Beginn des südlichen Frühlings in der Stratosphäre über der Antarktis öffnet und Ende Oktober wieder schließt. Die Forscher wollten wissen, weshalb das Ozon jäh verschwindet, sobald die Sonne nach langer Polarnacht über den Horizont steigt: Ist das Phänomen natürlichen Ursprungs, ausgelöst durch Sonnenlicht und Luftbewegungen über dem eisigen Kontinent? Oder zerstören menschengemachte Chemikalien die labilen, aus je drei Sauerstoffatomen bestehenden Teilchen? Diese Fragen hatten die Atmosphärenforscher in zwei Lager gespalten: das der „Dynamiker“ und das der „Chemiker“.

Unter dringenden Verdacht, die Ozonschicht nicht nur hier, sondern weltweit auszudünnen, gerieten schon 1974 die Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe (CFK), die als Treibgase in Spraydosen, Kältemittel für Kühlaggregate, Aufschäummittel für Kunststoffe und als Reinigungsflüssigkeit Verwendung finden. Damals hatten Sherwood Rowland und Mario Molina von der University of California in Berkeley die Befürchtung geäußert, daß eben das, was die CFK technisch so attraktiv macht – sie sind chemisch äußerst stabil und langlebig dazu –, sich an der Ozonschicht verhängnisvoll auswirken könnte. Denn die Gase steigen, einmal versprüht oder verschrotteten Kühlschränken entwichen, unaufhaltlich nach oben, bis sie in 15 Kilometer Höhe in die Ozonschicht eindringen.

Diese Schicht innerhalb der Stratosphäre (siehe Zeichnung Seite 29) gleicht allerdings eher einem sehr feinen Schleier: Auf jeweils 100 000 Sauerstoff-(O₂)-Moleküle kommt dort ein Ozon-(O₃)-Molekül. Dennoch bewahrt der zarte Gashauch das irdische Leben vor den gefährlichen ultravioletten (UV-)Strahlen der Sonne (siehe Kasten Seite 44): Treffen die UV-Strahlen auf die Ozonteilchen, so zerfallen diese,



Seit acht Jahren mißt der Wettersatellit „Nimbus 7“ die Ozonkonzentration über der Südhalbkugel aus einer Höhe von 950 Kilometern. Auf den Bildern ist die Antarktis weiß umrandet, im Zentrum jeder Abbildung liegt der Südpol. Von 1979 bis 1985 nahm die Ozonkonzentration über der Antarktis kontinuierlich ab – gekennzeichnet durch die Farbveränderung im Zentrum des saisonalen Ozonlochs von Blau ins Rötliche. Lediglich 1986 war die Konzentration wieder etwas höher. Neueste Daten lassen allerdings befürchten, daß 1987 das Ozonloch größer ist denn je

Ein Loch wächst im Fadenkreuz des Satelliten

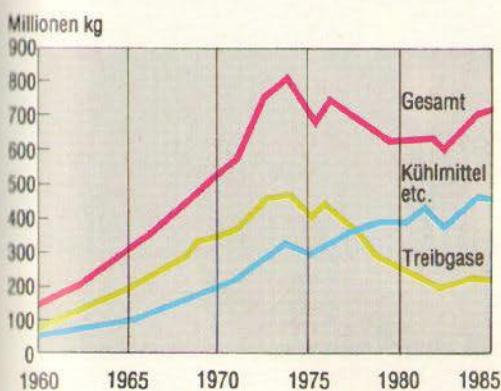
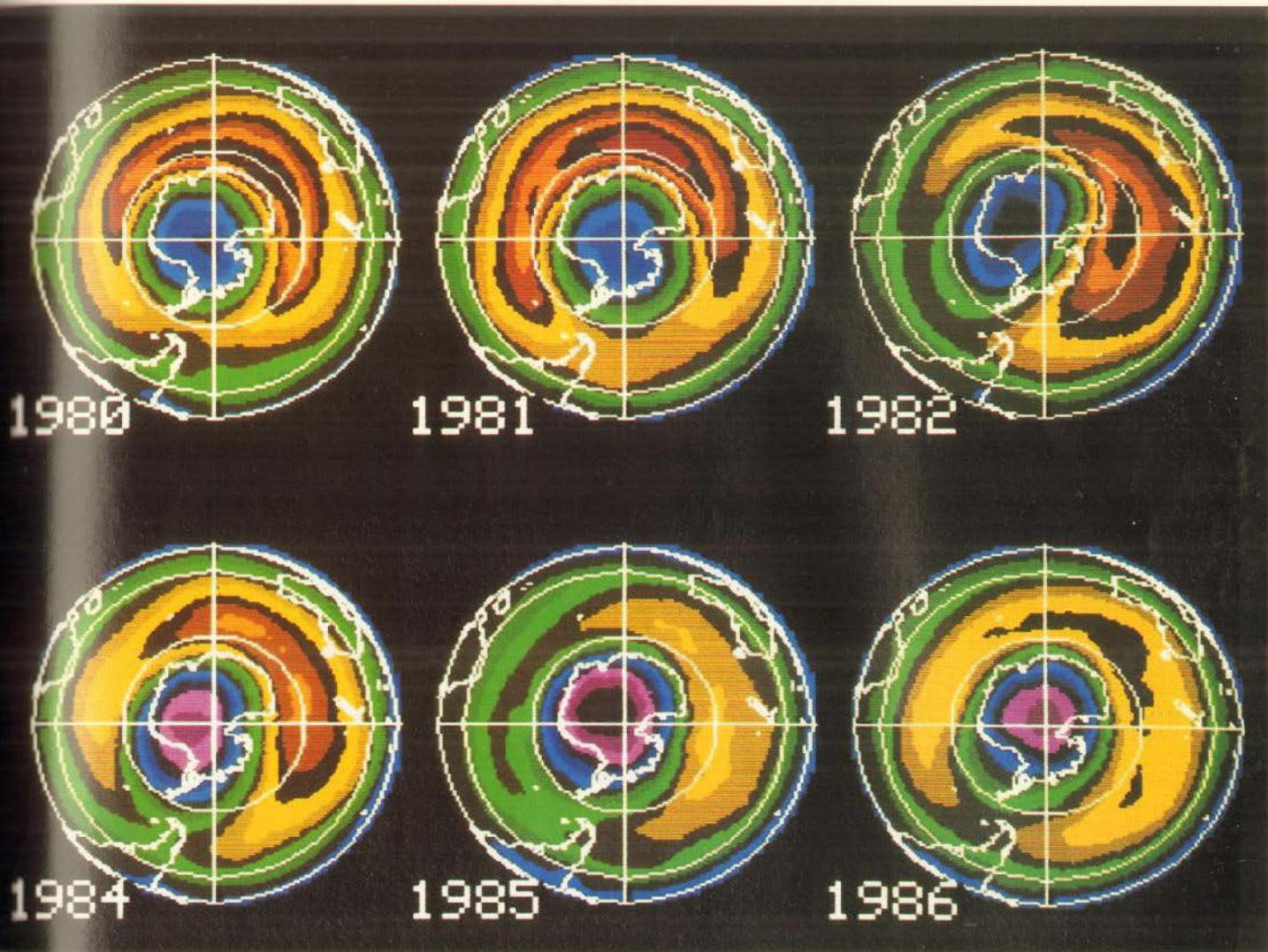
während sich die kurzwellige Energie des UV-Lichts in Wärme verwandelt. Bei dieser „Photodissoziation“ entstehen Sauerstoffradikale – chemisch aggressive O-Atome. Sie reagieren mit dem nächstbesten O₂-Molekül und bilden somit neues Ozon.

Die CFK jedoch, so postulierten Rowland und Molina, könnten das Gleichgewicht von Ozonspaltung und -neubildung verschieben. Denn die energiereichen UV-Strahlen würden aus den sonst so stabilen CFK-Molekülen Chlor-Atome abspalten, die das O₃ nicht in Sauerstoffradikale, sondern in O₂-Moleküle überführen. Es entstünde also kein neues Ozon. Hinzu kommt, daß ein Chlor-Atom nicht nur jeweils

ein einziges Ozonteilchen zerlegt, sondern immer wieder neue O₃-Moleküle knacken kann, ohne selbst in Mitleidenschaft gezogen zu werden. Das hatten Experimente im Labor bewiesen.

Aber eben nur im Labor. Modelle und Szenarien über die drohende Zerstörung der Ozonschicht hatten alleamt einen Schönheitsfehler: Niemand wußte, ob überhaupt und mit welcher Geschwindigkeit die im Labor nachgewiesenen Prozesse auch in der Stratosphäre ablaufen. Weitere Faktoren erschweren die Antwort auf die Frage, ob und in welchem Umfang die Menschheit mit ihrer Produktion von jährlich 700 000 Tonnen CFK den lebenswichtigen Ozonschild zerstört:

- Auch natürliche Substanzen vernichten Ozon, etwa das von Mikroorganismen stammende Spurengas Distickstoffoxid, ebenso aus den Ozeanen aufsteigendes Methylchlorid, ja selbst Wasserdampf. Diese „Quellengase“



Als die Chlor-Fluor-Kohlenwas-serstoffs Mitte der siebziger Jahre in Verruf gerieten, kam es zu einem ersten Ein-bruch in der Produktion. Schon 1978 verboten die USA, Kanada, Norwegen und Schweden die Verwen-dung der CFK als Treibgase aus

Sorge um die Ozon-schicht. Doch der Ge-brauch als Kühl-, Reini-gungs- und Aufschäum-mittel für Kunststoffe nahm ungebremst zu. Seit 1982 steigt die Produktion der gefähr-lichen Substanzen insgesamt wieder

bilden Radikale, die, wie das Chlor-Atom, den Ozonabbau beschleunigen.

- Die Radikale können sich miteinan-der verbinden. Ihre Reaktionsproduk-te regnen aus, sobald sie in die Tropo-sphäre gelangen. Sonst zirkulieren sie für Wochen als „Reservoirgase“ in der Stratosphäre. Zwar können sie der Ozonschicht in dieser Form nichts an-haben. Aber unter dem Einfluß des Sonnenlichts werden aus ihnen schließ-lich wieder Radikale abgespalten.

- Luftbewegungen verändern die Konzentrationen der Quellen- und Re-servoirgase – ein dynamisches Gesche-hen, das nicht nur von der geografi-schen Lage, sondern auch von der Hö-he und den Jahreszeiten abhängt.

Je besser die Wissenschaftler die Vorgänge in der Stratosphäre verstan-den, desto komplexer wurden ihre Mo-delle – und um so vorsichtiger ihre Pro-gnosen in Sachen Ozon. Von der an-fänglichen Befürchtung, im Jahr 2050

sei die Ozonschicht um ein Drittel redu-ziert, war bald keine Rede mehr. Heute vermutet Peter Fabian vom Max-Planck-Institut für Aeronomie bei Göttingen in seinem Buch „Atmosphäre und Umwelt“ nur noch eine Abnahme von zwei Prozent – eine Voraus sage al-lerdings, die „möglicherweise zu nied-rig liegt, wenn die Produktion von CFK weiter zunimmt“.

Mitten in die wissenschaftliche Dis-kußion über chemische Theorien und Modelle platzte 1985 die Nachricht vom antarktischen Ozonloch, obgleich sen-sible Detektoren dessen Existenz schon lange signalisierten. Doch hatten briti-sche Antarktisforscher um Joseph Far-land ihren Meßdaten von der For-schungsstation Halley Bay mißtraut, weil sie allen mathematischen Model-len widersprachen. Ärgerlicher noch: Das Ozonspektrometer an Bord des amerikanischen Wettersatelliten „Nimbus 7“ hatte das Loch seit 1979

zwar „gesehen“, aber die Meßergebnisse vergebens zur Erde gefunkt: Das Computerprogramm zur Auswertung seiner Daten hatte Ozonwerte unterhalb einer bestimmten Grenze einfach unterdrückt – als Meßfehler.

Die Entdeckung, daß mittlerweile die Ozonabnahme über der Antarktis in jedem Frühling fast 50 Prozent ausmacht, löste Entsetzen aus – und einen Forschungsboom. Bald gab es Erklärungsmodelle zuhauf. Nach der „chemischen“ Theorie, die eine Arbeitsgruppe um Susan Solomon von der State University in New York entwickelt hat, sammelt sich Chlor während der Polarnacht in Reservoirgasen an – etwa Salzsäure und Chlornitrat. Sobald die Sonne im

September wieder über den Horizont steigt, wird Chlor in Mengen aktiviert und vernichtet das Ozon. „Dynamiker“ jedoch bezweifelten, daß die postulierte rasche Umwandlung der Reservoirgase in Chlorradikale bei einer Temperatur von weniger als minus 70 Grad Celsius, die am Winterende über dem Südpol herrscht, überhaupt möglich sei.

Der Dynamiker Ka-Kit Tung von der amerikanischen Clarkson University stellte ein Computermodell dagegen, das die Abnahme der Ozonkonzentration ausschließlich aus der polaren Luftzirkulation erklärt: Sobald die UV-Strahlung der aufgehenden Sonne die O₃-Moleküle spaltet, erwärmt sich die Luft und steigt auf. Kalte ozonarme

Luft fließt nach. Nach der allgemeinen Erwärmung der polaren Atmosphäre Anfang Oktober wird das Loch mit ozonreicher Luft aus niedrigeren Breiten wieder aufgefüllt. Tungs Theorie konnte jedoch nicht schlüssig erklären, weshalb die Lücke in der Ozonschicht von Jahr zu Jahr größer wird.

Der Streit um Modelle und Theorien beeinflußte auch die Diskussion über die Gefährlichkeit der CFK. Umweltschützer, die – „im Zweifel für die Umwelt“ – für die unverzügliche Einstellung der CFK-Produktion, dieses „globalen Experiments mit ungewissem Ausgang“, plädierten, gerieten ins Hintertreffen. Nutznießer war die chemische Industrie. Sie hatte schon von

Die Sonne lacht. Wir sehen Licht und fühlen Wärme. Eine dritte Sonnenwirkung mögelt sich währenddessen an unseren Sinnen vorbei. Wenn wir sie wahrnehmen, ist es zu spät. Erst rötet sich die Haut, dann schlägt sie Blasen: Sonnenbrand. Ausgelöst wird der Sonnenbrand durch ultraviolette (UV-)Strahlung, die im Spektrum der elektromagnetischen Wellen zwischen dem sichtbaren Licht und der Röntgenstrahlung liegt. Ganz im Sinne von Paracelsus gilt auch für UV-Strahlen, daß eine hohe Dosis Negatives, eine geringe dagegen Positives bewirkt: Schon wenig UV-Strahlung reicht aus, um das Cholesterin im Körper in Vitamin D zu verwandeln, zuviel erhöht dagegen das Hautkrebsrisiko.

Frederick Urbach und seine Kollegen von der Temple University School of Medicine im amerikanischen Philadelphia zeigten schon 1974, daß die Hautkrebsrate bei Weißen zunimmt, je näher sie am Äquator leben. Sie errechneten zudem, daß eine Ozonabnahme von nur 5 Prozent jährlich rund 40 000 neue Hautkrebsfälle in den USA hervorrufen würde. Denn schon bei einer so geringen Ausdünnung der Ozonschicht erhöht sich die einfallende UV-Strahlung fast um das Doppelte, bei einer Abnahme von 20 Prozent gar um das Sechsfache. Zu Recht gilt deshalb die Ozonschicht als „Sonnenbrille“ der Biosphäre. Unter den Kulturpflanzen gelten Sojabohnen, Spinat, Erbsen und Tomaten als besonders UV-empfindlich. Im Fall eines Ozonab-

40 Projektoren, ausgerüstet mit Grau- und Interferenzlinien-Filtern, liefern die Farben und Lichtstärken, mit denen Donat-Peter Häder die Wirkung des Lichts auf die Mobilität von Algen und Geißeltierchen untersucht

baus sagen Agrarexperten Ernteverluste in Milliardenhöhe vor. Den folgenschwersten Schaden erwarten Wissenschaftler jedoch bei Kleinstlebewesen, die ihre Energie aus Sonnenlicht gewinnen. In den Meeren und auf dem Land stehen sie an der Basis der Nahrungskette, produzieren mehr als doppelt soviel Sauerstoff wie Wälder, Wiesen, Steppen und Kulturlandschaft zusammen.

Der Botaniker Donat-Peter Häder von der Universität Marburg befaßt sich seit Jahren mit der Photobiologie von Geißeltierchen, Blau- und Grünalgen. Diese überall verbreiteten Mikroorganismen wählen ihren Aufenthaltsort nach der Lichtstärke. Blaualgen beispielsweise orientieren sich noch an einer Lichtquelle, die schwächer ist als der Mond. Häder fand nun heraus, daß UV-Strahlen die

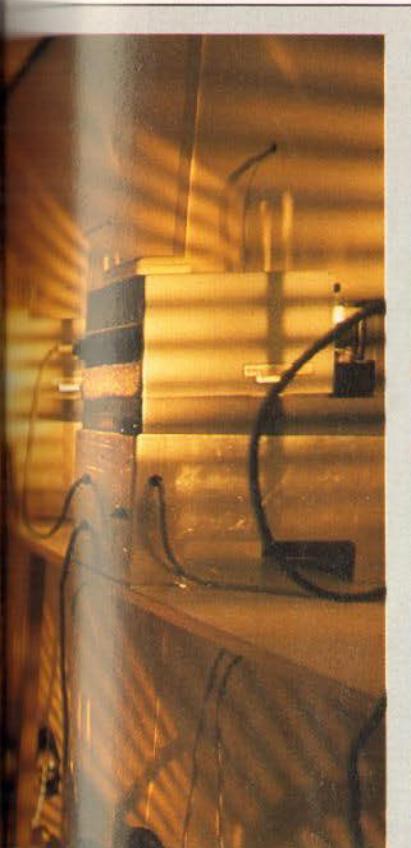
se Lichtsteuerung zerstören. Die Algen können sich veränderten Lichtverhältnissen nicht mehr anpassen. Desorientiert gehen sie entweder an Energiemangel im Dunkeln zugrunde oder an den direkten Folgen der UV-Strahlen. Schon bei normaler Sonneneinstrahlung stehen die meisten Mikroorganismen unter UV-Stress. Blaualgen sterben in direktem Sonnenlicht bereits nach einer





Mitglieder des Teams von Susan Solomon justieren ihre Geräte zur Messung von Spurengasen auf einem Dach der Antarktis-Station in McMurdo. Drinnen beobachtet Robert de Zafra die Aufzeichnung der Meßdaten

Unsichtbare Strahlen sind die tödliche Mitgift der Sonne



halben Stunde. Dem massenhaften UV-Tod im Sommer aber folgen „Algenblüten“ in Herbst und Frühjahr, wenn die Temperatur optimal und die UV-Strahlung nicht zu hoch ist. So stehen Vermehrung und Tod der Algen in einem empfindlichen Gleichgewicht. Dieses Gleichgewicht wird nach Ansicht von Häder durch einen Anstieg der UV-Strahlung unwiderruflich zerstört.

jeher – „im Zweifel für den Angeklagten“ – unanfechtbare Indizien von der Qualität „des noch rauchenden Colts nach dem Mord im Saloon“ gefordert. Doch bislang hatte noch niemand das Chlor-Atom in flagranti ertappt.

Die Wende kam mit den ersten Sonnenstrahlen des antarktischen Frühlings 1986. Eine Expedition unter der Leitung von Susan Solomon flog zur amerikanischen Forschungsstation McMurdo am Rande des Ross-Schelfeises und maß dort von Anfang September bis Ende Oktober die Konzentration von Spurengasen in der Atmosphäre. Seitdem sieht es schlecht aus für die CFK-Verbindungen. Denn:

- eine Gruppe um Crofton Farmer hatte in McMurdo registriert, daß mit dem Erscheinen der Sonne über dem antarktischen Horizont die Reservoirgase Salzsäure und Chlornitrat rasch zunahmen. Farmer folgerte, daß beide Gase wahrscheinlich als gefrorene Partikel in der Stratosphäre überwintern.
- Robert de Zafra und seine Kollegen hatten im gleichen Zeitraum sehr hohe Konzentrationen von Chlormonoxid gemessen – und zwar die höchste Konzentration bei sehr niedrigen Temperaturen. Dieses Gas entsteht vorübergehend bei der Zerstörung von Ozon durch Chlor und ist somit der härteste Zeuge der Anklage gegen CFK.

War dies der „rauchende Colt“? Es waren zumindest zwei weitere Steine eines Mosaiks, in das auch eine neuere Theorie von Paul Crutzen und Frank Arnold hineinpaßt. Die Atmosphärenchemiker vom Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz hatten errechnet, daß gerade bei Temperaturen unter minus 70 Grad Celsius Prozesse ablaufen, die eine Aktivierung von Chlor – und damit einen möglichen Ozonabbau – beschleunigen.

Auf einer Tagung im August dieses Jahres im kanadischen Vancouver begann dann die Front der Dynamiker zu bröckeln. Selbst „Hardliner“ gestanden zu, daß das Ozonloch „wohl auch eine chemische Signatur“ besitze.

Doch immer noch fehlten die entscheidenden Messungen. Alle Daten kamen bisher von Bodenstationen oder Satelliten, nicht aber aus dem Zentrum des Lochs über dem Südpol, wo inzwischen fast alles Ozon verschwunden zu sein schien. Auch über dem Nordpol war mittlerweile einen Riß in der Ozonschicht entdeckt worden.

Und so blickte Anfang September die Fachwelt auf Punta Arenas. Von dort aus flog das Spezialflugzeug ER 2 in 20 Kilometer Höhe mehrmals das Zentrum des diesjährigen Ozonlochs an. Einer der 14 Detektoren an Bord war installiert worden, um dem Chlormonoxid auf die Spur zu kommen, dem Kronzeugen gegen die CFK. In nur sechs Monaten hatten James Anderson, Chemiker an der Harvard University, und ein Dutzend Mitarbeiter das Instrument entwickelt.

Am 30. September gaben die Forscher erste Daten heraus. Tatsächlich hat Andersons Fluoreszenz-Spektrometer dort, wo die Ozonabnahme am größten war, auch die meisten Chlormonoxid-Moleküle eingefangen – 100- bis 500mal mehr als in niedrigeren Breiten. Damit dürfte feststehen: Chlor ist ein Ozonkiller – wenn auch wohl nur der zweitgefährlichste. Seit längerem schon gibt es einen weiteren Verdächtigen: Brom. Dessen Quelle sind sogenannte Halone, mit denen Feuerlöscher gefüllt werden.

Für das Umweltprogramm der Vereinten Nationen kamen die Ergebnisse aus Punta Arenas gleichwohl zu spät. Mitte September schlossen 36 Nationen den Kompromiß, CFK-Produktion und -Verbrauch bis 1999 lediglich um die Hälfte zu reduzieren. Halone sollen auf den Stand von 1986 eingefroren werden. □



»Rettet die Ozon-Schicht!«



Erst Raumsonden enthüllten die klimatische Sonderrolle der Erde. Zu Beginn spielten sich auf unserem Planeten ähnliche vulkanische Szenen ab wie auf dem Mars und der wolkengebänderten Venus. Aber danach nahm die irdische Lufthülle eine höchst eigenwillige Entwicklung

Unser unwahrschein

von REINHARD BREUER

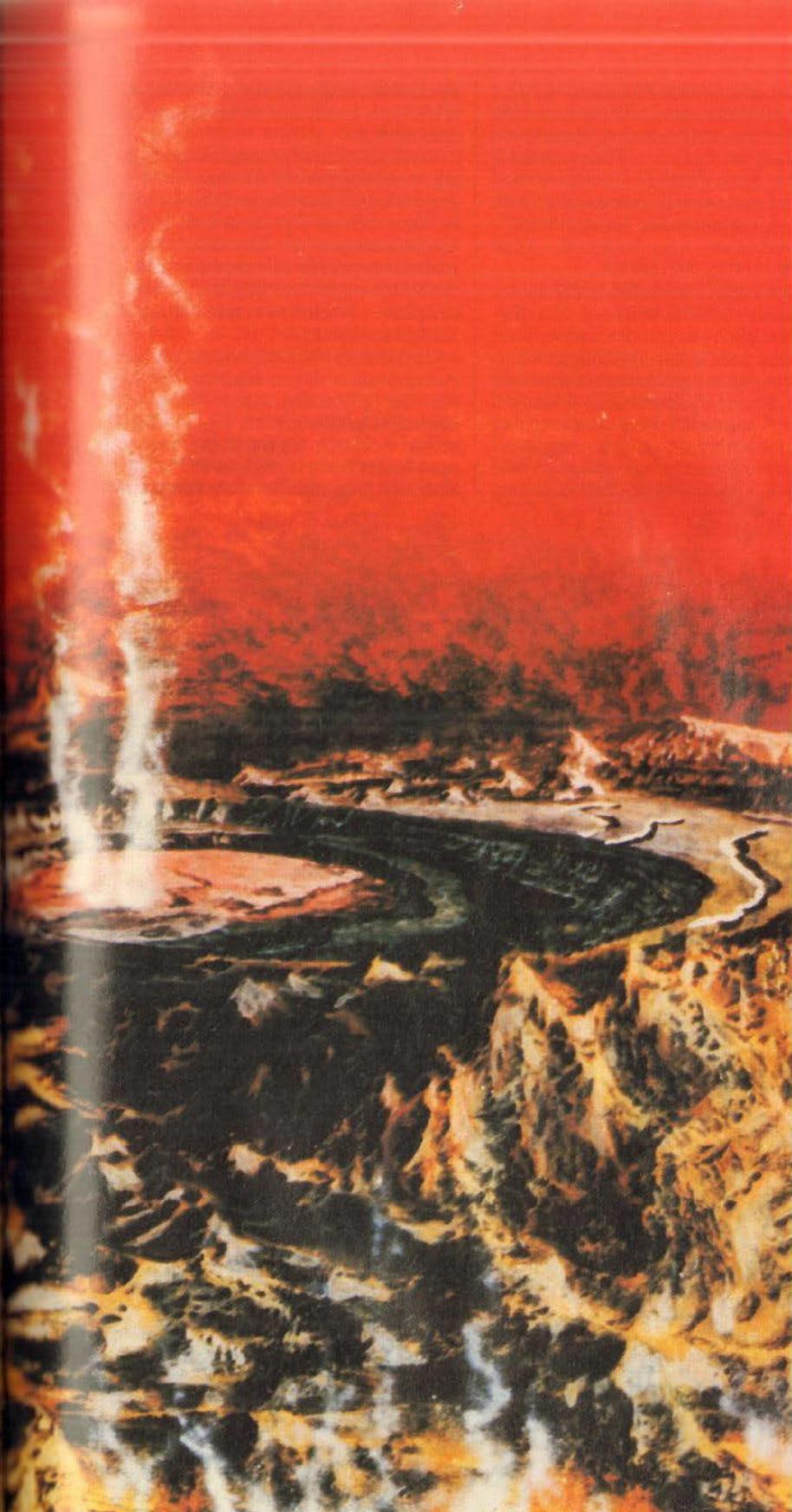
Schieres Erstaunen packt Planetologen fast immer, wenn sie auf das Erdklima zu sprechen kommen. Denn bei dem Versuch, die gut vier Milliarden Jahre alte Geschichte der irdischen Lufthülle zu durchleuchten, stoßen die Forscher ständig auf Merkwürdigkeiten, Unwahrscheinliches und Unglaubliches.

Sie finden einerseits, mit den Worten des deutschen Meteorologen Michael Memmesheimer, eine „erstaunliche Konstanz des irdischen Klimas in den letzten zwei bis drei Milliarden Jahren“, die sich „sicherlich günstig auf die Entwicklung des Lebens auf der Erde ausgewirkt hat“. Andererseits, gesteht der sowjetische Klimatologe Michail I. Budyko, sei es nicht nur „schwierig, die Entstehung des Lebens auf der Erde zu erklären“, sondern „noch schwieriger, die Erhaltung des Lebens über fast vier Milliarden Jahren zu verstehen, in denen sich die Atmosphäre ständig chemisch und physikalisch veränderte“.

Ohne das Wirken günstiger Zufälle, so betonen die Wissenschaftler, könnte eine wandelbare Lufthülle ja leicht zur Todeszone geraten: zu heiß oder zu kalt für das Leben. Deshalb müsse sich die Temperatur im Mittel stets in einem relativ engen, lebensfreundlichen Bereich bewegt haben. Die Chronik der Gesteine verrät, daß es Leben auf der Erde seit mindestens 3,8 Milliarden Jahren ohne jede Unterbrechung gibt. „Wegen dieser ungebrochenen Geschichte des Lebens wissen wir“, kommentiert der britische Klimaforscher James Lovelock, „daß die Ozeane niemals gefroren waren oder gekocht hatten.“

Zwar nehmen wir es heute fast gelassen zur Kenntnis, daß es ohne kosmische und irdische Zufallsfaktoren im Erdklima weder Leben noch Menschen gäbe und gegeben hätte. Wissenschaftler wie Lovelock glauben sogar, daß das Leben dem Klima nicht nur seine Existenz verdankt, sondern den überraschenden Verlauf des Erdklimas selbst entscheidend mitbestimmte (siehe Seite 56).

Vorläufig bleibt es aber selbst für Forscher schwer begreiflich, weshalb ausgerechnet die Entwicklung der Erdatmosphäre so ungewöhnlich temperaturstabil verlaufen ist. Dabei leben die Klimatologen in einer für ihr Vorhaben besonders günstigen Zeit: Sie können heute einerseits mögliche Verläufe des Klimas mit Hilfe von mathematischen Modellen und Supercomputern erstmals einigermaßen wirklichkeitsnah simulieren. Und sie sind andererseits Nutznießer der „Goldenen Ära der Planetenforschung“, denn sie



licher Planet

können ihre Klimamodelle nun auch an den Verhältnissen auf benachbarten Himmelskörpern austesten. Aus den Daten der Planetologen und Geowissenschaftler, des gemessenen und simulierten Erdklimas zeichnen sich Umrisse einer faszinierenden Geschichte ab – der Geschichte der höchst unwahrscheinlichen irdischen Lufthülle.

Im Anfang gingen die sonnennahen Planeten relativ „gleichberechtigt“ an den Start, zwar in verschiedenen Abständen von der Sonne, aber doch mit ähnlicher chemischer Ausstattung. Es muß aufregend gewesen sein, was sich damals am Rand eines Spiralarms der Milchstraße abspielte. Im trüben Licht ferner Sterne zog sich nach den Erkenntnissen der Astrophysiker eine riesige Wolke aus Gas und Staub zusammen. Dieser „solare Urnebel“ flachte langsam rotierend zu einer Scheibe ab. Staubkörner, sich gegenseitig anziehend und miteinander kollidierend, ballten sich zu immer größeren festen Körpern zusammen. Aus dem kosmischen Urstoff entstanden im inneren Sonnensystem die Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars. Nach vielleicht nur 100 Millionen Jahren kreisten sie bereits kugelrund und jeweils von einer Gashülle umgeben um die junge Sonne. Dann zündete in deren Kern das nukleare Feuer, ein erster Lichtblitz erleuchtete die neugeschaffene Planetenwelt, die seitdem im – stetig heller werdenden – Sonnenschein badet.

Dem gängigen Modell der Forscher zu folge bezogen die Planeten ihre ersten Hülle noch aus den Resten des solaren Urnebels – vor allem Wasserstoff und Helium. Diese ersten Uratmosphären gingen jedoch vermutlich bald verloren: Ein kurzzeitig aufflackernder „Wind“ – ein Strom geladener Teilchen – von der jungen Sonne riß sie fort. „Sekundäre“ Uratmosphären bildeten sich, als zahllose Vulkane Gase aus dem Innern der Erde und der anderen Planeten ausschleuderten – Wasserdampf, Stickstoff- und Kohlenstoff-Verbindungen.

Wie entrann die Erde dem Schicksal ewiger Vereisung?

Außerdem hagelte in der Frühzeit des Sonnensystems auf die Planeten ein heftiges Bombardement von Kometen und Asteroiden herab. Diese Bomben aus dem All lösten sich durch die Wucht ihres Aufpralls buchstäblich in Luft auf und reicherden die jungen Atmosphären zusätzlich mit Gasen an – vor allem mit Wasser und Kohlendioxid.

Gashüllen besitzen neben den vier „Gasgiganten“ – Jupiter, Saturn, Neptun und Uranus – noch neun weitere Planeten und Monde des Sonnensystems. Aber nur auf vier dieser Himmelskörper fanden Astronomen eine Atmosphäre vor, die den Namen auch verdient: auf der Erde,

auf der Venus mit dem 95fachen, auf dem Saturnmond Titan mit 1,5fachen und auf dem Mars mit knapp einem Hunderstel des Luftdrucks der Erde. „Hauptbestandteil dieser Atmosphären“, erläutert Karl-Heinrich Fricke vom Physikalischen Institut Bonn, „ist entweder Kohlendioxid – Venus und Mars – oder Stickstoff – Titan und Erde.“

So war es nicht immer. Ohne den Motor aller klimatischen Entwicklung, den ständigen Energiestrom von der Sonne, wäre der Urzustand aller Gashüllen wahrscheinlich auf ewige Zeiten konserviert worden. So aber bildeten sich Gase, die sich, wie Wasserstoff, bald wieder in den Weltraum verloren; andere reagierten chemisch miteinander oder wurden, wie Sauerstoff, von Gesteinen der Planeten-

oberfläche aufgenommen; Wasserdampf schließlich kondensierte in Meeren oder Eisschichten.

Doch die Sonnenenergie war nicht allein ausschlaggebend für das merkwürdige Sonderschicksal der irdischen Lufthülle. Drei weitere Faktoren kamen hinzu: Veränderungen in der Sonnenleuchtkraft, der spezielle Abstand der Erde von der Sonne sowie die Fähigkeit unserer Atmosphäre, Wärme in einem erträglichen Maß zu speichern.

Gestützt auf Modellrechnungen gehen Astrophysiker davon aus, daß die Sonne vor vier Milliarden Jahren kleiner und kühler gewesen sein muß. Ihre Photosphäre, die sichtbare „Oberfläche“, war mit rund 5500 Grad etwa um 300 Grad kälter als heute. Demnach hätte die Erde damals

Der Mars: Ein ideales Test- objekt für irdische Klimamodelle



rund 30 Prozent weniger Energie von der Sonne empfangen.

Dieses Faktum stürzte die Klimaforscher in ein Dilemma. Schon zwei Prozent weniger Sonnenwärme würden heute genügen, um eine neue Eiszeit auszulösen. Ein knappes Drittel weniger Wärme würde gar die gesamte Erde vereisen und vergletschern lassen. Einmal vereist, würde die helle Oberfläche fast die gesamte Sonneneinstrahlung reflektieren – und sich nie wieder bis zur Schmelze erwärmen. Wie aber entrann die Erde dem Schicksal ewiger Vereisung?

Einen der ersten Deutungsversuche wagten 1972 die amerikanischen Planetologen Carl Sagan und George Mullen: Die fehlende Wärme der jungen Sonne könnte durch einen verstärkten „Treibhausef-

fekt“ der irdischen Atmosphäre ausgeglichen worden sein (siehe auch den Bericht auf Seite 22). Ohne Treibhauseffekt wären wir heute verloren: Von gegenwärtig komfortablen 15 Grad Celsius würde die durchschnittliche Erdtemperatur um 35 Grad auf minus 20 Grad absinken.

Nur die Erde treibt in der schmalen Lebenszone der Sonne

Heute ist Sagan und Mullers TreibhausThese im Prinzip zwar weitgehend akzeptiert, aber Wissenschaftler streiten sich immer noch, welche Gase in der jungen Erdatmosphäre dominierten. Sagan und Muller dachten an vulkanisch ausgestoßenes Ammoniak und Methan. Andere For-

scher, wie der amerikanische Astronom Michael Hart, glauben aus ihren umfangreichen Computersimulationen des Langzeitklimas herauslesen zu können, es müssten Feuerbergen damals vor allem Kohlendioxid entströmt sein. Dessen Treibhauswirkung hätte die durchschnittliche Erdtemperatur trotz der „blassen“ jungen Sonne vor vier Milliarden Jahren auf 37 Grad Celsius hochtreiben können. Später, bei nachlassendem Vulkanismus, sei die Temperatur allmählich gesunken, während gleichzeitig, in einer subtilen Balance, der Kohlendioxid-Gehalt der Luft ab- und die Sonneneinstrahlung zunahm. Andere Forscher wiederum meinen, das Zusammenspiel von Wolkenbedeckung und freier Erdoberfläche hätte die Temperatur ebenso drastisch beeinflussen können wie der Treibhauseffekt. Aber niemand hat Gewißheit, wie bewölkt die Erde vor Milliarden Jahren wirklich war.

Auf welch schmalem Grat sich das Erdklima entwickelte, zeigt das Schicksal der Nachbarplaneten: Eine Kältewüste herrscht auf dem Mars, eine Hitzehölle brütet auf der Venus. Hart hatte 1978 die „dauerhaft bewohnbare Abstandszone“ untersucht, in der ein Planet um die Sonne kreisen müsse, um über Jahrtausenden hinweg die Existenz und die Evolution von Leben zuzulassen. Demnach würde ein um fünf Prozent geringerer Abstand der Erde zur Sonne eine venusianische „Hitzekekatastrophe“ auslösen; hingegen würde gar ein nur um ein einziges Prozent vergrößerter Abstand – 1,5 Millionen Kilometer – die Erde in eine marsianische „Eiskatastrophe“ stürzen.

Eine fatale „positive Rückkopplung“ macht den Weg in beide Katastrophen so unaufhaltsam, wenn erst einmal die jeweiligen Grenzwerte überschritten sind. Würde die Erde lange Zeit weniger Sonnenenergie empfangen, so würden die Polkappen in Richtung Äquator wachsen. Wachsende Eisflächen erhöhen jedoch die Rückstrahlung und damit den Wärmeverlust: die Oberflächentemperatur sinkt. Dies würde die weitere Ausdehnung der Eis- und Schneeflächen bewirken – und das Klima unaufhaltsam noch tiefer in den Eiskeller rutschen lassen. „Eine eisbedeckte Erde wäre nur schwierig umzudrehen“, konstatieren die US-Klimatologen Joseph Chamberlain und Donald Hunten. „Einfach die Sonnenstrahlung wieder (auf den Normalwert) zu erhöhen würde nicht reichen, da das Eis ein Zusätzliches an Strahlung zum Auftauen braucht.“

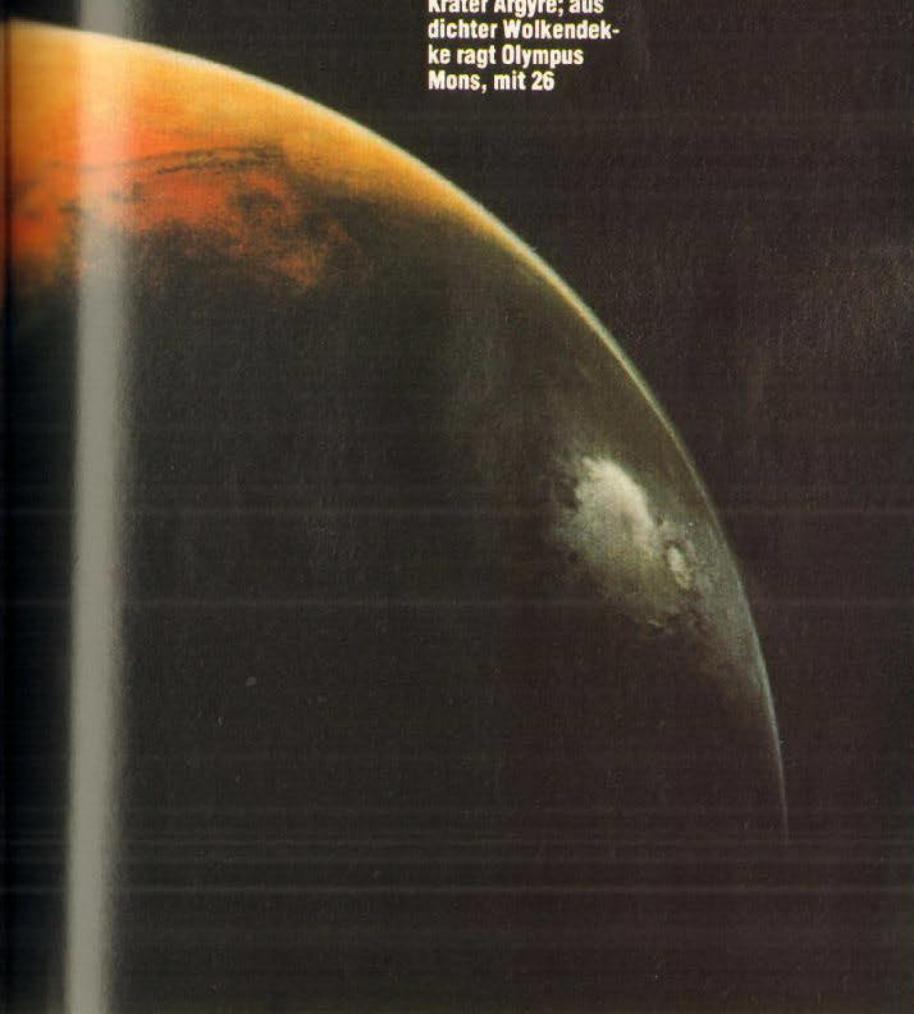
Ähnlich irreversibel wäre die andere Richtung: Eine höhere Sonneneinstrahlung ließe mehr Wasserdampf verdunsten. Dadurch würde der Treibhauseffekt die Temperatur ansteigen lassen – ein sich selbst aufschaukelnder Prozeß. Die Folge: Noch mehr Wasser würde verdampfen, bis alle Ozeane austrockneten.

In dem so entstandenen Hitze klima bliebe das Kohlendioxid, anders als heute



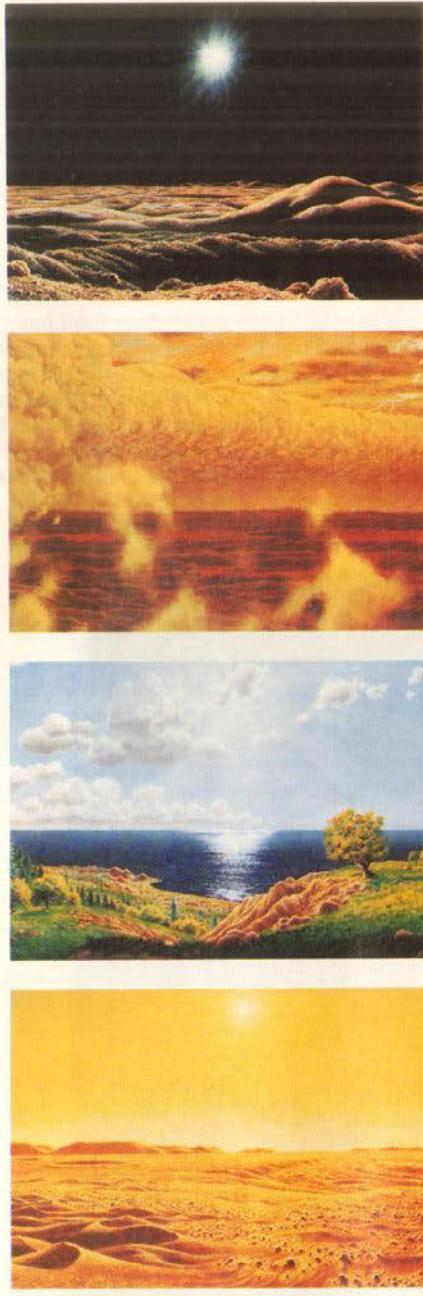
Ein fast erdhaf-tes Alltagswetter enthüllt die Morgen-dämmerung auf dem Mars im August 1976: Vom Vulkan Ascreaus Mons (links unten) ziehen Was-sereis-Wolken west-wärts; Reif und Schnee bedecken die Gegend um den südlich gelegenen Krater Argyre; aus dichter Wolkendecke ragt Olympus Mons, mit 26

Kilometer Höhe größter Vulkan im Sonnensystem. Offenbar floß hier einst – in einer warmen Periode – Wasser. Heute ver-birgt es sich – bei unter minus 60 Grad Celsius – ver-mutlich im Dauer-frostboden





Wie fürs Poesiealbum der Klimatologen gezeichnet, erscheinen die Landschaften der vier «terrestrischen» Planeten neben ihren – von Raumsonden fotografierten – Porträts: Merkur, den die nahe Sonne bis auf 350 Grad Celsius aufheizt; Venus mit einer glühendheißen Treibhaushölle; die Erde; Mars mit einer Kältewüste. Vor rund vier Milliarden Jahren aber begannen Erde, Mars und Venus mit einem sehr ähnlichen – gemäßigten – Klima



Atmosphären im Versuchslabor des Sonnensystems

auf der Erde, in der Atmosphäre. Denn bei Temperaturen von einigen hundert Grad Celsius könnte kein Karbonatgestein mehr entstehen: Dieses Gestein bindet CO_2 und entzieht somit der Lufthülle einen Teil des Treibhausgases.

Ein weiterer Effekt der Höllenhitze wäre der Abau des Wasserdampfs in der Lufthülle: In der obersten Luftsicht, an der Grenze zum Weltraum, zerlegt die UV-Strahlung der Sonne die Wasserdampf moleküle. Der abgespaltene leichtere Wasserstoff kann aufsteigen und in den Welt Raum entweichen, der schwerere Sauerstoff wird von der Planetenoberfläche „verschluckt“, in dem er Oberflächengestein oxidiert. Eine solche Photolyse fin-

det zwar auch heute statt, spielt aber bei dem geringen Wasserdampfgehalt der Luft keine Rolle mehr.

Die Venus, der fast gleichgroße Schwesternplanet der Erde, liegt um rund 28 Prozent näher an der Sonne und damit mitten in der Todeszone: Sie wird von der Sonne doppelt so intensiv bestrahlt wie die Erde. Kein Wunder, daß – wie unbemannte sowjetische Raumsonden bei Landungen herausfanden – auf der Venus ein Höllen klima herrscht. An ihrer Oberfläche wür-

de selbst Blei schmelzen; trotz des am Boden gegenüber der Erde 95fachen höheren Luftdrucks jagen schwefelsäurehaltige Wolken mit Geschwindigkeiten um 400 Kilometer pro Stunde am ewig bedeckten Himmel entlang.

Über Klimaveränderungen auf der Venus gibt es keine direkten Zeugnisse. Aber das Szenario der Hitzekatastrophe könnte zumindest die extremen Zustände erklären, die heute auf unserem Abendstern herrschen: Wie kam es zur hohen Temperatur von plus 450 Grad Celsius? Warum enthält seine Gashülle fast nur Kohlendioxid? Wo, vor allem, blieb all das Wasser, das es einst dort, ähnlich wie auf der Erde, gegeben haben muß?

Vielleicht barg die Venus einst sogar Urformen des Lebens

Den Schlüssel zum „Geheimnis des fehlenden Wassers“ fanden die amerikanischen Sonden „Pioneer Venus“ 1 und 2. Als sie 1978 am Abendstern ankamen und ihn zu umkreisen begannen, warf Pioneer Venus 2 unter anderem eine Ballonsonde ab. Das Meßgerät trieb in 63 Kilometer Höhe mitten in den orkanartig dahinbrausenden Wolken, um dort das Verhältnis von leichtem Wasserstoff zu schwerem Wasserstoff – dem Deuterium – zu messen. Überraschenderweise registrierte die Sonde hundertmal mehr Deuterium als in unserer Atmosphäre.

Genau dies aber sei „ein Hinweis darauf, daß die Venus einst sehr viel mehr Wasser als heute besaß“, kommentiert James Pollack vom Ames Research Center der Nasa im kalifornischen Moffett Field den Befund. Da ein Deuterium Atom fast genau doppelt so schwer ist wie ein einfaches Wasserstoff Atom, kann es nicht so leicht in den Welt Raum entweichen. Deshalb hat sich Deuterium, dem Szenario der Hitzekatastrophe zufolge, offenbar in der Venusatmosphäre überdurchschnittlich angereichert, als das ursprünglich vorhandene Wasser verloren ging. Vielleicht war es einst auf der Venus unter der blassen jungen Sonne durchaus erträglich: „Gemäßigte Oberflächentemperaturen, Ozeane aus Wasser und vielleicht sogar Urformen des Lebens“, hält Pollack für möglich.

Auch auf dem Mars konnten unbemannte Planetenspäher kein flüssiges Wasser entdecken. Sie meldeten dafür aber Polkappen aus Eis und gefrorenem Kohlendioxid, über Monate tobende Staubstürme, Vulkane, Canyons, Sanddünen, Lava-Rinnen und – ausgetrocknete Flusstäler: Sie verraten, daß es auch auf unserem kleineren Nachbarplaneten einmal Wasser in flüssiger Form – und damit auch ein milderes Klima – gegeben haben muß.

Der Rote Planet erwies sich für die Klimatologen als ein weitaus ergiebigeres

Vergleichsobjekt als die Venus. So dauert ein Marstag nur 41 Minuten länger als ein Erdtag, während sich die Venus nur alle 243 Tage um die eigene Achse dreht. Auch ist die Drehachse des Mars ähnlich geneigt wie die der Erde, was auf beiden Planeten zu Jahreszeiten führt. Zwar dominiert, wie auf der Venus, auch in der Marsatmosphäre das Kohlendioxid; wegen der nur halb so großen Sonneneinstrahlung pendeln die Temperaturen aber im Mittel um minus 60 Grad. Lange Zeit war der Verbleib des „fehlenden Wassers“ auch auf dem Mars für die Planetologen höchst rätselhaft. Seit kurzem glauben die Forscher jedoch, einer Antwort nähergekommen zu sein. Neben Meteor- und Kometeneinschlägen sehen sie im marsianischen Vulkanismus den wichtigsten Wasserlieferanten. Bei irdischen Eruptionen entweichen vorwiegend Wasser, Kohlendioxid und Stickstoff. Die gleichen Gase könnten auch den Vulkanen des Mars entströmt sein. Und an Vulkanen mangelt es dem Roten Planeten wahrlich nicht, besitzt er doch unter anderem den größten Vulkan des Sonnensystems – Olympus Mons, 26 Kilometer hoch und mit einem Basisdurchmesser von 600 Kilometer.

Die von marsianischen Feuerbergen ausgestoßene Wassermenge war beträchtlich; vermutlich genügte sie, um den Planeten in einen globalen Ozean zu hüllen, „wenigstens 500 bis 1000 Meter tief“, wie Michael Carr vom U.S. Geological Survey erklärt. Auch die marsianische Gashülle hätte damals mit einem ein- bis dreifachen Luftdruck der Erdatmosphäre und milden Temperaturen ein lebensfreundliches Kli-

ma gewähren können – vermutlich für die ersten zwei Milliarden Jahre: Der kleine Himmelskörper erkaltete aber rasch, der Vulkanismus erstarb und damit der Nachschub an Treibhausgasen.

Somit waren die Weichen in Richtung „Eiskatastrophe“ gestellt. Zunächst kondensierte der Wasserdampf der Mars-Atmosphäre, während das verbliebene Kohlendioxid von den entstandenen Gewässern und dann von Karbonatgesteinen aufgenommen wurde. Mit dem Schwinden der Treibhausgase kühlte das Marsklima entscheidend ab: Ein globaler Temperatursturz von vermutlich rund fünf Grad stieß den Roten Planeten für alle Zeiten hinab in den Eiskeller.

Wo aber blieb all das Wasser? Die Planetologen vermuten, daß es sich – außer in den polaren Eiskappen – hauptsächlich im porösen Gestein unter den roten Marswüsten für immer gefroren versteckt. Zwar habe es also neben der Erde auch auf dem Mars noch eine gewisse klimatische Entwicklung gegeben, befindet der Kieler Planetologe Peter Janle. Aber: „Mars und Venus haben altmodische Atmosphären.“

Hätte irgendeine marsianische Lebensform sich in der kurzen warmen Frühphase behauptet oder gar das Marsklima zu ihren Gunsten beeinflussen können? Wenn

es je Leben auf dem Mars gab – oder gar noch geben sollte: Die amerikanische Viking-Sonde hat 1976 nach ihrer Landung nichts davon bemerkt, trotz eines eigens für die Suche nach Lebensspuren konstruierten Experiments. Zu kurz für jede weiterreichende biologische Evolution war wohl die „warme“ Frühzeit des Roten Planeten. „Leben auf dem Mars“, spottet heute die US-Klimatologen John Lewis und Ronald Prinn, „wird nichts werden als ein schlechter Scherz aus den sechziger Jahren.“

Kann die Erde irgendwann einmal kochen oder zu Tode gefrieren?

Die von Planetologen rekonstruierte marsianische Frühgeschichte aber stützt ein weiteres Mal die These, daß die inneren Planeten im wesentlichen mit einem ähnlichen Urklima „an den Start“ gingen. Einzig die Erde machte aus ihrem „Startkapital“ mehr als ihre Nachbarn: Aus ihrer „altmodischen“ Atmosphäre entwickelte sich ein „modernes“, lebensfreundliches Klima – das nun womöglich durch die Kurzsichtigkeit der Menschheit gefährdet ist.

So bekommen die Fragen der Forscher nach der Geschichte der Erdatmosphäre eine aktuelle Brisanz: Wie konnte das irdische Klima den Absturz in das eine oder andere Katastrophen-Extrem vermeiden? War nicht auch unsere Lufthülle immer wieder der Gefahr ausgesetzt, sich in eine unfruchtbare, lebensfeindliche Gas-Kammer zu verwandeln? Und, für uns am wichtigsten: Kann das Erdklima nicht doch noch irgendwann einmal entgleisen, die Erde kochen oder zu Tode gefrieren lassen?

Trotz der modernen Möglichkeiten, mathematische Klimamodelle auch an anderen Planeten auszuprobieren und dadurch zu verbessern, kann es keine eindeutigen Antworten auf diese Fragen geben. Denn zum einen kennen die Forscher einfach zu wenige „harte“ geologische Fakten, um die Langzeitgeschichte des Erdklimas eindeutig zu belegen. Und andererseits gibt es zu viele bekannte Eigenschaften, die unsere Heimat im All zu einem untypischen, mit keinem anderen Planeten vergleichbaren Einzelfall stempeln:

- Nur die Erde ist auch heute noch von Ozeanen bedeckt;
- nur die Erde hat im Sonnensystem eine Atmosphäre mit reichlich Sauerstoff;
- nur die Erde hat Leben hervorgebracht, das im Lauf seiner Evolution die Zusammensetzung der irdischen Lufthülle grundlegend veränderte.

Selbst wenn die Klimatologen mehr harde Fakten der Erdgeschichte wüßten und über noch leistungsfähigere Klimamodelle verfügen, könnten sie keine sicheren Prognosen über die Zukunft des Erdkli-

Neun Körper des Sonnensystems umgeben sich mit einer Gashülle

Körper	Massa (Erde = 1)	Atmosphäre	Druck (Erde = 1)	Temperatur	Oberfläche
ERDE	1	Stickstoff (78%) Sauerstoff (21%)	1	15° C	Ozeane (70%) und Kontinente
VENUS	0,81	Kohlendioxid (96%) Stickstoff (3,5%)	95	472° C	Vulkane und Lavaebenen, keine Meere
MARS	0,11	Kohlendioxid (95%) Stickstoff (2,7%)	0,006	-59° C	Permafrostkruste, Vulkane, Lavaebenen
MERKUR	0,06	Helium (98%) Wasserstoff (2%)	2·10 ⁻¹⁵	350° C (Tag) -170° C (Nacht)	Kruste mit Einschlagkratern
ERDMOND	0,01	Wasserstoff Helium Neon	10 ⁻¹⁵	111° C (Tag) -171° C (Nacht)	alte Einschlagkrater und Lavaebenen
TITAN Saturnmond	0,023	Stickstoff (94%) Helium (6%) Methanwolken	1,5	-178° C	Methanmeere und -flüsse, Methanfelsen
IO Jupitermond	0,015	Schwefeldioxid Natrium	10 ⁻⁷	-140° C	gefrorenes Schwefeldioxid, Silikate
TRITON Neptunmond	0,009	Stickstoff Methan	0,13	-220° C	Kontinente aus Methaneis Stickstoffmeere
Pluto	0,002	unbekannt	0,001	-230° C	Methaneis

mas geben. Denn Wasser (Hydrosphäre), Eis (Kryosphäre), Luft (Atmosphäre) sowie Festland und Meeresboden (Lithosphäre) bilden ein äußerst komplexes dynamisches System, das ständig im Fluß ist. Gesteuert wird dieses System von drei sehr unterschiedlichen, aber dennoch ineinander verwobenen Einflüssen:

- von kosmischen Einflüssen wie der Sonneneinstrahlung, dem Verlust der Uratmosphäre, dem Einschlag großer Meteoriten und Kometen, den Schwankungen der Erdbahn und Erdneigung;
- von terrestrischen Einflüssen wie der vulkanischen Ausgasung, dem Wasser-kreislauf, der Wanderung der Kontinente, den „Reflektoren“ Wolken, Eis und Schnee, den Eis- und Warmzeiten, der Luftchemie;
- von biologischen Einflüssen wie der Photosynthese: Pflanzen und chlorophyll-haltige Bakterien entziehen der Luft Kohlendioxid und führen ihr Sauerstoff zu.

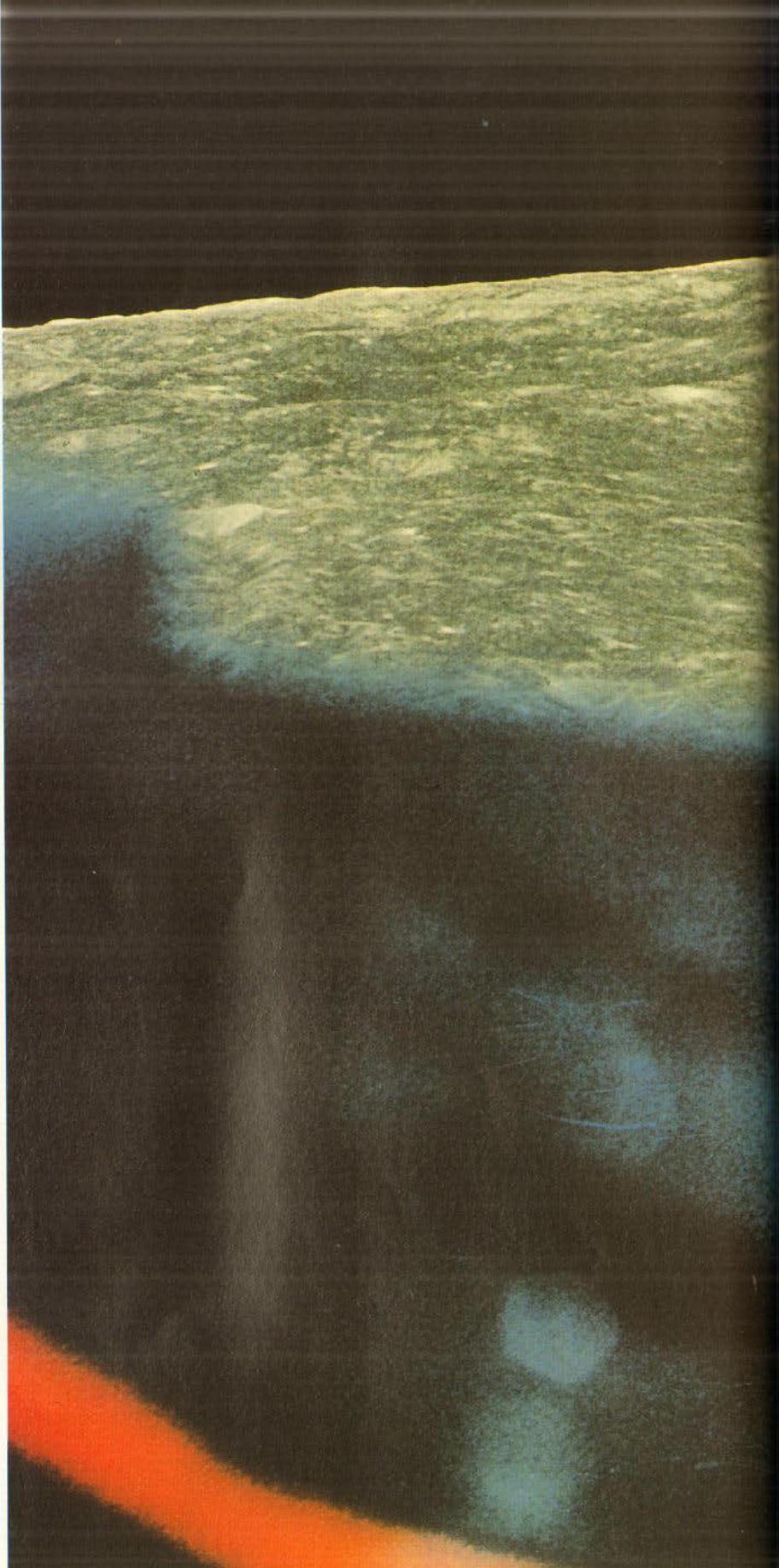
Der größte Unsicherheitsfaktor in der Klimaentwicklung sind die Wolken

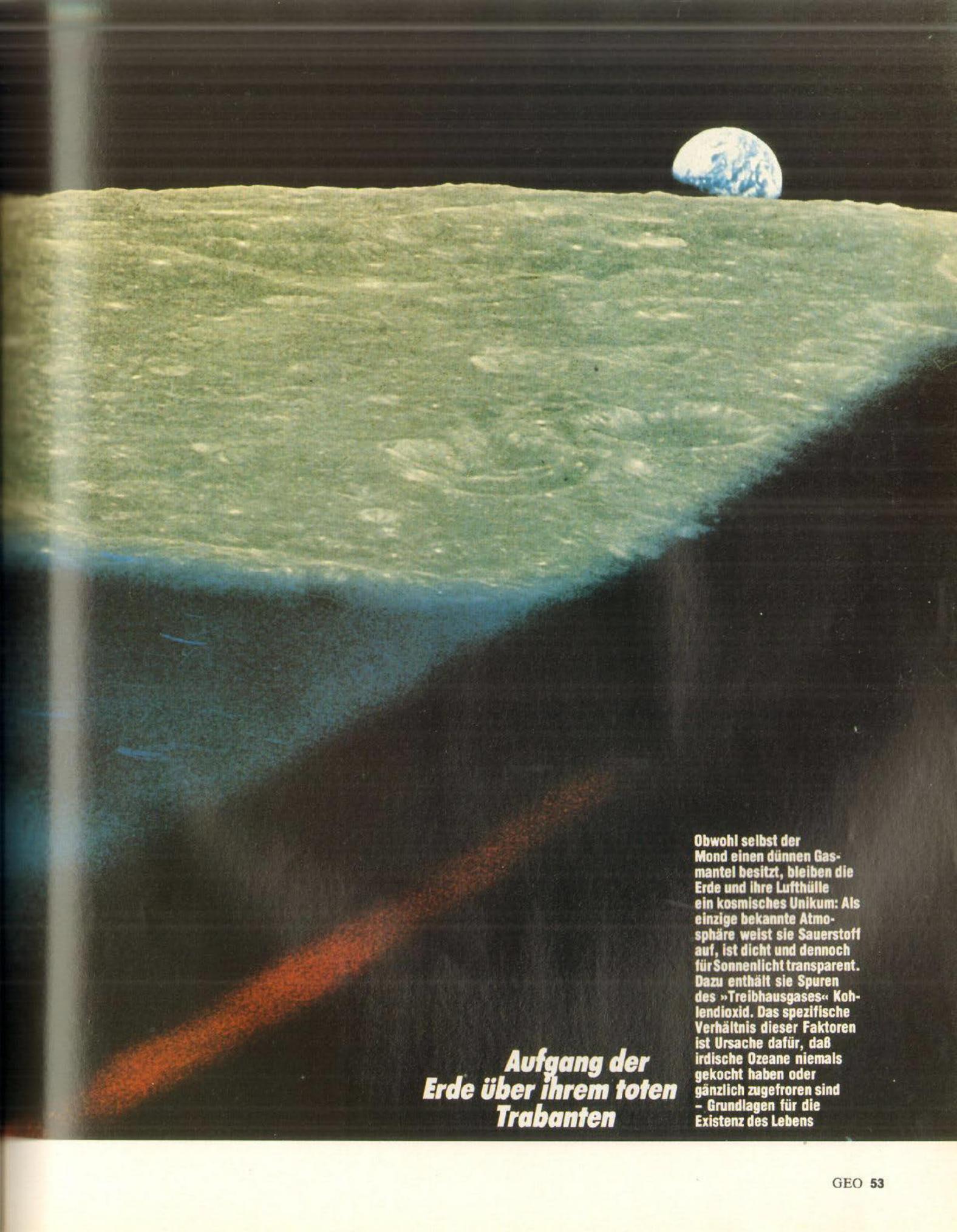
Die schwindelerregende Komplexität des Klimageschehens konnte Forscher wie Michael Hart nicht schrecken, dennoch ein Modell zu entwickeln. Hart versuchte 1978, mit Computerhilfe, wenigstens einige wichtige Faktoren wie Temperatur und Luftchemie über die ganze Erdgeschichte hinweg zu simulieren – trotz vieler Vereinfachungen „der erste Versuch, ein mehr oder weniger komplettes theoretisches Modell zu konstruieren“, wie sein sowjetischer Kollege Michail I. Budyko bewundernd anmerkt.

Harts Modell wurde zwar wegen seiner zum Teil spekulativen Annahmen kritisiert. Aber es weist zumindest darauf hin, wie knapp die Erde vor rund zwei Milliarden Jahren einer Eiskatastrophe entronnen ist: Damals war der Kohlendioxid-Ausstoß der Vulkane weitgehend abgeklungen, während andere Treibhausgase wie Methan und Ammoniak durch den von Organismen produzierten, photosynthetischen Sauerstoff oxidiert und damit als Wärmefallen wirkungslos gemacht waren. Dies schwächte den Treibhauseffekt so sehr ab, daß die mittlere Erdtemperatur auf nur noch plus sechs Grad Celsius sank.

Nach Berechnungen von Budyko liegt dieser Wert nur um ein einziges Grad über der Schwelle, von der an die Erde völlig mit Eis überkrustet würde. Wenn Hart in seinem Modell die Rahmenbedingungen geringfügig änderte, rutschte das errechnete Erdklima denn auch unaufhaltsam in die Eiskatastrophe.

Die größte Unsicherheit all solcher Klimamodelle, erklärt Stephen Schneider vom amerikanischen National Center for Atmospheric Research in Boulder im Bundesstaat Colorado, liegt aber in der Rolle der Wolken. Auf zweierlei Art be-





***Aufgang der
Erde über ihrem toten
Trabanten***

Obwohl selbst der Mond einen dünnen Gasmantel besitzt, bleiben die Erde und ihre Lufthülle ein kosmisches Unikum: Als einzige bekannte Atmosphäre weist sie Sauerstoff auf, ist dicht und dennoch für Sonnenlicht transparent. Dazu enthält sie Spuren des »Treibhausgases« Kohlendioxid. Das spezifische Verhältnis dieser Faktoren ist Ursache dafür, daß irdische Ozeane niemals gekocht haben oder gänzlich zugefroren sind – Grundlagen für die Existenz des Lebens

einflussen sie das Klima: Einmal verringern sie die Temperatur, da sie Sonnenstrahlen reflektieren, die sonst den Erdboden erreichen würden; zum andern aber halten sie auch die Erde warm, da sie verhindern, daß Wärmestrahlung vom Boden in den Weltraum entweichen. Ohne Wolken, so haben die Wetterforscher beobachtet, sänke der Reflexionsgrad der Erdoberfläche – die Albedo – von gegenwärtig rund 30 Prozent auf unter zehn Prozent, das Klima wäre völlig verändert.

Stabilisieren Grünalgen im Ozean das Klima der Erde?

Wolken sind kleinräumige und flüchtige Phänomene, die bisher in den vergleichsweise grobgerasterten Computermodellen nicht individuell erfassbar sind. Obwohl also der Effekt der Wolken noch nicht völlig geklärt ist, glauben Klimaforscher, daß helle, niedrige Wolken das Klima abkühlen, während die hohen, fast transparenten Cirruswolken es eher erwärmen. Je nach Typ stärken oder schwächen Wolken damit den Treibhauseffekt des Kohlendioxids und anderer Spuren gase. Da aber der Kreislauf des Kohlendioxids wiederum aufs engste vom Leben auf der Erde gesteuert wird, bilden Wolken, Kohlendioxid und Leben ein schicksalhaft miteinander verzahntes System.

Zwar entweicht auch heute noch bei Vulkanausbrüchen Kohlendioxid aus dem Erdinneren. Noch mehr aber wird es ständig durch Meeresorganismen aufgenommen und damit der Atmosphäre entzogen. Denn die Lebewesen bauen den Kohlenstoff auch in ihre Kalkskelette ein, die nach dem Absterben auf den Boden der Ozeane sinken und dort Karbonatgestein bilden. James Lovelock wies kürzlich erneut auf das Dilemma hin: Der biologische „Pumpmechanismus“ der Meere habe den Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre von einst mindestens 30 Prozent um den Faktor 1000 auf die heute herrschenden

0,3 Promille reduziert – also auf einen bedrohlich niedrigen Wert. „Mehr kann er nicht abnehmen“, argumentiert Lovelock, „ohne das Wachstum der wichtigsten Pflanzen zu gefährden, deren (Überlebens-)Grenze bei 0,15 Promille liegt, also nur wenig unter dem Minimalwert von 0,18 Promille während der letzten Eiszeit.“ Im Gegensatz dazu wirkt der rasche Anstieg des Kohlendioxids im Industriezeitalter allerdings bedrohlich.

„Warum veränderte sich“, staunt Michail Budyko angesichts dieser Fakten, „die Atmosphäre vier Milliarden Jahre lang in einem Bereich, der nicht nur die kontinuierliche Erhaltung des Lebens zuließ, sondern auch die Entwicklung von Organismen hoher Komplexität?“

Lovelocks Antwort auf dieses größte aller klimatologischen Rätsel heißt „Gaia“. Hinter diesem Namen verbirgt sich die Hypothese des Engländer, wonach das Leben selbst aktiv seine Umwelt und den Zustand des Klimas beeinflusste, so daß es über alle Zeiten und kritischen Phasen hinweg in einem für das Leben jeweils erträglichen Gleichgewicht geblieben ist.

Eine so unkonventionelle These in Verbindung mit einem so zugkräftigen Namen aus der griechischen Mythologie – Gaia ist die Erdgöttin – mußte Kritik und Mißverständnisse auslösen. Lovelock und der amerikanischen Biologin Lynn Margulis von der Boston University, die bei der Ausarbeitung der Gaia-Hypothese geholfen hat, wurde unter anderem unterstellt, sie betrachteten „Gaia“ als einen zielbewußt agierenden Gesamtorganismus, der das Schicksal der Umwelt global steuern könne.

Dies wurde von Lovelock und Margulis allerdings niemals behauptet und kann

auch in solcher Allgemeinheit keineswegs stimmen: Die Strahlung der Sonne, die Schwankungen der Erdbahn oder der Vulkanismus der jungen Erdkruste beispielsweise können von irdischen Organismen natürlich nicht beeinflußt werden. Aber auch der Atmosphärenforscher Stephen Schneider räumt ein: „Man kann sagen, Leben und Klima haben eine gemeinsame Evolution durchgemacht, und daß sie sich wechselseitig beeinflußt haben, ist für die geologische Geschichte gesichert.“

Die Co-Evolution von Klima und Leben, wie sie die Gaia-Hypothese postuliert, eröffnet somit eine faszinierende Perspektive: Das Leben selbst könnte den klimatischen Ritt auf des Messers Schneide zu seinen Gunsten beeinflußt haben – besonders in jenen kritischen Phasen, als die Erdatmosphäre kurz davor stand, in eine Hitze- oder Eishölle abzustürzen.

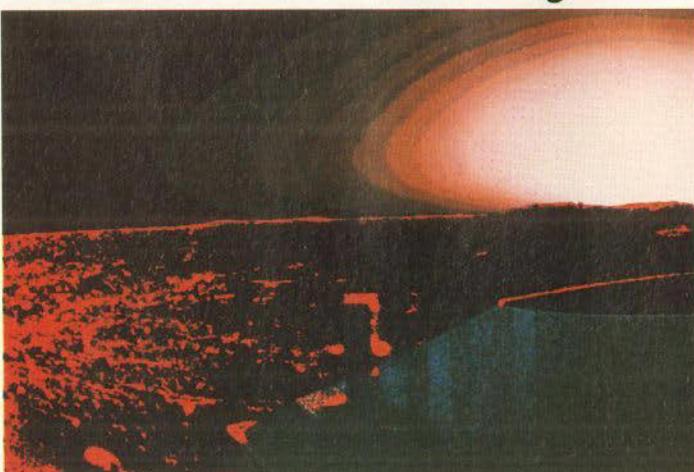
Ein wesentliches Detail der Co-Evolution von Klima und Leben beschrieb Lovelock gemeinsam mit drei Kollegen im April im Wissenschaftsmagazin „Nature“: die Wolkenbildung. Wolken entstehen, wenn Wasserdampf sich an Kondensationskeimen in der Luft anlagern kann. Die Wolkenbildung aber könne, so das Forscher-Quartett, als ein klimatisch bedeutsamer Faktor Teil einer biologischen Klimaregulierung sein.

Die Forscher entwarfen folgenden „negativen Rückkopplungsprozeß“: Winzige ozeanische Grünalgen – sogenanntes Phytoplankton – scheiden bei ihrem Stoffwechsel unter anderem Schwefelverbindungen aus. Diese Moleküle gelangen aus dem Wasser in die Luft und bilden nach einem Umwandlungsprozeß schwefelhaltige Aerosole, die dort als Kondensationskerne wesentlich zur Wolkenbildung beitragen. Bei einer Klimaerwärmung, so argumentierten die Wissenschaftler weiter, vermehrte sich das Plankton und produziere mehr dieser Gase. Dadurch entstünden vermehrt niedrige Wolken, die das Klima wieder abkühlen würden – ein Prozeß also, der sich selbst stabilisiert.

Auch wenn, wie die Forscher selbst zu geben, noch viele Details zu klären sind, zeigen die Stichworte „Gaia“ und „Co-Evolution“, an welcher Stelle der Mensch in die partielle Selbststeuerung des Klimas eingreift. Über vier Milliarden Jahre lang haben Klima und Leben gemeinsam alle prekären Situationen überstanden und immer wieder ein Gleichgewicht gefunden, das ein Weiterleben ermöglichte. Der Mensch jedoch hat die Möglichkeit, dieses Gleichgewicht fast ruckartig zu zerstören. „Gegenwärtig“, stöhnt Stephen Schneider, „verändern wir unsere Umwelt schneller, als wir die resultierenden Klimaveränderungen verstehen können.“ □

Leben auf dem Mars? Eine vergebliche Hoffnung

Vor mehr als zehn Jahren nahm die Planetensonde „Viking“ diesen außerirdischen Sonnenuntergang auf. Außerirdische Organismen konnte der Roboter im Marsboden dagegen nicht nachweisen. Leben auf dem Mars gilt den Forschern heute als eine Illusion vergangener Zeiten



Dr. rer. nat. habil. Reinhard Breuer, 41, ist GEO-Redakteur und Astrophysiker mit Lehrauftrag an der Universität Hamburg.

GEO macht Urlaub

Absfahren, abfliegen oder baden gehen? GEOmobil testete 24 Ski-Gebiete in Europa, 21 Flughäfen rund um den Globus und berichtet von den neuen Luxusbädern in Deutschland. Oder hätten Sie es gern ausgefallener? Wie wär's mit einem »Mord« zum Dinner? Der Eroberung eines Achttausenders im Himalaya? Erfahren Sie mehr über die ungewöhnlichsten Urlaubsangebote dieses Winters. Falls der Nachwuchs mitkommt: GEOmobil gibt Tips, wie die Tour mit Kindern nicht zur Tortour wird. Dazu spannende Reportagen, faszinierende Fotos und umfassende Berichte mit vielen Anregungen für Ihren nächsten Urlaub.

Das neue GEOmobil
166 Seiten, durchgehend farbig gedruckt, DM 7,50



Jetzt bei Ihrem
Zeitschriftenhändler

KESSLER

Deutschlands älteste Sektkellerei



Kessler Hochgewächs.
Schon der Name ver-
spricht Hochgenuss.
Nur ausgesuchte fran-
zösische Weine, vor
allem Chardonnay, rei-
fen im traditionellen
Flaschengärverfahren
zu diesem einzig-
artigen Sekt heran.

G. C. Kessler & Co. · Seit 1826 · Postfach 150 · 7300 Esslingen a. N. · Telefon 07 11/35 99 56



Auf den Spuren von Gaia



Wer stimmt das Erdklima so subtil auf die Bedürfnisse des irdischen Lebens ein? Der englische Forscher James Lovelock sagt: das Leben selbst

von GÜNTHER HAAF mit Fotos von HEINER MÜLLER-ELSTNER

Über den Horizont wälzt sich eine Wolke nach der anderen. Sommerlicher Sprühregen hüllt die grünen Hügel Devons in graue Schleier. Unten im Tal des River Carey ist es fast windstill zwischen den Hecken, die Felder und Weiden wie Burgmauern umschließen. Tropfen perlten von Gräsern und Kräutern, vermengen sich mit Blütenstaub und durchnässten die hochgeschlagenen Hosenbeine der beiden Wanderer.

„Hier soll wieder Wald wachsen.“ James Ephraim Lovelock bahnt mit dem linken Fuß eine Schneise ins hohe Gras der Wiese und zeigt mir ein winziges Bäum-

chen. „Wir haben auf unserem Grundstück 20 000 Bäume gepflanzt“, sagt der 68jährige mit dem vollen grauen Haar so lapidar, als habe er Salat zur alsbaldigen Ernte gesät.

Ein Fremder müßte den älteren Herrn, der da ohne Hut und Mantel durchs Gelände stapft, für einen Rentner halten, der seine Pension gärtnernd im ländlichen Südwesten Englands verzehrt. Aber Fremde verirren sich fast nie zur „Coombe Mill Experimental Station“. Und ein Mann wie Lovelock geht nicht in Rente. Er braucht die Abgeschiedenheit seines Ein-Mann-Labors. Hier, hinter mehr als sieben Hügeln, suchte und fand er in den vergangenen

zehn Jahren die Ruhe für ein aufregendes Leben als freier Forscher und Erfinder.

„Wer mich wirklich sehen will“, erklärt der Wissenschafts-Eremit mit freundlicher Bestimmtheit, „scheut die lange Anfahrt nicht.“ In Zukunft werden wohl mehr Besucher den Weg durchs heckengesäumte Labyrinth devonscher Landsträßchen suchen. Denn James Lovelock hat, so scheint es, den Schlüssel zum Verständnis einer zentralen Frage der Naturwissenschaften gefunden: Warum herrscht auf der Erde ein physikalisch und chemisch höchst unwahrscheinliches Klima? Warum herrscht auf diesem Planeten nicht auch ein höllenheißes Treibhausklima wie auf der Venus noch eine ewige Eiszeit wie auf dem Mars?

Lovelocks Antwort heißt „Gaia“. Hinter dem Namen der altgriechischen Erdgöttin verbirgt sich ein äußerst komplexes Gedankengebäude. Dessen Fazit: Das Leben selbst hält das Erdklima im behaglichen Bereich. Was in zwei Jahrzehnten als zunächst vage Hypothese heranreifte, akzeptieren nun – nach anfänglich großer Skepsis – zusehends mehr Wissenschaftler als ernstzunehmende Theorie.

Die Gaia-Theorie sieht „die Evolution der Lebewesen-Arten so eng mit der Evolution ihrer physikalischen und chemischen Umwelt gekoppelt, daß beide zusammen einen einzigen und untrennbar evolutiönen Vorgang bilden“.

Vom Schnupfen über den Mars zum Ozon

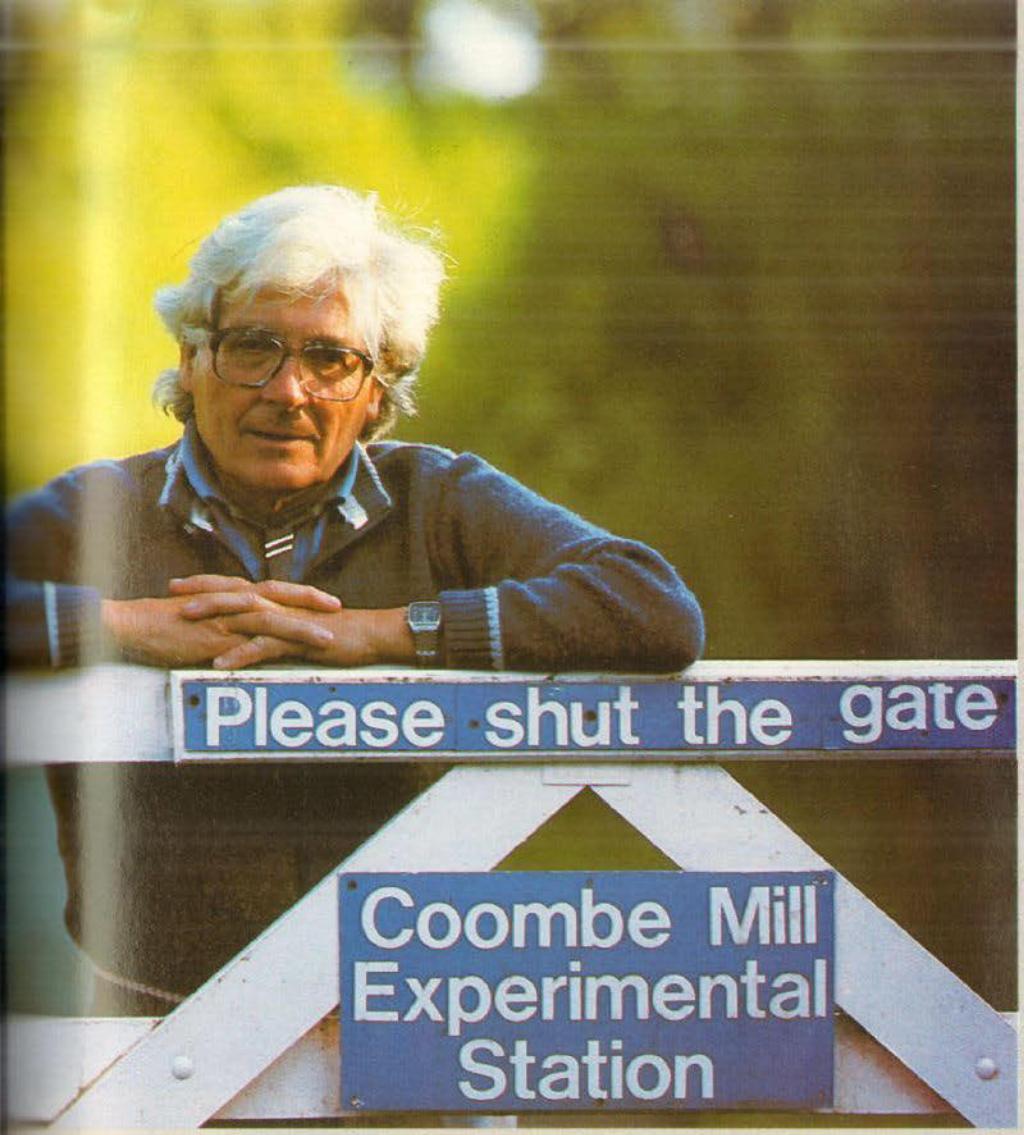
Hätte Lovelock sich stets an solchdürre Formulierungen gehalten, wäre ihm wohl mancher Zwist mit Fachkollegen erspart geblieben. Aber Gaias geistiger Vater ist ein Mann mit vielen Eigenschaften – ein eigenwilliger Kopf, geprägt von einer fast fünf Jahrzehnte währenden Odyssee durch die Welt der Naturwissenschaften:



»Erst die gemeinsame Evolution von

● Als Wissenschaftler untersuchte der diplomierte Chemiker mit Doktortiteln in Medizin und Biophysik ein breites Spektrum unterschiedlichster Probleme – vom Schnupfen über Fettstoffe in Zellmembranen bis hin zu den globalen Kreisläufen lebenswichtiger Elemente, für die er das Wort „Geophysiologie“ prägte.

● Als Erfinder höchst präziser Spurengas-Meßgeräte machte er sich erst einen Namen und dann – mit heute rund 30 Patenten – finanziell unabhängig. Seine Detektoren lieferten 1959 die ersten Hinweise auf die weltweite Vergiftung der Umwelt mit dem Insektizid DDT – und damit der amerikanischen Biologin Rachel Carson ent-



Atmo- und Biosphäre stabilisiert das planetare System: James Lovelock am Tor seines Forschungs-Refugiums

scheidende Argumente für ihr epochales Buch „Der stumme Frühling“. Und Lovelock war es, der Anfang der siebziger Jahre als erster die globale Verbreitung der Fluorkohlenwasserstoffe in der Luft nachwies – eine Entdeckung, die zur Theorie vom Abbau der Ozon-Schicht durch Sprudelgase und andere Schadstoffe führte.

● Als Berater der amerikanischen Weltraumbehörde Nasa war er an der Vorbereitung unbemannter Mond- und Marslandungen beteiligt.

● Als freier Forscher wurde er Mitglied der ehrwürdigen Londoner Royal Society – die ungewöhnlichste seiner vielen Auszeichnungen.

Als Autor von rund 200 wissenschaftlichen Artikeln und mehreren populären Büchern besitzt Lovelock die seltene Gabe, auch für Laien verständlich – ja phantasievoll und witzig – schreiben zu können. Dieses Talent ist freilich im Wissenschaftsbetrieb eher hinderlich – zumal wenn eine so ungewöhnliche Theorie wie „Gaia“ propagiert werden soll.

Wie das Fell einer Katze oder die Federn eines Vogels

Lovelock erträgt die kollegiale Kritik mit britischer Gelassenheit und einem Schuß Selbstironie. So beginnt das Manuskript seines

zweiten, fürs Frühjahr 1988 geplanten Buches über die Gaia-Theorie mit dem Satz: „Von all den Vorteilen, die einem zufallen, wenn man älter als fünfzig Jahre wird, ist der größte die Freiheit, exzentrisch sein zu können.“ Denn „nur die Alten können sich selbst fröhlich zu Narren machen“.

Unbekümmert war er schon 1979 mit seinem ersten Buch* in die Fettnäpfchen der sich zuständig führenden Experten – Biologen, Geologen, Klimatologen – getreten. Damals definierte er den Titelnamen „Gaia“ als Kürzel für die

* „Gaia: A new look at life on Earth“, Oxford, 1979; deutscher Titel: „Unser Erde wird überleben. GAIA – eine optimistische Ökologie“, München, 1981

Hypothese, wonach die Gesamtheit des Lebens auf der Erde, die Biosphäre, „eine sich selbst regulierende Einheit ist mit der Fähigkeit, unseren Planeten durch die Kontrolle der chemischen und physikalischen Umwelt gesund zu halten“ – also eine Umwelt, die Lufthülle, Ozeane und Gesteine umfaßt. Deshalb sei zum Beispiel die Lufthülle „nicht nur ein biologisches Produkt, sondern viel wahrscheinlicher eine biologische Konstruktion: nicht lebend, aber wie das Fell einer Katze, die Federn eines Vogels oder die papierartige Hülle eines Wespennests die Erweiterung eines lebenden Systems, dazu geschaffen, eine bestimmte Umwelt zu erhalten“.

All das stand im heftigen Widerspruch zu der Lehrmeinung, das Leben auf der Erde habe sich im Laufe seiner Evolution an die jeweils vorherrschenden physikalischen und chemischen Bedingungen gleichsam passiv angepaßt. „Gaia ist eine reizende Idee“, kommentierte etwa Heinrich Holland, Geochemie-Professor an der Harvard University, „aber sie wird nicht benötigt, um die Fakten der Erde zu erklären.“ Und der kanadische Biochemiker W. Ford Doolittle beschied, „die meisten Evolutionsbiologen nehmen Gaia nicht ernst, da sie den Gesetzen der natürlichen Auslese widerspricht“. „Völlig falsch“, urteilte gar Richard Dawkins, Autor des Bestsellers „Das egoistische Gen“ und Zoologie-Dozent an der Oxford University.

Manchen Forschern roch Gaia darüber hinaus zu sehr nach Teleologie, nach einer „zielgerichteten Handlung“ – so, als würde Lovelocks Theorie nahelegen, die Biosphäre hätte den heutigen Zustand der Erde gezielt angestrebt. Dies aber wäre in

der Tat ein evolutionsbiologisches Sakrileg.

James Lovelock fühlt sich dessen freilich überhaupt nicht schuldig. „Die Gaia-Theorie“, erwidert er seinen Kritikern, „fordert folgendes Bild der Erde heraus: ● Leben ist ein Phänomen, das in einem planetaren Maßstab existiert. Es kann keinen Planeten geben, der nur zum Teil von Lebewesen besiedelt ist. Ein solcher Planet wäre so unvollständig wie ein halbes Tier. Lebewesen müssen ihren Planeten regulieren, da ihn die unausweichlichen Kräfte der physikalischen und chemischen Evolution sonst bald unbewohnbar machen würden. . .“

● Unsere Interpretation der großen Vision Darwins (der Evolutionstheorie, *Red.*) wird verändert. Gaia macht auf die Fehlbarkeit des Begriffs der Anpassung aufmerksam. Das Argument, Lebewesen, die besser als andere angepaßt sind, hinterlassen mehr Nachkommen, reicht nicht länger aus. Nötig ist der Zusatz, daß das Wachstum von Lebewesen deren physikalische und chemische Umwelt beeinflußt und daß deshalb die Evolution der Spezies und die Evolution des Gesteins als ein einziger, untrennbarer Prozeß eng miteinander gekoppelt sind.

In seinem ersten Buch hatte der Freigeist aus Devon allerdings auch ganz offen bekannt, er könne es nur schwer vermeiden, „von Gaia so zu sprechen, als ob sie ein fühlendes Wesen sei“. Trotz des Zusatzes, dies „ist nicht ernster gemeint als die Sprachgewohnheit, Schiffe als weiblich zu apostrophieren“, verprellte Lovelock damit viele Forscher: Gaia sei ein Gedanke, zürnte zum Beispiel Richard Dawkins, der „Umweltschützer und andere anspricht, die es vorziehen, die Erde als eine empfindliche Kreatur anzusehen, die gerettet werden muß“.

Die Hypothese Lovelocks wurde zum Sekten-Credo

In der Tat horchten nicht nur Umweltschützer, sondern auch religiös inspirierte, nach „Ganzheitlichkeit“ suchende Gruppen wie die „New Age“-Bewegung auf. Ihnen kam die wissenschaftliche Weihe zupaß, die Lovelocks Hypothese ihrer Meinung nach dem uralten Glauben an „Mutter Erde“ verliehen habe. Vor allem in der angelsächsischen Welt wurden Gaia-Gruppen gegründet, Gaia-Seminare veranstaltet, Gaia-Bücher verlegt. Spöttisch stellte die

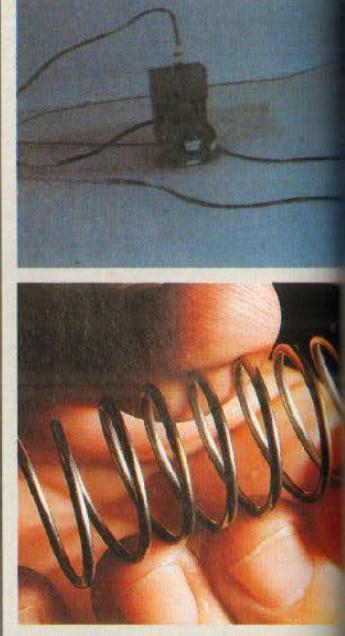
„New York Times“ Lovelock als „Britanniens Heileerde-Guru“ vor.

James Lovelock ficht das wenig an. „Die wissenschaftliche Kritik macht mir nichts aus“, sagt der Sohn einer armen Quäker-Familie, 1919 in Letchworth Garden City nördlich von London geboren, mit einem etwas schüchternen und einnehmenden Lächeln, „ich mag nur nicht die völlig Unbelehrbaren.“

Wir sitzen in Lovelocks Labor- und Arbeitszimmer, einem etwa sieben mal fünf Meter großen Raum im Anbau des niedrigen, aus Natursteinen gemauerten Wohnhauses. Eine breite Laborbank zieht sich an drei Wänden entlang. Von der Rückwand her teilt ein Tisch den Raum in zwei Bereiche: Links begrenzt ein Zaun aus chemischen und elektronischen Instrumenten den Laborteil, rechts beherrschen drei Computer mit ihren Bildschirmen die Denk- und Schreibklause. Alles atmet eine durchdachte Ordnung aus. Gelegentlich unterbricht der schrille Schrei eines der Pfauen, die draußen durch den wilden Garten stolzieren, das sanfte Geräusch des Regens.

James Lovelock lehnt sich in seinen Arbeitsstuhl zurück und beginnt von den Anfängen seiner wissenschaftlichen Odyssee zu erzählen. „Mein Vater schenkte mir, als ich vier oder fünf Jahre alt war, ein paar Batterien, Drähte und ein Glühlämpchen. Ich kann mich erinnern, daß ich mich damals fragte, warum denn zwei Drähte nötig seien, um die Lampe zum Leuchten zu bringen. Ich war schon immer neugierig, besonders auf technische und chemische Dinge.“ Mit 18 Jahren ging Lovelock bei einer kleinen Londoner Chemiefirma in die Lehre. Erst danach nahm er an der Manchester University sein Chemie-Studium auf, das er 1941 abschloß.

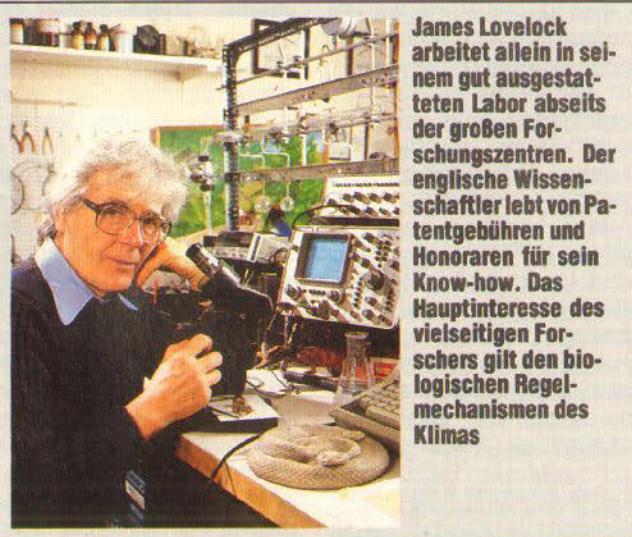
Mußte er denn nicht in den Krieg? „Nein, ich war



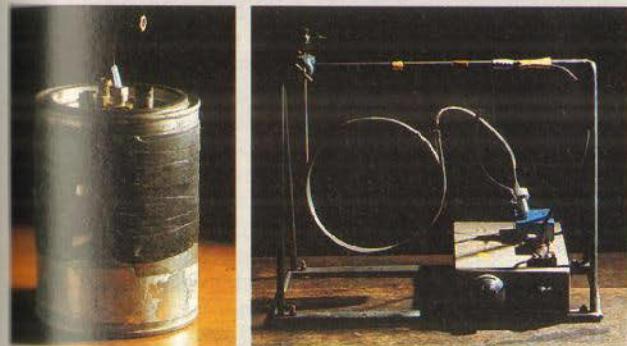
Sensible Detektoren für die Gase von Gaia

Kriegsdienstverweigerer.“ Und das war damals in England möglich? „Die britische Regierung hatte aus den Erfahrungen des Ersten Weltkriegs gelernt und uns alle Freiheiten gelassen.“

In einem Labor des staatlichen Medical Research Council machte Lovelock sich gleichwohl während des Zweiten Weltkriegs für sein bedrängtes Land nützlich: „Im Nu war ich an einer verwirrenden Fülle verschiedenster Forschungsprojekte beteiligt.“ So studierte er, wie Infrarotstrahlung die Haut verbrennt, wobei er im Selbstversuch jeweils etwa



James Lovelock arbeitet allein in seinem gut ausgestatteten Labor abseits der großen Forschungszentren. Der englische Wissenschaftler lebt von Patentgebühren und Honoraren für sein Know-how. Das Hauptinteresse des vielseitigen Forschers gilt den biologischen Regelmechanismen des Klimas



»High Tech« in der umgebauten Scheune: James Lovelock eicht in seiner 50 Kubikmeter fassenden »Verdünnungskammer« von ihm neu entwickelte Detektoren für Spurengase, indem er winzige, genau abgemessene Gasproben in die saubere Luft des Raumes entlässt. Das schlichte Äußere der handlichen Geräte täuscht: Sie sind höchst empfindlich

einen Quadratzentimeter seiner eigenen Haut der Hitze aussetzte: „Ich wollte nicht die Versuchskaninchen verbrennen.“ Die Forschungsbedingungen während des Krieges waren, wie er gesteht, „ein nahezu ideales Umfeld für jenen Typ von Wissenschaftler, der ich werden sollte“.

Nach dem Krieg ließ sich Lovelock von seiner Neugier leiten, „ohne auf die Zäune zwischen all den wissenschaftlichen Feldern zu achten“. Und diese Neugierde brachte ihn, lange bevor es ihm bewußt wurde, auf die Spur von Gaia.

Es begann 1948 bei der Suche nach der Ursache des Schnupfens. Lovelock sollte die Wirkung von Zugluft objektiv bestimmen. Zwar konnte er Wärme und Feuchtigkeit mit vorhande-

nen Instrumenten messen, nicht aber schwache Luftbewegungen. Also konstruierte er flugs zwei empfindlichere Meßgeräte. Eines davon „arbeitete besser als erwartet“: Es registrierte außer Luftzug auch Zigarettenrauch und andere Schadstoffe, war jedoch „zu früh erfunden worden“.

Lovelock versuchte seinen Detektor für den Einsatz in anderen Anwendungsbereichen weiterzuentwickeln. Doch erst 1959, während eines Stipendiums an der amerikanischen Yale University, gelang ihm der Durchbruch: Er entwickelte den „Electron Capture Detector“, ein äußerst empfindliches Gerät zum Nachweis von Spuren chemischer Substanzen. Das heute noch gebräuchliche Instrument stellt den „Elektronenun-

ger“ bestimmter Gasmoleküle – und dazu gehören viele giftige und krebsverregende Stoffe. Eine radioaktive Substanz in dem Gerät liefert dazu die Elektronen. Jedes „satte“ Molekül bewirkt dann einen kurzen Stromabfall, der um so deutlicher ausfällt, je mehr Gasmoleküle vorhanden sind. Nun konnte die weltweite Versuchung der Umwelt mit Pestiziden wie DDT ohne großen Aufwand in Millionstel-, ja Milliardstelgramm gemessen werden.

Dafür hätte sich sogar ein Oberschüler schämen müssen

Danach nahm Lovelocks Karriere eine unerwartete Wendung: Die amerikanische Raumfahrtbehörde lud den Detektoren-Erfinder im

April 1961 ein, als Berater an der unbemannten Mondlande-Mission „Surveyor“* mitzuwirken. Lovelock kündigte beim Medical Research Council und zog nach Amerika. Dort pendelte er zwischen Houston, Texas, wo er als Chemie-Professor am Baylor College of Medicine forschte, und dem kalifornischen Pasadena, Sitz des für unbemannte Mond- und Planetenmissionen der Nasa zuständigen „Jet Propulsion Laboratory“.

An das „Surveyor“-Programm schlossen sich die Vorbereitungen für die erste unbemannte Marslandung nahtlos an. Lovelock interessierte sich dabei natürlich auch für die Pläne, auf dem Roten Planeten nach Lebensspuren Ausschau zu halten – und war enttäuscht: Für die an Bord des Lande-Roboters vorgesehenen Experimente hätte sich seiner Meinung nach sogar „ein Oberschüler schämen müssen“.

Wenn es Leben auf dem Mars geben sollte, dann müßte – so hatte Lovelock damals überlegt – dies an dessen Atmosphäre erkennbar sein: Wie ein riesiges Förderband sei eine Lufthülle nötig, um Organismen mit Rohstoffen zu versorgen und deren Abfälle zu entfernen. „Die Atmosphäre eines belebten Planeten“, argumentierte der Forscher, „müßte sich nachweisbar von der eines toten unterscheiden.“

Gemeinsam mit der Amerikanerin Dian Hitchcock spielte Lovelock seine Idee am Beispiel der Erde durch: „Die einzige brauchbare Erklärung für die höchst unwahrscheinliche Atmosphäre der Erde war, daß sie täglich von der Oberfläche aus manipuliert wurde – und daß der Manipulator das Leben selbst sein mußte.“ Allein der konstante Sauerstoff- und Methangehalt der irdischen Lufthülle ist, wären nur Chemie und Physik im Spiel, „um mindestens

* „Surveyor“ landete 1966 als erste US-Raumsonde weich auf dem Mond

100 Größenordnungen unwahrscheinlich". Deshalb müsste die Erd-Atmosphäre als „eine dynamische Erweiterung der Biosphäre“ betrachtet werden.

Solche Überlegungen, meint Lovelock heute spöttisch, waren für jene Zeit „zu erfolgreich“: Damals war zwar aus astronomischen Beobachtungen von der Erde aus schon bekannt, daß die Atmosphäre des Mars hauptsächlich aus Kohlendioxid besteht und keinerlei Anzeichen der exotischen Chemie zeigt, die für die irdische Lufthülle typisch ist.

Aber die Folgerung, daß der Mars wahrscheinlich kein Leben trägt, war für die Nasa – so Lovelock – „eine schlechte Nachricht“. So wurde dann, nach einigen Verzögerungen, die „Viking“-Sonde inklusive Bio-Labor und Grabschaufel 1976 auf dem Roten Planeten abgesetzt. Sie fand denn auch keinerlei Lebensspuren.

Lovelock hatte endgültig die Nase voll vom akademischen Wissenschaftsbetrieb. 1964 zog er sich als freier Forscher zurück ins Dörfchen Bowerchalke westlich von London. Seine Frau Helen und die vier Kinder hielten

er mit Patent-Einnahmen und Honoraren für sein technisches Know-how über Wasser. Und nebenbei spann er seine Idee von der biologisch kontrollierten irdischen Lufthülle weiter.

In Lovelocks Kopf verdichtete sich das Bild eines globalen, lebenden Klimakontrollsystems mit Eigenschaften, die „nicht aus der Summe seiner Einzelteile erklärt werden können“. Als er seinem damaligen Nachbarn, dem Schriftsteller William Golding, von seiner Idee erzählte, schlug dieser spontan den Namen „Gaia“ vor.

1969 stellte Lovelock die Gaia-Hypothese bei einer Tagung über den Ursprung des Lebens erstmals zur Diskussion – ohne großen Erfolg: Nur der schwedische Geochemiker Lars Gunnar Sillén und die amerikanische Biologin Lynn Margulis zeigten Interesse. Mit Margulis begann dann im Jahr darauf eine bis heute andauernde, „äußerst lohnende

Zusammenarbeit“: Die renommierte Biologin von der Boston University brachte „Substanz in den Geist von Gaia“.

Warum enthält die Luft genau 21 Prozent Sauerstoff?

1972 präsentierte Lovelock seine Hypothese, präziser formuliert, im Fachblatt „Atmospheric Environment“. Sie sollte, in bester wissenschaftlicher Tradition, den Forschern neue experimentelle Fragestellungen bewußt machen – etwa diese: Was hält den Salzgehalt der Meere seit Jahrtausenden konstant bei etwa 3,4 Prozent, obwohl die Flüsse die entsprechende Salzmenge den Ozeanen in jeweils nur 80 Millionen Jahren zu führen? Warum enthält die Luft genau 21 Prozent Sauerstoff? Und welcher Mechanismus regelt diesen Wert im oberen, für das Leben eben noch sicheren Bereich? Schon bei 25 Prozent Sauerstoffgehalt wären Waldbrände selbst im regenfeuchten Dschungel kaum noch lösbar.

„Wenn die Atmosphäre unter anderem dem Transport von Rohstoffen zu und von der Biosphäre dient“, argumentierte Lovelock 1979 im ersten Gaia-Buch, dann „wäre es vernünftig, die Existenz von Trägersubstanzen für jene Elemente anzunehmen, die für alle biologischen Systeme lebenswichtig sind, beispielsweise Jod und Schwefel. Es war schön, Beweise dafür zu finden, daß beide Elemente von den Ozeanen – wo sie allgegenwärtig sind – durch die Luft aufs Land befördert werden, wo Mangel an ihnen herrscht. Die Trägersubstanzen, Methyljodid und Dimethylsulfid, werden direkt vom ozeanischen Leben erzeugt“.

Mehr noch: die Schwefelverbindung Dimethylsulfid – kurz DMS – scheint überdies bei der Regelung des Erdklimas durch die Biosphäre eine entscheidende

Rolle zu spielen. DMS fällt beim Stoffwechsel einzelliger ozeanischer Algen – des Phytoplanktons – in großen Mengen ab. Anfang der siebziger Jahre hatte Lovelock bei einer Fahrt an Bord des Forschungsschiffes „Shackleton“ von England bis in die Antarktis überall DMS gemessen. Könnte es sein, so überlegte ein Jahrzehnt später der amerikanische Atmosphärenphysiker Robert Charlson, daß dieses DMS in der staubfreien Luft über dem offenen Meer Kondensationskerne zur Bildung von Wolken beisteuert? Und ist dies möglicherweise der Mechanismus, nahm Lovelock den Faden auf, mit dem die Biosphäre selbst – also Gaia – die Wolkenbildung über den Weltmeeren nach Art einer globalen Jalousie zu steuern vermag?

Eine Teilantwort veröffentlichten Charlson und Lovelock im April dieses Jahres in der britischen Fachzeitschrift „Nature“ gemeinsam mit dem in Florida arbeitenden deutschen Ozeanologen Meinrat Andreae und Charlsons Kollegen Stephen Warren: „Die Hauptquelle für Wolkenkondensationskerne (CCN*) über den Ozeanen scheint Dimethylsulfid zu sein, das von planktonischen Algen im Meerwasser erzeugt wird und in der Atmosphäre oxidiert, wobei sich ein Sulfat-Aerosol bildet. Da das Reflexionsvermögen – die Albedo – der Wolken (und somit die Strahlungsbilanz der Erde) von der CCN-Dichte beeinflußt wird, ist eine biologische Regulation des Klimas durch den Einfluß von Temperatur und Sonnenlicht auf die Phytoplankton-Population und die Dimethylsulfid-Produktion möglich.“

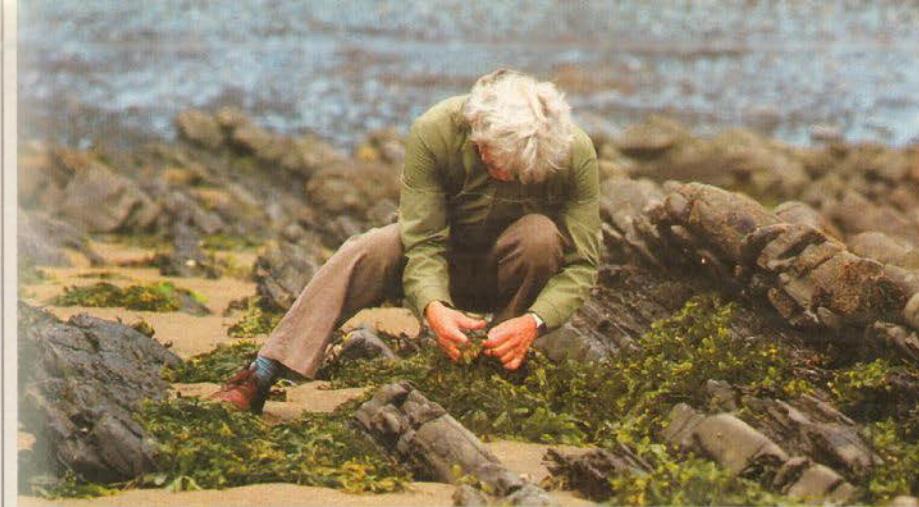
Viel Sonne und Wärme würden demnach bestimmte Phytoplankton-Arten besonders gut gedeihen lassen, die dann so viel DMS an die Luft abgeben, daß die da-

Eine Odyssee für die Forschung

Seit zehn Jahren lebt James Lovelock mit seiner an den Rollstuhl gefesselten Frau Helen in der Grafschaft Devon. Hier findet er – umgeben von Pfauen – die nötige Ruhe zum Denken und Forschen. Zuvor hatte er unter anderem in Kalifornien an den Vorbereitungen zu unbemannten Mond- und Marslandungen mitgearbeitet



* Engl.: Cloud-Condensation Nuclei



An der Felsküste der Grafschaft Devon hält James Lovelock bei Ebbe trocken gefallenen Seetang in den Händen. Winzige Verwandte des Tangs, die einzelligen Algen des frei im Meer schwimmenden Phytoplanktons, spielen wahrscheinlich eine entscheidende Rolle bei der Steuerung des Erdklimas durch die Biosphäre

Wenn grüne Algen Wolken wachsen lassen

durch entstehenden Wolken die Temperaturen senkten. Kühleres Meerwasser würde weniger Algen, weniger DMS und letztlich weniger Wolken bewirken – eine klassische, das System stabilisierende „negative Rückkopplung“. Nun sind die Forscher dabei, die DMS-Produktion verschiedener Phytoplankton-Spezies bei unterschiedlichen Temperaturverhältnissen zu untersuchen.

Lovelock und seine Co-Autoren fügten dann noch einen Satz an, der verrät, was nach der Gaia-Theorie geschehen müßte, um den „Treibhauseffekt“ in der iridisichen Lufthülle aufzuheben, den der Anstieg des Kohlendioxid- CO_2 - verursacht: „Um die Erwärmung durch die Verdoppelung des atmosphärischen Kohlendioxid auszugleichen, wäre ungefähr eine Verdopplung der Wolkenkondensationskerne nötig.“ Das heißt im Klartext: eine schattige, wolkenverhangene Welt.

Niemand vermag derzeit zu sagen, ob dieser biologisch-klimatische Regelkreis die befürchtete Erwärmung unserer Lufthülle ausbalancieren könnte. Und auch Lovelock kann nur spekulieren, wie lange diese Reaktion Gaias – wenn es sie denn gäbe – auf sich warten lassen würde. Der Forscher verweist allerdings mit der Gelassenheit seines Alters auf die Tatsache, daß die Biosphäre im Lauf der Erdgeschichte schon schlimmere Veränderungen überstanden hat – etwa Eiszeiten oder gewaltige Asteroideneinschläge: „Ein so erfahrener System wie Gaia läßt sich wohl kaum so leicht stören.“

Lovelock will diese Gelassenheit jedoch keineswegs als Freibrief für ökologischen Vandalismus verstan-

den wissen. Denn die von ihm postulierte Fähigkeit Gaias zur „Homöostase“ – zur klimatischen und ökologischen Balance – wirkt womöglich nur über lange Zeiträume. Und ein neues Gleichgewicht könnte durchaus schlecht für die Menschheit, aber gut für die übrige Biosphäre sein.

Organismen halten Ihren Planeten fit fürs Leben

Um mehr über diese im Fachjargon „Fließgleichgewicht“ genannte Eigenschaft Gaias herauszufinden, hat Lovelock eine eigene Welt erschaffen: Daisyworld – „Gänseblümchen-Welt“ (siehe Foto Seite 56). Per Computer simuliert er die gemeinsame Evolution von Lebewesen und Klima auf einem simplen Modell-Planeten: Helle und dunkle „Gänseblümchen“ passen sich – und damit das Klima – den wechselnden Strahlungsverhältnissen ihrer Sonne an, graue „Gänse-

blümchen“ nassauern von diesen klimatischen Vorleistungen, „Kaninchen“ fressen die „Blümchen“, „Füchse“ die „Kaninchen“.

Tatsächlich zeigen die Daisyworld-Simulationen, anders als herkömmliche ökologische Rechenmodelle, daß erst die gemeinsame Evolution von Atmo- und Biosphäre das planetare System stabilisiert, ja sogar robust gegenüber äußeren Veränderungen macht.

„Lebewesen haben schon immer, und zwar aktiv, ihren Planeten fit fürs Leben gehalten“, sieht sich Lovelock bestätigt. Nach Auseinandersetzungen mit anderen Wissenschaftlern gewinnt seine Sicht – „die Erde als lebendes System“ – langsam Boden. Im Juli gingen deutsche Forscher bei einem Klima-Seminar der Max-Planck-Gesellschaft in Mainz ernsthaft auf Lovelock ein. Im Oktober fand eine sehr gut besetzte Tagung über „Gaia“ im englischen Bodmin statt. Im Frühjahr veranstaltete die American Geophysical Union ein Gaia-Symposium.

Aber auch der späte Erfolg bringt den Herrn von Coombe Mill nicht aus der Ruhe. Dies gelingt wohl nur den „Agribusiness-Vandalen“, wie er die Betreiber der industrialisierten Landwirtschaft nennt, die „mehr in der Art von Schlachtern als Chirurgen“ in die Natur eingreifen. 1977 war Lovelock vor ihnen in die damals noch intakte Landschaft Devons geflüchtet. Nun stehen wir am Ende seines renaturierten, mit Bäumen neu bepflanzten Besitzes. Hier bricht ein Feldweg durch die Heckenwälle. Unser Blick fällt auf eine große, kahlgefressene Kuhweide, die gelegentlich von länglichen Narben nackter Erde unterbrochen wird – dort, wo noch vor kurzem Hecken standen. Aus dem trüben Wasser des nahen River Carey zieht uns Gölle-Gestank in die Nase. „Vor zehn Jahren“, klagt Lovelock, „gab es hier noch Forellen.“ □



Sie bohren Löcher in Gletschereis und Korallenriffe, zersägen alte Baumstämme oder steigen in finstere Tropfsteinhöhlen: Die Paläoklimatologen bringen so eine Menge über das Klima früherer Epochen zutage. In Holland fror während der »Kleinen Eiszeit« von 1450 bis 1850 Kanäle und Flüsse regelmäßig zu. Vor 100 Millionen Jahren etwa war es auf der Erde dagegen zwölf Grad wärmer als heute. In dampfenden Sumpfen brüteten Dinosaurier. Heute können die Experten sogar das Klima jener fernen Zeiten beschreiben, in denen das Leben auf der Erde begann



Botschaften aus der Eiszeit

D

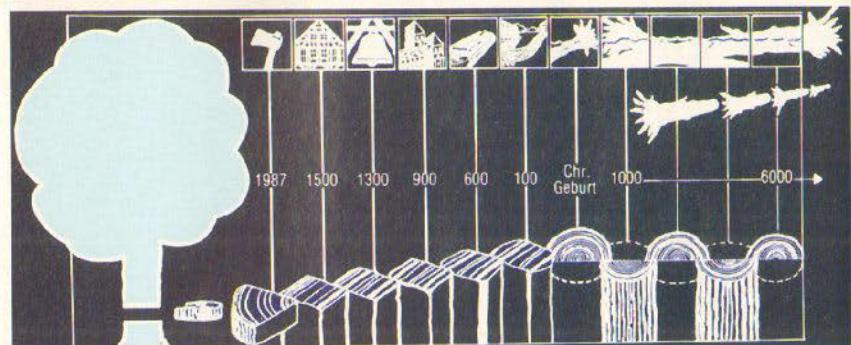
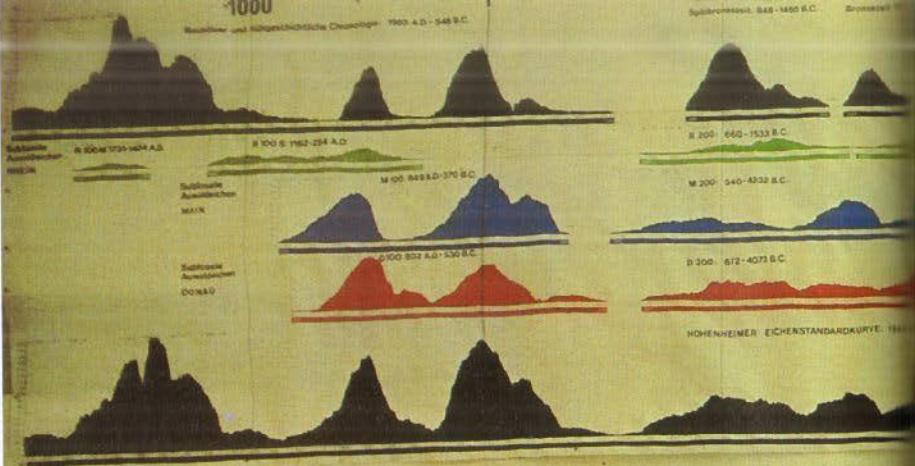
ie schönen, warmen Sommer, von denen Oma immer erzählt, sind keineswegs nur verklärte Erinnerungen an vergangene Zeiten. Oma hat recht: Die durchschnittliche Jahrestemperatur zwischen 1900 und 1950 lag tatsächlich mit etwa 15,5 Grad ein halbes Grad über dem Mittelwert zwischen 1930 bis 1960.

Denn das Klima, der – laut Fremdwörter-Duden – „für ein bestimmtes geographisches Gebiet charakteristische Ablauf der Witterung“, schwankt. Allerdings nicht so, daß sich die täglichen Launen des Wetters mit diesem Umstand erklären ließen: Klimaforscher haben es mit größeren Zeiträumen zu tun. Erst Perioden von mehreren Jahren lassen Aussagen über „charakteristische Abläufe“ zu. Eine mögliche Ursache solcher Schwankungen sehen die Klimatologen in der Unruhe unseres Globus, die sich beispielsweise im Vulkanismus offenbart: Nach Jahren starker Vulkantätigkeit sinkt die Temperatur, weil Vulkanasche in der Atmosphäre weniger Sonnenstrahlung zur Erdoberfläche durchläßt.

Als im Jahre 1815 in Indonesien der Vulkan Tambora explodierte, wurden 50 Kubikkilometer Staub und Asche in die Luft geschleudert. Weltweit verdunkelte sich der Himmel, und die mittlere Jahres temperatur auf der nördlichen Erdhalbkugel sank um 0,4 bis 0,7 Grad Celsius. Im Sommer 1816 gefror in Mitteleuropa mitten im Juli der Boden. Noch Jahre nach dem Tambora-Ausbruch mußten die Bauern in Deutschland Mißernten hinnehmen: Die Vegetationsphase von Pflanzen in unseren Breiten verkürzt sich um etwa 14 Tage, wenn die Temperaturen im Jahresmittel für längere Zeit auch nur um ein halbes Grad zurückgehen. Und daß es in den Jugendjahren unserer Großeltern etwas wärmer als heutzutage war, verträgt sich mit der Vulkan-Theorie vorzüglich: In jener Zeit brachen nur wenige Vulkane aus.

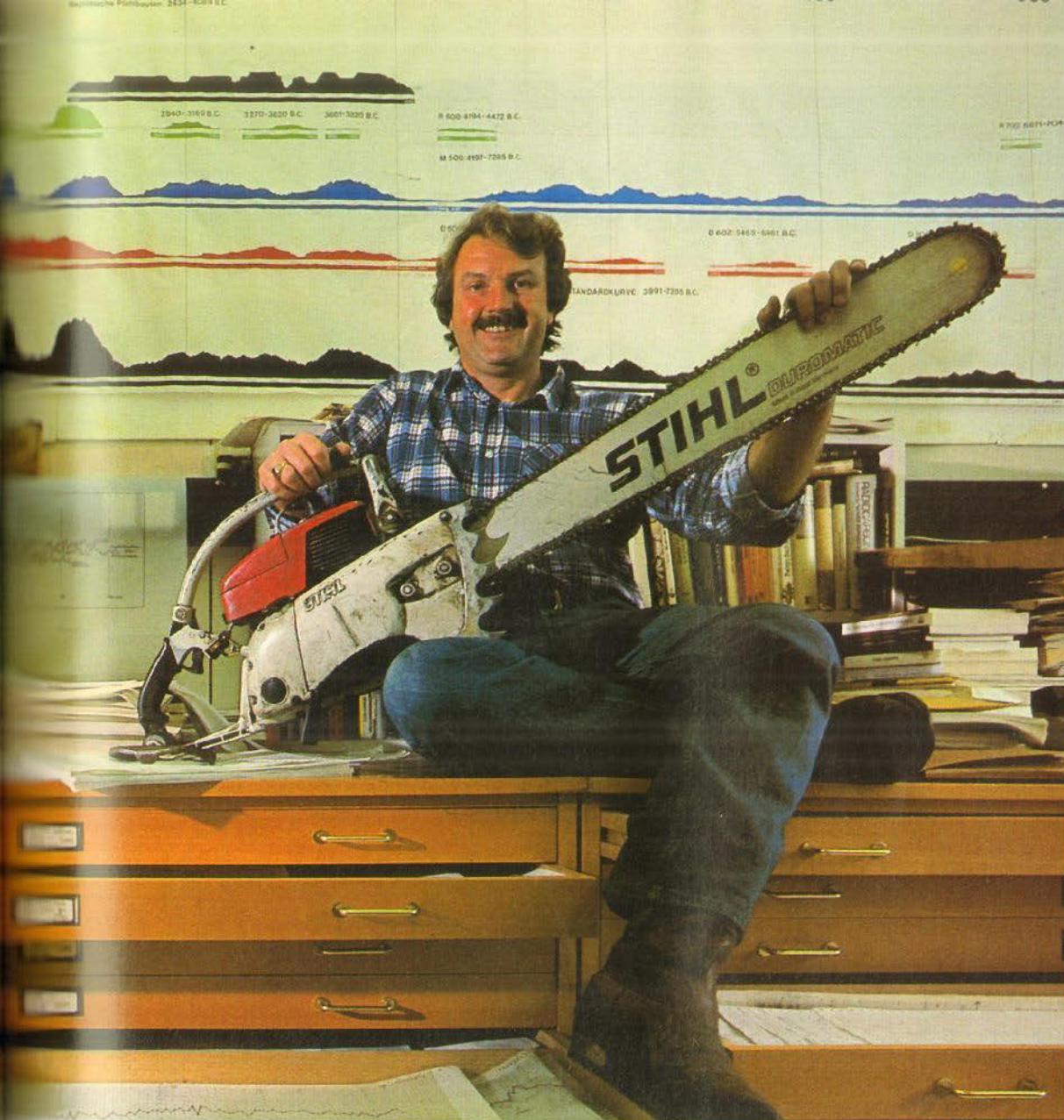
Klimatologen, die sich mit noch weiter zurückliegenden Zeiträumen beschäftigen, die sogenannten Paläoklimatologen, verfügen allerdings nur über unvollständige Wetterdaten. Denn erst seit etwa 200 Jahren wird das Wettergeschehen systematisch registriert, und vor der Erfindung des Thermometers im 17. Jahrhundert war nicht einmal die Temperatur exakt zu protokollieren.

Dennoch können die Wissenschaftler mit einer Reihe unterschiedlicher Metho-



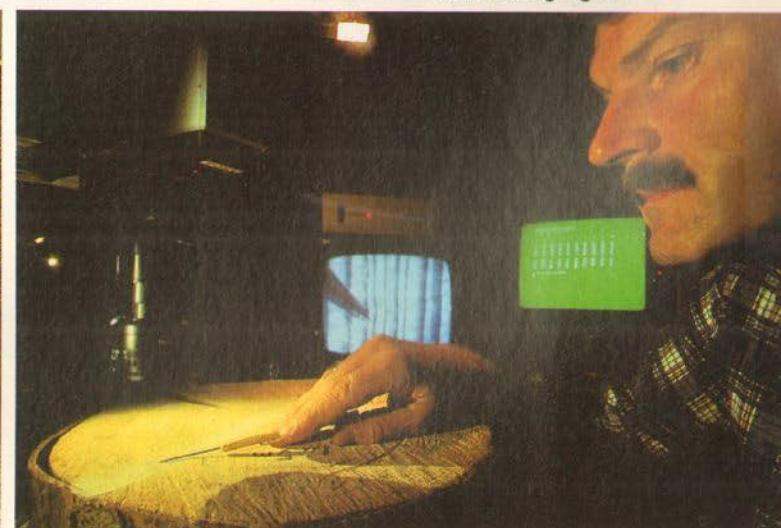
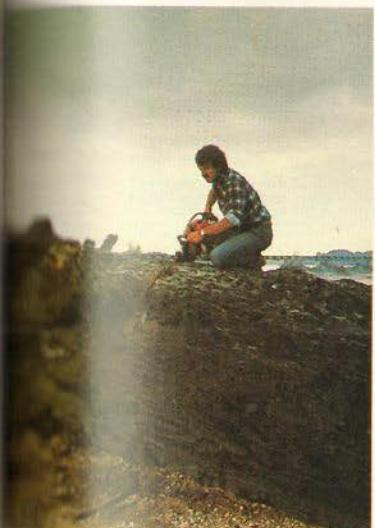
Jeder Baum speichert in seinen Jahresringen die Wetterverhältnisse zu seinen Lebzeiten. Damit aber Baumringkalender möglichst lange Zeiträume

erfassen, müssen die Querschnitte vieler Bäume verglichen werden. Wenn Bäume teilweise zur selben Zeit gewachsen sind, dann überlappen sich auch ihre Ringmuster



Wenn der Forscher mit der Säge ...

Die »Fingerabdrücke« der Bäume, die Jahresringe, verraten, welches Klima einst herrschte – allerdings nur dem, der die verschlüsselten Botschaften entziffern kann. Wenn der Dendrochronologe Bernd Becker von der Universität Hohenheim Baumquerschnitte für seine Untersuchungen braucht, zieht er mit einer Motorsäge ins Feld. Dort zerlegt er Baumstämme, oder was aus ihnen geworden ist, in Scheiben, die er anschließend im Labor akribisch analysiert: Jeder Jahresring wird vermessen, und die Daten werden zusammengefügt zu Kurven mit dem typischen Auf und Ab der Wachstumsbedingungen



den sehr weit in die Klima-Geschichte zurückblicken:

● Mit Hilfe der *Dendrochronologie* sind in den Bäumen gespeicherte Daten zu ermitteln – nicht zuletzt klimarelevante: Denn ist die Witterung für das Wachstum günstig, bildet der Baum breite Jahresringe aus, in extrem kalten Jahren hingegen extrem schmale. Seit Beginn dieses Jahrhunderts wurden Tausende von Baumquerschnitten vermessen und miteinander verglichen. Mit der Analyse der Ring-Muster in Holzquerschnitten aus historischen Bauten – etwa Pfahlhäusern, Brücken oder Burgen – gelang es, Kalender zusammenzustellen, die das Klimagehören dokumentieren – in Europa 9200 Jahre zurück.

● Die *Pollenanalyse* erlaubt noch tiefere Einblicke in die Vergangenheit. Abhängig von den klimatischen Bedingungen wachsen jeweils vorwiegend wärmeliebende oder eher kälteangepaßte Pflanzen. Deren Blütenstände (Pollen), die sich unter dem Mikroskop deutlich unterscheiden lassen, sind über Jahrtausende erhalten geblieben – in Gletschern, eiszeitlichen Moorböden und Sedimentschichten auf dem Grund von Gewässern. Botaniker und Klimatologen entdeckten dort Zeugnisse der letzten Eiszeit – in bestimmten Schichten besonders viele Pollen von Tundrapflanzen, keine jedoch von wärmeliebenden Bäumen. Mit Hilfe auf den Meeresgrund abgesunkenen Pollen konnten Klimaschwankungen der letzten 150 000 Jahre erforscht werden.

● Zur Datierung der Bohrkerne aus Tiefseesedimenten benutzen die Paläoklimatologen unter anderem die Hüllen abgesenkter Parentierchen, der *Foraminiferen*. An deren Kalkgehäusen lässt sich die Wassertemperatur zur Zeit ihres Wachstums ablesen: Zum einen haben die meist vielkammerigen Schalen je nach Entstehungstemperatur einen Rechts- oder Linksdreh. Zum anderen lagern sich – wiederum temperaturabhängig – in das Kalkgehäuse unterschiedliche Mengen des Sauerstoffisotops ^{18}O ein.

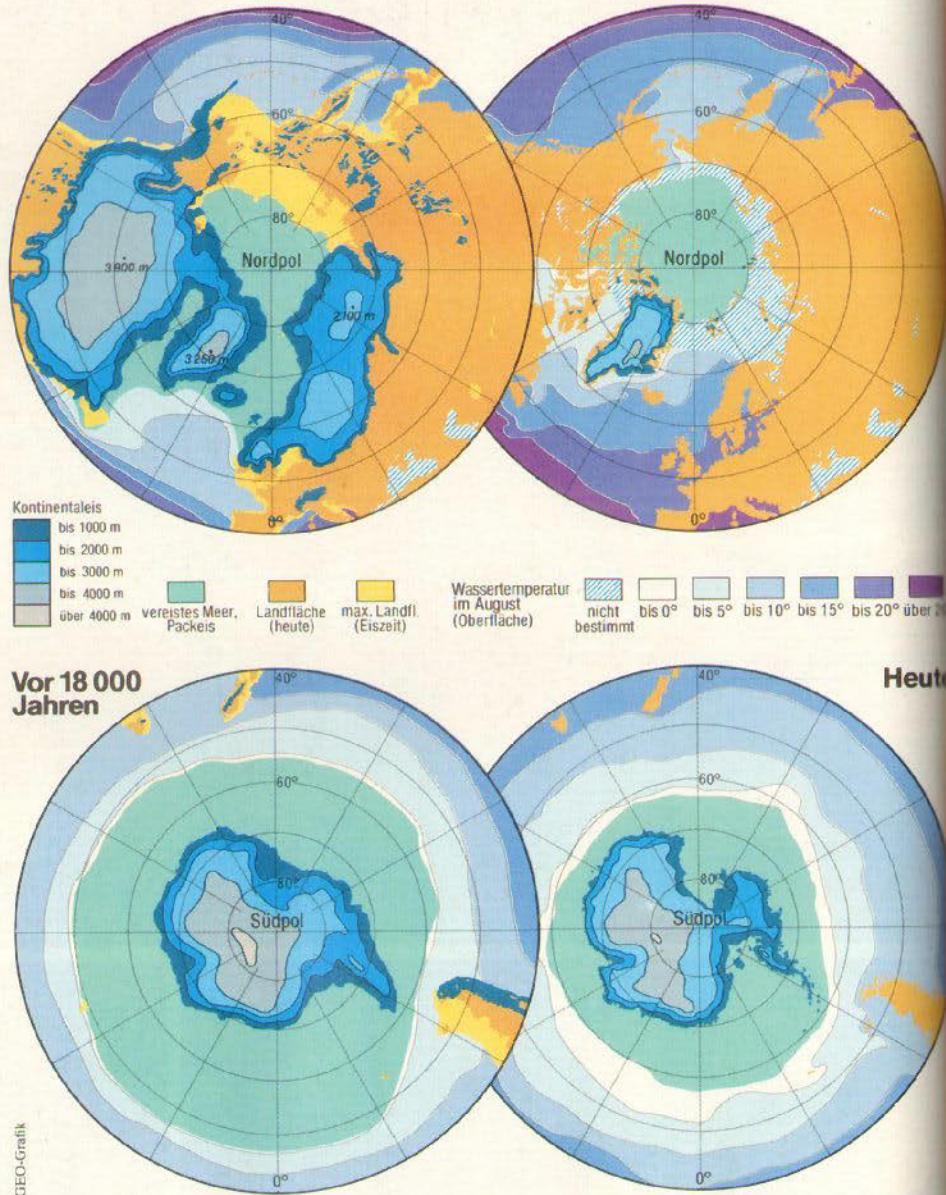
● Die *Sauerstoff-Isotopen-Methode* hilft bei der genauen Klimaanalyse weiter. Natürlicher Sauerstoff besteht auf der Erde zu etwa 0,2 Prozent aus dem Isotop ^{18}O , den Rest bildet fast ausschließlich ^{16}O . Die beiden Isotope unterscheiden sich in ihrer Masse, ^{18}O ist geringfügig schwerer. Mit Hilfe der Massenspektroskopie lässt sich beider Verhältnis in einer Probe bestimmen und daraus mit einer einfachen Formel die Temperatur bei der Bildung des Kalkes errechnen. Die Isotopenmethode ermöglicht auch die Erarbeitung von Temperaturkurven aus Stalagmitenstehenden Säulen – in Tropfsteinhöhlen.

● *Gletschereis* birgt ebenfalls detaillierte Informationen über die Klimavergangen-

Im Höhepunkt der letzten Eiszeit herrschte barbarische Kälte auch in den mittleren Breiten, die sich heute eines milden Klimas erfreuen. Nur in den Tropen war es warm, wenn auch trocken. Die Karten der mittleren Januar-

temperaturen (rechts) basieren auf Modellrechnungen des Hamburger Max-Planck-Instituts für Meteorologie. Welche Ausdehnung die Eiskappen damals hatten, lässt sich an den Polkarten (unten) erkennen

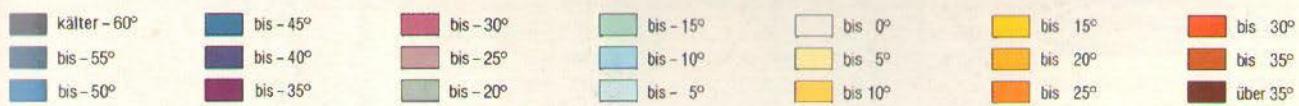
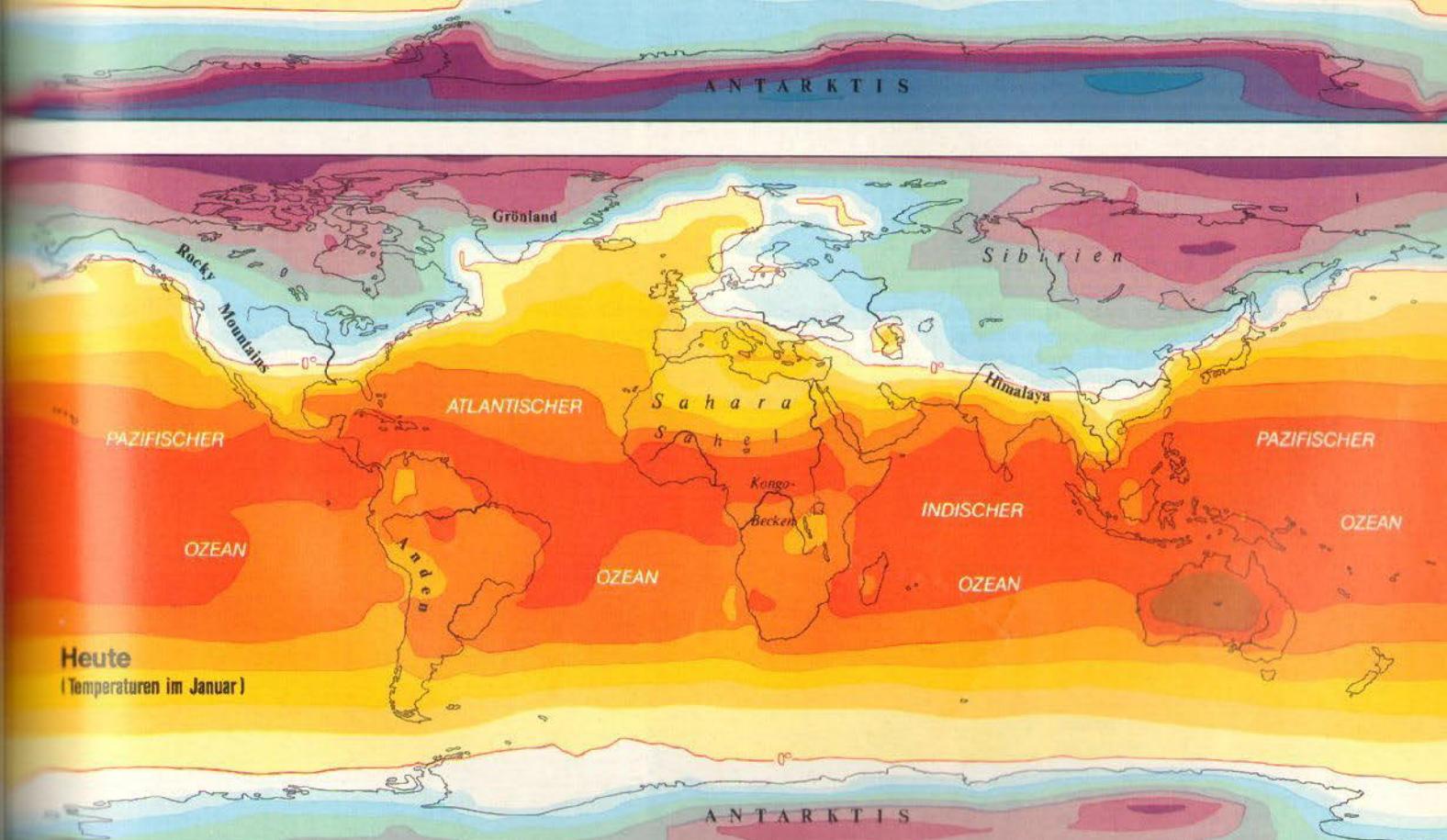
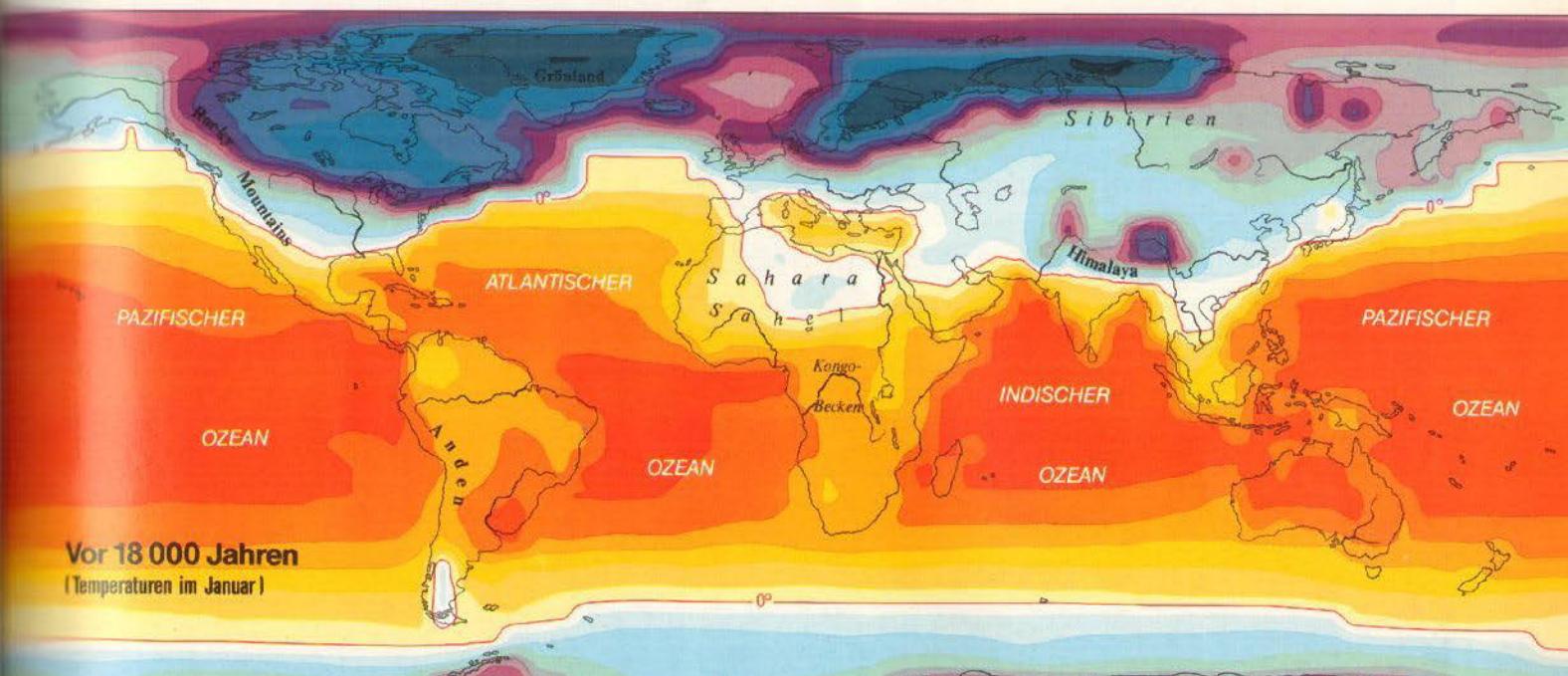
Als das Klima die Erde kalt ließ



GEO-Grafik

Die Nordhalbkugel
der Erde zeigte vor 18 000 Jahren ein völlig anderes Gesicht als heute, während die Südhalbkugel das vertraute Bild bot. Über Nordamerika und Skandinavien lasteten, wie noch heute über der Antarktis, kilometer-

dicke Eismassen, die
so viel Wasser banden, daß der Meeresspiegel gut 100 Metertiefe lag. Die heutigen britischen und japanischen Inseln hätten vom Kontinent aus trockenen Fußes erreicht werden können. Eine Landbrücke verband Sibirien mit Alaska



heit. Denn Gletscher wachsen von unten nach oben aus Schnee und bilden dabei, ähnlich den Baumringen, eine Jahreschichtung. Bei der Analyse von Eisbohrkernen bedienen sich die Forscher wiederum der Isotopenmethode. Denn das $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ -Verhältnis hängt auch bei der Eis- und Schnee-Entstehung von der Temperatur ab: Bei kühlerem Klima verdunstet aus den Meeren weniger von dem schweren ^{18}O . Entsprechend weniger ^{18}O ist während kälterer Perioden in der Luft, und entsprechend weniger lagert sich im Gletschereis ab.

• Bohrungen in Korallenriffen verraten viel über das Klimageschehen in vergangenen Warmzeiten. Wo im Bohrkern Korallen- oder Schalentierreste erhalten geblieben sind, kann deren Alter mit radiochemischen Methoden ermittelt werden. Wird auch die Art des jeweiligen Tieres bestimmt, ist die Wassertiefe zu dessen Lebzeiten abzuschätzen, denn bestimmte Arten existieren nur in ganz bestimmten Tiefen. Anhand der Wassertiefe lässt sich andererseits hochrechnen, wieviel Wasser im Eis der Pole und Inlandgletscher gebunden war – ein Maß für die damalige Temperatur auf der Erde. An der Dicke einer Schicht im Korallenriff kann außerdem die Dauer einer Periode abgelesen werden.

Außer aus Tiefsee- und Festlandsbohrungen erfahren die Klima-Historiker auch manches über frühe Klima-Perioden beispielsweise aus Verwitterungsspuren und fossilen Funden von Pflanzen und Tieren sowie aus oberirdische Eiszeitüberbleibseln – wie Moränen, Geröllfeldern und Anzeichen früherer Schneegrenzen. Freilich wird der Blick von Paläoklimatologen in die Vorzeit immer unschärfer, je weiter die Ereignisse zurückliegen. Gleichwohl gelang es ihnen, ein Bild der Klimaschwankungen von der

Kernige Dokumente aus der Tiefsee

Wenn von Forschungsschiffen wie der amerikanische »Gloria Challenger« Löcher in den Tiefseeboden gebohrt werden, dann steht den Klimatologen viel Arbeit ins Haus: Bis zu 1700 Meter messen die Bohrkerne, die der Länge nach in zwei Hälften gesägt werden – eine fürs Archiv, die andere für die Auswertung im Labor. Rückschlüsse auf das Klima früherer Epochen liefern in den Proben enthaltene Kalkskelette einzelner Tiere – wie die der Foraminiferen (kleines Bild links) oder der Radiolarien (rechts)



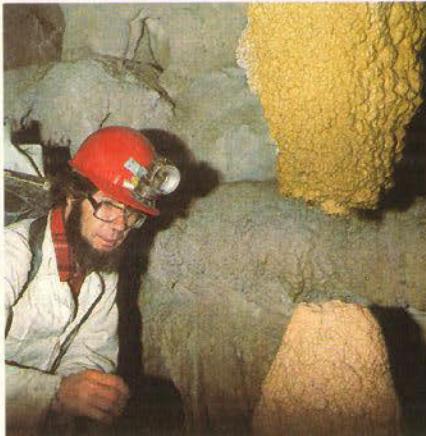
Neuzeit bis zurück in die dunkelsten Phasen der Erdgeschichte zu zeichnen:

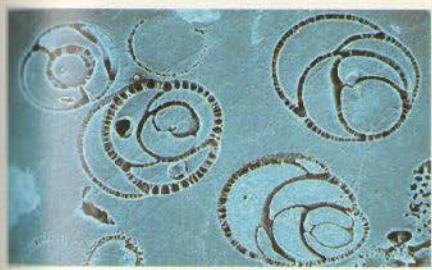
Zwischen 1450 und 1850 notieren sie die sogenannte „Kleine Eiszeit“. Während dieser vier kalten Jahrhunderte mussten die Franzosen oft sauren Wein trinken und die Bauern magere Ernten einfahren. Die Alpengletscher wanderten weit hinunter in die Täler, die Holländer

konnten sich im Winter auf zugefrorene Kanäle als Transportwege verlassen. Sturmfluten und Überschwemmungen häuften sich.

Vermutlich lagen während der „Kleinen Eiszeit“ die Jahresdurchschnittstemperaturen ein bis anderthalb Grad niedriger als heute. Ursache dafür ist nach der derzeit gängigsten Hypothese

Überall auf dem Globus lassen sich Daten der Klimageschichte finden: Ob in der Waipuna-Höhle in Neuseeland, wo der Wissenschaftler Chris Hendy Stalagmiten untersucht, in der russischen Südpolarstation »Wostok«, wo minus 89 Grad Celsius gemessen wurden, oder auf den Bermudas, wo Bohrkerne aus Korallenriffen vergangene Warmzeiten bezeugen





die Sonne. Sonnenflecken treten in der Regel etwa alle elf Jahre auf. Bleiben sie jedoch längere Zeit aus, verringern sich vermutlich die Temperaturen auf der Erde. Zwischen 1625 und 1715 – seit Beginn des 17. Jahrhunderts gab es geeignete Fernrohre – haben die Astronomen tatsächlich keinen dieser dunklen Flecken auf der Sonne beobachtet.

Vor dieser „Kleinen Eiszeit“ – einer von mehreren im Laufe der letzten 10 000 Jahre – erlebte die Erde zwischen 900 und 1300 n. Chr. das „Kleine Klimaoptimum“. Die Jahresmitteltemperatur lag damals vermutlich etwa ein Grad über der heutigen. Grönland war zu jener Zeit wirklich grün. Die Wikinger züchteten dort Vieh, und selbst Bäume wuchsen. Die Warmperiode bescherte den Bauern in Mitteleuropa gefüllte Getreidekammern, und in Südschottland wurde sogar Wein gekeltert.

Vor etwa 10 000 Jahren hat die augenblickliche erdgeschichtliche Periode begonnen, das „Holozän“. Im Vokabular der Klimaforscher heißt diese Warmzeit „Nacheiszeit“. Damals, nach der letzten Eiszeit, zogen sich die Gletscher zurück, gegen Ende der Übergangszeit mit fast atemraubender Geschwindigkeit: Nach einem Einbruch von Meerwasser in die Hudson Bay drifteten um 5800 v. Chr. innerhalb von nur 200 Jahren rund drei Millionen Kubikkilometer Eis ins offene Meer.

Die wärmsten Jahre des Holozäns waren die Jahrtausende zwischen 6000 bis 4000 v. Chr., das sogenannte Klimaoptimum. Fast überall auf der nördlichen He-

misphäre war es feuchter und etwa ein Grad wärmer als heute. In der heutigen Sahara wuchsen Oliven, Zypressen, Lorbeer. Jäger stellten dort Antilopen, Giraffen und Elefanten nach und dokumentierten ihr Leben in Hunderten von Felsbildern.

Nach dem Klimaoptimum wurde es trockener, die Erde kühlte langsam auf Temperaturen ab, wie sie heute herrschen. Etwa in dieser Zeit entstand an den immer noch regelmäßig überfluteten, aber wegen der abnehmenden Niederschläge nicht mehr so sumpfigen Ufern des Nils die ägyptische Kultur.

Vor 18 000 Jahren datieren Klimaforscher den Höhepunkt der letzten Eiszeit, der sogenannten Würm- oder Weichsel-Eiszeit (siehe Karten Seite 67). Weite Teile Europas, Asiens und Nordamerikas lagen unter einer mehrere tausend Meter dicken Eisschicht. Die Eismassen drückten mit ihrem Gewicht die Erdkruste teilweise um 500 Meter nach unten. Der Meeresspiegel sank um mindestens 100 Meter, weil soviel Wasser im Eis gebunden war.

Im Norden Deutschlands rückten die skandinavischen Gletscher nach Süden bis dorthin vor, wo heute Berlin liegt, im



Süden aus den Alpen bis in das Gebiet des heutigen München. Die eisfreien Gebiete dazwischen waren baumlos. Nur niedrige Tundrapflanzen konnten sich während der kalten, trockenen Jahre, in denen die Jahresmitteltemperaturen um etwa acht bis zehn Grad Celsius tiefer lagen als heute, gegen die eisigen Winde behaupten.

Eine der spannendsten Fragen, die sich die Paläoklimatologen stellen, ist: Wie kommt es überhaupt zu Eiszeiten? Bereits 1911 hatte – nach dem Genuss einiger Flaschen Wein – ein junger jugoslawischer Mathematiker einem Freund verkündet, er werde diese Frage ein für alle mal beantworten. Mehr als 30 Jahre lang arbeitete Milutin Milankovitch an der Lösung des „kosmischen Problems“ und entwickelte die „Orbitaltheorie“, die auf Änderungen der Erdbewegung um die Sonne im Laufe von Jahrtausenden basiert:

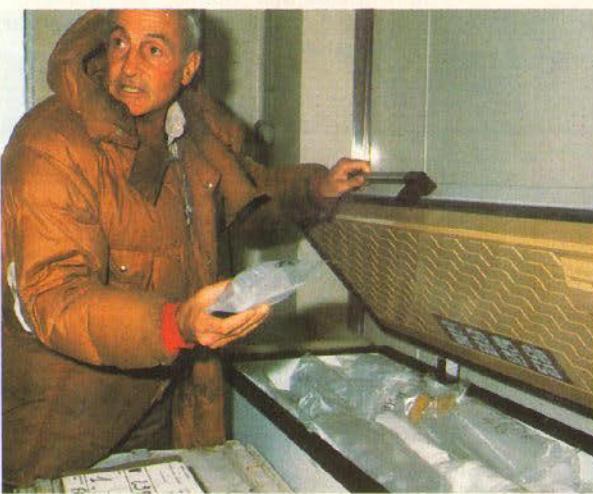
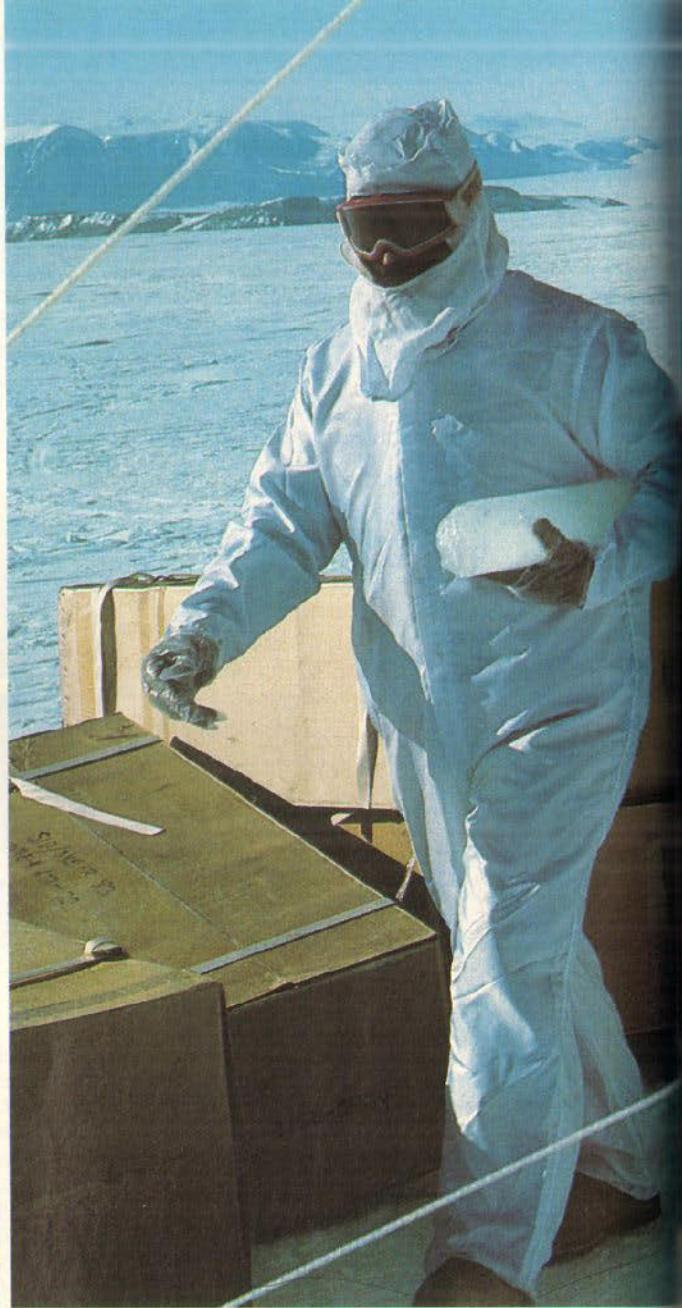
Die Neigung der Erdachse gegenüber der Umlaufbahn um die Sonne schwankt mit einer Periode von 41 000 Jahren. Je größer der Neigungswinkel, je schräger also die Erdachse, desto stärker bestrahlt die Sonne die Pole. Im Rhythmus von 19 000 und 23 000 Jahren verschiebt sich der Zeitpunkt des Perihel, des Punktes, an dem die Erde auf ihrer Bahn der Sonne am nächsten kommt. Vor 18 000 Jahren, im Höhepunkt der Würmeiszeit, war das der 8. März, heute ist es der 3. Januar. Periodisch alle 100 000 Jahre ändert sich auch die Form der Erdbahn – von einer eher elliptischen in eine eher kreisförmige und wieder zurück.

Aus diesen astronomischen Effekten berechnete Milankovitch die Schwankungen der Sonneneinstrahlung auf die Erde für die letzte Million Jahre. Er ermittelte die Strahlungsminima, also die Zeitpunkte möglicher Eiszeiten. Seine Vorhersagen fanden bei der Auswertung von Bohrkernen aus Gletschereis und Tiefseesedimenten erstaunliche Bestätigungen: Während der letzten Million Jahre hat die Erde etwa zehn größere und 40 kleinere Eiszeiten erlebt, deren Zeitpunkt mit Berechnungen anhand der Orbitaltheorie übereinstimmen.

Nach Milankovitch befinden wir uns jetzt am Ende eines Hauptklimazyklus von 100 000 Jahren, der nach der letzten großen Warmzeit vor etwa 120 000 Jahren begonnen hat, und damit vor dem Eintritt in eine neue Eiszeit. Denn alle 100 000 Jahre tritt nach der Orbitaltheorie ein Strahlungsminimum auf, das den Beginn einer starken Vereisung auslöst. In einem Rückkopplungsprozeß ist das vorhandene Eis daran mitbeteiligt – nach neuen Erkenntnissen der Klimatologen vor allem die ehemals riesigen Eisflächen des relativ äquatornahen tibetischen Hochlandes. Schnee und Firn, eine Vorstufe bei der Eisbildung, reflektieren nach jüng-

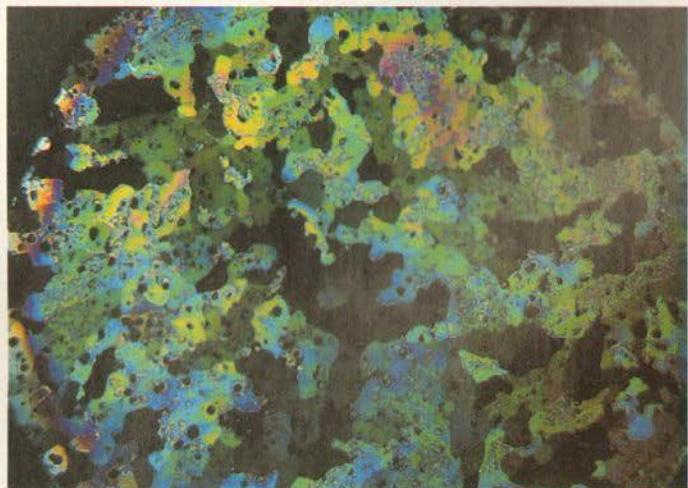
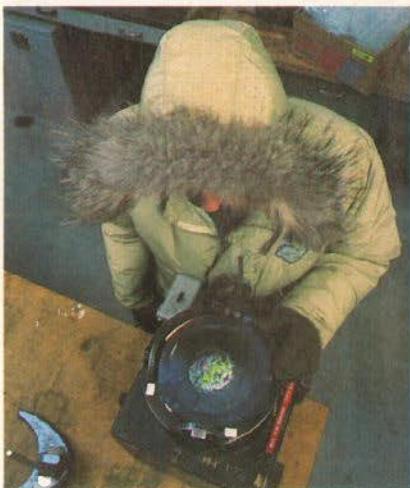
Alte Luft im Tiefkühlfach der Erde

Bisweilen müssen sie sich warm anziehen, die Forscher, die etwas über die Erdatmosphäre früherer Zeiten erfahren wollen: Klimatologen wie der Franzose Claude Lorius (unten links) holen sich Analysenmaterial auch aus polaren Regionen – etwa aus Süd-Grönland. Denn im dortigen Gletschereis ist die Luft vergangener Epochen in winzigen Gasbläschen konserviert geblieben – und zwar genau in der Zusammensetzung, die sie bei der Entstehung der Gletscher hatte. Die Eisbohrkerne werden vor Ort geborgen, verpackt und – gut gekühlt – zur Analyse ins Grenobler Institut gebracht





Durchleuchtet von polarisiertem Licht schillern Eiskristalle in allen Regenbogenfarben. Wissenschaftler werten die Farben in den bunten Mustern der Dünnschliffe aus. Aus der Anordnung der Eiskristalle können sie Rückschlüsse auf die Fließbewegungen des Eises ziehen - ein Hinweis auf wärmere Epochen



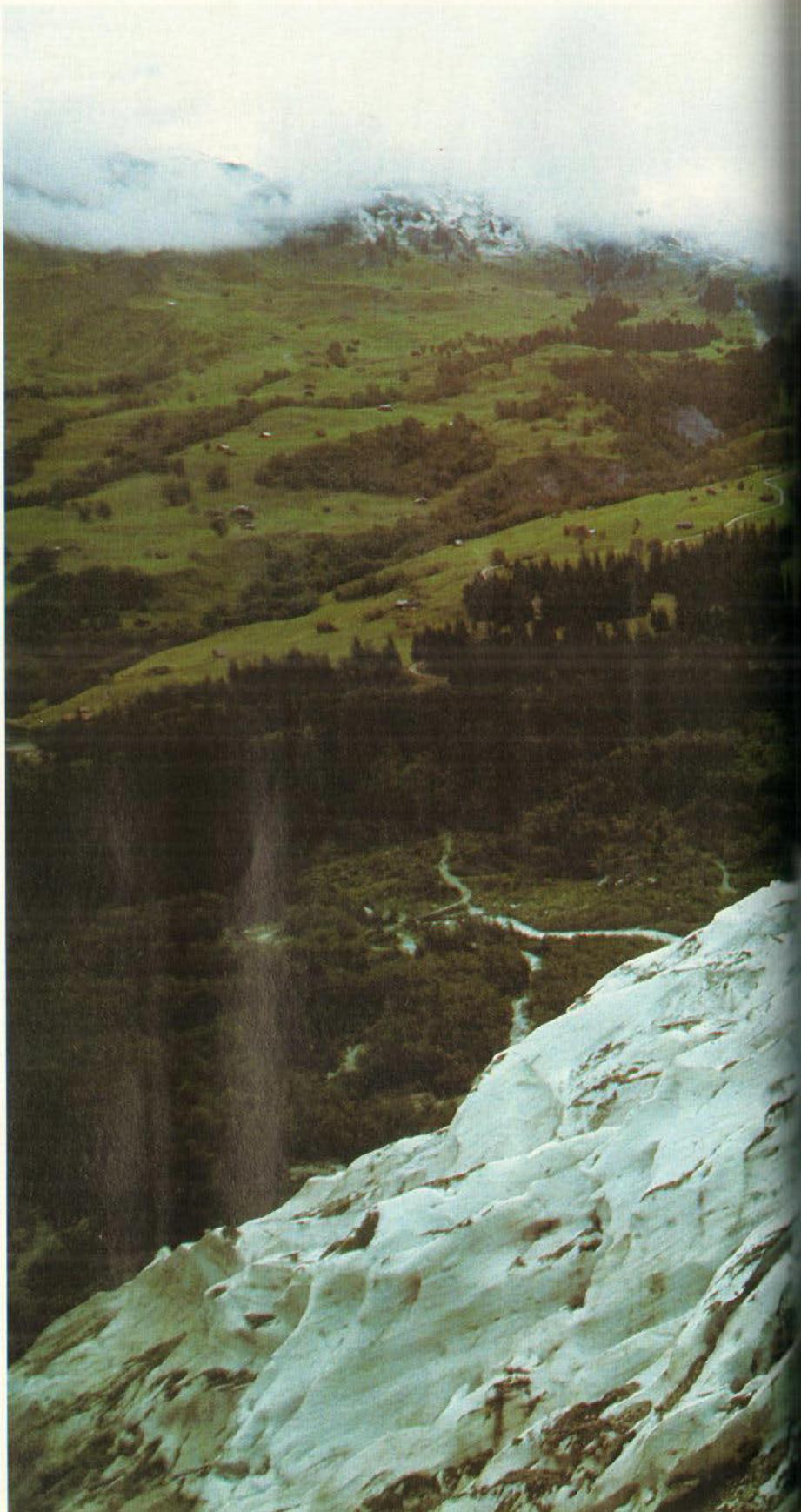
sten Messungen dort die eingestrahlte Sonnenenergie zu 76 bis 95 Prozent zurück in den Weltraum. Je größer die Eisfläche ist, desto mehr sinkt also die Erdtemperatur, und je weiter die Temperatur sinkt, desto mehr Firn- und Eisflächen bilden sich.

Die derzeitige periodische Vereisung von Teilen der Erde begann allerdings erst vor drei Millionen Jahren. Von kleineren, relativ kurzen Eiseinbrüchen abgesehen, war die Erde über Hunderte von Jahrtausenden völlig eisfrei und die durchschnittlichen Temperaturen lagen höher als heute – beispielsweise vor 100 Millionen Jahren, in der Kreidezeit, um etwa 12 Grad. Damals lebten die Dinosaurier in dampfenden Sümpfen, an warmen, seichten Seen und in tropischen Wäldern. An den Polen wuchsen Bäume.

Indessen verschob sich auch zu jener Zeit die Erdbahn, sodaß sie eigentlich periodisch Eis hätten bilden müssen. Vermutlich hat das Auseinanderbrechen des Urkontinentes Pangea dessen Bildung verhindert: Teile des Urkontinents driften auseinander und rissen die Erdkruste auf, neue Ozeane entstanden. Die dabei aufbrechenden Vulkane bliesen so viel Kohlendioxid in die Luft, daß dessen Gehalt in der Atmosphäre fünf- bis zehnmal höher war als heute: Die Erde schuf sich also ihr eigenes Treibhausklima. Die Antarktis, Südamerika und Australien bildeten damals noch den südlichen Urkontinent Gondwana. Die Antarktis war nicht – wie heute – durch den kalten „Zirkumpolarstrom“ thermisch isoliert. Erst nachdem sich vor ungefähr 40 Millionen Jahren die drei Kontinente voneinander getrennt und die Temperaturen weltweit abgenommen hatten, bildete sich Eis am Südpol.

Aber die Mutmaßungen der Klimatologen über das Klimageschehen auf der Erde reichen noch weiter zurück: Sie sind sich sogar ziemlich sicher, daß vor 450 Millionen Jahren, während des Erdalters, Teile der Erde vereist waren. Damals begannen die Pflanzen das Festland zu besiedeln. Noch weiter zurück, vor einer Milliarde Jahren – die Atmosphäre hatte sich gerade mit Sauerstoff angereichert –, gab es im Präkambrium eine über 400 Millionen Jahre dauernde Kaltphase und vor 2,3 Milliarden Jahren wohl die erste Vereisung überhaupt.

Neben Vulkanismus, Veränderungen der Sonnenaktivität und Variationen der Erdbahn werden auch andere Ursachen für Klimaveränderungen diskutiert: Rückkopplungsmechanismen der Biosphäre oder Kollisionen mit Asteroiden und Kometen. Doch obwohl es für solche Ereignisse tatsächlich Anhaltspunkte gibt, sind die Mutmaßungen über dadurch ausgelöste Klimaeffekte bislang noch Spekulation. □





Die fließende Chronik

Gegenwärtig sind nur etwa zwei Prozent der Alpen vergletschert. Die Vorstöße und Rückzüge solcher Eisfelder gelten als empfindliche Indikatoren des jeweils herrschenden Klimas. Gletscher wachsen oberhalb der Schneegrenze im »Nährgebiet«, fließen talwärts – in den Alpen derzeit pro Jahr etwa 40 bis 200 Meter – und schmelzen in ihrem »Zehrgebiet«. Die Firnschneelagen verdichten zu Eisschichten, die sich in Bohrkernen als jährlicher Zuwachs deutlich erkennen lassen

Ein Jahr, das aus der Reihe tanzte

Wenn jemand mit einem Bein im Eiswasser steht und mit dem andern auf glühenden Kohlen, dann müßte eigentlich – so spottete ein Statistiker-Witz – im Mittel angenehm temperiert sein. Ähnlich ging es Europa im letzten Sommer: Während der Norden unter endlosen Regentiefs bibberte, schmorte der Süden in Backofenhitze. Und auch der Mitte fehlte das Mittelmaß: In den Alpen, wo die Nord-Süd-Extreme aufeinanderprallten, ertranken Täler in gurgelnden Fluten, rutschten die Hänge, redete sogar die Schweizer Bundesbahn vom Wetter. Zuwenig Sonne und zuviel Regen sind freilich allenfalls

Das Wetter von 1987 brach aus dem langjährigen Mittel

Befindlichkeitsstörungen, gemessen an der Unbill, die wahrhaft wüstes Wetter zu verursachen mag. Das Jahr 1987 brachte weltweit ein gerütteltes Maß an katastrophalen Fluten, Dürren und Stürmen. Aber auch wenn Berghänge zu Tal stürzen oder Wirbelstürme Ortschaften zerschmettern, hat die Floskel wenig Aussagekraft, »seit Menschengedenken« sei so etwas nicht mehr geschehen: Selbst wenn es tausendjährige Meßreihen gäbe, würden solche Kapriolen des Wetters im statistischen Mittel verschwinden. Und niemand kann die Frage beantworten, ob das grausige Wetter von 1987 etwa einen Klima-Umschwung ankündigt.

Möglich, daß die Forscher eines Tages bestimmte Wetterlagen als Signale eines heraufziehenden Klimawandels zu deuten vermögen – etwa in dem Sinne, daß extreme Situationen den chaotischen Übergang von einer klimatischen Gleichgewichtssituation in die nächste ankündigen. Aber auch dann werden wir kaum mehr tun können als heute – zum Beispiel dies: den Schirm nicht vergessen

ZUM BEISPIEL '87



Norden: Grau der Himmel, naß das Land

Deutschland, Mai bis September: Fast den ganzen Sommer über sorgen Tiefdruckgebiete für ungewöhnlich kaltes und feuchtes Wetter. Im Juni registriert das Wetteramt Hamburg nur 43 Prozent der Sonnenstunden im langjährigen Juni-Mittel – ein Minus-Rekord.

Aus dem trüben Himmel fiel reichlich und gleichmäßig Regen – rund 120 Prozent des Sommer-Mittels.

Unter Wasser standen die Beete holsteinischer Rosenzüchter ebenso wie die Reben hessischer Winzer, deren Weingärten nahtlos in den Rhein übergingen. In Schleswig-Holstein stand das Getreide zum Teil noch Ende September unreif auf den Feldern. Und im Hamburger Stadtpark-Bad hockten zwei einsame Gäste im Regen.

Da schon der Winter und das Frühjahr viel zu kalt ausfielen, wird 1987 als eines der kühlssten Jahre in die deutsche Wettergeschichte eingehen: Von Januar bis Ende September lag zum Beispiel die Mitteltemperatur in Hamburg mit 8,8 Grad Celsius um 1,6 Grad niedriger als der Durchschnitt – so tief wie nie seit Beginn der Messungen im Jahre 1956.





Süden: Mörderische Hitze, brennende Wälder

Juli/August: Die Sommerhitze wird für viele Südländer zur lebensbedrohenden Qual. Tagelang herrschen rund ums Mittelmeer Temperaturen über 40 Grad. Allein in Griechenland sterben rund 1500 Menschen an den Folgen der Bruthitze.

Am schlimmsten traf es die Athener: Als heiße Luftmassen aus der Sahara nach Norden wehten und tagelang an den Küsten des Mittelmeers hängenblieben, wurde ihre Viermillionenstadt zur Hölle. Nur zwei Prozent der Stadtfläche sind von Grün bedeckt. Der Rest ist eine Asphalt- und Betonwüste, die sich ungeheuerlich aufheizte. Ende Juli zeigte das Thermometer zehn Tage lang mehr als 40 Grad. Vor allem für Alte, Herz-, Kreislauf- und Lungenkranke wurde die Stadt zur Todesfalle.

Messungen haben ergeben, daß sich im Sommer über Athen eine etwa 120 bis 150 Meter hohe „Hitzeinsel“ bildet. Wie unter dem Deckel eines Kochtopfes stauen sich unter dieser Glutglocke die Abgase der rund 700 000 Athener Kraftfahrzeuge, der Industriebetriebe und – fäplerweise – die 50 und mehr Grad heiße Luft aus den immer zahlreicher Klimaanlagen.

Aber auch in Tokyo suchten Hundertausende Kühlung in Badeanstalten und am Meer. In Südfrankreich fraßen die – mittlerweile schon üblichen – Waldbrände wiederum viele Hektar Wald: Zwischen Cannes und Saint-Raphaël reichte das Flammenmeer bis an die Mittelmeerküste.





Nordchina: Nach der Dürre kam die Feuersbrunst

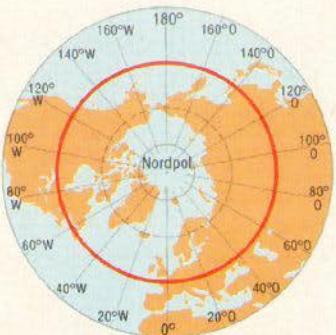
Daxinganling, Mai/Juni: Gewaltige Brände vernichten 650 000 Hektar Wald und 65 000 Wohnungen in der nördlichsten Provinz Chinas. Rund 200 Menschen kommen im flammenden Inferno um.

Gegen den größten Brand in der Geschichte der Volksrepublik China nahe des Grenzflusses Heilongjiang (Amur) kämpften 58 000 Soldaten, Forstarbeiter und freiwillige Helfer. Ohnmächtig mußten sie zusehen, wie sich die Feuerwalzen – angefacht von stürmischem Westwind – mit Geschwindigkeiten von bis zu 20 Kilometern pro Stunde durch die trockenen Wälder fraßen und zahlreiche Ortschaften in Asche legten. Menschen verbrannten beim Versuch, vor der rasenden Glut davonzulaufen. 90 000 Einwohner mußten umgesiedelt werden.

In Nordchina, nahe der Grenze zu Sibirien, sind Waldbrände im Frühjahr keine Seltenheit: 880 Feuer zählten allein die Forstbeamten der Provinz Daxinganling in den letzten 20 Jahren. In diesem Jahr jedoch verbanden sich ungünstige Witterung – Trockenheit und Wind – mit menschlicher Unzulänglichkeit: Offenbar reichte das Überwachungssystem im dünnbesiedelten Norden Chinas nicht aus, um die unvermeidlichen Waldbrände rechtzeitig zu erkennen und unter Kontrolle zu bringen. Erst nach fast einem Monat konnte das Feuer durch künstlich ausgelösten Regen gelöscht werden.







31. Mai am 50. Breitengrad: Am schönsten war's in Winnipeg

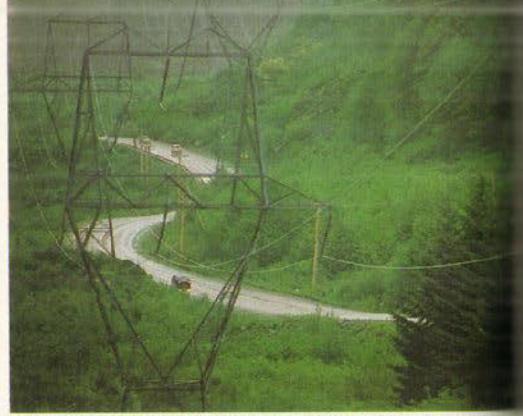
Geleicher Sonnenstand bedeutet noch lange nicht gleiche Witterung. Das zeigt exemplarisch der 50. Breitengrad. Wie jeder Tag beginnt der 31. Mai auf dieser imaginären Linie rund um den Globus an der Datumsgrenze. Erst auf der ostsibirischen Insel Sachalin treffen die Strahlen der aufgehenden Sonne auf Land. Etwas weiter westlich, in Konsomolsk am Amur, wird es ein schöner Tag mit Höchsttemperaturen um 25 Grad Celsius. Im südlichen Sibirien und in der nördlichen Mongolei erleben die Menschen nach dem eisigen Winter den Beginn des heißen kontinentalen Sommers. Quer durch die Weiten der Sowjetunion erwärmt die Sonne Land und Leute – in Charkow mit 25 Grad. Doch weiter westlich trübt sich der Tag ein. Prag liegt unter grauen Wolken, im bayrischen Marktredwitz gießt es in Strömen. Mainz, einer der klimatisch günstigsten Orte am 50. Breitengrad, meldet 19 Grad und Schauer am Nachmittag.

Über Lizard Point, dem südlichsten Punkt Englands, strahlt die Sonne ebenso wie über Neufundland auf der anderen Seite des Atlantik, wo Eisberge durchs Wasser treiben.

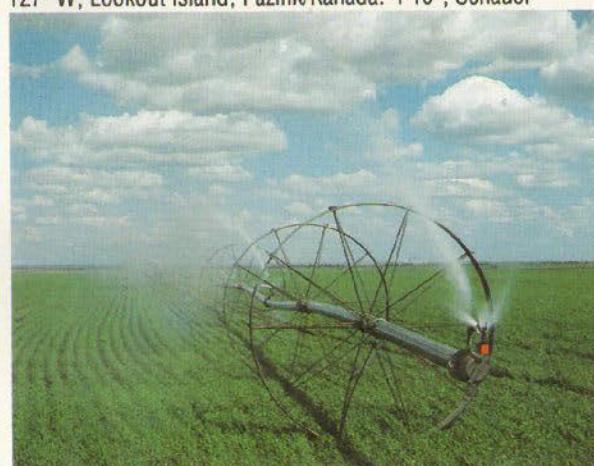
Im Osten der kanadischen Provinz Quebec herrscht kühles Schmudelwetter, während im mittleren Westen Kanadas die Sonne lacht und sich die kühle Morgenluft rasch auf Badetemperaturen erwärmt. In den Rocky Mountains fallen Niederschläge – in der Höhe als Schnee. Naß und kühl ist es auch an der Pazifikküste Kanadas, wo der 31. Mai schließlich im Stilien Ozean wieder versinkt.



127° W, Lookout Island, Pazifik/Kanada: +10°, Schauer



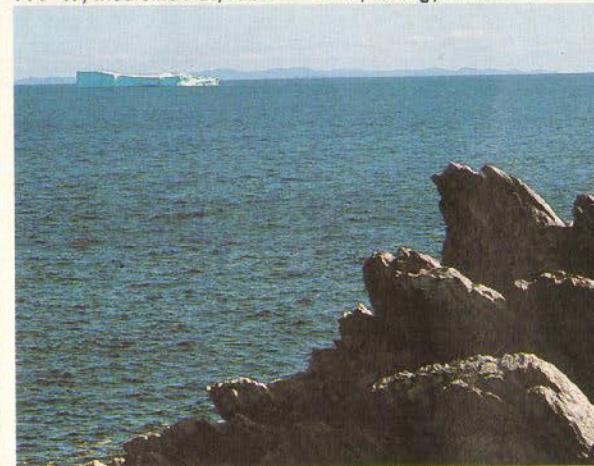
123° W, Garibaldi, British Columbia: +12°, Schauer



111° W, Medicine Hat, Alberta: +21°, föhnig, Westwind



97° W, Winnipeg, Manitoba: +29°, heiter



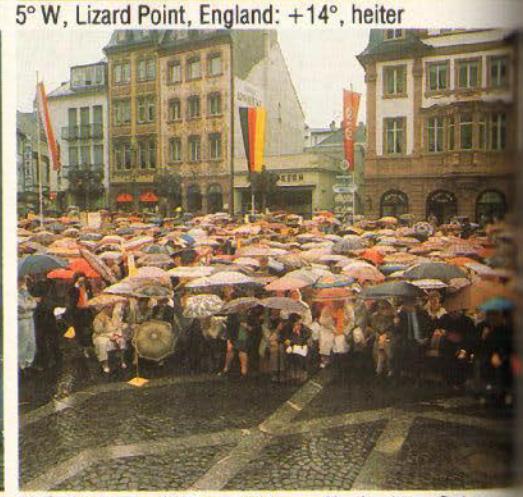
56° W, Cape St. John, Neufundland: +10°, heiter, Schauer



5° W, Lizard Point, England: +14°, heiter



8° O, Niederwald-Denkmal am Rhein: +15°, stark bewölkt



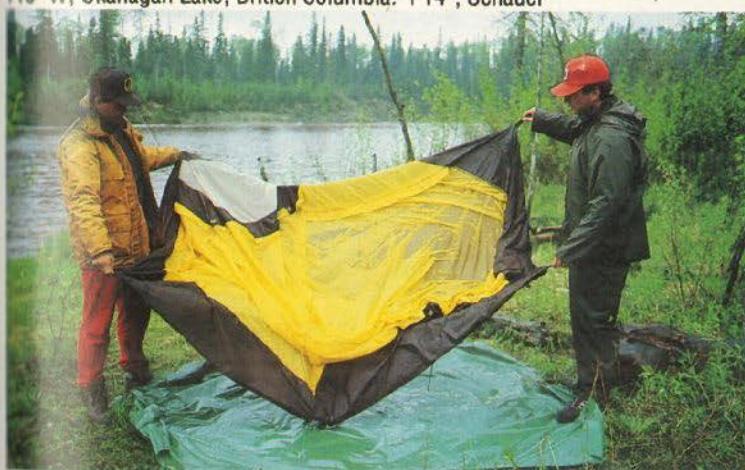
8° O, Mainz: +19°, bewölkt, am Nachmittag Schauer



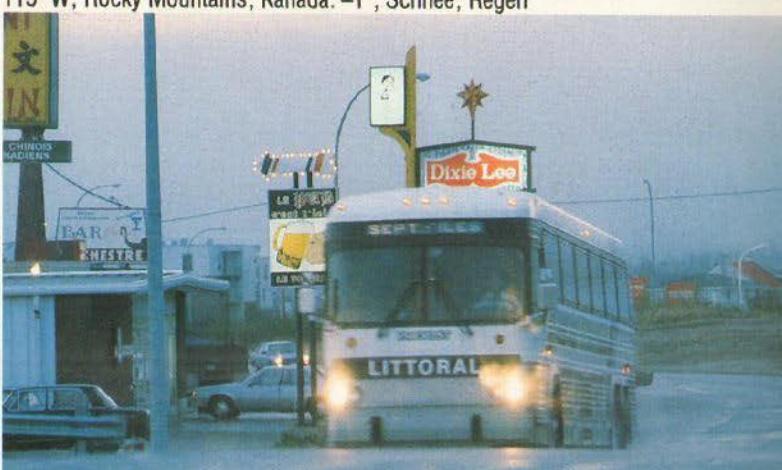
119° W, Okanagan Lake, British Columbia: +14°, Schauer



115° W, Rocky Mountains, Kanada: -1°, Schnee, Regen



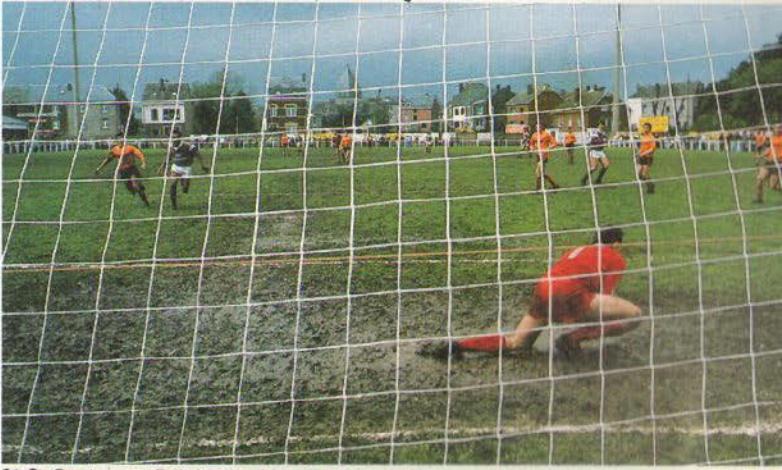
81° W, Abitibi River, Ontario: +10°, Nieselregen, dann heiter



67° W, Port Cartier, Quebec: +8°, Nieselregen



1° O, Dieppe, Frankreich: +11°, Regen, später bedeckt



6° O, Bastogne, Belgien: +11°, Regen

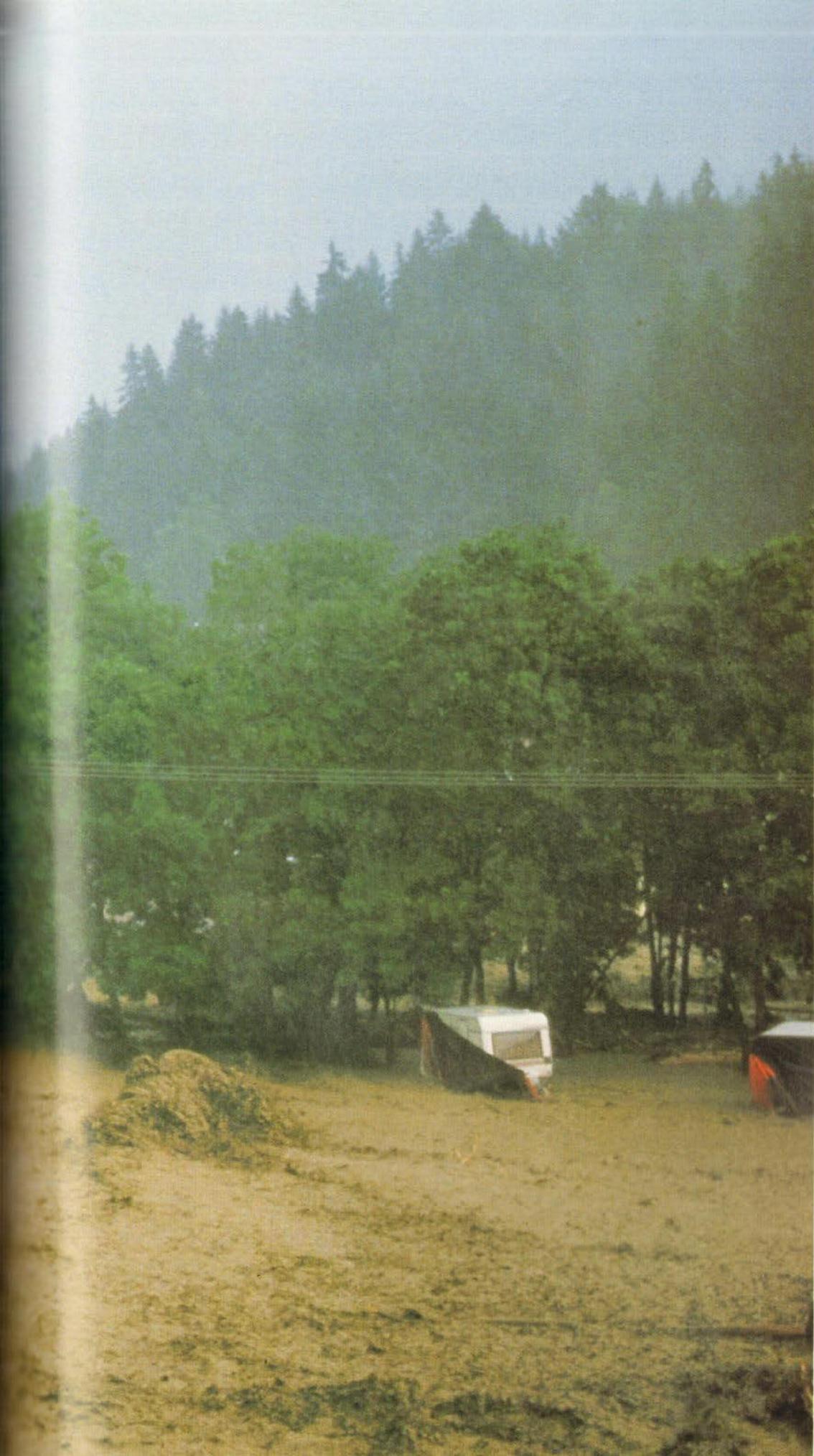


11° O, Marktredwitz, Oberfranken: +11°, zeitweise Regen



14° O, Prag, CSSR: +11°, Sprühregen





Savoyen: Todesspur einer Regenflut

Le Grand-Bornand, 14. Juli: In den französischen Alpen kommt es östlich von Annecy nach schweren Gewitterregen zu einer Überschwemmungskatastrophe. 23 Menschen sterben auf dem Campingplatz „Le Borne“ nahe des südfranzösischen Alpenorts in reißenden Schlammfluten.

Die extrem starken Wolkenbrüche hatten den Borne, einen im Sommer gewöhnlich fast trockenen Bach, in kurzer Zeit zum reißenden Strom anschwellen lassen. Eine Flutwelle brach mit verheerender Gewalt über den Campingplatz herein und riß Menschen, Autos und Wohnwagen mit sich. „Ich habe meine Frau und meine 17jährige Tochter verloren“, klagte ein 50jähriger Mann. „Sie wurden im Wohnwagen weggeschwemmt.“ Leichen und Trümmer trieben viele Kilometer weiter talabwärts bis in die Arve, einen Nebenfluß der Rhone.

War das Desaster vorhersehbar? Offenbar waren die Warnungen der Fachleute überhört worden. Denn Grand-Bornand steht auf der Liste der 634 meistgefährdeten Gemeinden Frankreichs. Und die Verwaltung des Departments Haute-Savoie hatte schon 1985 die Erarbeitung einer Studie gefordert, in der auch die Lawinen- und Überschwemmungsgefahr abgeschätzt werden sollte. Die Fluten nach schweren Regengüssen sind den Alpenbewohnern von jeher bekannt. Zuletzt 1879 und 1936 war der Borne auf verheerende Weise über die Ufer getreten – aber ohne daß Menschen ihr Leben ließen.

Schweiz: Eine Bergregion meldet »Land unter«

Zentralschweiz, im August: Nach schwersten Niederschlägen werden Täler und Dörfer von schlammigen Wassermassen überflutet. Einige Menschen kommen um, Hunderte verlieren Haus und Hof. Der Schaden wird auf mindestens eine halbe Milliarde Franken geschätzt.

So viel Regen war seit 65 Jahren nicht mehr innerhalb von zwei Tagen gefallen. Binnen kurzem überflutete das Wasser die Täler. Straßen wurden überschwemmt, Bahngleise aus der Erde gerissen und grotesk verbogen.

Nachdem das Dorf Gurtmellen im Kanton Uri evakuiert worden war, stieg die Reuss dort vier Meter über den normalen Wasserstand. Sie riß eine Straße mit, das Pfarrhaus und den halben Friedhof.

Wahrscheinlich hat nicht der Regen allein die Katastrophe verursacht. Es fiel zwar überdurchschnittlich viel – rund 100 Millimeter in 24 Stunden.

Aber ein Jahrhundertrekord war das nicht. Experten gehen davon aus, daß die zunehmende Versiegelung des Bodens durch Häuser und Straßen sowie dessen verstärkte Verdichtung durch intensive Landwirtschaft, aber auch das Waldsterben eine Rolle gespielt haben. Wälder sind enorme Wasserspeicher. Bis zu 90 Prozent der Niederschläge können sie aufnehmen. In Wiesen versickern immerhin noch bis zu 60 Prozent. Betonierte Flächen aber halten keinen Tropfen zurück.





Veltlin: Erst kam das Wasser, dann der Berg

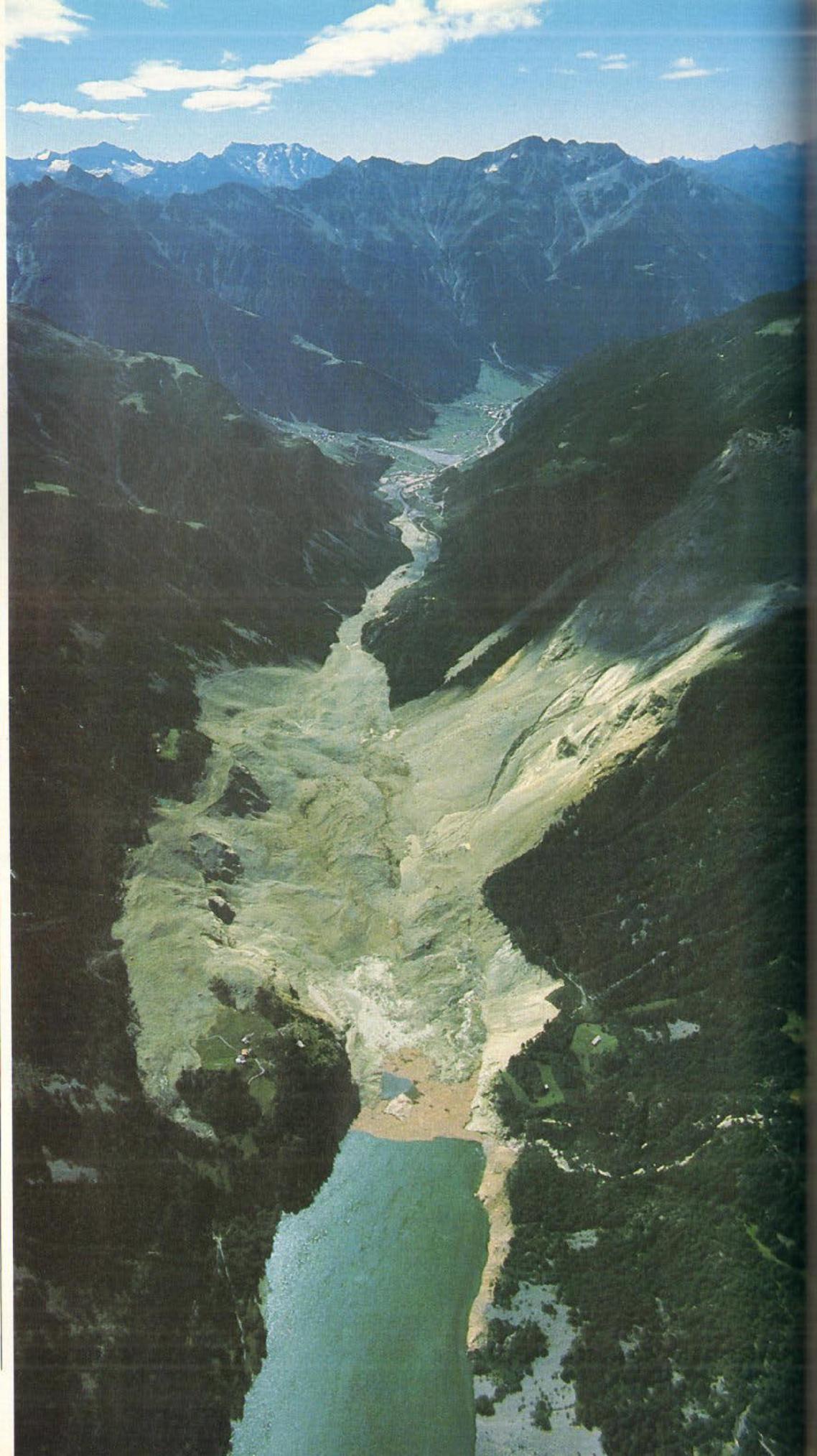
Bormio, 28. Juli: Im oberen Veltlin in den italienischen Alpen stürzen 40 Millionen Kubikmeter Gestein und Geröll herab, bilden am gegenüberliegenden Hang empor und füllen das enge Tal über hundert Meter hoch. Zwei Ortschaften und 28 Menschen werden begraben.

Den Warnzeichen des Berges war es zu verdanken, daß nicht mehr Menschen starben. Schon am 18. Juli hatte ein kleinerer Bergutsch die Straße verschüttet. Am 24. Juli beobachteten Geologen, die seit Jahren verdächtige Klüfte und Spalten registriert hatten, daß sich die Bergflanke entlang einer Verwerfung innerhalb weniger Stunden um eineinhalb Meter gesenkt hatte. Am nächsten Tag wurden die bedrohten Ortschaften evakuiert.

In den Wochen zuvor hatte es viel geregnet. Innerhalb weniger Tage waren rund 300 Millimeter Wasser niedergegangen – in Hamburg fallen durchschnittlich 740 Millimeter Niederschläge im ganzen Jahr. Die Wassermassen durchfeuchteten das Gestein und „schmierten“ potentielle Gleitflächen. Doch der Regen war nur Auslöser des Bergsturzes. Irngewann hätte die Schwerkraft das instabile Gestein ohnehin in Tal stürzen lassen.

Nach dem Bergsturz füllte sich hinter dem Talriegel ein See auf. Das ganze Tal, bis hin zur Provinzhauptstadt Sondrio, wurde evakuiert. Ein künstlich geschaffener Ablauf hat die Gefahr vorerst gebannt.

Bodensee, im Juli: Nach den ersten schweren Regenfällen des Sommers schwemmt der Rhein riesige Mengen Treibholz in den See.









Texas: Ein Tornado zog eine Schneise der Zerstörung

Saragosa, 22. Mai: Eine Windhose legt die texanische Kleinstadt völlig in Trümmer. Der Wirbelsturm tötet 29 und verletzt 121 der insgesamt 350 Einwohner.

Um zwei Uhr nachmittags hatte das „Nationale Zentrum für die Warnung vor schweren Stürmen“ in Kansas City eine Tornado-Vorwarnung für West-Texas ausgegeben. Knapp vier Stunden später wurde daraus eine offizielle Warnung. Um Viertel vor acht schließlich übermittelte der „National Weather Service“ eine Tornadowarnung nach Saragosa – sechs Minuten, bevor die Windhose dort eintraf.

Ein Augenzeuge schilderte, wie der Tornado die Stadt verwüstet hatte: „Gebäude wurden flachgelegt, Autos in der Gegend verstreut. Die Stromkabel lagen auf der Erde.“ Am Ende hatte der Wirbelsturm alle Häuser dem Erdboden gleichgemacht.

Im Herzen der USA, in der „Tornado Alley“, rasen die gefürchteten Winde besonders häufig: durchschnittlich 600mal im Jahr. Denn dort herrschen dafür ideale Voraussetzungen: Warme, extrem feuchte Luft aus dem Golf von Mexiko schiebt sich über kalte, trockene und schwerere Luft aus dem Westen. Die Feuchtigkeit kondensiert in der Höhe; dabei wird Energie frei. Schwere Gewitterstürme und Regen sind die Folge. Wirbelbewegungen in solchen Stürmen können kompakte Strudel bilden, die als Windhosen zerstörerische Kräfte entfalten.

Der Traum von der Lust im Süden

»Südländ oder die Utopie Thule« hat der Philosoph Ernst Bloch ein Kapitel in seinem berühmten Werk »Das Prinzip Hoffnung« genannt. GEO-Wissen drückt es hier ab. Denn auf unnachahmliche Weise werden hier die Sehnsucht des Nordländer nach Licht und Wärme und die mystische Attraktivität nördlicher Breiten in Beziehung gesetzt und beider Besonderheiten aus der Wirkung des Klimas auf die seelische Befindlichkeit des Menschen gedeutet

Sehr lebhaft tritt ein einfacher Traum des Fahrens auf, der südliche. Er ist zugvogelhaft, von den kälteren Ländern her, nach der Sonne gerichtet. Auch der Osten wurde stets zugleich unter der günstigsten Breite gedacht, als viel Mittag, viel Sommer. Und je weiter nach Süden, desto ungeahnter schien italienischer, arabischer Glanz zu steigen. Die klimatische Qual der Tropen war zwar bekannt, doch sie wirkte nicht abschreckend; denn Ferne oder kurzstaunender Besuch milderten sie. Unbekannt dagegen war, daß auch auf der südlichen Halbkugel die Kälte wieder zunimmt. Das blieb aber so lange wenigstens verborgen, bis Magellan in die Nähe des stürmisch-eisigen Kap Hoorn nach Süden vorgedrungen war. Dennoch hielt sich der menschlichen Natur so tief eingeschriebene Zug nach wachsender Wärme und Licht, dieser Zug nach einem gleichsam profanen, keines Glaubens bedürftigen Eden. Wobei nicht einmal der treibend-magische Zusatz gänzlich fehlte: im Süden, der den Frühling früher kennt und aus dem Sommer herzieht, wurde der Sitz der *Lebensquelle* überhaupt vermutet. Lehrreich ist hierfür die Richtung, in der gerade ein Offizier des Kolumbus, Ponce de León, diese mythische Lebensquelle gesucht hat. Nämlich nicht im Ostpunkt eines irdischen Paradieses, sondern in den Tropen schlechthin, wo er sich befand; und eine indianische Sage genügte ihm, um das Jugendwasser in Florida zu erwarten. So eng auch dieser Quell in den Überlieferungen mit der Nähe Edens verknüpft ist, also, seit der Alexandersage, mit Indien, so sehr ist es doch das Tropische, nicht das Geweihte dieses Indiens, das gerade das Lebenswasser dort erhoffen ließ. Leibhaft-profan, der Südsehnsucht gemäß, war deshalb auch das Ansehen, das dieses Wasser genoß, das vom Weihwasser so sehr verschiedene. Es floß durch die galanten Vorstellungen des Mittelalters und der Renaissance, ganz im halcyonischen Sinn der Südhoffnung. Es lief durch die „jardins de plaisance“ der mittelalterlichen Graphik und Dichtung, es verrät sich noch in der verwandten Allegorie Tizians, sehr mit

Unrecht „Himmlische und irdische Liebe“ genannt, wo kein Engel, sondern Cupido in dem tropischen Wasser röhrt, „egrediens de loco voluptatis“, wie die Kirche zu dieser vitalen, nicht christlichen Taufe sagte. Auch dies Mythische also strömte in die *Terra australis* ein, fern unter dem Äquator, bei den Antipoden zur Kälte. Der *Terra australis* selber stand zwar die halboffizielle mittelalterliche Lehre von der *Terra inhabitabilis*, südlich des Äquators, im Wege. Aber indem bereits Albertus Magnus in diesem Punkt so kräftig gegen die Autorität des Aristoteles und des Edrisi angegangen war, indem er ver-



neinte, daß die südliche Erdhälfte gänzlich mit Wasser bedeckt sei, schlug er zugleich der Phantasie des Südkontinents theoretisch Raum. Und praktisch ging schließlich Marco Polo mit ihr, als er glaubte, die Terra australis lokalisieren zu können. Java, Sumatra, die üppigen Sunda-Inseln, wurden dem Kontinent als vorgelagert vermutet, der Indische Ozean erschien als ein Binnenmeer, mit der reichsten Küste im Süden. Vielleicht haben zu dieser Lokalisierung auch malaiisch-chinesische Sagen beigetragen, Erinnerungen an das vorgeschichtliche Gondwanaland, das – ein Sodom und Gomorrha der

Tropen – durch Feuer zerstört worden, im Gebiet des Indischen Ozeans versunken ist. Jedenfalls bekam der alte Archetyp durch die Lokalisierung hinter die reichsten Inseln der Welt nun Figur; man sah die Füße des Giganten und ahnte das übrige. Die Enttäuschung allerdings, lange nach Marco Polo, war groß, doch war auch der Traum Terra australis unterdessen stark ausgeblieben. Australien, 1606 durch Holländer zuerst betreten, 1770 durch Cook in seinem Umfang einigermaßen festgestellt, entpuppte sich als der bescheidenste Erdteil, als ein Wüstenkomplex. Lebenswasser, die Klimax eines Son-

nenreiche von der anderen Seite verschwanden, das Gondwanaland ging nochmals unter. Dennoch stand in diesem Südbild einmal eine eigene geographische Utopie, eine gleichsam mit radikalem Kimbern-und-Teutonenzug. Und letzthin ist Südländ das heiße Tertiär, vom Zugvogel, ja Saurier im Menschen gegen das Winterland utopisch erinnert. Die Südrichtung, und was in ihrer Verfolgung erwartet wurde, ist so mit einer Lebensfülle geladen, die sich nicht davor scheute, monströs zu werden. Utopische Phantasiereisen ins Südländ haben daher auch niemals den hier eingeborenen orgiastischen Zug verloren: Foignys „La terre australe connue“, von 1676, schildert die Bewohner des Südkontinents als Hermaphroditen; Rétifs de la Brettonne „La découverte australe par un homme volant“ intendiert, ein orgiastisches Rokoko auf ein tropisches Sodom aufzutragen, mit ungekenneten Sünden im Unbekannten gelegen. Die Utopie Südkontinent selber, als solch üppige, ist empirisch die am meisten gegenstandslose, doch sie bewahrte den Archetyp: animalisches Paradies.

Leibhaft fast unverständlich wirkt dagegen der umgekehrte Zug, der nach Norden hin. Während der Südwind lockt und verspricht, sind Kälte und Dunkel drohend, sie rufen zunächst Flucht hervor. Der Weg nach Norden wirkt daher fast paradox, es gibt auf ihm keinen Kimbern-und-Teutonenzug. Aus dem gleichen Grund, aus dem das Eisgebirge der Alpen, dies Stück Grönland zwischen Donau und Po, am spätesten aufgesucht, gar geliebt worden ist. Und doch wanderte die menschliche Gesittung immer mehr vom Süden nach Norden herauf. Ihr Lauf geht vom Nil, Euphrat nach Athen und Rom, nach Frankreich, Deutschland, England, Rußland. Die Gesittung zieht nicht nur von Ost nach West, sondern weit regelmäßiger von Süd nach Nord, und der Kampf mit dem harten Klima stähle wie in Urtagen der mit der Eiszeit. Hierhin lockt zwar kein Einbruch wie im Kimbern-und-Teutonenzug, aber es geschieht, eine schöpferische Ausbreitung, eine immer noch nicht beendete; ihr nächster Akt dürfte der Aufstieg Sibiriens



sein. Und vor allem: es fehlt trotz Dunkel und Kälte eine eigentümliche Anziehung des Nordens nicht; ökonomisch lag ihr das Rohstoff-Interesse (Zinn, Pelze, Bernstein und mehr) zugrunde, doch sie hat sich auch aus Gründen mancher Kontrast-Ideologie außerhalb des Geschäfts bewährt. Davon zeigen sich bereits bei Tacitus deutliche Merkmale, er gibt das erste sentimentalische Nordbild. Denn seine „Germania“ idealisiert nicht bloß ein Naturvolk, sie zeigt außerdem ein kleines Gegenstück zum Frieren nach der Sonne, sie zeigt Betroffenheit vor den kühlen und riesigen Wäldern, vor dem „harten Himmel“. Aber ein förmliches Thule wird viel später in der deutschen Dichtung aufgerufen, in der Sturm-und-Drang-Revolte gegen die „Unnatur“ eines neufudal-romanisierenden Regelwesens. Der „wilde Apoll“ suchte statt der Plastik des Mittags Sturmgewölk, fliegendes Mondlicht, ahnend verhangene Weite. Das erfüllte die Begeisterung für den Nordkreis, die durch Ossian ausgelöst wurde, und es ist bezeichnend, daß eine selber sentimentalische Fälschung sie hervorrufen konnte. Nicht der Dichter Macpherson, sondern die Maske des alten Skalden Ossian, gleichsam eines anderen Priesterkönigs Johannes, hat auf das nördliche Europa damals gewirkt, wie eine Botschaft gewirkt. Und eben nicht bloß wie eine aus der nördlichen Dichtung, sondern wie eine aus der Welt der Fingalshöhle und der Hebriden selber, in die der fingierte Dichter führte. Es war eine Welt aus weichen und zugleich ungeheuren Helden gestalten, eine nur aus Rohr, Felsen, Mooren, Seen und Winden bestehende Natur, eine elegisch erinnerte und sinkende, aber von jenem Abendrot umgeben, jenem Sturm und Wolkenzug, der sich nur auf der nördlichen Heide, nahe am Meer, anlassen kann, mit der Mitteilung: Thule. Herder hat die Ossian-Utopie auf eine für seine Zeit kanonische Weise erfahren, nämlich vom Schiff her und mit Meerblick, Küstenblick: „Zwischen Abgrund und Himmel schwebend, täglich mit denselben endlosen Elementen umgeben und dann und wann nur auf eine neue ferne Küste, auf eine neue Wolke, auf eine ideale Weltgegend merkend – nun die Lieder und

Taten der alten Skalden in der Hand, ganz die Seele damit erfüllt, an den Orten, da sie geschahen..., jetzt von fern die Küsten vorbei, da Fingals Taten geschahen und Ossians Lieder Wehmut sangen, unter eben dem Weben der Luft, in der Welt der Stille“ (Auszug aus einem Briefwechsel über Ossian, 1773). Das so gesuchte Wesen reicht hinunter bis in den Schauerroman, wo es sich am populärsten erhalten hat; es reicht hinauf (wie Spengler in seinem wahrsten Satz entdeckt hat) bis in die tiefen Mitternächte, die Faust an seinem Pult heranwacht, in die sich Rembrandts Farben, Beethovens Töne verlieren. Aber das Wesen selber reicht über diese kulturellen Bezirke noch durchaus objekthaft hinaus,

eben in die Wolkenwelt des Nordens, von deren Licht es beschienen ist, ins Utopische dieser Welt als eines Paradieses ohne Zephyr. So war und ist auch hier wirkliche geographische Utopie; sie wohnt nicht nur auf einem Globus intellectualis, sie hält sich an wirkliche Festpunkte des Nordmeers, an die Fingalshöhle, die Hebriden, Island, und baut von hier Niflheim. „Zu wandern über die Heide, umsaust vom Sturmwinde, der in dampfenden Nebeln die Geister der Väter im dämmern Lichte des Mondes hinführt“ – diese Affinität aus Werthers Leiden, die Anziehung des Nordens tritt so der des Südens ebenbürtig zur Seite, ja sie übertrifft sie durchs Verhangene. Um so mehr, als eben diesem Verhangenen oder



Wohin es deutsche Reisende 1986 zog (Auswahl)

Italien	6 500 000
Spanien	5 900 000
Frankreich	4 550 000*
Jugoslawien	1 700 000
Griechenland	1 100 000
Portugal	430 000
Türkei	400 000

In den Süden

Schweden	320 000
Finnland	120 000
Island	13 000
Alaska	10 000
Grönland	700

In den Norden

* (länger als fünf Tage)

Nordzauber ein merkwürdiger Zuschüß niemals fehlte, einer aus ganz anderer Himmelsrichtung, nämlich nochmals aus der des Ostens, aus der Utopie: Indien und Orient. Es ist gewiß nicht die Üppigkeit, aber der große Märchenton, das der reinen Süd-Utopie fehlende Geheimnis, was Orient und Ossianland utopisch sich berühren läßt. Die realen Verbindungen: alter Handelsverkehr, orientalische und nordische Ornamentik, Christentum in der Edda, sie sind im vorliegenden Bezug nicht so wichtig, obwohl sie selbstverständlich auch in die eigentliche Thule-Utopie hineinwirken. Wichtiger ist, daß die objektiven Stimmungselemente, aus denen jeder Tagtraum sich ausbildet, aus der orientalischen

Lokalität so wahlverwandt in die nordische einwandern konnten. So gibt es die unverkennbare Korrespondenz zwischen der Schleier- und der Nebelwelt, zwischen der bibliischen und der hochwinterlichen Weihnachtslandschaft, zwischen der Apokalypse und dem Grenzhaft-Hintergründigen, womit die Edda ihre Götterdämmerung vorträgt. *Der Olymp kann jenseits der Mittelmeewelt gar nicht vorgestellt werden, aber der rauchende Sinai stimmt gut zum Norden, ebenso wie die Wolke und die Feuersäule.* Woher denn auch Macpherson seine Sprache zu gleichem Teil den Psalmen, dem Bibelton Miltons und den erhaltenen gäischen Liedern entnimmt. Und so kommt von der Grenzsituation, die Geheimnis heißt, dieser Zuschüß des Verhüllten im Orient zur Verhangenheit im Norden: Ultima Thule stimmt auf ganz besondere Weise zur letzten Grenze, zum Ende der Welt. Damit erschließt sich die Verhangenheit Thules zugleich in ihrem Grenzsinn selbst: sie ist, wie Herder sagt, „ein Ausgang der Welt in Erhabenheit“. Der leibhaft so unverständliche Zug nach Norden wird dadurch klar: Die Anziehungen des Südens und des Nordens treffen auf verschiedene Seiten der menschlichen Natur, auf ihren Johannistag hier, ihre Weihnachten dort. Südärts utopisiert sich eine Lebensfülle geographisch, die den Tod zwar kennt, aber weder ihn noch den Gegenzug gegen ihn pointiert; nordärts utopisiert sich ein Todeszauber geographisch, der eine ganze Weltvernichtung in sich einschließt, aber auch überwinden will, mit paradoyer Heimat. Thule ist die geographisch-dialektische Utopie einer Welt, die ausgeht und untergeht, doch mit dem dauernd ineinander verschränkten Kontrastbild von Sturmnacht und Burg. Thule im Nordmeer ist die Mystik des schlechten Wetters, mit dem Kaminfeuer mitten darin. Bei Herder-Ossian rührte sich „die Harfe, die düstre/Gehüllt in Morgengrau/Wo aufsteigt tönend die Sonne/Von Wellen die Häupter blau“. So ist diese Art geographische Utopie auch im hohen Norden geblieben, wurde am Entdeckt-Vorhandenen nicht gegenstandslos. □



Das Klinikum Aachen: exemplarisch



für Wohltat und Plage moderner Klimatechnik

Die

KUNST-KLIMA

Die windige Burg

Offiziell heißt der Koloß »Neubau der medizinischen Fakultät« und volksmündig wegen der horrenden Baukosten »Skandalikum«. Abschreckend wirkt auf manche auch die unverhüllte Technik. Unübersehbar sind beispielsweise die Ansaugbauwerke der Klimaanlage vor der Nordflanke und deren Abluftrohre auf dem Dach. Dieser Bericht schildert, wie die gewaltige künstliche Lunge funktioniert, was sie leistet und wo sie versagt





In der »Spange«, einem über 200 Meter langen Kellerschlauch unter der Nordflanke der Klinik, rasen die Winde aus den acht

Morgens atmet sie erst einmal kräftig durch. Dann weht ihr Hauch die Düfte der Nacht aus den langgestreckten Fluren. Morgens, wenn die Tausende kommen, denen sie leise rauschend dient: Ärzten und Arbeitern, Studenten und Assistenten, Professoren, Pflegern und Patienten. Rund 8000 Menschen halten sich werktags im Aachener Klinikum auf.

8000 Menschen, die hier auch ihre Gerüche lassen: Schweiß und Parfums, Knoblauch, Kaffee und Zigarettenrauch, Deodorants, Haarspray, Mundgeruch und Blähungen. Und alle Ausdünstungen behandelt sie gleich, die Klimaanlage: Sie saugt sie ab.

Schon aus der Ferne fallen ihre Auswüchse ins Auge, trutzige Wahrzeichen hüllenloser Industriearchitektur. Mächtige Ablufttore, aufgehängt an poppig-roten Stahlrohrgerüsten, wachsen aus den Flanken der Klinik und winden sich aufs flache Dach. Dort verschwinden sie wieder in einem der 24 Betontürme, die sich wie Fremdkörper in den Himmel über Aachens Westen recken. „Ringelsocken“ wurden die augenfälligen Rohrkonstruktionen ihrer gelben Bandagen wegen von Anwohnern getauft. Von weitem lassen sie den gewaltigen Bau nahe der holländischen Grenze wie eine groteske Chemiefabrik erscheinen.

Auch im Innern des Kolosse verbirgt sich die Klimaanlage nicht. Ihr Adernetz durchdringt das Riesenhaus, das sie mit ihrem Atem erfüllt. Ihre schlanken matt-silbrigen Rohre quellen aus Ritzten, drängen sich unter Decken, winden sich vorbei an Wasserleitungen, nackten Neonleuchten und den Schienen der automatischen Hauspostanlage, kriechen in Reih und Glied an silbrig gestrichenen Wänden in die Höhe und verlieren sich irgendwo wieder in dunklen Schächten.

Das beste wäre, ich wüßte nichts über dieses Haus. Dann könnte ich noch einmal die Bilder auf mich wirken lassen, bis Ritterburg- und Höhlenphantasien meiner Jugend wieder erwachten und mich tiefer in das Labyrinth lockten. Doch mittlerweile bewege ich mich hier beinahe so selbstverständlich wie jene, die ständig hier arbeiten – auch Alpträume ergeben sich der Macht der Gewohnheit.

130 mal 240 Meter misst der Kasten, der während meiner Aachener Studienzeit in den Himmel und das Bewußtsein der Menschen wuchs: Vielen erscheint die Geschichte des „Skandalikums“ wie eine Posse aus Zeiten, in denen Baumeistern und Politikern die Maßstäbe entglitten waren. Norbert Blüm soll einmal gesagt haben, vom Mond aus könne man auf der Erde nur

**Wir lieben
die Stürme, die
eiskalten
Winde**

Ansaugbauwerken zusammen – stündlich zweieinhalb Millionen Kubikmeter Luft

zwei Bauwerke erkennen: die Chinesische Mauer und das Aachener Klinikum.

Doch weniger seine Ausmaße als vielmehr die irrwitzigen Kosten brachten dem Gebäude reichlich Beachtung: Statt der ursprünglich vorgesehenen 550 Millionen Mark stieg der Preis während der Bauzeit auf 2,3 Milliarden.

Leben und arbeiten in einem Niemandsland der Düfte

Die Klimaanlage schlug dabei voll zu Buche: 1973 lag das „Höchstpreisangebot“ bei 40 Millionen, beim Einzug war der Rechnungsbetrag fast auf das Zehnfache geklettert. Was aber kann man erwarten von einer Klimamaschine, die soviel gekostet hat wie anderswo ein ganzes Krankenhaus? Zunächst einmal nichts als Luft. Und selbst über die lässt sich streiten. Für einen wie mich, der die Welt vorzugsweise mit der Nase wahrnimmt, ist sie vor allem ein geruchloser Maschinenhauch, der den Räumen einiges von ihrem Charme nimmt. Was taugt schon eine Bibliothek ohne Büchermuff, ein Café, in dem es nur dicht über der Tasse nach Kaffee duftet, eine Tierabteilung ohne Stallgeruch oder ein OP, der nicht mehr am süßlichen Hauch von Desinfektionsmitteln zu erkennen ist?

Andere, habe ich mir sagen lassen, fühlen sich ganz wohl in solchem Niemandsland der Düfte. Denn da begegnen sie dem Pfeifenrauch des Kollegen allenfalls flüchtig. Da verduften aufdringliche Parfums zu stumpfen Waffen der Erotik. Da stinkt es im Versuchstiertrakt nicht nach Ratten und Mäusen. Und da zieht der beißende Geruch verbrannten Fleisches in die Decke statt in die Nase, wenn ein Chirurg mit seinem Elektro-Skalpell einen glattrasierten Leib aufschneidet.

Manchmal hat die Klimaanlage den Insassen des Riesenbaus einen Gruß von draußen geschickt. Etwa, als sie in gleichmächerischer Manier allen die Abgase von wenigen unter die Nase rieb und deshalb die Parkplätze verlegt werden mussten. Oder als der benachbarte Bauer Güller auf seine Weiden spritzte, deren Gestank sogleich bis in die letzten Winkel der Klinik kroch.

Einmal überrascht die Klimaanlage auch mich: Als die Ahnung der Komposition „Frisches Gras plus Auspuffgas“ den Gärtner verrät, der draußen den Rasen mäht. Anderntags verwirrt sie mich, als ich in ein Zimmer trete, wo ich wetten möchte, daß da vor mir noch keiner war. So leblos liegen die Räume unter dem sanften Strom aus der Decke, so bedrückend leer trotz vollständiger Ausstattung und so austauschbar: Temperatur mindestens 21 Grad, an heißen Sommertagen bis 26 Grad, relative Luftfeuchtigkeit zwischen 35 und 65 Prozent. Damit bewege ich mich fast immer im „Behaglichkeitsbereich“ der Klimatheoretiker. Überall.

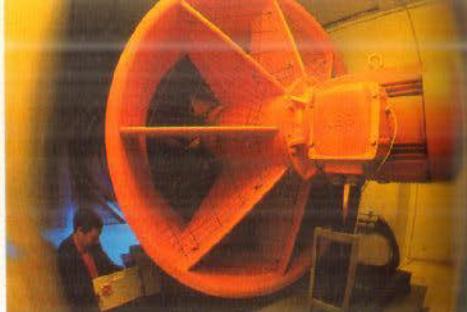
Was ich davon sehe, höre, spüre und rieche, ist freilich nur ihre Präsentation für die Sinne, wie die Aufführung nur der kleine Ausschnitt des Theaterlebens ist, an dem das Publikum teilhaben darf. Hinter den Kulissen verbirgt sich hier wie dort eine eigene Welt unverhüllter Technik und unerzählter Schicksale. Daß uns die Klimaanlage – zumindest theoretisch – unablässig Behaglichkeit verschafft, haben wir nicht nur dumpfen Apparaten zu verdanken, sondern vor allem einer kleinen Heerschar von Menschen. Diese Mannschaft füht freilich nicht nur für das beste Klima im Bau, sie erlebt – moderne Zeiten – auch den Übergang der Herrschaft von der Werkbank zur Rechnerzentrale.

Da ist zunächst Karl Klein. Der gelehrte Klimaingenieur und Fachgruppenleiter der Abteilung „Klima“ im Dezernat Technik trägt dafür Sorge, „daß immer Leben in der Anlage ist“. Als er mich wie ein geübter Fremdenführer durch die Innereien der Multimillionen-Maschine führt, kommt er mir vor wie ein Teil von ihr. Der kennt jede Schraube hier, hat einer seiner Kollegen gesagt, und es hat mich nicht einmal erstaunt. Manchmal spricht er von der Klimaanlage wie von einem Riesenspielzeug, dann wieder wie von einer Monstermaschine, die ihm vollkommen ergeben ist. In der Begeisterung seiner Reden schwingt bisweilen der Glaube an die grenzenlose Machbarkeit der Technik mit, aus dem in den sechziger Jahren das Konzept des Großklinikums geboren wurde. „Dat ist alles Teschnik, und die ist beherrschbar.“

Die künstliche Lunge atmet jede Stunde 300 Tonnen Luft

Klein gehört zu den Leuten, die immer einen Schraubenzieher in der Tasche haben, um noch „irgendwo dran drehen“ zu können. Und er zählt zu der Art von Lebenskünstlern, die durch Anpassung stets das Beste aus neuen Situationen machen. „Unsere Anlage ist vielleicht dat dollste, wat et auf dem Sektor gibt“, sagt er, als könne er damit jeden Zweifel aus der Welt reden. Mit seinem unkomplizierten Frohsinn fügt sich der Heidelberger fast widerspruchlos in die Mentalität seiner Wahlheimat, deren Singsang-Dialekt er sich mit viel Sprachgefühl zu eigen gemacht hat.

Wenn er seine Anlage beschreibt, spricht Karl Klein in großen Zahlen. Etwa dreimal pro Stunde, sagt er, müsse sie das „gesamte Bruttoluftvolumen austauschen“. 500 elektrische Ventilatoren pumpen dazu stündlich zweieinhalb Millionen Kubikmeter Luft – 300 Tonnen schwer – durch den Mammutbau. Kilometerweit wälzt sie sich durch Schächte und Kanäle, Rohre und Schläuche in die 6600 Räume der Medizinburg. „Ja, mit Zahlen können wir um uns werfen“, freut



Riesige Ventilatoren treiben die Luft



Die Filterwände der Klimazentralen



Dampf sorgt für die nötige Luftfeuchtigkeit



Im Brandfall schließen sich Feuerschutzklappen

**Gefahr
bleibt in
den Filtern
hängen**



...gen Lästiges ab. Sie schützen Heuschnupfer vor Pollen; nach Tschernobyl verlingen sich hier die radioaktiven Teilchen

sich der Ingenieur, der hier seine Lebensstellung gefunden hat.

Eine Klimaanlage bestehe aber nicht nur aus Motoren und Blechteilen, belehrt mich Klein, als er seine Führung durch deren Innenleben beginnt. „Sie lebt von ihren Medien.“ Um „normengerechte Raumluftzustände“ zu schaffen, müsse sie die Luft filtern, aufheizen und abkühlen, befeuchten und trocknen können. Das Prinzip sei ganz einfach, sagt der Ingenieur, „dat paßt auf eine Postkarte“.

**Schon einmal
gebrauchte warme Luft wärmt
neue kalte Luft**

Wir stehen vor einem der Ansaugbauwerke, die sich wie skurrile Gewächshäuschen vor der Nordflanke der Klinik aufreihen. Hier beginnt die Reise der Luft durch das Klinikum.

„Können Se vielleicht Bauwerk acht herausnehmen?“ fragt Klein sein Funkgerät. „Gegen vier können Se's wieder drintuen.“ Es dauert keine zwei Minuten, bis sich das Rauschen in „Bauwerk 8“ verliert. Durch eine Stahltür betreten wir das Türmchen aus verglastem Fachwerk und steigen über eine Treppe in den Abgrund. Unten krabbeln Hunderte Insekten. Sie sind, als der Dauerwind nachließ, aus dem schwarzen Staubbeflag der ersten Filterwand gefallen.

Allmählich verliert sich das Tageslicht. Unser Weg führt vorbei an einem mächtigen Axialventilator, einer mannhohen Heizlamelle und einer Batterie schmaler Schalldämpfer durch eine Schleuse geradewegs in die „Spange“ – einen 200 Meter langen Kellerschlauch, der sich unter der Nordseite des Riesengebäudes erstreckt. Hier wehen die Winde aus den Ansaugbauwerken zusammen. Vorteil dieses Verbundes: Einzelne Teile der Anlage können stillgelegt werden, ohne daß der Gesamtbetrieb eingestellt werden muß.

„Sauberkeit ist das oberste Gebot“, erklärt Herr Klein und strahlt. Die vollständig graulackierte flache Halle glänzt wie ein frisch geschrubpter Waschraum. Hinter der „Spange“ wird der Luftstrom wieder zerlegt. Fortgerissen von bulligen Radialventilatoren rasen die Winde in die „Systemzentralen“ im Keller, 24 hausgroßen Blechkästen – 19 für die allgemeine Versorgung, drei für den OP-Bereich und zwei für die tierexperimentelle Abteilung.

Die Zentralen liegen wie überdimensionale Schiffscontainer im Fundament der Klinik. Hier unten wird die Luft ein zweites Mal gefiltert und mit Kälte, Wärme und Dampf zum Kunstklima veredelt. Fernwärme und Wasserdampf kommen aus einem Heizkraftwerk in der Nähe. Einen Teil der Wärme gewinnen Wärmepumpen aus der Abluft zurück. 300 000 Liter Wasser müssen dafür in einem separaten Rohrleitungsnetz in Bewegung gehalten werden. Trotz dieses aufwendigen

Recycling könne man, sagt Karl Klein, die Klimaanlage, ruhig als „Energievernichtungsmaschine“ bezeichnen.

Allein an Strom verschlingt sie mehr Kilowattstunden, als das alte Aachener Klinikum insgesamt an Energie verbraucht: Sieben Millionen Mark ist ihr Anteil an der 16-Millionen-Jahresrechnung. Ans Heizkraftwerk müssen außerdem über elf Millionen bezahlt werden. Jeweils etwa ein Drittel der Energie verbraucht die Klimaanlage für Befeuchtung und Erwärmung, 19 Prozent für Luft- und Wasserpumpen. Fast der gesamte Rest geht in die Kühlung.

Für die Kälte sind Hubert Hahnath und seine Kollegen von der „Technischen Zentrale“ zuständig. Fünf Meister und ein „Springer“ sorgen im Schichtdienst dafür, daß dem Hauptgebäude die „Medien nicht ausgehen“. Auch Herr Hahnath hat hier einen Platz zum Bleiben gefunden, nachdem er 18 Jahre lang rund um die Welt „Air-conditioning systems“ und andere Anlagen in Betrieb genommen hat. Mit fünf tosenden Turbinen macht er jetzt die „Großkälte“ – Kühlwasser, das von Pumpen durch separate Rohrleitungen zu den Kühltürmen in den Zentralen geschickt wird. Dort teilt sich der Luftstrom noch einmal in Warm- und Kaltluft, die schließlich durch getrennte „Steigleitungen“ hinauf in die oberen Stockwerke klettern und erst in den Zwischenetagen wieder zusammentreffen.

**Wie Gedärme
kriechen die Abluftrohre übers
Dach der Klinik**

Hier, wo sich über den Zimmerdecken baumdicke Rohre, Kanäle in Aluminiumverpackung, endlose Kabelschienen und flexible Metallschläuche im Dunkeln drängen, haben sich die Handwerker verewigt, die seinerzeit das Innenleben der Klinik zusammengebaut haben. Da sind Markierungen für Bohrlöcher auf den Beton gezeichnet, wo nie gebohrt wurde, eine Bleistiftinschrift vom 14. 9. 82 beschwört den „Saustall“, und ein „Felix“ hat der Nachwelt seine Monsterrphantasien hinterlassen, als er mit dicken Kreidestrichen einen Riesenpenis mit Flügeln auf einen Kanal zeichnete.

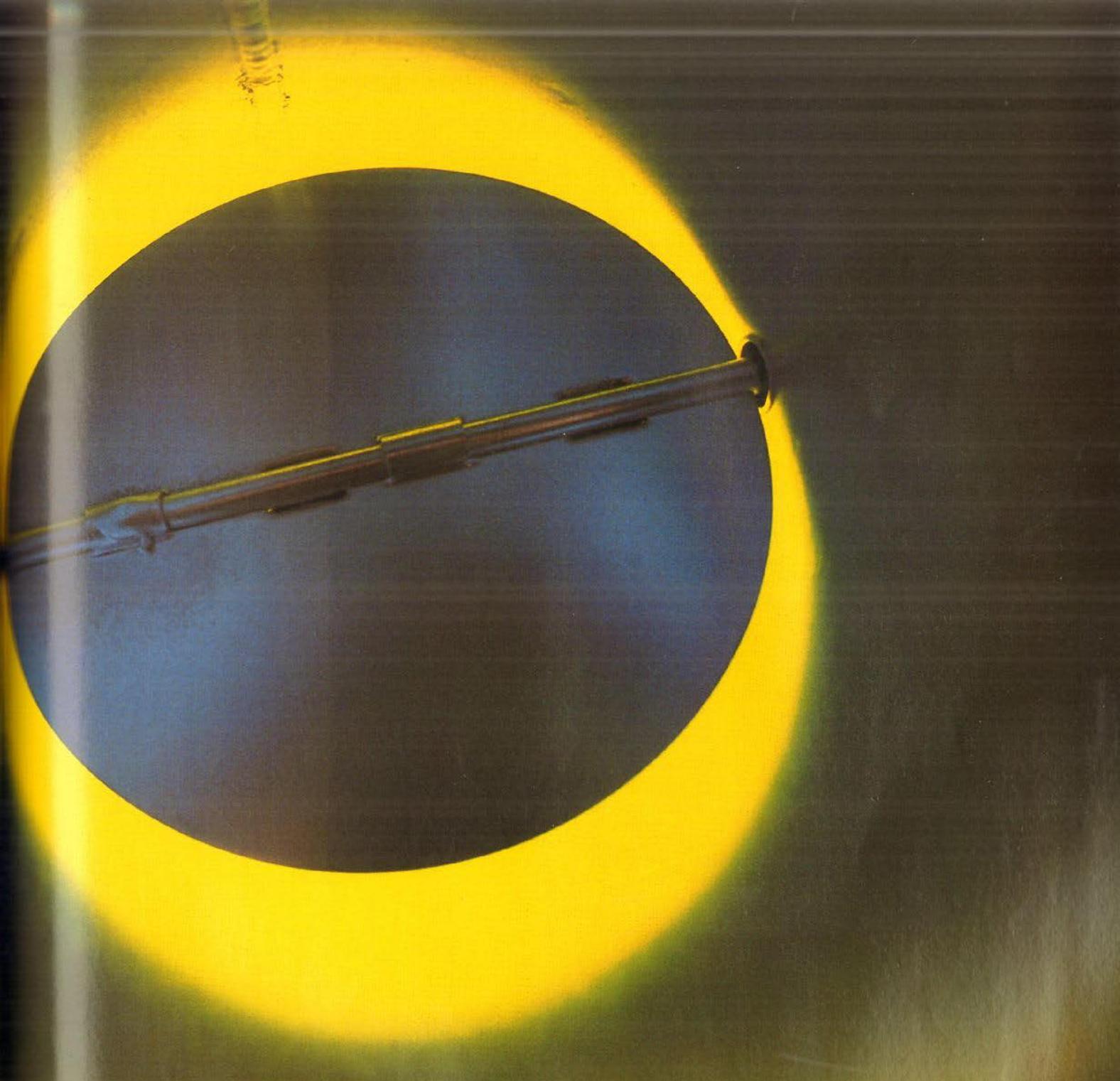
Hier wird in „Mischboxen“ aus Warm und Kalt die Luft gemischt, die aus den Zuluftrosetten in die Zimmer strömt. Doch lange bleibt sie da nicht. Denn unnachgiebig saugen die Abluftventilatoren in den 24 Betontürmen die „verbrauchte“ Luft wieder aus den Räumen, schicken sie auf verschlungenen Wegen durch die „Ringelsocken“ in die Abluftzentralen und von dort, nach Wärmerückgewinnung, ins Freie zurück.

Am Ende der Führung stehen wir in einem der runden Luftauslässe und blicken auf das Dach der Medizinkathedrale, über das die Rohre wie ordentlich ausgebretete Gedärme kriechen. „Das Kurio-

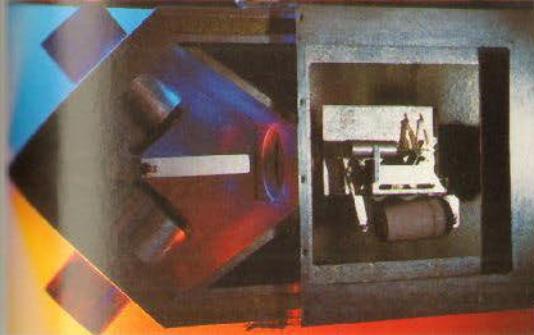
Automatische Volumenstromregler in



In den Zwischendecken werden...



ten Rohren sorgen dafür, daß die Luftmenge konstant bleibt. Drosselklappen gleichen den schwankenden Luftdruck aus



Warm- und Kaltluft in Mischboxen vermischt



Verwirbelung am Luftauslaß

**Gleichmaß,
das aus der Decke
strömt**

se ist: Es tut es ja“, sagt Herr Klein und reibt sich die Hände.

So kurios finde ich das gar nicht angesichts der drei Meister und 51 Handwerker, die sich unter Kleins Aufsicht im Schichtdienst um Wartung und Betrieb aller Anlagenteile kümmern. „Störfälle sind für uns heute kein Thema mehr“, verkündet der Ingenieur nicht ohne Stolz. Früher konnten er und seine Leute nur reagieren, da gab es 6000 Störungen im Jahr. Seit sie agieren und vorbeugen, haben sie die Bilanz auf 1100 heruntergeschraubt.

Und trotzdem: Auch wenn alles läuft wie geschmiert, verfinstert sich gelegentlich Herrn Kleins Gesicht. Da gibt es jemanden, mit dem er seine Anlage teilen muß. Während er sich sozusagen um ihr

leibliches Wohl sorgt, ist für ihr Hirn ein anderer zuständig.

Das Drama, das sich da ganz still abspielt, könnte ein Lehrstück in Sachen Schraubenzieher gegen Computer-Software sein. Auch wenn er selbst sich für kleine Aufgaben einen kleinen Rechner wünscht, bereiten Herrn Klein große Computer offenbar ein regelrechtes Unbehagen. Mit einem Anflug von Hilflosigkeit packt er seinen Unmut in einen Satz, der ihm mehr entfährt, als daß er ihn formt: „Computer sind unmenschlich.“

Für Kleins Nebenbuhler Wilhelm Schönen sind sie wie eine Verheißung. Er ist „Leiter der Leitwarte“, die über die gesamte Haustechnik wacht, und er sieht sich als „geistiger Vater“ dessen, was klimatechnisch läuft. Ursprünglich war sein Posten gar nicht vorgesehen. Bei den ersten Planungen der Klimatechniker im Jahr 1973 sollte das Klinikum noch von zwölf unabhängigen Anlagen aus je zwei Zentralen klimatisiert werden.

Doch dann kam 1978 die neue DIN 1946, Blatt 4“, erklärt Basile Filios, als Leiter des „Dezernats 04 Technik“ Chef von Klein und Schönen. In der Uni-Klinik Hamburg-Eppendorf hatte es Anfang der siebziger Jahre – verursacht durch Infektionen aus der Klimaanlage – einige Todesfälle gegeben. Die Gesetzgeber reagierten mit verschärften Vorschriften. Und so mußten sich die Klimatechniker während der Montage ein neues Konzept einfallen lassen, wie sie die verlangten größeren Luftumsätze bewältigen könnten. Die zwölf separaten Anlagen wuchsen zum Verbundsystem zusammen, aus dem auch die „Spange“ hervorging, jener riesige Verteilerraum im Keller.

„Aus zwölf Einzelmusikern wurde ein Orchester“, umschreibt Filios die neue Lage – ein Orchester, das einen Dirigenten brauchte. Zwar gab es bereits viele hundert Schaltschränke voller Regler, Schläuche und Stricken – aneinandergereiht dreieinhalb Kilometer geballter Klima-Regeltechnik. Doch als sie sich miteinander verständigen sollten, waren sie, so Schönen, „wie tausend Chinesen, die können sich auch nicht koordinieren“.

Um die von 34 000 „Informationspunkten“ ständig einfallende Datenflut bewältigen zu können, bedurfte es übergeordneter Instanzen. In der Planung war dafür zunächst eine „Black box“ vorgesehen, von der bis 1981 niemand wußte, was das eigentlich sein sollte. Den „schwarzen Kasten“ füllte schließlich ein „hierarchisches Datenverarbeitungssystem“ aus. Darin fließen über Zwischenrechner alle Daten am Ende in einen Hauptrechner.

Da war auf einmal ein Fachmann nötig, der sich mit Verfahrenstechnik und EDV gleichermaßen auskannte. Der Handwerksmeister Schönen, der sich in seiner Freizeit das nötige Computerwissen angeeignet hatte, war der Mann der Stunde. Für Bücher habe er schon viel Geld ausgegeben, sagt der Autodidakt. Er zählt zu

jenem ruhigen, sanftmütigen, beinahe schüchternen Menschentyp des Informationszeitalters, aus dessen Mund das Wort „Software“ fast wie eine Friedensbotschaft klingt. Die Programme zur Überwachung und Steuerung der Anlage habe er „selbst gestrickt“, erklärt der 43jährige in einem Ton, in dem sich Bescheidenheit und Stolz verbrüdern.

Nur gelegentlich läßt Schönen hinter einer Fassade geschäftiger Sachlichkeit erkennen, welche Faszination die Beherrschung des Klimaklimas durch digitale Codes auf ihn ausübt. In der Leitzentrale sind neben ihm elf Techniker und drei Handwerker beschäftigt. Hier kann ich noch einmal den Streifzug durch das Inneneleben der Klimaanlage erleben – in der abstrakten Form farbiger Symbole auf einem Monitor. Auch Schönen erweist sich als Kenner der Details, als er sich „per Menüführung vom Raum bis zur versorgenden Anlage durchtaktet“.

Über Tausende von Stricken und Kabeln, verstrickt zum Nervennetz der Klimaanlage, fragt der Zentralrechner permanent die Sensoren ab, die ihm Feuchtigkeit, Volumenstrom und Temperatur melden. 16,964 Celsius Grad sei die Temperatur in Bauwerk 8, notiert der stumme Bildschirm auf Schönen Geheiß. Dessen Hand, die ihre handwerkliche Vergangenheit längst vergessen hat, tanzt auf der Tastatur wie eine müde Ballerina. Auf dieser Klaviatur spielte auch die Geisterhand, deren Finger nach Karl Kleins Funkspruch den Klappen in Bauwerk 8 befaßten, dichtzumachen.

Software-Experten und Computerprogramme übernehmen das Kommando

Noch können mir die Männer aus Kleins Schraubenzieherfraktion vorführen, wie sie „den Computer austricksen“. Wie in einem Kriminalfilm macht sich Franz Schreier an einem Schaltschrank zu schaffen, um Dampf in eine Zentrale zu blasen, wo vom Hauptrechner kein Dampf vorgesehen ist. Der Handwerker klemmt Kabel um, greift sich mit einer Zange Luftschläuche und schiebt sie woanders wieder auf Stutzen. Daß er schließlich „das elektropneumatische Relais abgeklemmt“ hat, findet er „escht spannend“.

Doch die Regler von gestern, die Karl Klein und seine Leute im Griff haben, werden heute nach und nach durch Software ersetzt, die jenseits des Handwerkerhorizontes die „Jobs erledigt“. Mit „intelligenten Programmen“ hat Wilhelm Schönen schon ganze Schaltschränke bedeutungslos gemacht. „Was die früher geleistet haben, erledigt heute eine Speicherplatte im Europa-Format.“

Schönen ist ein emsiger Mann mit hochfliegenden Plänen. So träumt er davon, an heißen Sommertagen die Wärmerückgewinnung zur Kälterückgewinnung

Drei Männer und eine Multimillionen-Maschine



Basile Filios, Chef im Technikdezernat



Wilhelm Schönen, Leiter der Leitwarte



Karl Klein, Vormann der Klimatechniker

Heizen, kühlen, filtern, trocknen und befeuchten

Konditioniertes Klima – die ungeliebte Errungenschaft

Als den vielleicht „größten Beitrag zur Zivilisation in diesem Jahrhundert“ lobte einst der englische Politiker Sydney Frank Markham die Klimatisierung von Gebäuden. Sie erlaubte den Bau massiver Blöcke, Großraumbüros wurden zum Inbegriff einer Architektur der kleinen Wege.

In den USA ermöglichten die „air conditioner“ das Entstehen neuer Wirtschaftsmetropolen in während des Sommers brütendheißen Gegenden. Städte wie Miami, Phoenix oder Houston würden mit Sicherheit nicht Hunderttausende von Einwohnern zählen, gäbe es nicht die Kälte aus den Klimaschächten. Die Klimatisierung hat andererseits aber auch zur Folge, daß der Stromverbrauch in den USA nicht wie anderswo zur dunklen Jahreszeit, sondern im Sommer am höchsten ist.

Die erste Klimaanlage im modernen Sinn geht auf Leonardo da Vinci zurück. Das Allround-Genie ließ für die Herzogin Beatrice d'Este in Mailand eine wasserkraftgetriebene Klimaanlage mit automatischen Ventilen bauen, die bereits die Luft reinigte, kühlte und über Kanäle in die Gemächer brachte.

1865 erhielt das Parlamentsgebäude in London eine gewaltige Klimaanlage – mit allen wesentli-

chen Funktionen einer heutigen. Zur Kühlung wurde die Luft mittels riesiger Ventilatoren über Eiszölle geblasen.

In den USA werden seit Beginn dieses Jahrhunderts Klimaanlagen installiert, anfangs vor allem zum Schutz der Produkte in der Industrie. In den zwanziger Jahren begann auch der amerikanische Verbraucher klimatisierten Komfort zu genießen: in Einkaufszentren, Eisenbahnwagen und Theatern. 1925 wurde das Broadway-Filmtheater „Rivoli“ vollklimatisiert. Seitdem machte Kino auch im Sommer Spaß. Deutschlands erstes Lichtspielhaus mit klimatisierter Luft war das 1930 eröffnete Ufa-Großkino in Stuttgart.

Reinraumluft für neue Techniken

Aber erst in den fünfziger Jahren hielt „air-conditioning“ Einzug in amerikanische Wohnungen. Bei uns blieb das Kunstklima lange auf öffentliche Bereiche beschränkt wie Banken, Sporthallen, Einkaufszonen und Hospitäler. Inzwischen jedoch ist es besonders bei neuen Techniken wie Biotechnik und Chip-Herstellung, die „Reinraumluft“ erfordern, zur Selbstverständlichkeit geworden. Aus Rechenzentren, Kaufhäusern, Sporthallen oder Konzertsälen ist die klimatisierte Luft nicht mehr wegzudenken.

Aber auch in Büroräumen, zumal da, wo viele Maschinen und Menschen reichlich Wärme erzeugen, ist die Zahl der klimatisierten Arbeitsplätze gewachsen. 2,5 Millionen sind es allein in der Bundesrepublik, jeder siebte Arbeitsplatz in geschlossenen Räumen ist klimatisiert.

Während das Kunstklima jedoch in den USA, obwohl oft alles andere als optimal, durchaus kritiklos hingenommen wird, hat es hierzulande nicht den allerbesten Leumund. Klimaanlagen gerieten vor allem in Verruf, seit sie als Ursache für die Übertragung von Krankheiten gelten. Besonders, seit 1976 die Teilnehmer an einem Veteranentreffen in einem

Hotel in Philadelphia von einem Erreger befallen wurden, der in den Schächten der Klimaanlage heimisch geworden war und sich mit dem Luftstrom verbreitet hatte. 29 Teilnehmer starben an der fortan „Legionärskrankheit“ genannten Infektion.

Gefahr aus der Bakterienschleuder

Tatsächlich waren viele Anlagen geradezu „Bakterienschleudern“. Besonders gefürchtet sind „Hospitalismus-Keime“, die sich mit Hilfe der Klimaanlage in Krankenhäusern verbreiten. Seit es in der Bundesrepublik strengere Vorschriften gibt, ist die Gefahr solcher Infektionen zurückgegangen.

Doch auch sonst stehen Klimaanlagen im Verdacht, die Gesundheit zu beeinträchtigen. Als der Münchener Arzt Peter Kröling 1985 seine Studie über „Gesundheits- und Befindensstörungen in klimatisierten Gebäuden“ veröffentlichte, schreckte er eine Bran-

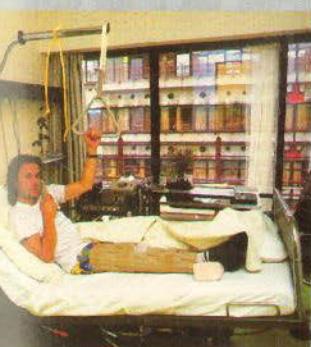
che auf, die mit 70 000 Beschäftigten etwa sieben Milliarden Mark umsetzt.

Kröling fand heraus, daß doppelt so viele Personen in klimatisierten Bereichen über Neigung zu Erkältungen, trockenen Schleimhäuten, rheumatischen Beschwerden und Benommenheit klagen wie in konventionellen Gebäuden. Auch auf internationaler Ebene liegen ähnliche Untersuchungsergebnisse vor. Allein in der Bundesrepublik leiden nach Krölings Schätzung 500 000 Menschen an Beschwerden, die sie ohne Klimaanlagen nicht hätten.

Im Verdacht, die Gesundheit zu schädigen, steht etwa der von Klimaanlagen ausgehende Infraschall – akustische Schwingungen unterhalb des menschlichen Hörbereichs. Das Bundesforschungsministerium richtet derzeit einen „Arbeitsschwerpunkt“ ein, bei dem die Auswirkung des Kunstklimas auf das Wohlergehen am Arbeitsplatz genauer untersucht werden soll.

Die Klima-Industrie hält es allerdings für möglich, daß die Beschwerden und „Erkrankungen“ letzten Endes allerdings wesentlich aus Unwissenheit über die Technik entstehen und zuallererst ein psychologisches Problem sind. Damit landet der Schwarze Peter wieder beim klimatisierten Menschen.

Ohne Klimaanlagen wäre moderne Chirurgie nicht möglich. Zusätzliche Schwebstoff-Filter vor den Operationssälen sollen auch den letzten Keim abfangen. Regelmäßig prüfen Hygieniker – unter den gleichen sterilen Bedingungen, wie sie auch bei Operationen herrschen – die Filter auf absolute Keindichtigkeit. Luftmenge, Temperatur und Luftfeuchte können individuell geregelt werden



GEO-Fotograf Wolfgang Volz lernte das Aachener Klinikum als Patient kennen. Sein Urteil: insgesamt gut

umzugestalten: „Eine Gigakalorie Energie ließe sich dadurch sparen“, prophezeit der Datenverarbeiter.

Immer mächtiger werden Software und Chips. Wenn etwa „der Streamer rückwärts die Speicherplatten schlau macht“, manövriert er sein Wissen unbemerkt an der Wartungstruppe vorbei. Wenn bald auch die Wartung vom Computer organisiert wird, die bislang nach handerstellten Plänen auch ohne Rechnerzentrale bestens lief, trifft sie Kleins Abteilung mitten ins Herz. Dann werden Druckerprotokolle die Tagesabläufe des Wartungspersonals vorzeichnen. „Die Peripherie fühlt sich zunehmend beobachtet“, befürchtet auch Dezerent Filios.

Die eigentliche Schwierigkeit mit der Klimaanlage könnten ohnehin weder Kleins Maschinen noch Schönen Programe lösen, klagt Filios: „Unser Problem ist nach wie vor die Akzeptanz.“ Denn was auch immer sich die Techniker einfallen lassen, gegen die Ablehnung ihrer Anlage kämpfen sie wie gegen Windmühlenflügel. In mancher Abteilung hat die Anlage regelrecht das Betriebsklima verdorben. Jeder Kopfschmerz hat da seine Ursache im Kunstklima. Auch der Narkosearzt zweifelt keinen Moment daran, daß seine chronische Nasennebenhöhlenentzündung von nichts anderem röhrt. Seit sie, klagen viele, hier im neuen Klinikum arbeiten, fühlten sie sich abends wie erschlagen. Und das sind, wie die Personalvertretung weiß, weit mehr als die drei Prozent, die von der Klimaindustrie als unausrottbare weil irrationale „Meckerquote“ hingenommen werden.

Da gibt es aber auch die Chirurgen, die sich über die Anlage lustig machen, weil sie im Operationssaal 6 trotz zusätzlicher Feinfilterung der OP-Luft immer wieder winzige Fliegen finden. Und die, das gilt als abgemacht, stammen aus den Klimaschächten. Oder die Sekretärin, die einfach nicht einsehen will, daß sie sich mit ihrer Kleidung der Maschine anpassen muß und nicht umgekehrt. Und den Bereitschaftsarzt, der nachts immer ein klatschnasses Handtuch auf dem Boden seines Bereitschaftzimmers ausbreitet, damit er am Morgen nicht völlig ausgedörrt erwacht.

Wenn Personalrat Benno Minderjahn gar von einer „Schicksalsgemeinschaft“ spricht, dann erinnert sich auch Basile Filios an den Anfang des Jahres 1984: Damals, als gerade das Orwell-Jahr eingeläutet worden war, zog die gesamte Belegschaft des alten Klinikums gleichsam aus einer vergehenden Epoche in die Zukunft um: Vom parkartigen Gelände an der Goethestraße mit seinen ehrwürdigen Jugendstilhäusern und provisorischen Baracken, seinen verlebten Zimmern, von denen keines anderen glich, geriet sie in den Neubau mit überall gleichen Fluren, Büros, Labors und Toiletten. Man setzte sich an Einheitsschreibtische auf Einheitsstühle und atmete fortan Ein-



Technik, die sich nicht versteckt: Auf Schritt



**Gewöhnung
soll den Schrecken
nehmen**

Und Tritt – auch in der Personalkantine – werden die Menschen von Rohren begleitet, zumal von solchen, die »veredelte« Luft führen



Blick aufs Klinikdach aus einem Abluftstutzen

Ihre Abluft bläst die Riesen- lunge in den Himmel

heitsluft. „Und genau gegen die richteten sich die Aggressionen, die dem ganzen Gebäude galten“, vermutet Filios. „Das war eine Zeit, in der uns die Klimaanlage den Humor genommen hat.“

Die Ablehnung des Kunstklimas wurde zum Gemeinschaftsgefühl aller, die plötzlich eine Wirklichkeit eingeholt hatte, die anderswo längst Alltag war. Ihr Unbehagen richtete sich im Grunde jedoch gegen eine Architektur, der die Klimatechnik die letzten Skrupel genommen hat, auf altbewährte Prinzipien der Bauökologie zu verzichten.

Fortan arbeiteten Ärzte, Schwestern und Forscher zwar im „Klinikum der kurzen Wege“, doch bis nach draußen, bis zur Natur war es viel weiter geworden – besonders für diejenigen, die tief im Gebäude fernab vom Tageslicht ihre Tage verbringen. „Klima“, so ein Assistenzarzt, „ist eben mehr als nur frische Luft aus der Decke.“ Dazu gehöre für ihn etwa auch der Gang der Jahreszeiten. „Dieses Haus“, sagt ein Angestellter, „lässt sich am besten mit meinem Gefühl beschreiben, wenn ich wieder ins Freie trete. Ich bleib dann immer einen Moment stehen, schaue zum Himmel und atme kräftig durch.“

Daß so eine Anlage auch ihre Vorteile hat, daß etwa ihre Filter Heuschnupfen-Allergikern die lästigen Pollen vom Leib halten oder nach Tschernobyl die radioaktiven Partikel nahezu vollständig aus der Luft fischen, wird hingenommen wie die wechselnde Qualität des Kantinenessens. Denn was wiegen solche Annehmlichkeiten schon dagegen, immer in Räumen sitzen zu müssen, die von der Außenwelt abgeschlossen sind?

Der Traum der Eingeschlossenen von den „offenbaren Fenstern“

Fenster, die sich nicht öffnen lassen – sie sind der Stein des Anstoßes für fast alle Kritiker an der Behaglichkeit aus der Maschine. Zur Zeit läuft ein „Feldversuch“ in einer der Krankenstationen: Die Patienten sollen beurteilen, ob es ihnen mit Kippfenstern besser ergeht. Ihre Reaktionen sind durchweg positiv. „Und wenn ich nur die Autos draußen höre“, sagt einer mit eingegipsten Beinen, „fühle ich mich nicht mehr von der Welt abgeschnitten.“

Von solchen Urteilen wird es abhängen, ob vielleicht bald alle Krankenzimmer auf Kippfenster umgerüstet werden. Es geht sogar das Gerücht, daß sämtliche Fenster den ersehnten Hebel bekommen. Der Zeitpunkt ist günstig, da bald ohnehin die gesamte Fensterfront des Klinikums – insgesamt 28 Kilometer – ausgetauscht werden muß: Nach 15 Jahren haben die Doppelglasscheiben ausgedient.

Doch da haben auch die Hygieniker noch ein Wort mitzureden. Alles Erdenkliche haben sie angestellt, um optimale Reinheit zu gewährleisten und Keimen aus den Klimakanälen keine Chance zu geben. Wo immer Handwerker in der Anlage schaffen, wird nachher geputzt und desinfiziert. Die Filter werden ständig überwacht, insbesondere die in den Operationssälen, damit sich möglichst auch nicht ein einziger Erreger dorthin verirren kann.

Jetzt wollen sich die Saubermänner die Probleme nicht von außen wieder ins Haus tragen lassen. Denn vor den Fenstern hatten lästige Gäste schon früher einmal ihre keimträchtigen Spuren hinterlassen: Taubendreck, in dem Salmonellen bestens gedeihen. Schon als die ersten Fenster umgerüstet wurden, mußten die Vögel weg. Auf die Geländer vor den Fenstern wurde glitschige Kunststoff-Vaseline geschmiert, damit die Tauben dort nicht mehr landen können.

Wilhelm Schönen allerdings ist ohnehin „kein Freund offener Fenster“. Man solle lieber Personal und Patienten besser informieren als ständig die Technik an die Menschen anpassen. Und Karl Klein sieht schon die neuerlichen Klagen, wenn durch die offenen Fenster nicht die erwünschte Frischluft in die Zimmer

weht. Denn bei bestimmten Wetterlagen fällt das, was seine Ventilatoren über das Dach gepumpt haben, geradewegs zurück in die Innenhöfe. Dann könnte es vorkommen, daß zwar Labor-Ratten nichts von ihrem Gestank riechen, er aber wunderschön Studenten, Wissenschaftlern, Ärzten oder Patienten in die Nase steigt. Und was an heißen Sommertagen aus der „Tier-Ex“ gepumpt wird, ist alles andere als eine Nasenfreude.

Also muß wieder einmal die Technik aufgerüstet werden. Damit sich nicht wiederholt, was im vorletzten Winter passierte. Da war der Klimaanlage bei minus 16 Grad der Atem ausgegangen, so daß an die Angestellten kleine Heizlüfter ausgetragen werden mußten. Ein Gutachten bescheinigte dem Milliardenbau jetzt, daß allein für die notdürftigsten Reparaturen weitere 100 Millionen Mark locker gemacht werden müssen – allein 55 Millionen davon für Lüftungs-, Klima-, Heizungs- und Kältetechnik. Das Papier scheint Personalrat Minderjahn recht zu geben, der schon immer vermutete: „Da ist in einem Mercedes ein VW-Motor eingebaut worden.“

So schnell wird Karl Kleins Mannschaft die Arbeit also nicht ausgehen. Fernab vom Tageslicht treffe ich ihn im Bereitschaftskeller, wo er mit seinen Leuten Kaffee trinkt. Wer denn ihrer Ansicht nach der entscheidende Mann für das Kunstklima ist, will ich wissen. „Die da oben haben vielleicht den Überblick“, sagt einer, „aber den größten Durchblick hat Herr Klein.“ Ein anderer meint mit dem gleichen Blick in die Höhe, wo unter der Decke ein mächtiger Klimakanal entlangläuft: „Wenn wir hier Mist bauen, kommen die da oben nicht auf die Strümpfe.“

Da oben sitzt Wilhelm Schönen in seinem Büro mit Blick auf die hügelige Landschaft. Vielleicht wälzt er gerade Schnittstellenprobleme. Für ein sehr naheliegendes Problem hat er eine ebenso naheliegende Lösung gefunden: Den Luftauslaß über seinem Schreibtisch hat er mit einer dicken Schaumgummimatte zugeklebt. □



Dr. Jürgen Neffe, 31, hat in Aachen Biologie studiert, bevor er 1985 zu GEO kam. Dort ist er Redakteur bei GEO-Wissen. Die Klimaanlage des Klinikums kannte er schon aus seiner Aachener Zeit: Als Werkstudent half er beim Bau. Wolfgang Volz, 39, hat an der Folkwangschule in Essen Fotografie studiert. Er ist Mitglied der Hamburger Fotografengruppe Bilderberg. Seine Vorliebe sind schwierige wissenschaftliche und technische Themen.

Großhirn an Auge: Lesen!

GEO WISSEN
Nr. 11 Montag, 25.5.1992
DM 13,50
0213 50 95 190

GEHIRN · GEFÜHL · GEDANKEN

SUPERORGAN
Der Kosmos im Kopf

SCHLAF
Der nächtliche Weltuntergang

SCHIZOPHRENIE
Wenn das Ich zerbricht

HIRNHORMONE
Die Macht der Moleküle

SCHMERZ
In der Hölle der Neuronen

Hier geht es um Sie – um Ihr Gehirn. Was passiert in dem knapp drei Pfund schweren grauweißen Gewebe, wenn Sie fühlen, denken oder diesen Text lesen?

Wie bestimmt dieser innere Kosmos darüber, ob Sie glücklich oder traurig sind? Seit kurzem gelingt es dem menschlichen Gehirn, sich selbst zu enträtselfen: Neurobiologen, Psychologen, Mathematiker und Physiker schicken sich an, die Tür zum Verständnis unseres Denkorgans aufzustoßen.

Das erste GEO-WISSEN berichtet von entscheidenden Stationen dieser wissenschaftlichen Revolution.

Wegen der großen Nachfrage wurde die bereits vergriffene Ausgabe neu aufgelegt und ist jetzt wieder erhältlich:

GEO-WISSEN Nr. 1
»Gehirn · Gefühl · Gedanken«
178 Seiten, durchgehend farbig
gedruckt. Mit dem ersten Hologramm
eines lebenden Menschen auf einem
Titelbild. DM 13,50

Abruf-Karte auf Seite 163



**Mit technischer
Phantasie hat die Menschheit
selbst unter widrigen
Klimabedingungen der
Erde Lebensraum
abgetrotzt**

»Macht euch die Erde untertan«, fordert Gott die Menschen auf, die sich schließlich auf den Weg machen. Doch wo sie auch hingelangen, öffnet der Himmel seine Schleusen, frieren sie in eisiger Kälte oder schmoren sie in glühender Hitze. Also beginnen sie zu bauen – Höhlen, Hütten und Häuser, aus allem, was sie finden: aus Blättern, Holz, Lehm, Steinen und sogar aus Schnee. In ihren Behausungen schaffen sie sich ihr eigenes Klima, luftig, aber regenfest in den feucht-warmen Tropen, massiv, kühl und schattig in trocken-heißen Regionen. Sie errichten Trutzhäuser gegen widrige Witterungen in gemäßigten Breiten. Im hohen Norden bauen sie ihre Hütten im Schatten der eisigen Winde, wie in Island, wo grasbewachsene Dächer für Wärmedämmung und -speicherung sorgen.

Bauten gegen



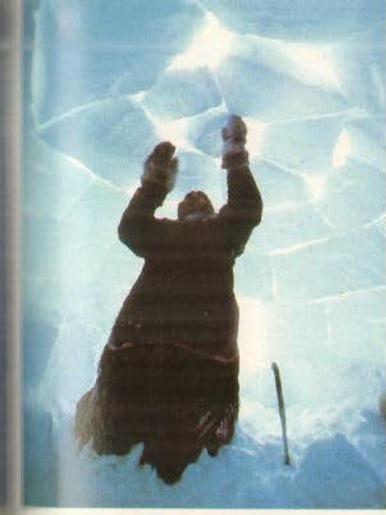
alle Wetter



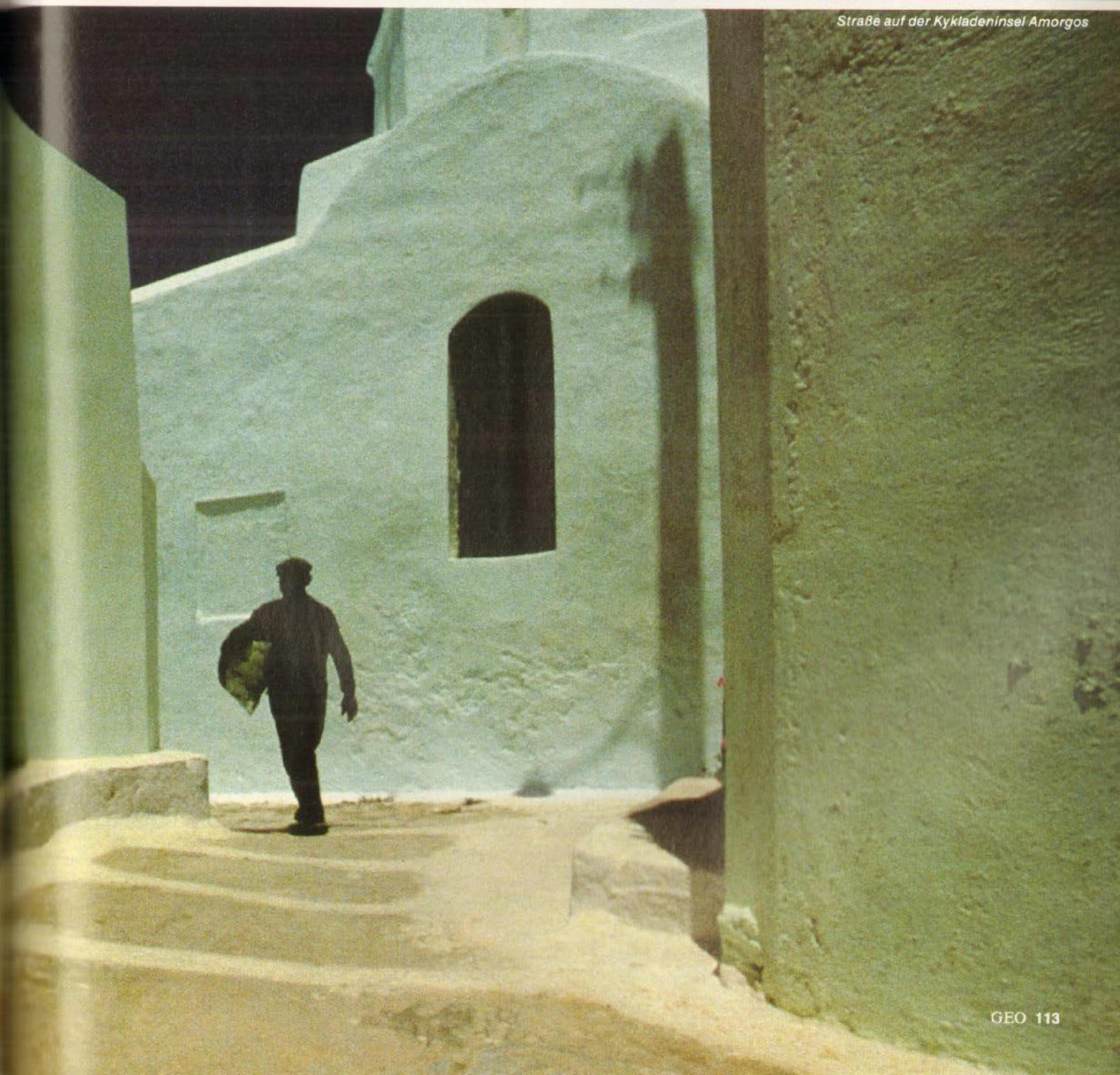
Gegen Frost und Hitze mit dem gleichen Rezept

Wenn Eskimos einen Igloo bauen, suchen sie Schutz vor arktischer Kälte. Das einzige vorhandene Baumaterial hat raumklimatische Vorteile: Schnee bildet eine Dämm- schicht gegen den Frost von außen. Der kleine Eingang wird tiefer gelegt als die Wohnebene, damit möglichst wenig Wärme entweicht. Nur mit einer Öllampe und ihrer Körperwärme halten die Nordmenschen in ihren fellisolier- ten Schneehütten Temperaturen um 15 Grad Celsius. Kleinsind auch Türen und Fensteröffnungen in trockenheißen Ländern. Diesmal, damit möglichst wenig Wärme ins Hausinnere dringt. Überdies streichen Südländer ihre Häuser weiß. So wird das gleißende Sonnenlicht von Dächern und Wänden reflek- tiert – und zwar bis zu 80 Prozent

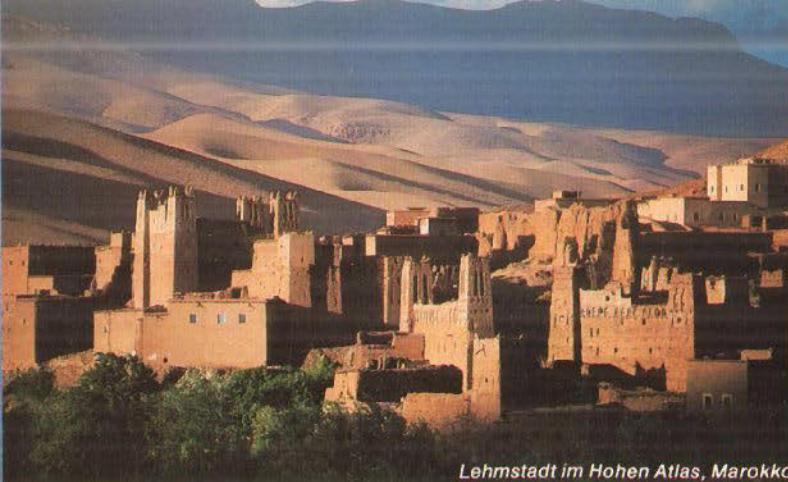




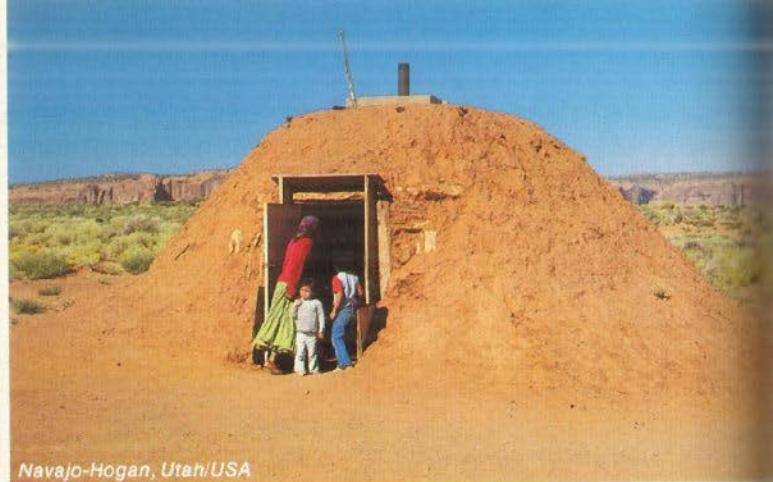
Iglubau im arktischen Kanada



Straße auf der Kykladeninsel Amorgos



Lehmstadt im Hohen Atlas, Marokko



Navajo-Hogan, Utah/USA

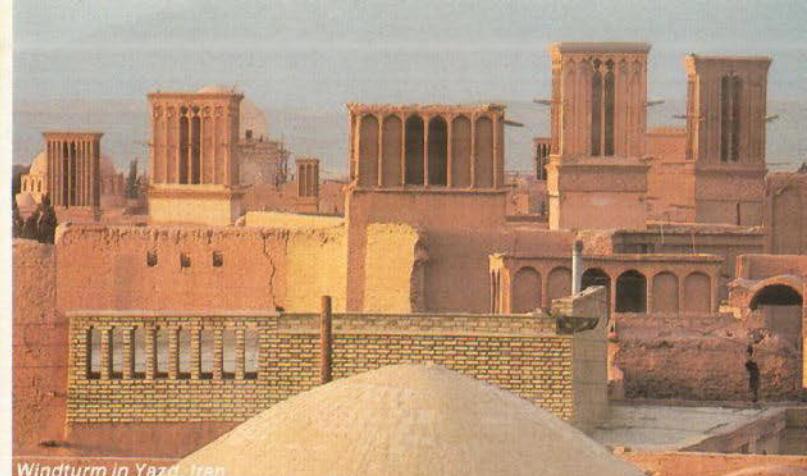


Tagsüber ist es heiß und trocken, nachts aber bitterkalt: Um sich vor Hitze und Kälte gleichermaßen zu schützen, haben Völker rund um die Welt das gleiche Bauprinzip entwickelt – gleichsam aus der Erde, auf der sie leben. Dicke Lehmwände mit kleinen Öffnungen wirken als Wärmepeiffer: Am Tage braucht die Sonne lange, bis sie das Mauerwerk völlig aufheizt – es bleibt kühl. Nachts gibt der Lehm die Wärme allmählich wieder ab

**Bedenke
Mensch, daß du
Staub bist**



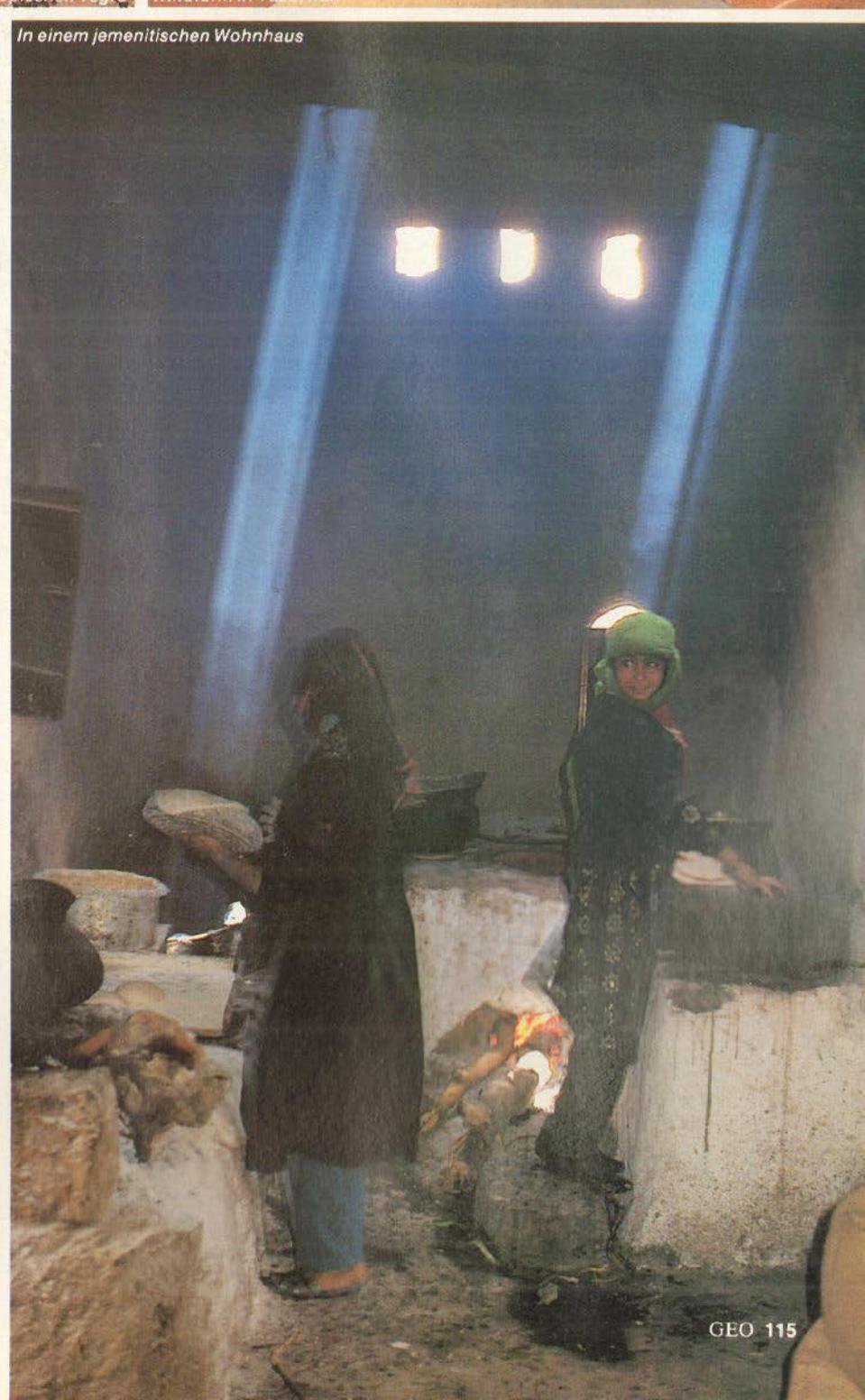
Erdhaus im äthiopischen Tigray



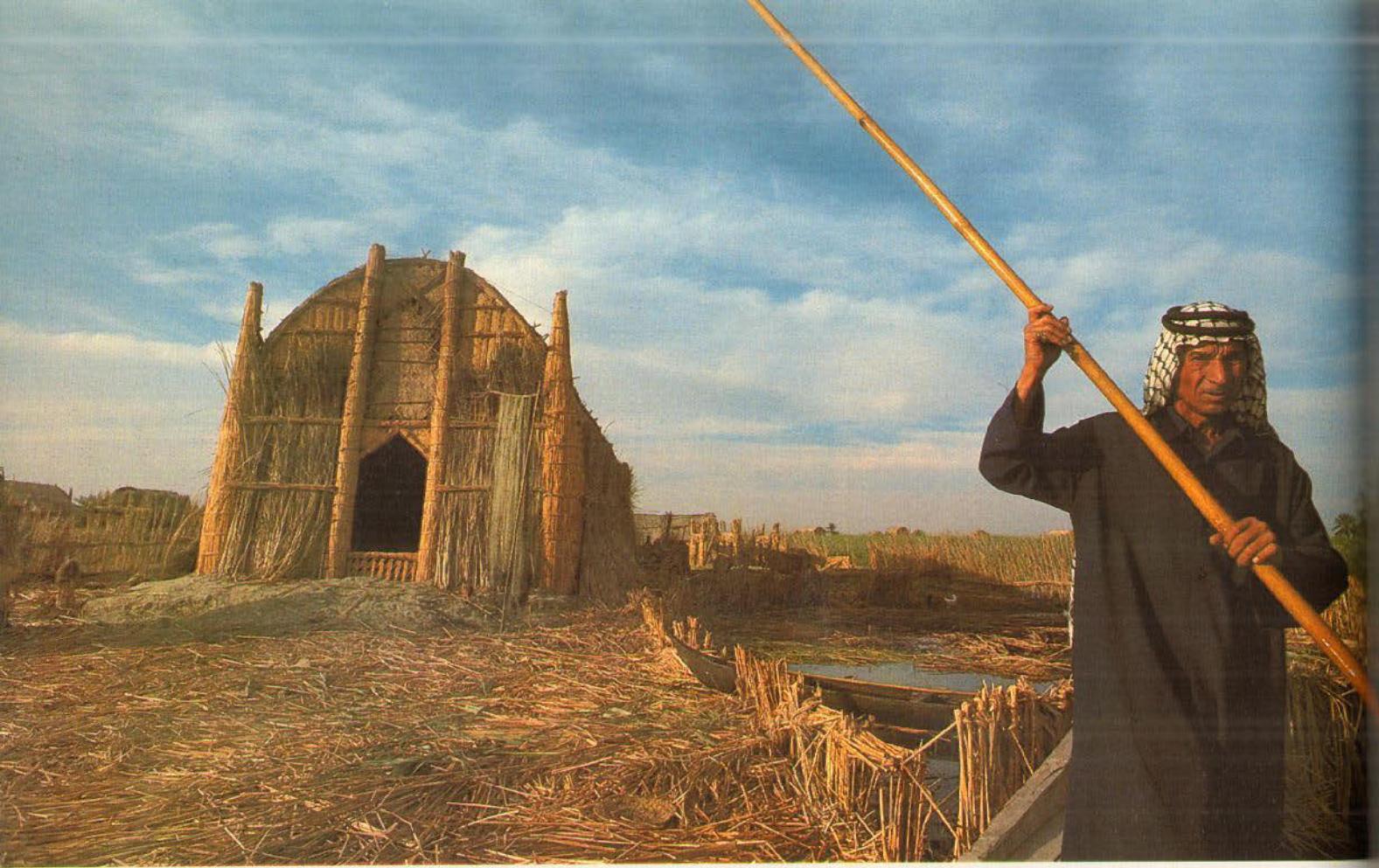
Windturm in Yazd, Iran



Kuppelhäuser in Mali



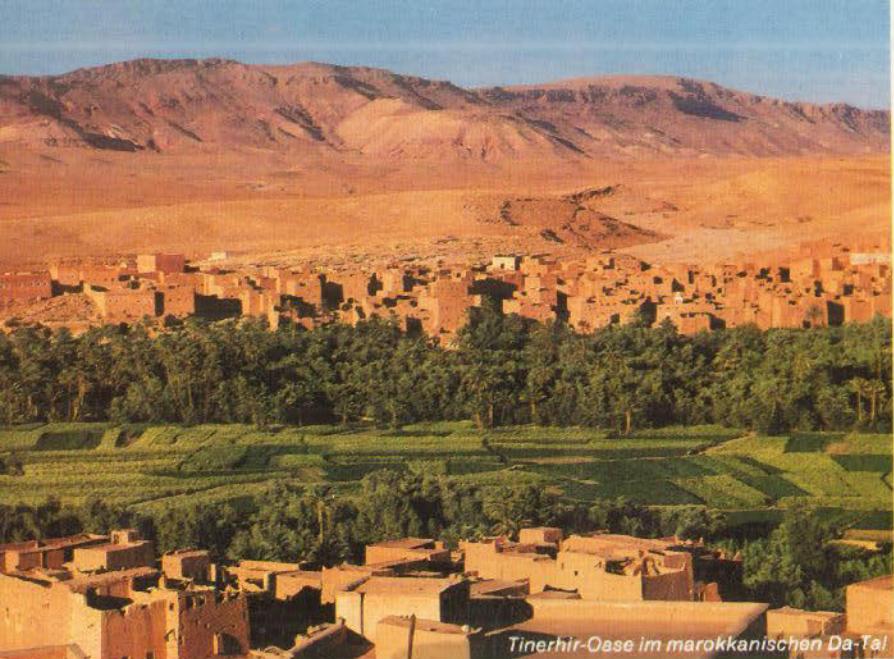
In einem jemenitischen Wohnhaus



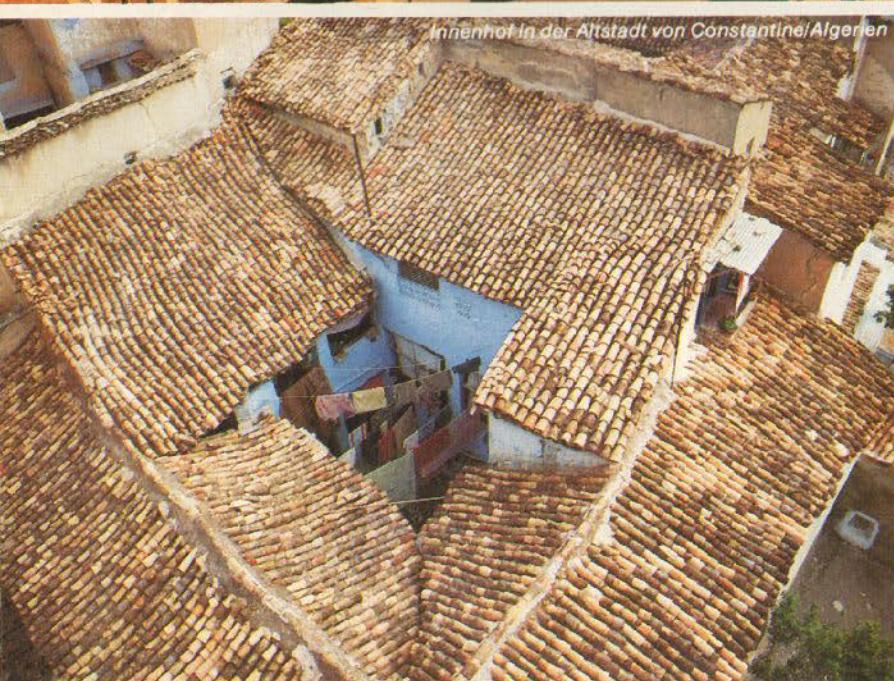
**Kühle Brise
durch ein Flechtwerk
von Millionen
Halmen**

Aus gigantischen Gräsern, die an den Unterläufen von Euphrat und Tigris wachsen, bauen die Sumpf-Araber im südlichen Irak ihre tonnenförmigen Hütten. Dicke Bündel des mehr als sechs Meter hohen Rieds stecken sie in die Erde und verbinden deren Spitzen zu tragfähigen Bögen. Durch Decken und Wände aus gelochten Riedmatten kann Wind streichen und Dunst entweichen

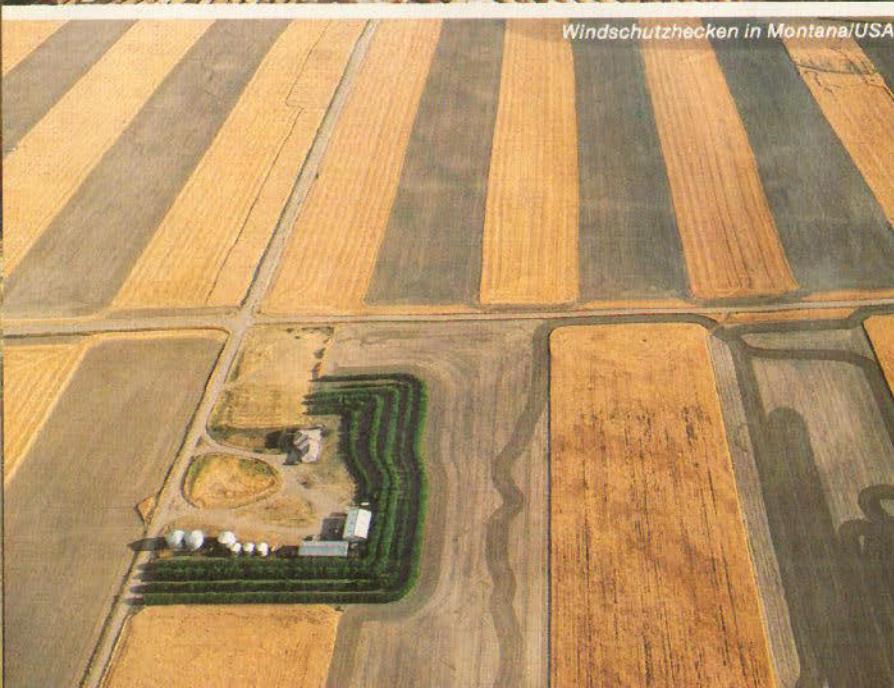




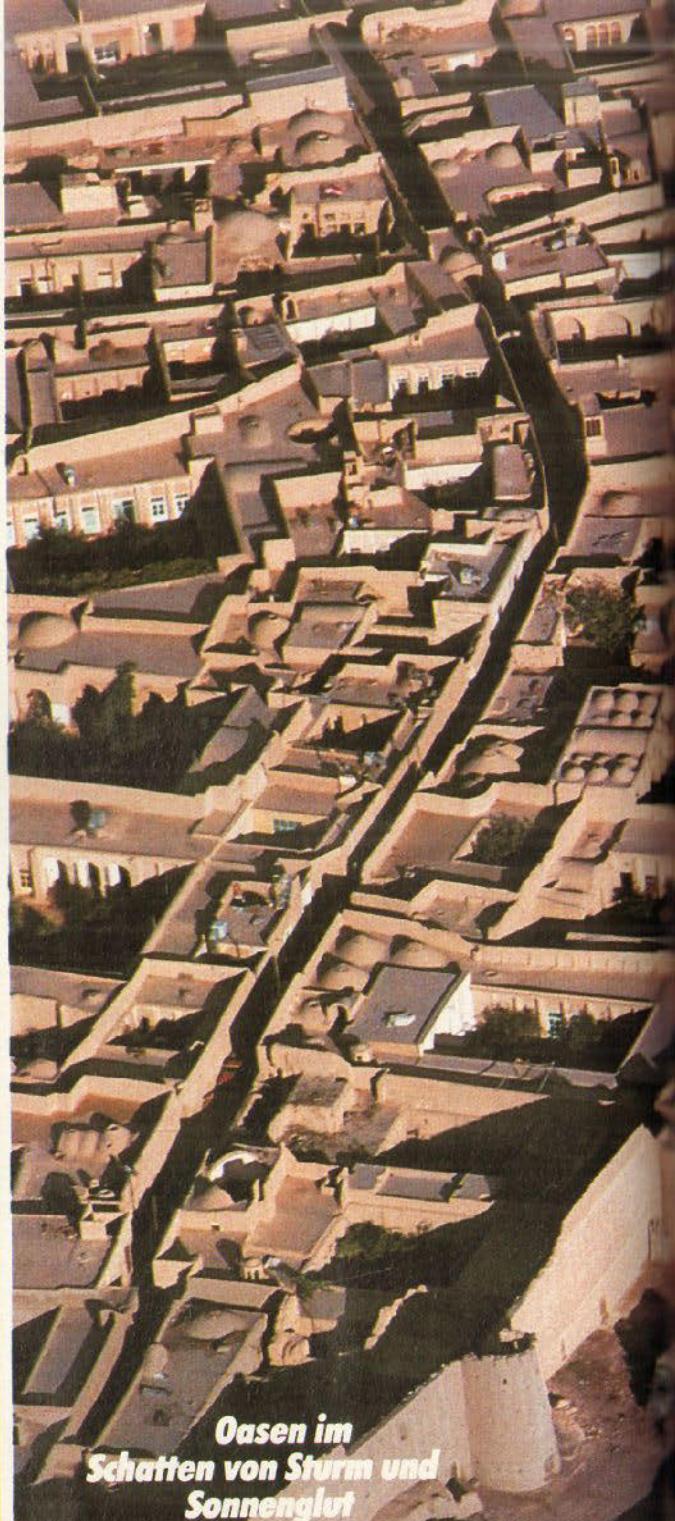
Tinerhir-Oase im marokkanischen Da-Tal



Innenhof in der Altstadt von Constantine/Algerien



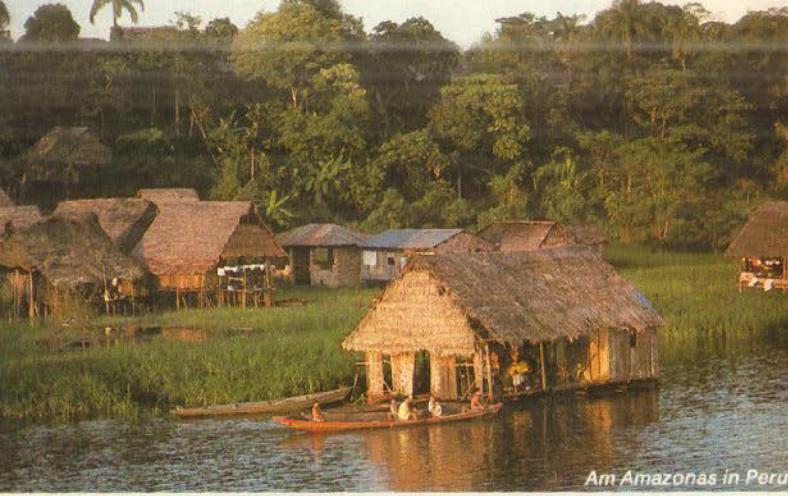
Windschutzhecken in Montana/USA



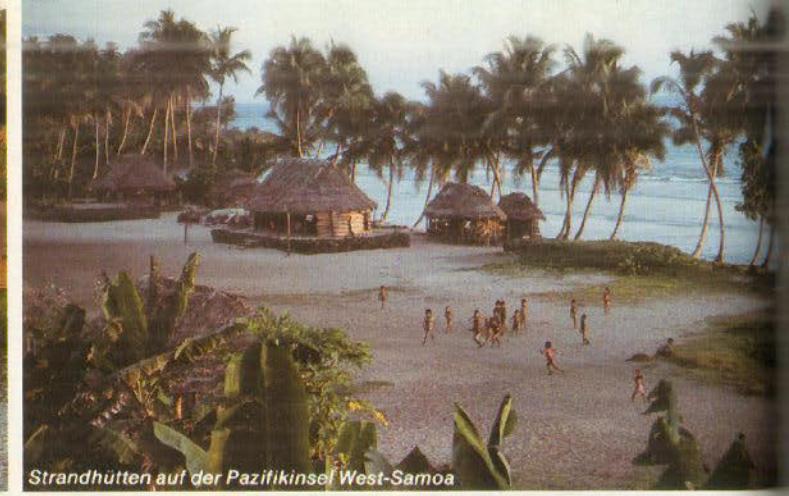
Oasen im Schatten von Sturm und Sonnenglut

Auch außerhalb ihrer Behausungen schaffen sich die Menschen bisweilen ein angenehmes Mikroklima. In Nordafrika umschließen die Häuser Innenhöfe, in die sich größere Fenster öffnen. Wie kühle Oasen liegen die beschatteten Höfe in den stickig-heißen Städten, durch Bepflanzung werden sie zu individuellen grünen Lungen. Als Bollwerke gegen heiße Stürme gruppieren sich sogar ganze Städte um das Grün von Wüstenoasen. Hecken - naturgewachsene Mauern - schützen gegen kalte nördliche Stürme





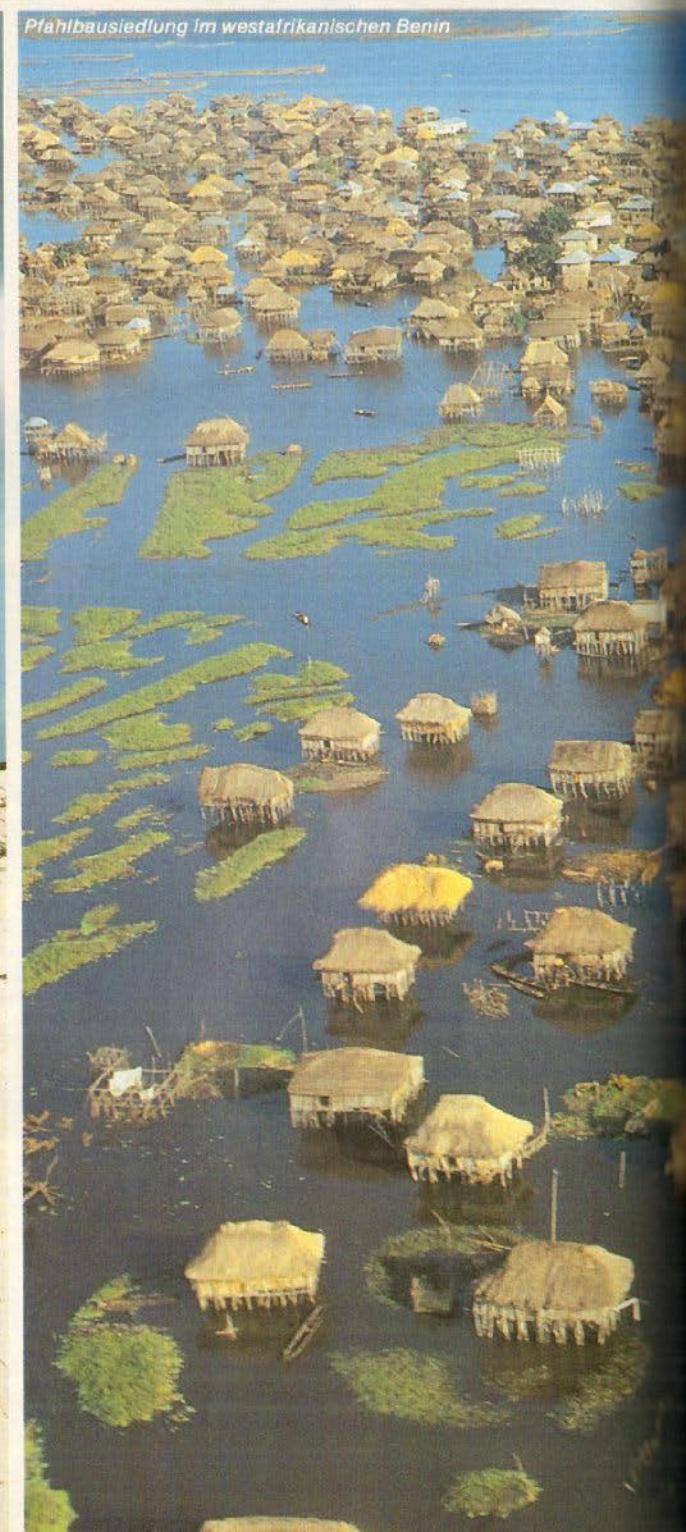
Am Amazonas in Peru



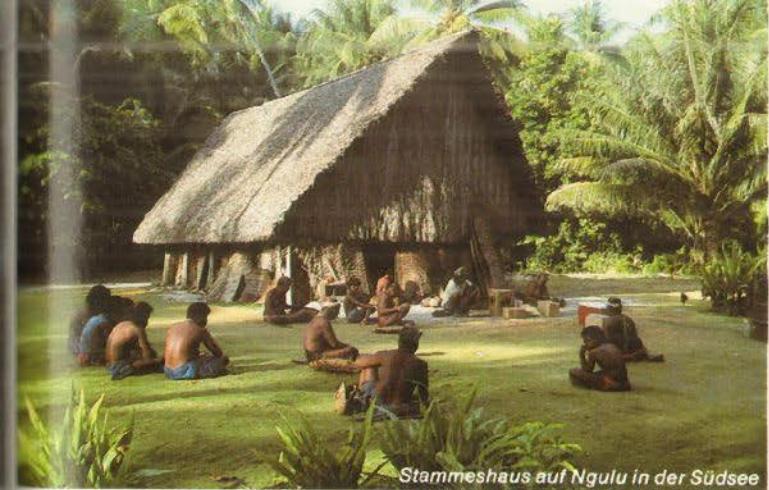
Strandhäuser auf der Pazifikinsel West-Samoa



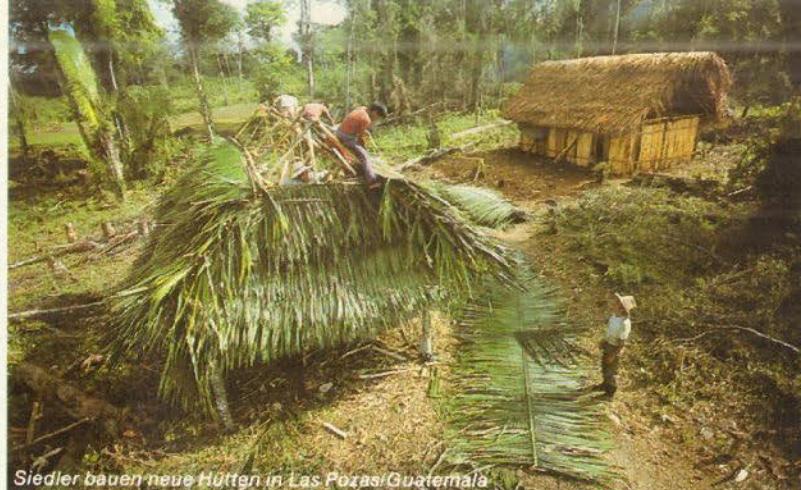
Palmkonstruktion in Papua-Neuguinea



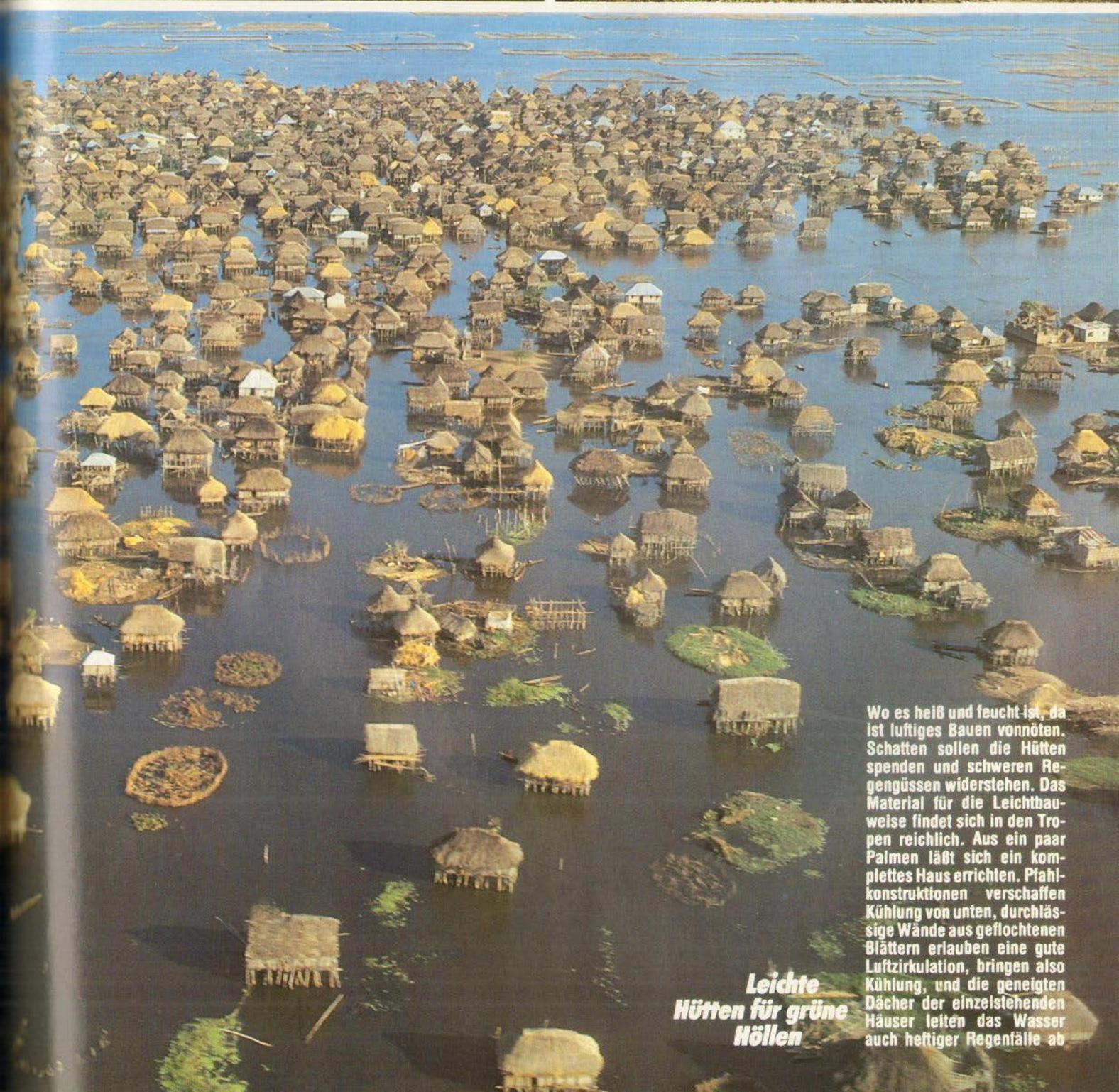
Pfahlhausiedlung im westafrikanischen Benin



Stammeshaus auf Ngulu in der Südsee



Siedler bauen neue Hütten in Las Pozas/Guatemala



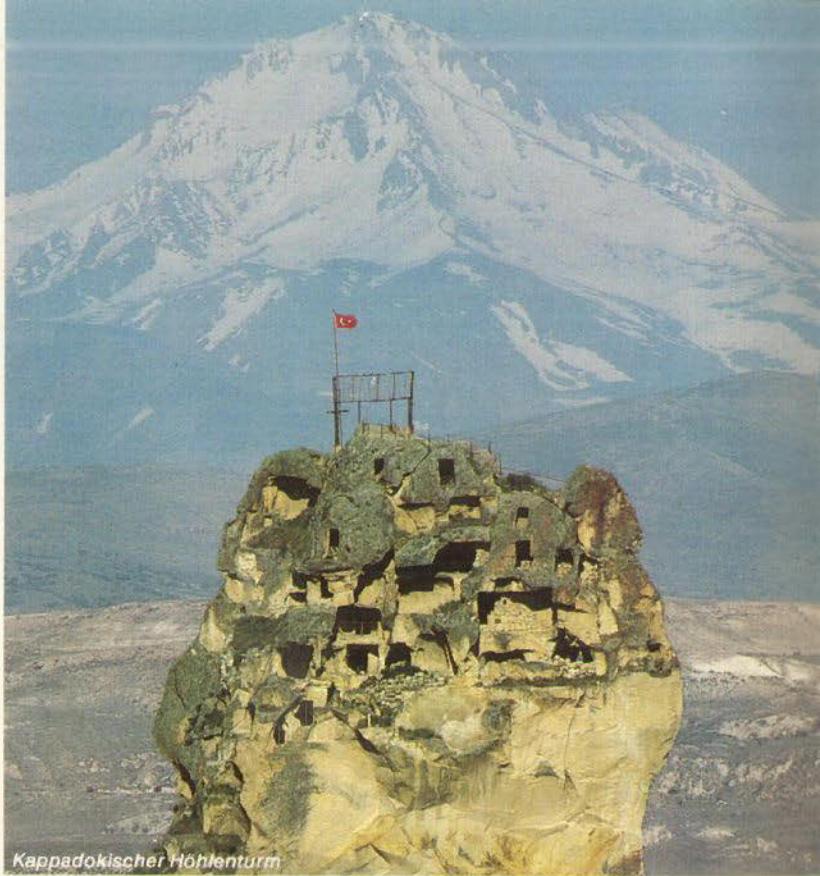
**Leichte
Hütten für grüne
Höllen**

Wo es heiß und feucht ist, da ist luftiges Bauen vonnöten. Schatten sollen die Hütten spenden und schweren Regengüssen widerstehen. Das Material für die Leichtbauweise findet sich in den Tropen reichlich. Aus ein paar Palmen lässt sich ein komplettes Haus errichten. Pfahlkonstruktionen verschaffen Kühlung von unten, durchlässige Wände aus geflochtenen Blättern erlauben eine gute Luftzirkulation, bringen also Kühlung, und die geneigten Dächer der einzelstehenden Häuser leiten das Wasser auch heftiger Regenfälle ab.

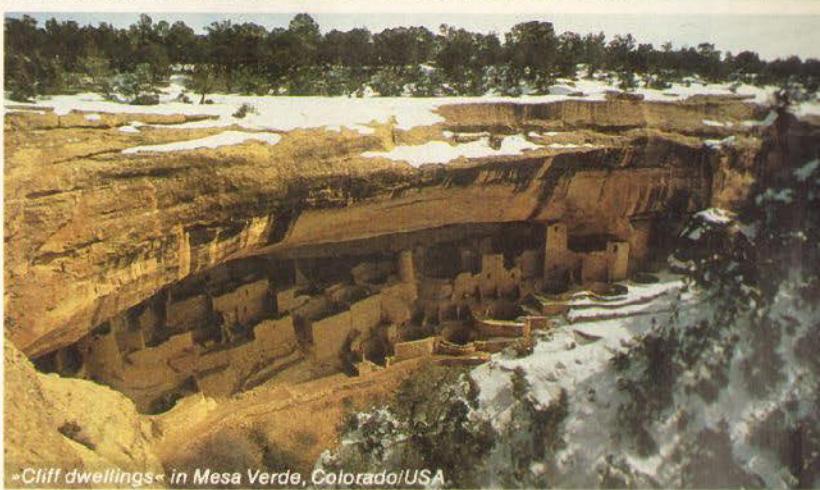


Konstantes Klima im Schoß der Erde

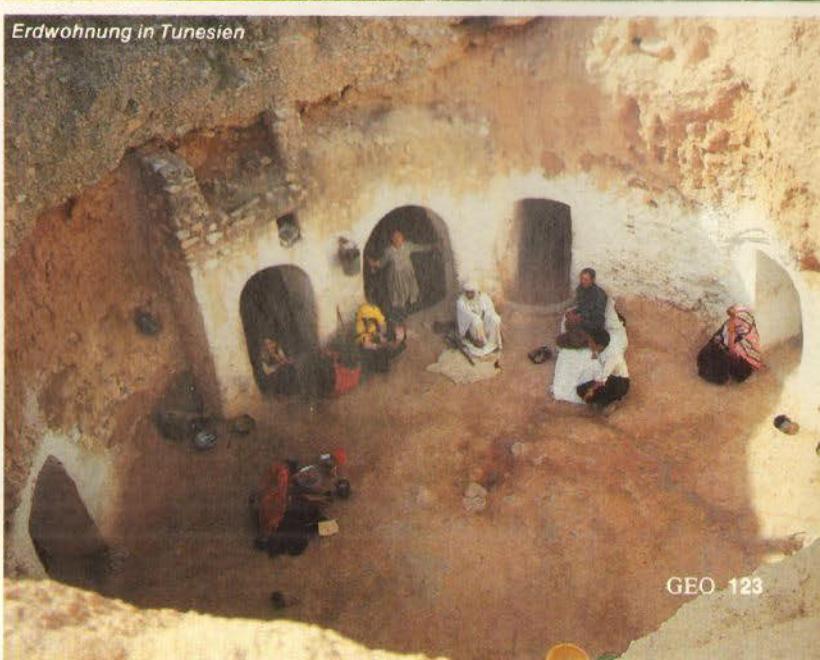
Wer seine Wohnung in Fels oder Erde gräbt, erhält ein gleichbleibendes Raumklima. Denn die Fähigkeit von Felsgestein und Bodenschichten, Wärme zu speichern, ist so groß, daß sie von Tag-Nacht-Temperaturschwankungen nahezu unberührt bleiben. Den Felsensiedlern im Mesa-Verde-Gebiet in Colorado diente der überhängende Felsen im Sommer zur Beschattung, im Winter heizte die tieferstehende Sonne die Häuser auf. Erdhöhlen-Menschen in warmen Regionen nutzen den Kamineffekt: Die Wärme zieht nach oben ab



Kappadokischer Höhlenturm



„Cliff dwellings“ in Mesa Verde, Colorado/USA



Erdwohnung in Tunesien



Reizendes

Und ich lausch der Tannen Rauschen,
deren Lied den kranken Lungen
und der Städter kranken Nerven
Heil ins kranke Blut gesungen.
Ob sie wohl die Häupter schütteln,
ob dem kranken Mann da unten?
Nein! Sie winken frohe Botschaft:
Bleicher Mann du wirst gesunden! 66

VON CHARLOTTE KERNER; WOLFGANG KUNZ (FOTOS)

Der „bleiche Mann“, der sich da vor 90 Jahren seine Hoffnung vom Herzen dichtete, kam auf der Suche nach Genesung in den Hochschwarzwald, nach Todtmoos. Heute wirbt der „heilklimatische Jahreskurst“ kurz und bündig: „Gesundheit hat Vorfahrt! Die Kur schafft's!“ Und der Slogan auf dem örtlichen „Wanderpaß“ lautet: „Heilklima ist mehr als frische Luft.“ Luftiges verspricht auch der Werbeprospekt des Berchtesgadener Landes für den Ort Schönau am Königssee: „Unser Heilmittel ist das gesunde Gebirgsklima. Mal richtig atmen können in klarer Gebirgsluft.“

Was alljährlich über zwei Millionen Bundesbürger dazu treibt, ihr Heil im Klima zu suchen, bringt ein trivialer Sinnspruch – auf Plastikrinde zu 3,60 Mark käuflich in den Kiosken am Königssee – auf den Punkt. „Alle Wünsche werden klein gegen den, gesund zu sein.“

Luft statt Pillen, Klima als „grünes Rezept“ für bleiche und kranke Städter: Ist Heilklima wirklich „starke Medizin“, wie ein Buchtitel verheißen? Oder geht es mehr um luftige Geschäfte? Kurorte preisen „ihr“ Klima gegen Allergien und Asthma, Bronchialkatarrh und Bluthochdruck an. Begriffe wie „Heilklima“ und neuerdings „Bioklima“ suggerieren Gesundheit durch simples Atmen.

Wolfgang Heuschmid, der 38jährige Bürgermeister und Kurdirektor von Todtmoos, ist über den etwas antiquierteren Begriff „heilklimatischer Kurort“ nicht sehr glücklich: „Besonders jüngere Leute verbinden das mit alt und krank und Trainingsanzug-Atmosphäre.“ In seiner Gemeinde gab es Anfang der achtziger Jahre sogar Stimmen, die dafür plädierten, das Prädikat zurückzugeben, und „lieber auf modernen Wintersport zu machen“.

Todtmoos und Schönau gehören zu den 53 Orten der Bundesrepublik, die sich „heilklimatischer Kurort“ nennen dürfen (siehe Karte Seite 127). Ihr Kurmittel ist das Klima, vorwiegend im Mittel- und Hochgebirge. An der Küste und auf den

**Kühler Wind auf nackter Haut
fordert die Durchblutung, härtet ab und
stärkt das Immunsystem – „unspezifisch“ wie
Ärzte sagen. Was ist medizinisch dran
an Wind und Wetter? Im Binnenland und an der
Küste leben 80 Kommunen von ihrer
staatlich geprüften Luft und den über zwei
Millionen Bundesbürgern, die alljähr-
lich ihr Heil im Klima suchen**

an der Luft

Inseln von Nord- und Ostsee gibt es weitere 27 „Seeheilbäder“.

Jede der 80 „gesunden“ Gemeinden hat ihr Prädikat nach eingehender Prüfung erhalten. Die „Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen“ wurden 1953 gemeinsam vom deutschen Bäderverband und dem Vorfänger des Fremdenverkehrsverbandes verabschiedet. Nach deren neuester Fassung darf ein Kurort erst dann die Zusatzbezeichnung „heilklimatisch“ führen, wenn er

- „wissenschaftlich anerkannte und durch Erfahrung kürmäig bewährte klimatische Eigenschaften (therapeutisch anwendbares Klima)“ besitzt, die „durch Klimastationen laufend überwacht werden“ sowie die
- „ärztlich erprobten und wissenschaftlich anerkannten Heilanzeichen und Geheilanzichen“ festgestellt und bekanntgegeben wurden.

Erfahren und erproben ist freilich leichter als erforschen und wissenschaftlich beweisen. Die erste heilklimatische Empfehlung ist schon zweieinhalb Jahrtausende alt. „Wer die Heilkunst in der rechten Weise ausüben will“, riet Hippokrates seinen griechischen Kollegen, „der muß . . . die Jahreszeiten beachten, das heißt, was eine jede von ihnen bewirken mag, . . . und dann die warmen und kalten Winde, vor allem die, welche für alle Menschen gemeinsam sind, aber auch die, welche in jedem einzelnen Lande zu Hause sind.“

Im 16. Jahrhundert behauptete Paracelsus: „Der da weiß den Ursprung des Donners, der Wind, der Wetter... der weiß, von wannen Colica kommt.“ Alexander von Humboldt bezeichnete das Klima in seinem 1845 erschienenen Werk „Kosmos“ gar als „alle Veränderungen in der Atmosphäre, die unsere Organe merklich affizieren“, wobei er insbesondere der „Heiterkeit des Himmels“ einen wichtigen Einfluß „auch für die Gefühle und Seelenstimmung des Menschen“ zuschrieb.

Die neuere Klimatherapie begann mit der aufkommenden Industrialisierung im 19. Jahrhundert. Sie wurde zuerst in England praktiziert, zunächst als „Thalassotherapie“ am Meer und 70 Jahre später in der Nähe der Städte in „Greenhouses“. Damals war die Klimatherapie, wie der emeritierte Freiburger Medizinprofessor Wilhelm Schmidt-Kessen weiß, „eine Möglichkeit, die Patienten aus der künstlichen, krankmachenden Umwelt zu entfernen, reichlich zu ernähren und Fehlverhalten zu bekämpfen“.

Ähnliches galt für die Tuberkulose-Behandlung im Gebirge: Strenge Freiluftliegekuren auf überdachten Balkonen à la Thomas Manns „Zauberberg“ könnten indes auch ein „Mittel der Reglementierung“ gewesen sein – gegen das allzu feucht-fröhliche Beisammensein in den Kursanatorien. „Die Tuberkulose-Ärz-

te“ sich der Mensch im Klima fühlt, ist nicht nur eine Frage von Wind und Wetter. Auch seine Biologie spielt eine Rolle. Über den zum Teil recht subtilen Einfluß des sichtbaren Sonnenlichts und der ultravioletten Strahlung – den sogenannten aktinischen Wirkungskomplex – ist wenig bekannt. Anders steht es mit dem thermischen Wirkungskomplex: Ob man schwitzt oder friert, hängt außer von kurz- und langwelliger Strahlung, Lufttemperatur, relativer Feuchtigkeit und Wind – auch von physiologischen Größen wie Energieumsatz und Wärmeabgabe ab. Früher wurden diese komplexen Zusammenhänge mit relativ simplen „thermischen Indices“ oder „Klimasummenmaßen“ erfaßt. Bis Klimaforscher den Rechenstift gegen Computer tauschten. Der 46jährige Medizinmeteurologe Gerd Jendritzky schuf den „Klima-Michel“. Diesem simulierten Durchschnittsmenschen ist ein Energieumsatz von 210 Watt eingespielt, der etwa einem Spaziertempo von 3,2 Kilometer pro Stunde entspricht. So wandert der Klima-Michel durch das Jahr, dessen meteorologischer Verlauf statistisch aus Daten gemittelt wurde, die 88 bundesdeutsche Wetterstationen in 30 Jahren gesammelt haben.

Stets passend zur Jahreszeit gekleidet, erlebt der Klima-Michel den thermischen Wirkungskomplex des Klimas. Ob er dabei trotz dicker Kleidung im Winter friert oder sommertags im T-Shirt schwitzt, entscheidet der Computer nach der rechnerischen Abweichung von der Wärmebilanzgleichung.

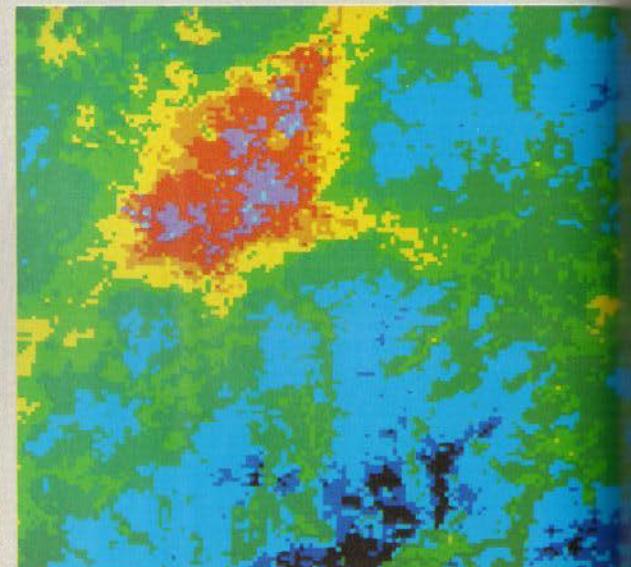
Über rechnersimulierte Berge und Täler führt der Weg des Klima-Michel durch eine digitale Geländedatei, die im Ein-Kilometer-Raster geographische Eigenheiten der Bundesrepublik gespeichert hat.

Mit seinem umfangreichen Simulationsprogramm konstruiert Jendritzky Bioklima-

Der thermische Wirkungskomplex



Kommunikation für Klimaforschung



Gerd Jendritzky
Programm „Klima-Michel“
zeigt Wärmestress-Zone.
Deren Häufigkeit markieren
Farbpunkte – zunehmend
von Blau über Rot bis Weiß – auf
einer Karte von
Freiburg im Breisgau (Rastergröße 120 Meter)

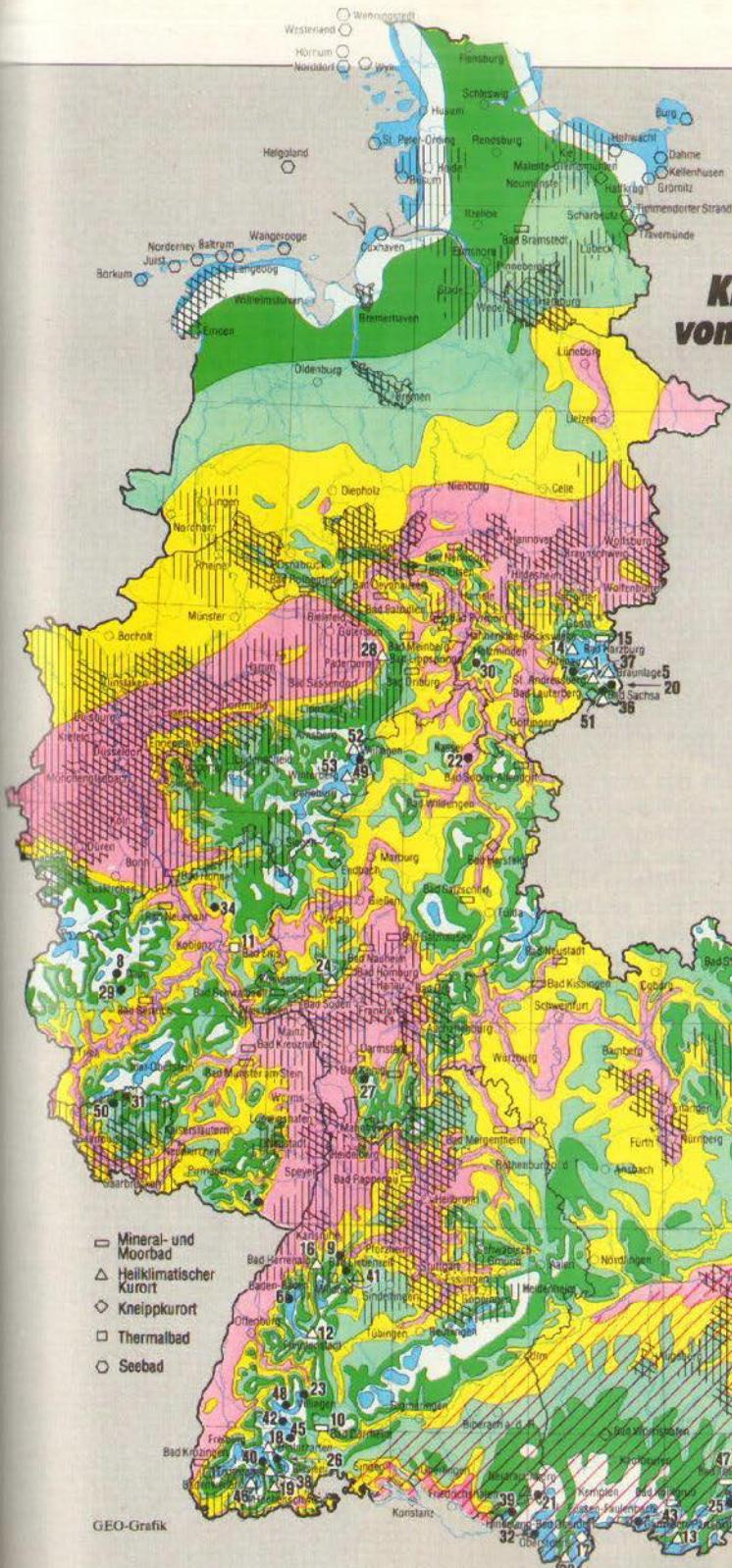
zeugt, der Wärme von der Körperoberfläche abführt. Der Klima-Computer kann aus seinen gespeicherten Daten den thermischen Wirkungskomplex für jeden beliebigen Ort der Bundesrepublik berechnen. Auf diese Weise hat Jendritzky für alle 53 heilklimatischen Kurorte die Möglichkeit zur Kältetherapie neu bewertet und nach Jahreszeiten differenziert. Angela Schuh, Humanbiologin und Meteorologin aus München, hauchte dem digitalen Klima-Michel Leben ein: Sie ersetzte seine physiologischen Durchschnittsdaten durch Testergebnisse von realen Personen.

Karten für jeden Monat des Jahres. Auf diesen Karten werden die Wärmebelastungs- und die Kältereiz-Zonen sichtbar. Danach sind beispielsweise die Küsten von Nord- und Ostsee auch bei hohen Sommertemperaturen nicht wärmelastet, weil strahlungsintensives Wetter stets Seewind er-



Mit einer sogenannten Peltier-Thermode
heizt Angela Schuh
die Stirnhaut einer Probandin auf, bis diese
die Wärme als angenehm
empfindet. Außer der
subjektiven „Komfort-
Temperatur“ ermittelt die Wissen-

schaftlerin Größe,
Gewicht und Hautdickde. Insgesamt
250 Versuchspersonen
benötigte Angela
Schuh, um ihre kombinierte Kälte- und
Bewegungstherapie
wissenschaftlich
zu untermauern



reizstark
reizmäßig

Starke bis mäßige Abkühlungswerte durch Wind (Küste) oder Kälte (höhere Gebirgslagen), intensive Sonnen- und Himmelsstrahlung, verminderter Luftdruck und Sauerstoff-Partialdruck im Gebirge

reizmild
reizschwach
schonend

Mäßige bis schwache thermische Reize und wechselhafte Strahlungsverhältnisse besonders im norddeutschen Flachland und in den Mittelgebirgen; verstärkter Windreiz. Tal-Lagen mit großen Temperaturschwankungen und lokalen Windsystemen

teils belastend

Hohe Sommertemperaturen, Schwüle, relativ hohe Luftverschmutzung; Nebel- und Smoggefahr bei austauschärmer Wetterlage
Gebiete mit erhöhter Schadstoff-Belastung
belastende Verdichtungsräume
Föhnbereich

T = thermischer Wirkungskomplex: Eine Kältetherapie im Kurort ist selten (0), hinreichend (1), vermehrt (2), häufig (3), überwiegend (4), dauernd (5) möglich

A = aktinischer Wirkungskomplex: Die Sonneneinstrahlung im Kurort ist unbedeutend (1), schwach (2), mild (3), mäßig (4) oder stark (5)

Klimareize von der See bis zu den Alpen

		Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
1	Altenau	T	A	T	A
2	Bayrischzell	3	4	2	5
3	Berchtesgadnerland	2	4	0	5
4	Bad Bergzabern	1	4	0	5
5	Braunlage	3	3	1	4
6	Bühlerhöhe	3	4	1	5
7	Clausthal-Zellerfeld	4	3	1	4
8	Daun	3	4	1	5
9	Dobel	3	4	1	5
10	Bad Dürheim	3	4	1	5
11	Bad Ems	1	4	0	5
12	Freudenstadt	3	4	2	5
13	Garmisch-Partenkirchen	3	4	1	4
14	Hahnenklee	4	3	1	4
15	Bad Harzburg	3	3	1	4
16	Bad Herrenalb	1	4	1	5
17	Hindelang	4	4	2	5
18	Hinterzarten	4	4	2	5
19	Höchenschwand	4	4	2	5
20	Hohe Geiß	4	3	1	4
21	Isny	3	4	1	5
22	Kassel-Wilh.	2	3	1	4
23	Königsfeld	3	4	1	5
24	Königstein	2	4	1	5
25	Kreuth	4	4	2	5
26	Lenzkirch	3	4	2	5
27	Lindenfels	2	4	1	5
28	Bad Lippspringe	2	3	1	4
29	Manderscheid	2	4	1	5
30	Neuhau	3	3	1	4
31	Nonnweiler	2	4	1	5
32	Oberstaufen	3	4	2	5
33	Oberstdorf	3	4	2	5
34	Rengsdorf	2	4	1	5
35	Rottach-Egern	3	4	2	5
36	Bad Sachsa	3	3	1	4
37	St. Andreasberg	4	3	1	4
38	St. Blasien	3	4	2	5
39	Scheidegg	3	4	1	5
40	Schluchsee	4	4	2	5
41	Schömberg	3	4	1	5
42	Schönbald	4	4	2	5
43	Schwangau	3	4	0	5
44	Tegernsee	3	4	2	5
45	Titisee-Neustadt	4	4	2	5
46	Todtmoos	4	4	2	5
47	Bad Tölz	3	4	0	5
48	Triberg	3	4	2	5
49	Usseln	3	3	1	4
50	Weiskirchen	2	4	1	5
51	Wieder	3	3	1	4
52	Willingen	3	3	1	4
53	Winterberg	4	3	1	4

Hochgebirge

Höhere Sonneneinstrahlung und Windgeschwindigkeit. Die Lufttemperatur und der Partialdruck von Sauerstoff und Wasserdampf sind niedrig, Schnee- und Frostperioden länger

Belastend kann sein: Sauerstoffmangel und Trockenheit der Luft, hohe UV-Strahlung, zu große Kälte

Schonend und entlastend: Luftreinheit, keine Wärmebelastung

Stimulierend: Hohe Abkühlungsreize und Sonneneinstrahlung, geringer Wasserdampf- und Sauerstoff-Partialdruck

Heilanzeichen: chronische Erkrankungen der Atemwege, Vorbeugung bei funktionellen Störungen des Kreislaufs, bestimmte Formen der Blutarmut, Zuckerkrankheit und Schilddrüsenüberfunktion, Hautleiden

te“, so Schmidt-Kessen, „haben niemals bewiesen, daß das Klima der entscheidende Heilfaktor ist, mit einer Ausnahme: die Sonnentherapie bei der extrapulmonalen – außerhalb der Lungen liegenden – Tuberkulose.“

Die Klimatherapie der Tuberkulose wurde um die Jahrhundertwende das große Geschäft. Das Schwarzwalddorf Todtmoos nannte sich damals „das deutsche Davos“. Dort öffnete 1901 das Sanatorium Wehrwald seine Pforten und warb, mit 861 Meter über dem Meeresspiegel „die höchste gelegene Heilanstalt für Lungenkrank“ Deutschlands zu sein. Nur begüterte Patienten, von Einheimischen spöttisch „Luftschnapper“ genannt, konnten sich die „vollkommenste Hygiene“ und den „höchsten Komfort“ des Hauses leisten. Nach dem Ersten Weltkrieg kam dann eine andere – weniger begüterte – Klientel zur Kur: Die Reichsversicherungsanstalt für Angestellte kaufte das Sanatorium.

In den zwanziger und dreißiger Jahren machte das billige Heilmittel Klima Karriere. Populär wurde allerorten das „Luftbad“ – leicht bekleidet oder nackt im Schatten. Mangels wirksamer Medikamente erstellten Ärzte Indikationslisten fürs Kuren an der See, im Hoch- oder Mittelgebirge. Das Heilmittel Klima sollte der Vor- und Nachsorge von Krankheiten dienen, chronische Leiden lindern und den gesamten Organismus stärken.

In der Nazi-Zeit lieferten speziell eingerichtete Kurortklima-Kreisstellen die ersten Auswertungen klimatologischer Meßergebnisse über die „Heilschätze des deutschen Heimatbodens und der deutschen Landschaft“. Körperliche Ertüchtigung in freier Luft erhielt NS-Weihen. In die Heil(klima)rufe stimmte 1935 Professor Heinrich Vogt aus Bad Pyrmont begeistert ein: „Wir brauchen uns nicht an fremde Gegenden und Länder zu wen-

den, wenn wir . . . unsere Kranken . . . zur Klimakur wegschicken wollen. Darum, deutsche Ärzte, ihr sollt das Heilgut, das in Trinkquellen, in Bädern, in Mooren und Klima liegt, erkennen.“

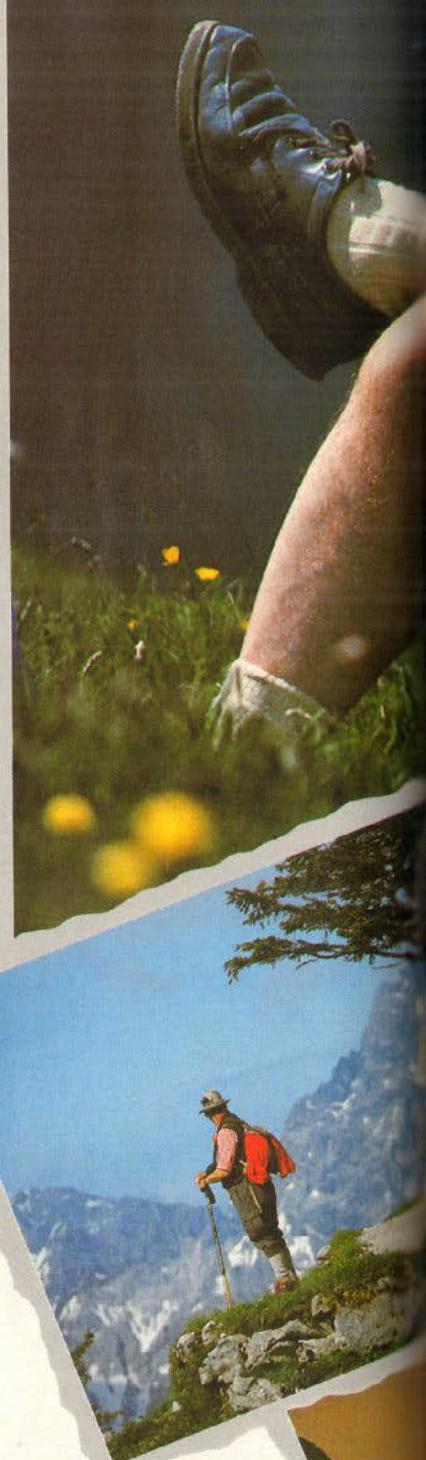
Bei der Entwicklung der Klimatherapie stand die Kaltwasserbehandlung Pate. Auf die Frage, was er denn machen würde, wenn er kein Wasser hätte, soll Sebastian Kneipp einmal geantwortet haben, dann würde er mit Luft behandeln. Schmidt-Kessen behauptet sogar, daß es mit Luft noch besser geht: „Klimatherapie ist die naturgemäße Therapie par excellence. Wir sind dafür ausgerichtet, auf Wärme- und auf Kältereize zu reagieren.“

Besonders der kalte Reiz bringt nach Meinung des Freiburger Fachmanns die durch zuviel Stubenhockerei erlahmte „Thermoregulation“ auf Trab. Er hält die gezielte Abhärtung durch kühle Luftbäder im Freien für das wirksamste Mittel gegen niedrigen Blutdruck, jeder Pille überlegen. Für die individuelle Dosierung eines Luftbades gibt Doktor Schmidt-Kessen den Rat: „Wer zum zweitenmal friert, hört auf.“

Ein Klima kann nicht nur reizen und aktivieren. Verlangt ein angegriffener oder gar kranker Organismus nach Schonung, so empfiehlt sich der Aufenthalt dort, wo schwüle Tage und Nebel selten sind und kühle Nächte einen gesunden Schlaf ermöglichen. Für geplagte Asthmatiker muß die Luft rein sein, und der Wind darf nicht zu stark blasen. Notfalls hilft am Meer der Strandkorb. „Anregen, ohne aufzuregen, und beruhigen, aber dabei kräftigen“, lautet eine vernünftige heilklimatische Regel aus dem Jahr 1909. Mindestens drei Wochen soll solche klimatische „Schonung und Anregung“ dauern, denn so lange brauchen unsere biologischen Regelsysteme, um sich anzupassen.

Nach dem Zweiten Weltkrieg geriet die eigentliche Klimatherapie – die Therapie *durch* das Klima – in Vergessenheit. Die junge Ärztegeneration setzte auf Chemie. Neue Medikamente, besonders die Antibiotika, brachten bei der Bekämpfung akuter Erkrankungen schnelle Erfolge, die sich durch harte Statistiken belegen ließen – ganz im Gegensatz zu den eher „weichen“, weil subjektiven Erfahrungen, auf denen die alten „Klimaexpozitionsverfahren“ basierten.

Doch die Zeiten haben sich erneut geändert. Der ehedem unerschütterliche Glaube an die Allmacht der Chemotherapie weicht allmählich einem Gesundheitsbewußtsein, zu dem auch wieder Heilklima und -kur passen. Der Todtmooser Bürgermeister Wolfgang Heuschmidt sieht gerade in der modernen Klimatherapie „als Naturheilverfahren“ eine große Chance, neue gesundheits- und umweltbewußte Gäste in die Fremdenbetten zu locken. Und die „Arbeitsgemeinschaft heilklimatischer Kurorte Deutschlands“



Grüße aus Schönau



**Liegen,
Ruhn, Bräunen: Macht
Höhenluft im Schlaf
gesund?**

Schönau am Königssee im Berchtesgadener Land gilt schon lange als Perle unter den heilklimatischen Kurorten im Hochgebirge. Dort kurten schon Clara Schumann und Sigmund Freud. Heute wird in Schönau die Klimatherapie wissenschaftlich unter die Lupe genommen. Eine Meßstation registriert das Wetter rund um die Uhr. Mediziner messen Blutdruck und Herztaetigkeit auf besonderen Wanderstrecken - über Funk



Mittelgebirge

Schonklima durch geringe Hitzebelastung und frühzeitige nächtliche Abkühlung. Die örtlichen Klimate variieren je nach Tal-, Hang- oder Kuppenlage.

Belastend können sein: Kaltluftseen, die sich in Talmulden bilden

Schonend und entlastend: Luftreinheit, selten Wärmebelastung, Wald schützt vor zu intensiver Sonneneinstrahlung und Abkühlung

Stimulierend: Abkühlungsreize besonders in freien Kuppenlagen, vermehrte Sonneneinstrahlung und verminderter Wasserdampf-Partialdruck der Luft (temperatur- und höhenabhängig)

Heilanzeichen: Katarrhe der oberen Luftwege, Bronchialasthma, Herz- und Kreislauferkrankungen; allgemeine Schwächezustände, Migräne, Hautleiden; allgemeine Erholung und Genesung

läßt trendbewußt verlauten: „Die Ernährung über Grenzen und unerwünschte Nebenwirkungen moderner Medikamente ist beträchtlich. Kein Wunder, daß natürliche Heilweisen, neu durchforscht, zu immer größerem Ansehen gelangen.“

An der systematischen Erforschung mangelte es freilich. Erst heute, nach mehreren Jahrzehnten Pause, haben die alten Herren der Klimaforschung und -therapie wieder Nachwuchs. Ihre Enkel haben die Klimaheilkunde modernisiert und ihr neue, klingende Namen wie „Biometeorologie“ oder „Humanbioklimatologie“ gegeben.

Zu dieser Enkelgeneration zählt der 46 Jahre alte Gerd Jendritzky. Er leitet seit zwei Jahren die medizinmeteorologische Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes in Freiburg und ist der Vater des „Klima-Michel“: Dieser statistische Durchschnittsmensch spaziert – im Computermodell – quer durchs deutsche Klima von der Nordsee bis zu den Alpen. Dabei wird der Einfluß von Klimafaktoren auf den Wärmeaushalt des Menschen errechnet, der sogenannte „thermische Wirkungskomplex“ (siehe Kasten Seite 126).

Der Klima-Michel wäre vielleicht nie geboren worden, hätte Jendritzky nicht Wilhelm Schmidt-Kessen getroffen: „Er machte mich auf die sogenannte Behaglichkeitsgleichung aufmerksam, mit der man das thermische Milieu in Innenräumen berechnet. Ich habe das Verfahren erstmals auf Freilandverhältnisse übertragen.“ Aus den errechneten Daten lassen sich monatliche Bioklima-Karten erstellen.

Mit Hilfe des Klima-Michel hat Jendritzky inzwischen alle 53 heilklimatischen Kurorte neu bewertet und zum erstenmal nach Hippokrates' Forderung deren „Möglichkeit zur Kältetherapie“

nach den vier Jahreszeiten aufgelistet. In der für 1988 geplanten Neuauflage des deutschen Bäderkalenders soll jeder Arzt nach diesen Angaben den passenden Kurort für seine Patienten auswählen können.

Am „reizvollsten“ für eine Klimatherapie sind Frühjahr und Herbst. Der Sommer empfiehlt sich nur, wenn die „Heliotherapie“ viel Sonne verlangt. In diesem „aktinischen Komplex“ wirken unterschiedliche Ultraviolett-(UV)-Strahlen: Im langwelligen Bereich (UV-A) helfen sie gegen die Schuppenflechte, die etwas kurzwelligeren UV-B-Strahlen fördern die Bildung von Vitamin D. Sichtbares Sonnenlicht beeinflußt unseren Hormonhaushalt, macht uns aktiver und hebt die Laune.

Das „gute Klima“ ist freilich kaum mehr als eine willkommene Beigabe. Wenn zum Beispiel in Todtmoos eine Patientengruppe am frühen Morgen vor der neu konzipierten Klinik Wehrwald Gymnastik macht, ist zwar das Heiklima immer mit dabei. Doch dessen therapeutische Wirkung hält Wolfgang Koye für nicht so wesentlich: „Natürlich ist das Klima hier besonders gut für Patienten mit allergischen Erkrankungen“, sagt der Chefarzt des 219-Betten-Hauses der Bundesversicherungsanstalt für Angestellte (BfA), in dem besonders Patienten nach Herzinfarkt, mit Herz-Kreislauf- und Atemwegerkrankungen behandelt werden, „aber für die Behandlung hat es keine entscheidende Bedeutung“.

Ein kalter Reiz erhöht die Leistung

In Todtmoos oder Schönau am Königssee werden die Patienten nicht „durch das Klima“ therapiert, sondern kuren bestenfalls „im Klima“. „Wir haben 53 heilklimatische Kurorte“, klagte Medizinmeteorologe Jendritzky noch vor wenigen Jahren, „und in keinem findet Klimatherapie statt.“ Das hat sich geändert: Inzwischen gibt es in Garmisch-Partenkirchen eine von den Krankenkassen anerkannte „Klima-Kur“ – weil Angela Schuh den Klima-Michel vor fünf Jahren mit nach Bayern nahm.

Die damalige Studentin der Meteorologie und Humanbiologie fand mit ihrer Diplomarbeit heraus, daß der Klima-Michel dem tatsächlichen Herrn Michel aus Wuppertal bei einer Klimatherapie beispielsweise in Garmisch überhaupt nicht weiterhilft. Denn das kleinräumige Bioklima ändert sich ständig, je nachdem, ob Herr Michel im Kurpark, im Wald oder im offenen Gelände spaziert. Und auch das Wetter entspricht selten einem langjährigen Durchschnitt. Doch „Klimatherapie“, erkannte Angela Schuh, „ist immer eine Wettertherapie“. Sie entwickelte deshalb ein genaues Dosierungssystem für den Klimareiz, das auch

feine Unterschiede innerhalb eines Kurortes berücksichtigt.

So lieferte der Klima-Michel den methodischen Unterbau zu einer modernen „heilklimatischen Bewegungstherapie“, deren Anfänge bis ins 19. Jahrhundert zurückreichen. 1885 hatte der Münchner Arzt Max Joseph Oertel erstmals „Terrainkurwege“ unterschiedlichster Schwierigkeitsgrade festgelegt, auf denen dann Herz-Kreislauf-Kranke trainierten. Seinem Beispiel folgend vermaß Angela Schuh in Garmisch 17 Wanderwege nach Länge, Steigung und Höhenlage. Sie wählte 250 Versuchspersonen aus, ermittelte deren persönliche Daten – etwa Größe, Gewicht und Hautfaltendicke – und befragte die Probanden nach ihrem „thermischen Empfinden“. Nachdem die Forcherin auch noch meteorologische Angaben wie Tagesspann, Sonnenstand und Bewölkungsverhältnisse berücksichtigte, ergab sich schließlich ein „individueller Bekleidungsisolationswert“ – eine Größe, die aus der Raumfahrt stammt: 1,0 bedeutet zum Beispiel Straßenanzug, 0,2 steht für Shorts.

Nun mußten die Versuchspersonen, bekleidet wie berechnet, einen der vermessenen Wege mit vorgegebener Geschwindigkeit zurücklegen. Dabei überprüfte Angela Schuh, ob die Testwandler sich wirklich „leicht kühl“ fühlten. Die Probanden bestätigten die Voraussagen: Der kalte Reiz kam an. Schließlich verglich die Wissenschaftlerin drei Gruppen von Versuchspersonen, deren Trainingszustand sie zuvor bei einem Test auf dem Fahrrad-Ergometer standardisiert hatte:

- Normale Kurgäste ohne vorgeschriebenes Programm;
- Patienten, die eine vorgeschriebene Terrainkur machten;
- eine „Kühlgruppe“, die unter gezielter „Klima-Exposition“ die gleichen Wege ging.

Ergebnis: Nach Abschluß des Versuchs erreichte die „Kühlgruppe“ während körperlicher Anstrengung später als die anderen Gruppen bestimmte Grenzwerte von Herzfrequenz und Milchsäurespiegel im Blut – beides Maßgrößen für individuelle Belastbarkeit. Das war ein Hinweis auf den „additiven Effekt“ von Bewegungstherapie und Kältereziz. Außerdem erwärmt sich nach kalten Armbädern die Haut der Probanden aus der Kühlguppe rascher, und die – subjektiv empfundene – „Komforttemperatur“ war niedriger: Beweise für verbesserte Thermoregulation und eine Abhängigkeit, die Schutz vor Infektionen verspricht.

Ihre heilklimatische Bewegungstherapie empfiehlt Angela Schuh anstelle eines eintönigen Trainingsprogramms auf dem Fahrrad-Ergometer besonders für die Rehabilitation von Herzpatienten. Diese erleben drei bis vier Wochen lang Klima und Landschaft mit einer Gruppe, statt

*Gruß aus
Südtirol
Südtirol*



**Gut
beschirmt auf sanften
Höhen**

Todtmoos im Südschwarzwald ist mit seinem ausgewogenen Klima »kurfreudlich« das ganze Jahr über. Dichter Wald bietet Schatten an heißen Sommertagen und Schutz vor kalter Winterluft. Einige Wanderwege sind nach Länge und Steigung genau vermessen. Wie in jedem heilklimatischen Kurort gehört die Aufzeichnung der Sonnenscheindauer auch hier zum meteorologischen Meßprogramm



Küste und Inseln

Verringerte Tages- und Jahresschwankungen von Lufttemperatur und Luftfeuchte, Seesalz-Aerosole in der Luft, kräftiger Wind, intensive Sonneninstrahlung

Belastend kann sein: hohe Windgeschwindigkeit

Schonend oder entlastend: Luftreinheit, erhöhter Wasserdampfgehalt, Seesalz-Aerosole

Stimulierend wirken: erhöhte Abkühlungsreize, verstärkte Sonneneinstrahlung

Heilanzeichen: Atemweg-Erkrankungen, niedriger Blutdruck, Allergien, Ekzeme und Akne; Frauenleiden, Bronchialasthma, Entwicklungsstörungen bei Kindern, allgemeine Abhärtung und Genesung

allein auf dem Gerät zu strampeln, in einem Raum, in dem womöglich noch der Schweißgeruch der Vorstrampler hängt. „Die Leistungsbereitschaft der Patienten ist höher“, argumentiert die 31jährige Forscherin, die heute am Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie der Universität München arbeitet. „Im Gelände sind sie stärker motiviert.“

Für Angela Schuh ist Klimatherapie nicht einfach ein Naturheilverfahren, sondern „steht auf den Schultern der Schulmedizin“. Trotzdem hört sie oft herablassende Kommentare von Kollegen: „Viele Ärzte sagen: ‚Was ist das schon, man geht spazieren und friert dabei ein bißl‘. Deshalb hatte ich den Ehrgeiz, hieb- und stichfest zu arbeiten.“

Im Berchtesgadener Land leitet der 37jährige Arzt Josef Lecheler das „Asthmazentrum Jugenddorf Buchenhöhe“, in dem asthmakranke Kinder und Jugendliche über lange Zeit behandelt werden. Er widmet sich angesichts der Zunahme von allergischem Asthma vor allem dem „lufthygienischen Wirkungskomplex“ des Klimas: „Uns interessieren weniger allgemeine Grenzwertdebatten. Wir wollen genau wissen, welche Schadstoff- und Allergenkonzentrationen, beispielsweise wieviel Pollen und Schimmelpilzsporen pro Kubikmeter Luft, für unsere Patienten mit den unterschiedlichen Asthmaformen schädlich sind.“ Aus diesem Grund zeichnet eine Meßstation am Asthmazentrum außer den üblichen Wetterdaten auch Schadstoffe auf, die im Regenwasser gelöst sind.

Noch weiter gehen die Analysen der automatischen Meßstellen von Bad Reichenhall und dem 1600 Meter hohen Predigtstuhl: Hier werden zusätzlich noch gasförmige Stoffe wie Ozon, Schwefeldioxid (SO_2) und Stickoxide (NO_x) sowie 15 weitere im Niederschlag gelöste Substanzen registriert.

Die Klimatherapie, so scheint es, macht sich. Fraglich ist jedoch, ob auch das Klima mitspielt. Das Berchtesgadener Land galt gegen Ende des letzten Jahrhunderts noch als Naturidyll. Alexander von Humboldt, der es auf einsamen Wanderungen durchstreifte, hielt die Gegend neben der von Neapel und Konstantinopel für die schönste der Welt. Heutzutage zählt der Königssee um die 800 000 Besucher in jedem Jahr. Und die kommen nicht mehr in der Pferdekutsche wie weiland Clara Schumann und Ludwig Ganghofer, sondern mit dem Auto.

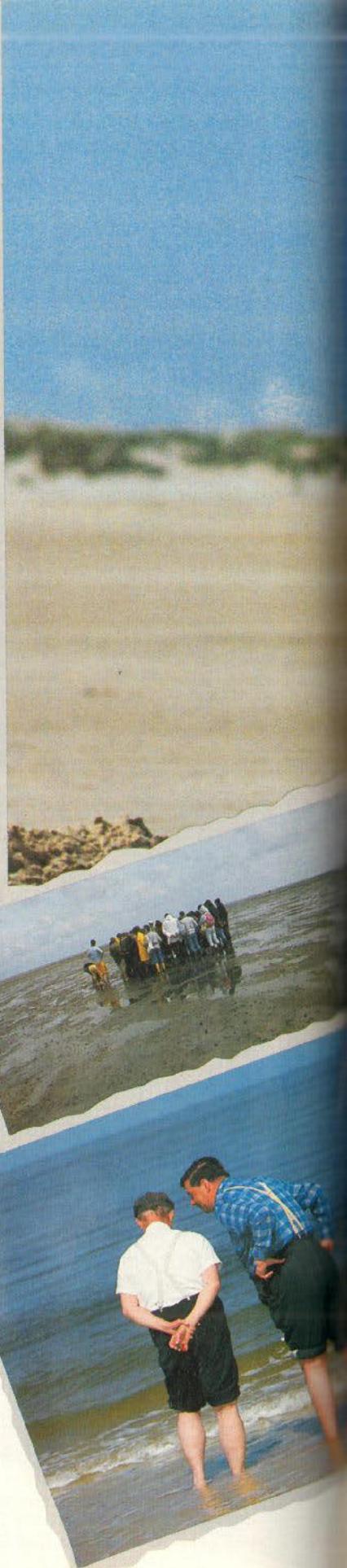
Vor zwei Jahren überprüfte das Wetteramt München in Schönau am Königssee die Luftreinheit gemäß den „Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen“. Zwar wies das Gutachten darauf hin, „daß der Kraftfahrzeugverkehr auch für Berchtesgaden-Schönau eine ernstzunehmende Schadstoffquelle darstellt, deren Auswirkungen auf die Luftqualität im Auge behalten werden sollen“. Gleichwohl bestätigte die Expertise „ohne Einschränkung“ das Prädikat „heilklimatischer Kurort“.

Kurgebiete sind keine isolierten Klimainseln. Das Waldsterben zeigt, daß der Ferntransport von Luftschadstoffen auch vor sogenannten Reinluftzonen nicht haltmacht. Trotzdem sollte eigentlich die Luft in heilklimatischen Kurorten deutlich besser sein als im restlichen Bundesgebiet. Seit Juli 1987 gelten deshalb verschärzte Vorschriften, nach denen die Kurverwaltungen für die Dauer eines Jahres verpflichtet sind, Schwefeldioxid, Stickoxide und staubförmige Partikel in wöchentlichen Zeiträumen zu messen. Die Jahresmittelwerte beispielsweise für SO_2 und NO_x dürfen im Kurbereich 15 und 12 Mikrogramm in einem Kubikmeter Luft jeweils nicht überschreiten. Alle fünf Jahre müssen die Verwaltungen nachprüfen, ob die Grenzwerte noch eingehalten werden.

Wilhelm Schmidt-Kessen hat das für ihn zuträgliche Klima offenbar gefunden. Auf der Terrasse seines Wochenendhauses in den Vogesen lehnt sich der braungebrannte Bioklimatologe entspannt im Gartenstuhl zurück. Was denn für ihn persönlich die wichtigste Eigenschaft eines Heilklimas sei? Der Professor überlegt, lächelt und antwortet: „Heiklima ist ein Klima, das den verlängerten und regelmäßigen Aufenthalt im Freien ermöglicht.“ □



Die Wissenschaftsjournalistin **Charlotte Kerner**, 37, stand Klimakuren früher skeptisch gegenüber. Inzwischen kann sie sich vorstellen, „selbst mal so was zu machen“. Fotograf **Wolfgang Kunz**, 44, hingegen war dem Heiklima zugetan – bis er nach Amrum kam. Dort litten Mann und Ausrüstung unter dem schlechten Wetter dieses Sommers.



Gruß von Amrum



Labsal zwischen Sand und Salz

Das Meer hat seinen eigenen (Klima-)Reiz. Die aerosolhaltige Luft zog schon Heinrich Heine und Otto von Bismarck an die Nordsee. Sie lindert besonders Atemwegerkrankungen. Auf Amrum werden in der »Kinderfachklinik Satteldüne« jugendliche Patienten gegen Asthma behandelt. Die Inhalation zerstäubten Meerwassers gehört zum täglichen Therapieprogramm in der Klinik. Sie besitzt sogar ihre eigene Wetterstation





VON MANFRED PIETSCHMANN; FOTOS: THOMAS STEPHAN

Bedenklich nahe gleiten die gleißenden Sechstausender der Königskordillere am Fenster vorbei, als Flugkapitän Otmar Röder Landeklappen und Fahrwerk seiner Boeing 747 ausfährt. Mit 155 Knoten Geschwindigkeit – 25 mehr als auf Meereshöhe – setzt der Lufthansa-Pilot den Jumbo-Jet auf die Asphaltbahn des Airports von La Paz. Die Landebahn ist mit vier Kilometern gerade lang genug zum Ausrollen und steigt zudem nach

Osten an, was „in unserem Fall ganz günstig ist“, wie Röder meint. Und wenn eine Maschine in westlicher Richtung landet? „Dann muß man eben ein bißchen mehr bremsen“, zwinkert der Pilot mir zu.

„El Alto“, der höchste internationale Verkehrsflughafen der Welt, liegt mit 4100 Metern fast so hoch wie der Gipfel des Matterhorns. Einen Jumbo dort sicher zu landen, ist Arbeit für Spezialisten wie Otmar Röder und seine Crew, die den Jet im peruanischen Lima übernommen haben. Nicht nur wegen des bedrohlich nahen Illimani, des 6400 Meter hohen Hausbergs der bolivianischen Metropole, an dem 1985 eine Boeing zerschellte;



Landen in 4000 Meter Höhe:
Aus Sicherheitsgründen muß der Pilot beim Anflug auf La Paz eine Sauerstoffmaske tragen. In den bolivianischen Anden leben Millionen Menschen – überwiegend Indianer – mehr als drei Kilometer über dem Meer. Ihnen macht der Sauerstoffmangel nicht viel aus

Zug- zwang für die Lunge

HÖHENKLIMA



mehr macht den Fliegern bei Starts und Landungen die dünne Luft zu schaffen, weil es am nötigen Luftwiderstand und den Triebwerken an Leistung mangelt.

Mit zitternden Knien und leicht schwindlig gehe ich hinaus auf die Gangway. Unwillkürlich ziehe ich die Luft tiefer und schneller in die Lunge, das Herz erhöht die Schlagzahl. Was ich auf andren Flughäfen als Reisefieber diagnostiziert hätte, hier hat es eine andere Ursache. Die Höhenluft, präziser: ihre Sauerstoffarmut ist es, was mich schnaufen und mein Herz rasen macht.

Während wir gemessenen Schritte zum Abfertigungsgebäude hinüberge-

hen, schleppen Arbeiter mit olivbraunen Gesichtern Dutzende von Gepäckstücken aus dem Bauch des Flugzeugs. Und das in einer Höhe, auf der selbst trainierten Bergsteigern aus der Alten Welt die Luft weglebt. Worauf beruht die beeindruckende Höhentoleranz der Hochland-indianer?

Auf diese Frage war ich vor einigen Jahren bei eigenen Höhenphysiologischen Experimenten neugierig geworden. Damals hatte ich mir mit Hilfe einer Unterdruckkammer „die Anden ins Labor geholt“ und neugeborene Ratten in wochenlangen Versuchen an eine simulierte Höhe von 5000 Metern gewöhnt. Aber

selbst erfolgreiche Experimente legen oft mehr Wissenslücken bloß, als sie schließen. Und meine Fragen nach der Höhenanpassung von Menschen hatte keine Ratte beantworten können.

Jetzt, vier Jahre später, will ich den Faden in den bolivianischen Hochanden wieder aufnehmen. Gemeinsam mit GEO-Fotograf Thomas Stephan möchte ich sehen, wie die Menschen in diesem extremen Höhenklima leben und mich selbst als Objekt eines Experiments gleichsam als mein eigenes Versuchstier beobachten.

In der ersten Nacht wälze ich mich schlaflos im Bett, die ausgetrocknete

Nasenschleimhäute bluten, das Herz stört mit lautem Pochen beim Einschlafen. Von Schlimmerem bleibe ich glücklicherweise verschont. Manch anderem Ankömmling macht die Höhe mehr zu schaffen. Einige bekommen das lebensbedrohende Lungenödem, bei dem sich die Lungenbläschen mit Wasser füllen. Sie müssen dann in ihrer Not zur Flasche greifen, gefüllt mit Sauerstoff. Ein paar davon hält das Hotelpersonal auf Vorrat, allerdings hauptsächlich für ältere Gäste, die in den ersten Tagen häufig über Kopfschmerz und Brechreiz klagen.

„Ich erlebte einen seltsamen Effekt, welcher durch die Luft oder den Wind verursacht wird, nämlich daß der Mensch seekrank wird, nicht weniger, sondern im Gegenteil sogar schlimmer als auf dem Meer. Ich wurde von derartigem Husten und Brechen geschüttelt, daß ich fürchtete, meine Seele hinauszuwürgen.“ So drastisch schilderte 1590 der spanische Pater

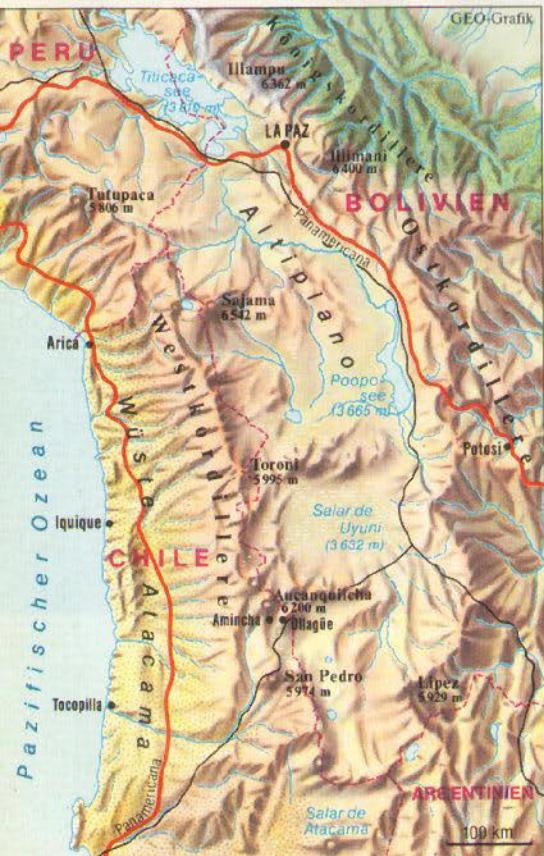
José de Acosta erstmalig die Tortur eines Aufenthalts in den Hochanden.

Freilich konnten die spanischen Eroberer nicht ahnen, daß die von den Indianern als „Puna“ oder „Soroche“ bezeichnete Andenkrankheit auf einen Mangel an Sauerstoff zurückzuführen war. Erst im ausgehenden 18. Jahrhundert entdeckte der französische Chemiker Antoine Laurent de Lavoisier, daß jener Stoff, der in Verbindung mit Schwefel oder Kohlenstoff Wasser sauer mache, im Stoffwechsel von Mensch und Tier eine zentrale Rolle spielt.

Jeder Wanderer im Hochgebirge kann erleben, wie Körper und Gehirn die Arbeit verweigern, wenn nicht genug Sauerstoff vorhanden ist. Wie auch ein Spaziergänger beispielsweise in La Paz, in 3600 Meter Höhe, wo Luft- und Sauerstoffdruck um ein Drittel niedriger sind als auf Meeressniveau. Immer darauf bedacht, nicht außer Atem zu kommen, schreiten wir die leicht ansteigende Hauptstraße hinauf. Links und rechts überholen uns schwatzende „Paceños“ – Einwohner von La Paz – auf dem Weg durch die brodelnde City, deren dünne Luft mehr Abgase als Sauerstoff zu enthalten scheint.

Währenddessen rufe ich mir das komplizierte Programm in Erinnerung, mit dem mein Körper jetzt versucht, dem reichlich zugedrehten Sauerstoffhahn zu wehren. Da ist die heftiger ventilierende Lunge, die einerseits etwas mehr Sauerstoff (O_2) in den Körper hineintransportiert. Gleichzeitig schafft sie mehr Kohlendioxid (CO_2) hinaus, ein sauer reagierendes Gas, das in den Organen als Abfall anfällt. Folglich nimmt der CO_2 - und damit der Säure-Gehalt im Blut ab. Dadurch wiederum nimmt die Sauerstoffbindungsbereitschaft des roten Blutfarbstoffs Hämoglobin in den Erythrozyten zu – jenen Blutzellen, die als Sauerstoff-Taxis zwischen Lunge und Gewebe verkehren. Dieser Effekt wird zwar nach wenigen Tagen durch andere Mechanismen kompensiert, trägt aber zunächst dazu bei, daß trotz geringeren Angebots eine ausreichende Menge Sauerstoff ins Blut gelangt. Zusätzlich unterstützt durch das Herz, das mit erhöhter Blutförderleistung die Erythrozyten zu größerer Eile antreibt, kann der Organismus auf diese Weise binnen weniger Minuten das Schlimmste verhüten: daß nämlich der Sauerstoffdruck in den Organen einen kritischen Wert unterschreitet.

Heute, einen Tag nach der Ankunft, dürfte freilich mein Knochenmark schon damit begonnen haben, mehr Erythrozyten zu produzieren, um nach und nach jene provisorische Abwehrfront zu entlasten. Das hoffe ich jedenfalls auf meinem atemlosen ersten Gang durch La Paz. Die bolivianische Metropole mit rund einer Million Einwohnern ist die höchstgelegene Großstadt der Erde. An den Hängen des Talkessels, der einem riesigen Am-

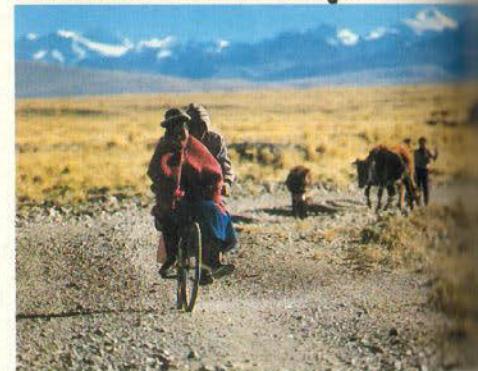


Der „Altiplano“, eine fast 4000 Meter hoch gelegene Ebene zwischen Ost- und Westkordillere, ist seit Jahrtausenden besiedelt. Der nördliche Altiplano verdankt sein für diese Höhe mildes Klima der Äquatornähe und dem wärmespeichernden Titicaca-See. Im kälteren Süden gibt es mächtige Vulkane, an denen Schwefel abgebaut wird



Mit Sack und Pack am Rande des ewigen Eises

Selbst in der dünnen Luft in Großglockner-



... ein entbehrungsreiches Leben. Auch die



Gipfelhöhe ist Fußball für Frauen wie Männer eine willkommene Abwechslung. Lamahirten fristen dicht unterhalb der Schneegrenze . . .



Zubereitung ihres Hirsebreis ist mühsam: Er wird bei dem niedrigen Luftdruck erst viel später gar als auf Meeressniveau

phitheater gleicht, kleben Häuser selbst noch in 3900 Meter Höhe. Anders als bei uns wohnen dort oben jedoch keine wohlhabenden Bürger, sondern „Cholos“, wie die ärmeren Einwohner indianischer Herkunft genannt werden. Sie bezahlen ihre Postkartenansicht vom eisgepanzerten Illimani mit Zittern in kaltem Wind.

Ansonsten hält sich die Höhenluft jedoch an keine soziale Barriere. Sie durchdringt die Häuser von Arm und Reich und verschont keinen Herd: Kartoffeln brauchen fast eine Stunde, bis sie gar sind, weil Wasser in La Paz bei 88 anstatt bei 100 Grad Celsius kocht. Und Kuchen aus europäischen Fertigbackmischungen mißraten kläglich, weil Backpulver bei dem niedrigen Umgebungsdruck den Teig zu schnell auftreibt.

**Einem Indio
schlägt das Herz nicht so schnell
bis zum Hals**

Nur 30 Kilometer von La Paz entfernt liegt unter dem Gipfel des Chacaltaya (5350 Meter) der Welt höchste Höhenforschungsstation, das „Laboratorio de Física Cosmica“. Physiker, die täglich von La Paz heraufkommen, sammeln hier Spuren kosmischer Höhenstrahlung. Vor fünf Jahren, als Höhenmediziner aus La Paz wissen wollten, ob Arbeit in dieser extremen Höhe besondere körperliche Anpassungen hervorbringt, wurden die Physiker und ihre Assistenten selber zum Versuchsstoff. Doch die Ärzte fanden keinen Unterschied zu Berufstätigen in La Paz. Heute gilt als erwiesen, daß – in Grenzen – die Schlaf- und nicht die Arbeitshöhe den Grad der Anpassung bestimmt, weil im Schlaf der Sauerstoffmangel noch verstärkt wird.

Die an der Untersuchung beteiligten Mediziner kamen von einem kleinen Institut, das 1963 von Bolivianern und Franzosen gegründet worden war. Es zählt heute zu den renommiertesten Einrichtungen der internationalen Höhenforschung. Nun endlich lerne ich die Forscher, die ich bislang nur aus der Fachliteratur kannte, persönlich kennen.

„Instituto Boliviano de Biología de Altura, La Paz Bolivia – Alt. 3500 m“ steht auf dem Schild vor einem langen weißen Gebäude auf dem Gelände der medizinischen Fakultät. Vor der Tür wärmen sich ein paar Leute in der Sonne, Patienten offenbar, die aus dem kalten Korridor und Warterraum ins Freie geflüchtet sind. Durch den engen, überfüllten Flur gelangen wir in ein winziges Untersuchungslabor. Unter dem einzigen Fenster steht ein kleiner, verkratzter Schreibtisch eingeklemmt zwischen zahlreichen medizinischen Geräten. Langsam erhebt sich eine grauhaarige Dame mit roten Wangen und kommt lächelnd auf uns zu. „Dra. Hilde Spielvogel“ steht in selbstgestickten roten Buchstaben auf der Brusttasche ihres wei-

ßen Kittels; und dann noch „IBBA“, das Institutskürzel.

Die 53jährige Ärztin ist Deutsche und lebt seit 25 Jahren in Bolivien. Trotz ihrer großen Familie – sie ist mit einem österreichischen Kaufmann verheiratet und hat vier Kinder – arbeitet sie seit 1968 im IBBA und leitet die Abteilung Arbeitsphysiologie. Ihre bolivianischen Mitarbeiter nennen sie schlicht „Doctora Hilde“. „Spielvogel ist zu schwierig für spanische Zungen“, sagt sie.

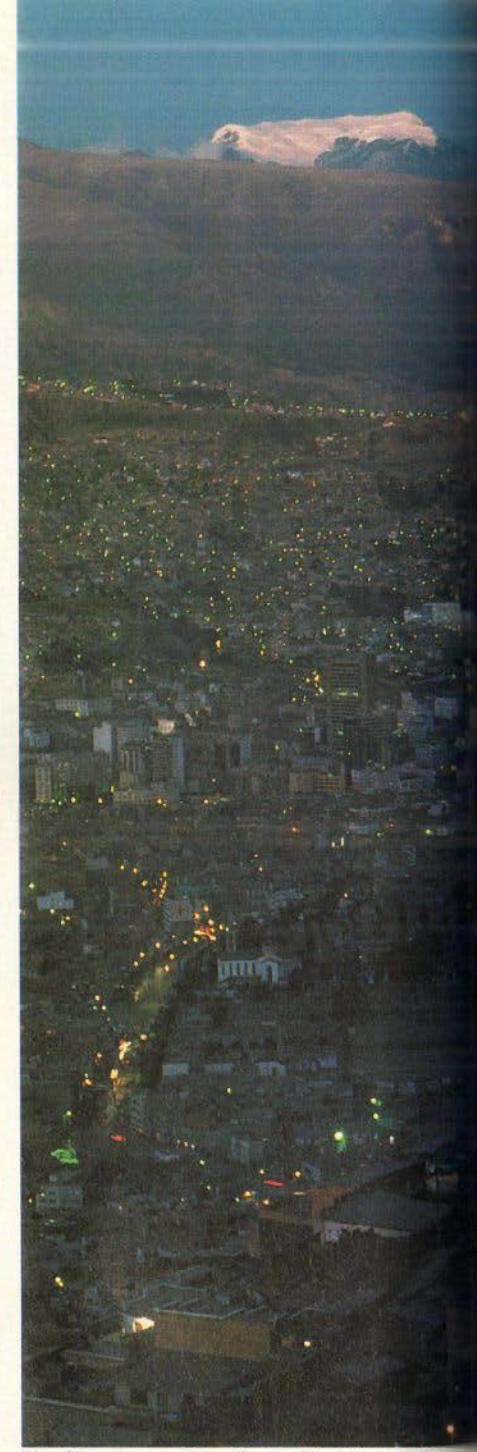
Stolz schaut sich die Forscherin in ihrem vielleicht zehn Quadratmeter großen Labor um: „Man mag es nicht glauben, aber hier untersuchen wir die körperliche Leistungsfähigkeit von Gesunden und Kranken auf dem Fahrrad-Ergometer, messen ihre O₂-Aufnahme und CO₂-Abgabe und das EKG.“ Mit diesen Methoden hat Hilde Spielvogel indianische Sportler aus dem Hochland untersucht und mit Athleten aus dem Tiefland verglichen. Die Laborwerte brachten Erstaunliches zutage: Bei vergleichbarer Anstrengung verbrauchten die Hochlandindianer weniger Sauerstoff und hatten eine geringere Herzfrequenz. Ganz ähnliche Beobachtungen machte sie bei Kindern. „Anscheinend nutzen die Muskeln der Eingeborenen den Sauerstoff besser aus und können so das geringere Angebot tolerieren. Aber wie sie das machen, das ist noch nicht ganz geklärt.“

Schon vor der Geburt, berichtet die Wissenschaftlerin, werden Indios besser als Weiße mit Sauerstoffmangel fertig: Kinder normal genährter Indiofrauen sind bei der Geburt durchschnittlich 200 Gramm schwerer als die von Frauen europäischer Abstammung. Das gilt auch, wenn die europäischen Mütter selbst schon in der Höhe geboren wurden. Nach der Geburt wächst bei Indiokindern die Lunge schneller, selbst wenn, was häufig ist, Mangelernährung die sonstige Entwicklung verzögert. Die größere Lunge behalten Andenindianer ihr Leben lang, selbst auf Meereshöhe.

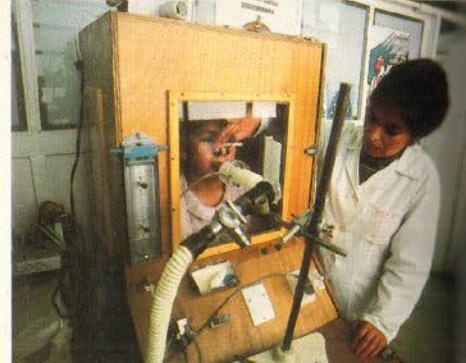
**Wer zu viele
rote Blutzellen hat, muß runter in
tiefere Lagen**

Zwar verstehen Wissenschaftler die Ursachen solcher Adaption noch nicht. Aber Hirten, die ihre Lamas dicht unter der Dauerfrostgrenze auf fast 5000 Meter Höhe weiden, leiden nie an „Puna“. „Ein Lungenödem habe ich bei Indios noch nicht gesehen“, sagt Hilde Spielvogel. „Auch Polyglobulie kommt als Höhenkrankheit nicht vor.“

Dieses Leiden entsteht, wenn der Organismus in seinem Kampf um Sauerstoff über das Ziel hinausschießt. Eines seiner Opfer bekomme ich im Labor von Dr. Enrique Vargas, dem 48jährigen Direktor des Instituts, zu sehen. Ihm gegenüber sitzt ein junger Mann mit bloßem Ober-



Physiker messen kosmische Strahlung auf der

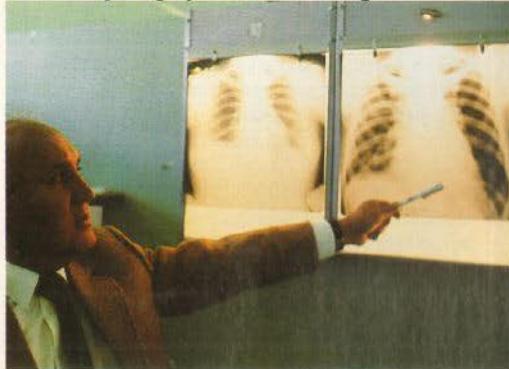


... und Körperfistung von Indios und Weißen



**La Paz:
Lichterstadt am Fuß der
Königskordillere, Freilichtbühne
der Höhenforschung**

5200 Meter hohen Forschungsstation am Chacaltaya. Mit Plethysmograph und Fahrrad-Ergometer testen Mediziner Lungenvolumen . . .



Als Folge von chronischem Höhenstress kann sich die rechte Herzkammer vergrößern

körper: Roberto Borja, ein krasser Fall von Polyglobulie.

Borja ist kein reinrassiger Indio, sondern Mestize. Gesicht und Hände des 33-jährigen Tischlers aus dem Stadtteil El Alto am Flughafen sind blau, seine Haut ist eiskalt und schuppig: Zeichen für schwere Störungen der Durchblutung und Sauerstoffversorgung. „Er hat viel zuviel rote Blutzellen“, erklärt Vargas. Der Atmungsphysiologe greift über den Tisch und zeigt mir den Zettel mit Borjas Laborwerten. Sein Hämatokrit – der relative Volumenanteil der Erythrozyten im Blut – beträgt fast 80 Prozent. Mein eigener hatte am Tag der Abreise in Hamburg bei 48 Prozent gelegen, auf Meereshöhe ein normaler Wert für Männer.

„Wenn der Hämatokrit über 60 Prozent hinausgeht, wird das Blut zu dick. Dann legen sich die scheibenförmigen Blutzellen aneinander, werden wie Münzrollen durch die dünnen Kapillaren geschoben und behindern sich gegenseitig beim Auf- und Abladen des Sauerstoffs“, beschreibt der Arzt das Anpassungsdilemma. „Solchen Patienten kann man selbst mit Blutverdünnung auf Dauer nicht helfen. Sie müssen früher oder später runter in tiefere Lagen.“

Indios müssen der Höhe wegen ihre Heimat in den Hochanden außerordentlich selten verlassen. Im Gegenteil: Körperlich so fit wie andernorts Athleten, werden sie bevorzugt für schwere Arbeit in hochgelegenen Minen angeworben. Erst dort, wo Knochenarbeit, Mangelernährung und Kälte eine teuflische Kombination bilden, macht die Sauerstoffarmut auch den Mineros und deren Familien zu schaffen. „Die Zahl der Frühgeborenen und auch die Säuglingssterblichkeit ist dort enorm hoch“, schildert Hilde Spielvogel die Lebensbedingungen in dem 4800 Meter hoch gelegenen bolivianischen Zinnminen-Campamento Chorolque, wo sie 1978 gemeinsam mit Vargas und Dr. Gerardo Antezana, dem Kardiologen des Instituts, drei Wochen lang Arbeiterfamilien untersucht hat.

Kälte, Staub und dünne Luft machen die Minen zur Hölle

Und die Minenarbeiter selbst?

„Zu der furchtbaren Kälte in den Minen von Chorolque kommt noch der Staub. Die Schutzmasken sind viel zu klein und erhöhen noch die Atemnot. Also nehmen die Mineros die Masken ab und bekommen dann früher oder später eine Staublunge. Dünne Luft zusammen mit Staub – das hält auch die beste Lunge auf Dauer nicht aus.“

NORDCHILE Wir sind auf dem Weg zur höchstgelegenen Mine der Anden, wenn nicht der Welt. Meile für Meile frisst unser Geländewagen den welligen Asphalt der Panamericana. Hin und wieder ein Dorf,

eine Tankstelle, dazwischen nichts als Sand und Salz. Nach 700 Kilometern Straße und Piste erreichen wir unser Ziel inmitten der schneedeckten Vulkane der westlichen Kordillere, dicht an der bolivianischen Grenze.

Eingekeilt zwischen Salzsee und Vulkan liegt da ein Dorf: ein paar Dutzend Hütten, Kirche, Schienenstrang und Bahnhof. „Ollagüe – 3695 m“ steht auf einem abgeblätterten Schild – chilenische Grenzstation für die Strecke La Paz – Antofagasta. Zweimal pro Woche kommt hier der Zug durch: samstags hin, mittwochs zurück. Trostlos wie das Dorf, ist auch die Natur ringsum: Ein paar verdorrte Büschel von „Paja brava“, dem Hartgras der Hochanden, und spärliche, kniehohe Büsche beugen sich im kalten Wind. Sie sind Überbleibsel der Regenzeit im letzten Sommer.

Hier gibt es keinen Sommer, sondern nur den Winter und den bolivianischen Winter

„Einen Sommer gibt es hier überhaupt nicht.“ Medardo Lopez, der Wirt des einzigen Gasts, schlägt den Kragen hoch. „Hier gibt es nur Winter und den bolivianischen Winter.“ So nennen die Einwohner die Regenzeit: bolivianisch, weil Niederschläge immer von Osten aus Bolivien kommen; Winter, weil es nachts friert. Jetzt, im „richtigen“ Winter, ist es trocken und noch kälter. Zwar klettert die Temperatur tagsüber auf plus acht, nachts aber sinkt sie auf minus 30 Grad. An schönen Tagen strahlt der Himmel kosmisch-dunkelblau, blankgefegt vom frischen Höhenwind. Jetzt jedoch hüllt ein schwerer Sturm das ganze Tal in eine milchige Wolke aus Lavastaub und Salz.

Eine Fahrspur führt nach Nordwesten über den Salzsee. Am anderen Ufer liegt das Minen-Campamento Amincha vor dem schneedeckten Aucanquilcha. Mehrgipflig und knapp 6200 Meter hoch, sieht der Vulkan aus wie ein gigantischer Backenzahn. Nur 250 Meter unter seinem Hauptgipfel gewinnen Arbeiter aus Amincha Schwefel im Tagebau – bei einem Luftdruck von etwa 500 Millibar, um gut die Hälfte niedriger als beispielsweise in Hamburg.

Seit sechs Jahren brenne ich darauf, selbst anzusehen, was ich nicht glauben wollte, als ich zum erstenmal von der Aucanquilcha-Mine erfuhr. Damals las ich einen Bericht des amerikanischen Höhenphysiologen Ancel Keys, der 1935 in einer – unter Fachleuten berühmt gewordenen – Expedition ein zehnköpfiges Forscherteam hierher brachte.

Am nächsten Morgen, noch vor Sonnenaufgang, rumpelt ein großer Lastwagen vor unserem Gasts vorbei. Auf seiner Ladefläche kauern vermummte Gestalten, fahren zur Arbeit in die Mine. Eine Stunde später machen auch wir uns auf



Arbeits-höhe 6000: Malucher in der Todeszone

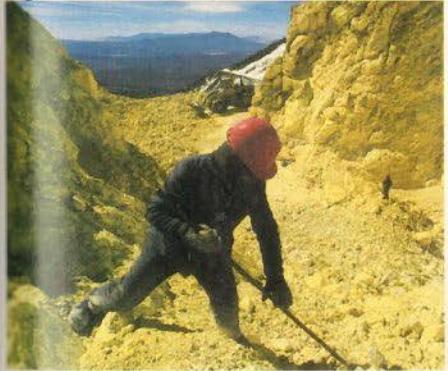
Mit Schweißerbrillen schützen die Mineros ihre



Vier Wächter, die oben bei der Schwefelmine



Augen vor dem in dieser Höhe harten UV-Licht. Bei minus 20 Grad gewinnen sie im Tagebau Schwefel am Gipfel des Vulkans Aucanquilcha.



schlafen, leben damit ständig in größerer Höhe als irgend jemand sonst auf der Welt

den Weg. Der Bürgermeister von Ollagüe hat dafür gesorgt, daß wir die Mine besichtigen können. Denn der Besitzer verbietet Journalisten den Zutritt.

In einer weit ausholenden Spirale geht es um den Vulkan herum bis zu einer Höhe von 5300 Metern. Dort stehen in einer kleinen Senke die zerfallenen, schneeverwehten Ruinen des verlassenen Campamentos Quilcha. Keys und seine Expeditionsteilnehmer hatten das Camp, dessen Bewohner in ihrer Freizeit sogar Fußball spielten, noch in voller Blüte erlebt. Damals galt Quilcha mit seinen 150 Männern, Frauen und Kindern als höchste Dauersiedlung der Welt. „Die Arbeiter“, schrieb Keys in seinem Expeditionsbericht, „steigen zu Fuß zur Mine hinauf und wieder herunter, hinauf in eineinhalb Stunden und herunter in 25 Minuten.“ Heute werden die Mineros von ihren Hütten in Amincha oder Ollagüe abgeholt und im Lastwagen zur Mine gebracht.

Panik auf dem Eis. Beginnt so ein Höhenkoller?

In endlosen Schleifen quält sich unser Jeep den Berg hinauf, bis auf einer Art Terrasse der Weg endet. Überall liegen große Brocken gelblichen Gesteins mit breiten und dünnen Adern aus kristallinem Schwefel. Die Nadel meines Höhenmessers bleibt auf 5920 Meter stehen.

Als wir aussteigen, schlägt uns ein schneidend kalter Wind entgegen. Langsam setze ich Fuß vor Fuß und keuche schon nach 20 Schritten wie nach einem 100-Meter-Spurt. Während hier „unten“ die Arbeit beginnt, will ich nach ganz oben, die restlichen 250 Höhenmeter zum Gipfel zu Fuß schaffen. Alle paar Meter lege ich eine Pause ein, die von Mal zu Mal länger wird. Schließlich trete ich aus einem Firnschneefeld, in das Wind und Sonne bizarre Formen hineinmodelliert haben, auf die spiegelglatte, konvexe Eiskappe, hinter der irgendwo da oben der Gipfel liegt.

Ohne Steigeisen ist hier kein Weiterkommen. Vom starken CO₂-Verlust durch das keuchende Atmen wird mir allmählich schlecht und schwindlig. Plötzlich – beginnt so ein Höhenkoller? – bohrt sich mir die Angst ins Hirn, daß der Sturm mich von der Eiskappe wehen könnte. Vorsichtig steige ich wieder zur Terrasse hinunter.

Dort hat ein riesiger Frontlader vor der klirrenden Kälte kapituliert. Eine kleine Gruppe von Arbeitern in zerschlissener Kleidung macht sich an der versulzten Dieselpumpe zu schaffen. Unter den Minenhelmen verbergen wollene Kapuzen und Schals die Gesichter. Und mit Schweißerbrillen schützen die Mineros ihre Augen vor der hier oben besonders harten UV-Strahlung der Sonne und dem beißenden Schwefelstaub.

Am Ende der Terrasse liegt die eigentliche Abbaustelle. Fünf, sechs Meter hoch stehen Männer in der Wand des halbkreisförmigen Steinbruchs, hebeln mit Brecheisen große Brocken los und lassen sie auf die Terrasse herabpoltern. Dort zerkleinern andere Arbeiter die Stücke mit schweren Hämtern.

Die Männer arbeiten im Akkord, acht Stunden pro Tag; auch am Wochenende fahren Muldenkipper mit Schwefel zu Tal. Einziges Schutz vor Kälte und Staub bietet ein Stollen, der 50 Meter tief in den Berg hineingesprengt wurde und nachts als Unterstand für Fahrzeuge dient. Drinnen wärmen sich Mineros an einem schwarz qualmenden Ölfeuer, in dessen Geruch sich ein schier unerträglicher Gestank nach faulen Eiern mischt: An mehreren sogenannten „Fumaroles“ – Gasquellen im Fels – entweichen Wolken von Schwefelwasserstoff, einem starken Zellgift. Wie hoch die Konzentration dieses Gases im Stollen ist, wird mir erst einige Tage später klar, als ich sehe, daß mein silberner Ohrring von einer schwarzen Schicht aus Silbersulfid überzogen ist.

Primo, der Vorarbeiter, lacht: Ihm würden die Höhe und der Gestank nichts ausmachen. Nur die Knie täten ihm weh, wegen der Kälte. Die anderen wissen nicht einmal, daß die Mine, in der sie arbeiten, vermutlich die höchstgelegene der Welt ist. Fast alle Mineros sind Quechua-Indianer und kommen aus dem Gebiet jenseits der Grenze. Doch viele von ihnen geben den Job nach ein paar Monaten wieder auf. „Sie gehen weg, weil der Lohn so niedrig ist“, sagt Pedro, ein 20-jähriger Lagerarbeiter vom Campamento. Er verdient 10 000 Pesos im Monat – etwa 100 Mark. Die Arbeit oben in der Mine hält auch er nicht aus.

Coca – die »Medizin der Götter«: Je höher es ist, desto mehr wird gekauft

Einer der Mineros hat eine dicke Bakte. Beim zweiten Hinschauen hat die vermeintliche Geschwulst plötzlich die Seite gewechselt. Grinsend öffnet der Arbeiter den Mund und schiebt zwischen grünen Zähnen eine Kugel aus zerkaute Blättern hin und her.

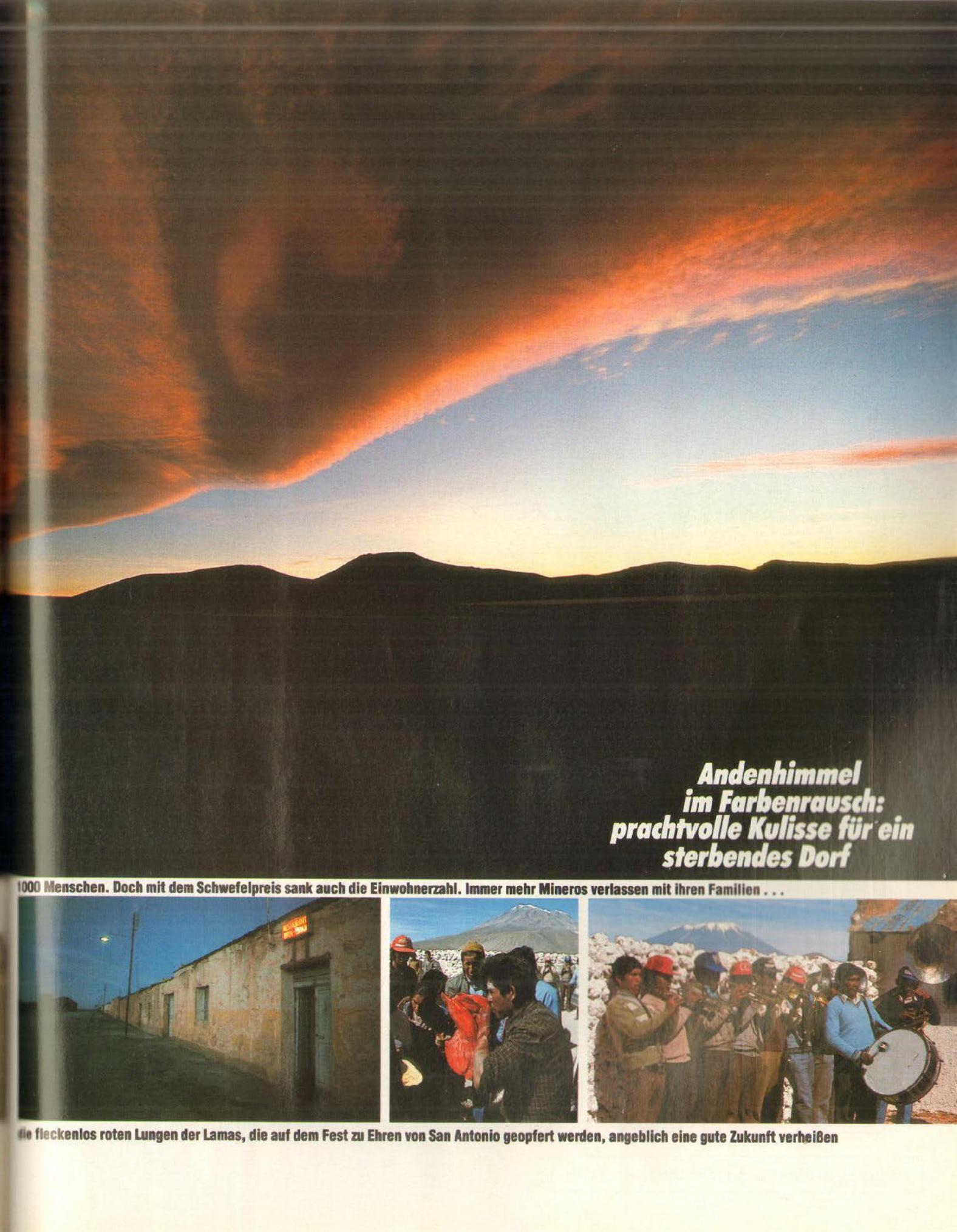
Es ist Coca, von dem die Hochlandindianer sagen, es steigere die Kräfte und mache unempfindlich gegen Kälte, Höhe und Hunger; je höher, desto mehr wird gekauft. Cocablätter sind Durchhaltedroge, Kälteschutz, Vitaminlieferant, Trost und Medizin. Nur eines sind sie nicht: Suchtmittel. Ernährungswissenschaftler fanden zwar heraus, daß die beim Kauen der Blätter pro Tag aufgenommene Kokainmenge beinahe an die tödliche Dosis heranreicht. Anzeichen von Sucht konnten sie indessen in keinem Fall entdecken.

Die Mineros vom Aucanquilcha vertrauen ebenfalls auf die „Medizin der

Zur Blütezeit der Minen wohnten in Ollagüe über

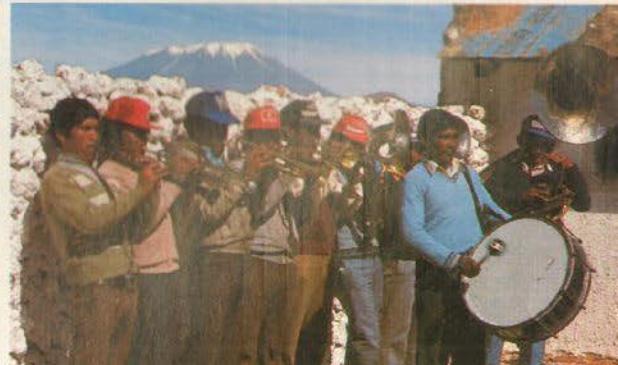


... den 3695 Meter hochgelegenen Ort, obwohl



**Andenhimmel
im Farbenrausch:
prachtvolle Kulisse für ein
sterbendes Dorf**

1000 Menschen. Doch mit dem Schwefelpreis sank auch die Einwohnerzahl. Immer mehr Mineros verlassen mit ihren Familien . . .



die fleckenlos roten Lungen der Lamas, die auf dem Fest zu Ehren von San Antonio geopfert werden, angeblich eine gute Zukunft verheißen

Götter". Sie haben keine andere Wahl. Die Krankenschwester und der Polizist mit Geburtshelferlehrgang, die gemeinsam in Ollagüe die kleine Krankenstation führen, können die Einwohner nur notdürftig versorgen. Und ein Arzt kommt nur sechsmal im Jahr aus dem 200 Kilometer entfernten Calama.

Unweit des Tagebaus steht eine Wellblechhütte. Sie gehört zur Bergstation einer Liftanlage, mit der der Schwefel zu Tal befördert wird. Seit ein paar Wochen stehen Förderkörbe und Hütte leer. Sonst aber hausen hier vier Aufpasser, die, so berichten die Mineros, nur am Wochenende zum Fußballspielen nach Amincha hinuntergehen.

Daß Menschen in dieser Höhe nicht nur arbeiten, sondern auch leben können, verblüffte vor zwei Jahren die Fachwelt. Damals hatte John West, der amerikani-

sche „Papst“ der Höhenmedizin, die Mine besucht. Er präsentierte die vier Aufpasser als Menschen, die „in einer weit größeren Höhe leben als irgend jemand sonst auf der Welt.“ Wests Enthusiasmus ist begründet, denn die Hütte am Lift liegt bereits in der sogenannten Todeszone: Etwa ab 5500 Meter Höhe erholt sich – so ein Dogma der Höhenmedizin – der Körper nicht mehr, verlieren Menschen, selbst wenn sie keinen Finger rühren, an Substanz und Gewicht.

Die Aufpasser vom Aucanquilcha haben das Dogma in Frage gestellt. Eine Erklärung für ihre Anpassungsfähigkeit hat die Wissenschaft indes bis heute nicht pa-

rat, die Untersuchungen an den vier Männern harren noch der Auswertung. Lediglich der Hämatokrit des Blutes wurde bislang schon ermittelt. Doch der ist mit 61 Prozent nicht einmal ungewöhnlich hoch.

Zurück in La Paz frage ich Hilde Spielvogel, ob Andenindianer ein „Höhen-Gen“ besitzen. Die Physiologin schmunzelt: „Bisher hat es noch keiner gefunden.“ Doch die Hinweise auf eine genetische Komponente der Höhenanpassung werden zahlreicher. Fast täglich erleben die Forscher in La Paz, daß Indios „das gewisse Etwas“ haben, ohne dies mit meßbaren Faktoren hinreichend erklären zu können.

Wenn auch der Beweis für eine genetische Komponente der Höhentoleranz noch aussteht – eines ist gewiß: Die Nachkommen der spanischen Eroberer haben die Anpassungsleistung der Indios in mehr als vier Jahrhunderten nicht erreicht. Ganz zu schweigen von Höhen-Touristen wie mir. Zwar haben sich meine roten Blutzellen nach drei Wochen Andenaufenthalt in angemessener Weise vermehrt: Als Hilde Spielvogel die Laborzentrifuge mit meinem Blut beschickt, ergibt sich ein Hämatokrit von 55 Prozent. Doch mein „Gipfelsturm“ auf der Eiskappe des Aucanquilcha hat mir deutlich gezeigt, welch enge Anpassungsgrenzen einem Hochgebirgswandерer wie mir gesetzt sind.

Selbst „Doctora Hilde“ macht die Höhe nach einem Vierteljahrhundert noch zu schaffen, freilich auf ganz eigene Art. Als sie im Gespräch nicht nach Atem, sondern nach Begriffen ringt, gesteht sie lachend ihre ganz persönliche Höhenkrankheit: „Wortfindungsstörungen. Wenn ich auf Meereshöhe bin, sind die weg. Unten funktioniert mein Gehirn einfach besser.“ □

Tips für Gipfelstürmer

Bergsteigen im Himalaya ist Schwerstarbeit in extrem dünner Luft. Höhenrausch, Lungen- und Hirnödem bedrohen das Leben des Alpinisten, wenn er sich nicht mindestens zwei bis drei Wochen lang allmählich akklimatisiert. Ab 5500 Meter Höhe ist keine Erholung mehr möglich, eine weitere Anpassung daher sinnlos. Gipfelstürmer, die höher hinaus wollen, müssen die sogenannte Todeszone so schnell wie möglich wieder verlassen.

Eine Zunahme der Sauerstofftransportierenden Blutzellen – wohl die wichtigste Höhenanpassung – betrachten die ärztlichen Betreuer der Bergsteiger paradoxe Weise mit Sorge. Sie macht das Blut dick, zumal der Körper gleichzeitig Wasser ver-

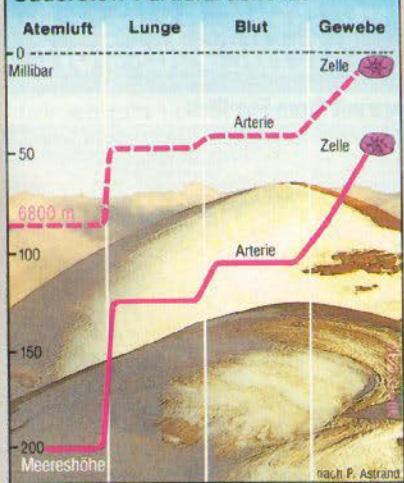


Kurz vor dem Gipfel des Mount Everest: Peter Habeler, fotografiert von seinem Team-Kollegen Reinhold Messner

liert – äußerlich erkennbar am ausgemergelten Gesicht und hochkonzentrierten Urin. Allein schon beim Atmen der kalten und trockenen Höhenluft gehen große Mengen Wasserdampf

verloren. Diktes Blut zirkuliert nur mühsam in den Adern und verursacht Gefäßverschlüsse und Erfrierungen. Deshalb müssen Extrembergsteiger Unmengen an Flüssigkeit trinken – weit über jedes Durstgefühl hinaus. Manche Expeditionsärzte verdünnen sogar das Blut ihrer Schützlinge mit Plasma-Ersatzstoffen. Um die Wasserbilanz zu kontrollieren, messen Extrembergsteiger ihre tägliche Urinmenge. Sie sollte einen Liter nicht unterschreiten. Medikamente können die Höhenanpassung nicht beschleunigen. Wie schnell und gut sich Bergsteiger akklimatisieren, hängt von ihrem Gesundheits- und Trainingszustand ab, aber auch von ihrer Empfindlichkeit gegenüber Höhe. Physiologen vermuten als Ursache für die unterschiedliche Bewältigung von Höhenstress unter anderem eine individuelle Empfindlichkeit der Chemorezeptoren, die den Sauerstoff- und Kohlendioxid-Gehalt des Blutes registrieren.

Sauerstoff-Partialdrucke in:



Die Sauerstoffkaskade: Kleinere Partialdruckverluste an Sauerstoff in Lunge, Blut und Gewebe sind Merkmale einer erfolgreichen Höhenanpassung

HAMBURG 2.6.87: HK=48%

LA PAZ 22.6.87: HK=55%

Das Portrait einer Höhenanpassung: Die beiden Hämatokrit-Röhrchen zeigen nach drei Wochen Andenaufenthalt eine deutliche Zunahme der roten Blutzellen. Angepaßt hatte sich der Physiologe und Wissenschaftsjournalist Dr. Manfred Pietschmann, 38. Er reiste als sein eigenes „Versuchskaninchen“ nach Bolivien und Chile, begleitet vom Fotografen Thomas Stephan, 30, dem in 6000 Meter Höhe die Last seiner 30 Kilo optische Ausrüstung doppelt schwer vorkam. Einen großen Anteil am Gelingen dieser Reportage hatte Felipe Sangiñs, 39, aus La Paz. Er begleitete die Reporter als Übersetzer und Manager.



GROSSE REPORTAGEN...



Aus GEO: Maori auf Neuseeland.
Nur noch für Touristen traditionelle
Muster aufs Gesicht gemalt.

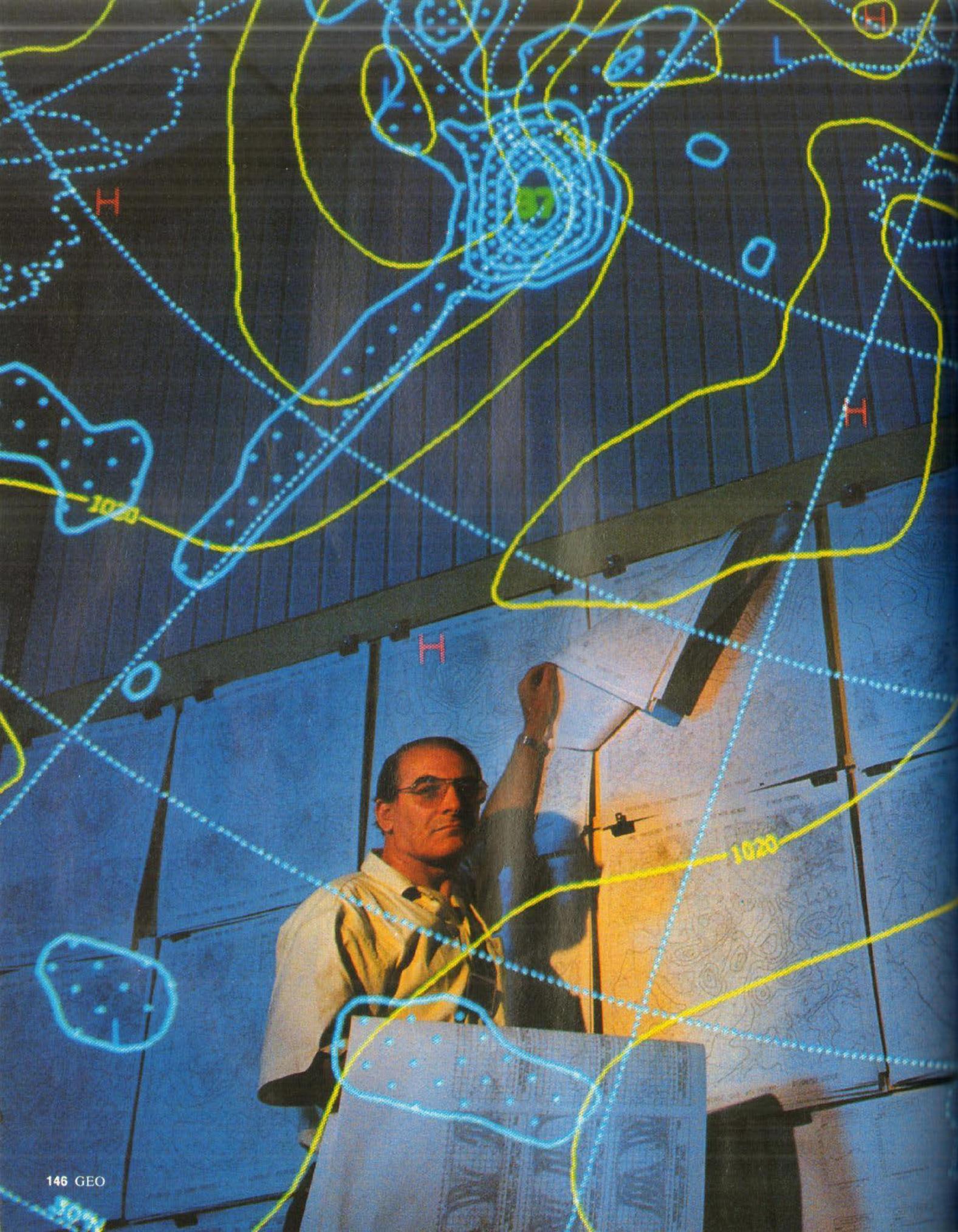


Große Reportagen aus
GEO:

Haben Sie Interesse, mehr darüber zu erfahren? GEO lädt Sie ein, jetzt kostenlos eine aktuelle Ausgabe anzufordern. Das große Reportage-Magazin lässt Sie miterleben, mit dabei sein, wo faszinierende Ereignisse das Bild der Erde prägen. 7 Reportagen

erarbeitet die Redaktion für eine GEO-Ausgabe. Jede ist 20, 30 Seiten lang. Fordern Sie ein aktuelles Heft zum Kennenlernen an. Als Geschenk dazu 4 GEO-Farbdrucke: die 900 Jahre alte Bavaria-Buche im Wandel der Jahreszeiten. Jedes Motiv 21x15cm groß.

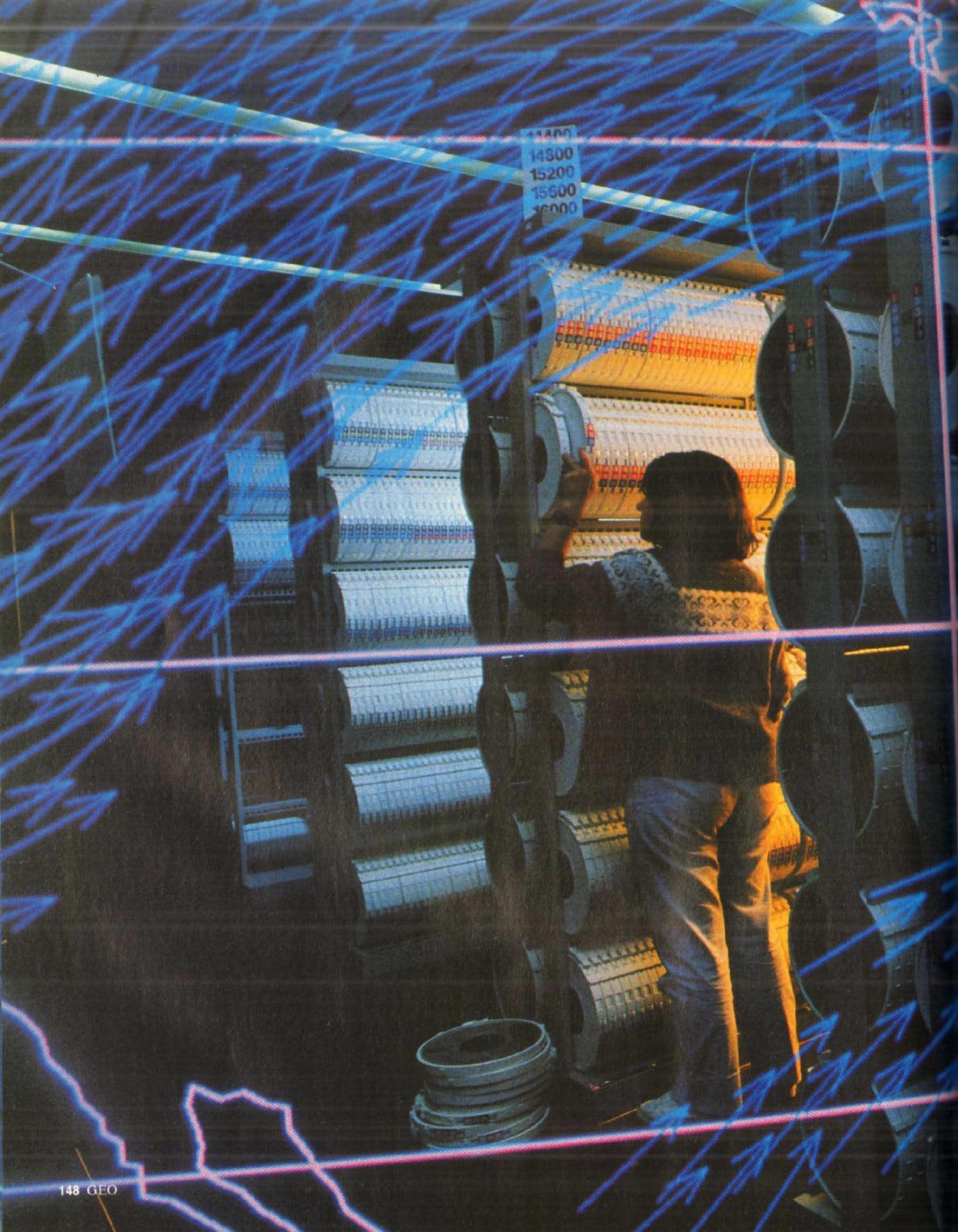
Postkarte (Seite 163) noch heute abschicken.

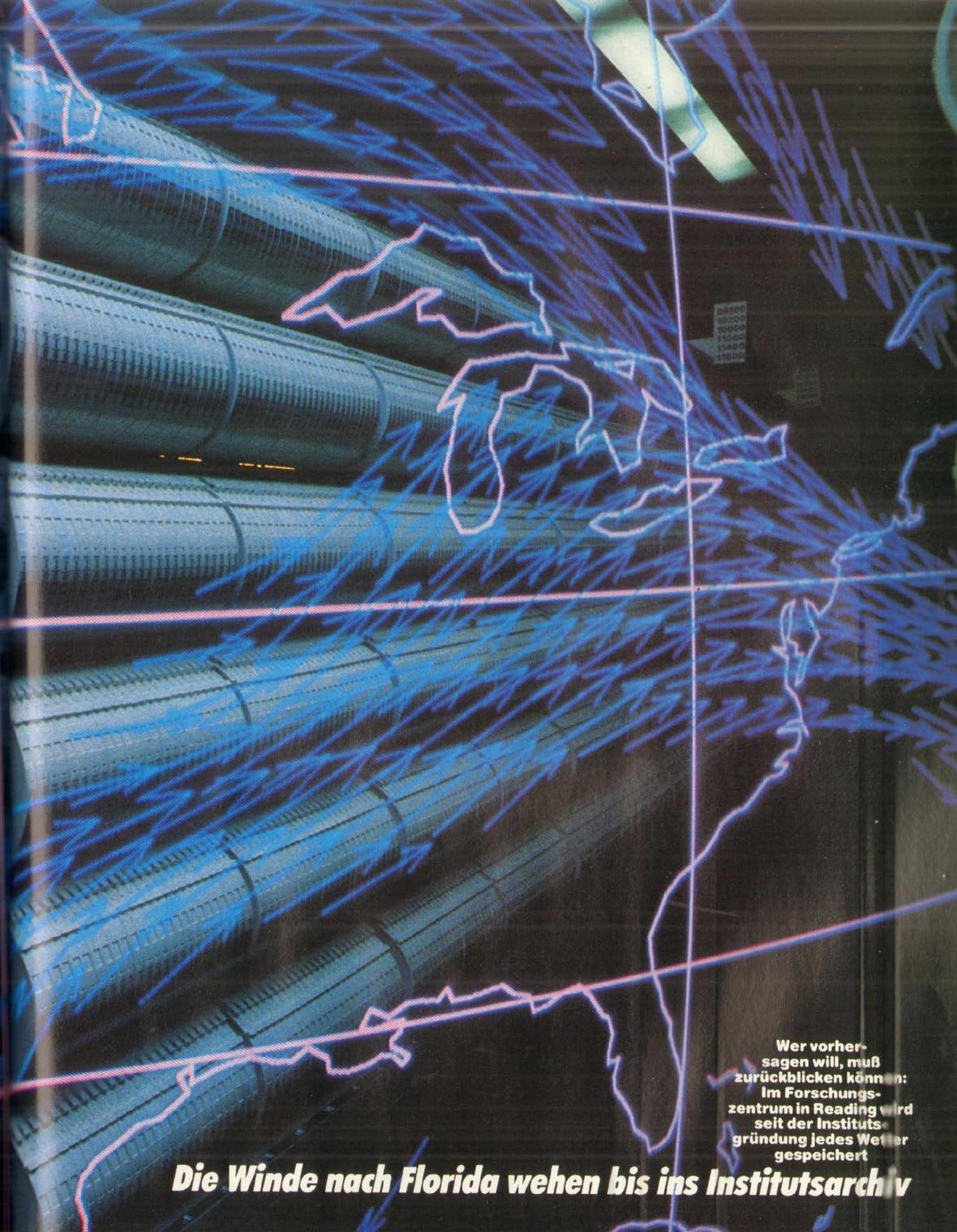




Sie blicken in die Zukunft des Wetters, immer weiter, immer präziser. Freilich sind Meteorologen keine Hellseher aus Eingebung, die Güte ihrer Prophezeiungen hängt ab von der Leistungskraft ihrer Computer. Im führenden Wettervorhersagezentrum der Welt in Reading bei London werden bereits regelmäßig Zehntage-Prognosen errechnet

Propheten mit 800 Megaflops





Die Winde nach Florida wehen bis ins Institutsarchiv



Täglich fließen
rund 80 Millionen Wet-
terdaten aus 9000
Beobachtungsstationen
rund um den Globus
in das »Hirn« des Read-
inger Instituts.
Der »Cray«-Computer
aktualisiert damit
ständig ein weltweites
Wettermodell

Datenfutter aus aller Welt für den Super-Rechner



G

reat Windfield« hatte drei Millionen Dollar in Terminkontrakte an der Kakaobörse investiert. „Die Ernte wird ein Desaster“, prophezeite er zuversichtlich. „Erst Regen, dann die Schwarzfäule, und wir haben den Markt im Sack.“ Wenn es in Ghana regnet, dann steigt auf den Kakaomärkten von London und New York der Preis für Terminkontrakte.

Es regnete nicht. Die Ernte kam schadlos ein. „Great Winfield“, ein im Boom der sechziger Jahre reich gewordener Spekulant an der Wall Street, verlor die Hälfte seines Einsatzes.

Heute wird es Spekulanten, die aufs Wetter bauen, leichter gemacht. Sie können sich eine Faksimilemaschine in ihr Büro stellen, aus der jeden Morgen Wetterkarten für die nächsten zehn Tage tickern. Wetterkarten auch für Ghana, wenn der Kunde das wünscht. Das Wetter ist berechenbar geworden – berechenbarer zumindest, so versichern die Meteorologen, als Börsennotierungen.

Ein halbes Dutzend Zentren gibt es heute in der Welt, die, mit Supercomputern bestückt, die Stürme und Wolkenbrüche, die Dürreperioden und Kälteeinbrüche der näheren Zukunft vorauskalkulieren. Das führende Institut dieser Art steht in Reading, einer englischen Stadt, die sich zum Herzstück einer „High Tech Area“ im Westen Londons entwickelt hat.

Wie eine Geheimdienstzentrale von der Außenwelt abgeschirmt, versteckt es sich hinter hohen Bäumen im Shinfield Park. Nur ein kleines Hinweisschild mit dem Buchstaben ECMWF weist den Weg zum „European Center for Medium-Range Weather Forecasts“. Videokameras beschatten die Einfahrt, ein uniformierter Sicherheitsmann nimmt die Besucher in Augenschein. Eine

Schranke hebt sich. Die Eingangstüre in das nüchterne Gebäude ist durch eine Doppelschleuse gesichert. Was macht das Wetter so geheim?

„Wir sind ein europäisches Institut“, erklärt Norbert Kreitz beinahe entschuldigend, als er mit einer Codekarte die Türen zu der Computerhalle öffnet, dem mehrfach gesicherten Herzstück des Instituts. Europäische Einrichtungen gelten immer als Sicherheitsrisiko, besonders in England. Wichtiger noch: In der Computerhalle steht eine Cray X-MP/48, eine der schnellsten Rechenmaschinen, die es gibt. 800 Millionen Rechenoperationen (800 Megaflops) könnte sie pro Sekunde für kurze Zeit bewältigen – im Dauerbetrieb werden ihr 300 Megaflops entlockt. Die Amerikaner machen aus Angst vor High-Tech-Spionen Exportlizenzen für ihre Cray-Computer von strikten Sicherheitsvorkehrungen abhängig. Doch „Geheimnisse“, so versichert Kreitz, „gibt es bei uns nicht“. An dem europäischen Institut ist neben fast allen westeuropäischen Ländern mit Jugoslawien auch ein sozialistischer Staat beteiligt.

Der Physiker Norbert Kreitz kommt aus dem Ruhrgebiet. Zu Computern hat er ein beinahe persönliches Verhältnis. Er spricht von der „herrischen Persönlichkeit“ der Cray und von der „Schizophrenie“, an der einer der ihr vorgesetzten Rechner leidet. Kreitz ist zuständig für die Kundenberatung. Das



Expertise aus dem Ruhrgebiet: Der Physiker Norbert Kreitz berät die Kunden der mittelfristigen Propheten

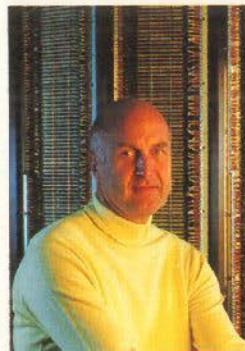
Produkt, das vom Institut hergestellt wird, ist die mittelfristige Vorhersage – eine Propheteiung des Wettergeschehens jeweils der nächsten zehn Tage. Verbraucher sind die „member states“, die 17 am ECMWF beteiligten Länder, deren nationale Wetterämter über Standleitungen am Zentrum hängen.

Eine Hochglanzbroschüre erläutert das Programm des Instituts. Dazu gehören „die Entwicklung numerischer Verfahren für mittelfristige Wettervorhersagen, die routinemäßige Erstellung und Verbreitung solcher Vorhersagen und die wissenschaftliche und technische Forschung zur Verbesserung der Prognosen“. Norbert Kreitz fasst das so zusammen: „Vorn etwas Meteorologie, hinten etwas Meteorologie, zwischendrin eine Menge angewandte Physik. Das Labor ist die Atmosphäre, und die Cray ist der Reaktor.“

Vom Wetter und von der Wettervorhersage haben viele der hochspezialisierten Physiker, Mathematiker und Informatiker am Institut so wenig Ahnung wie du und ich oder der Spekulant an der Warenterminbörse. „Die meisten von uns“, behauptet Gilles Sommerveld-Klein, Leiter der Abteilung, die das Computermodell für die Prognosen weiterentwickelt, „können nicht einmal eine Wetterkarte richtig lesen.“ Mit der Meteorologie kommen viele Institutsangestellte nur in Berührung, wenn sie morgens vor Arbeitsbeginn einen Blick auf die Vorhersagen werfen – Wind- und Wetterkarten, Höhenkarten und vielfarbige Computerausdrucke für die nächsten zehn Tage, die in der Eingangshalle aushängen.

Die Vorhersage – das ist ein Multimillionen-Zahlenspiel, an dem am Ende Menschen kaum noch beteiligt sind. Unsichtbar und unfühlbar flitzen Megabits und Gigabytes über Datenkanal-Kopplungen und Hochgeschwindigkeits-Rechnerverbundnetze, durch Netzwerk-Adapter und Vorechner-Schnittstellen in die Batterie der Vorechner und Zwischenrechner, in die Super-Cray und aus der Super-Cray in die Cray-Gateway, und aus der Gateway in die IBM 4341 M12 . . .

Ein geräuschloses Rasen von 80 Millionen Informationsbits, die täglich von etwa 9000 Wetterstationen in aller Welt über die Sammelstellen Offenbach und Bracknell/England hereinströmen – von Satelliten, Wetterstationen, Radiosonden, aus Wetterbeobachtungen von Piloten,



Seit elf Jahren in Reading: Der Meteorologe Klaus Arpe verbessert als „Systemkritiker“ das Vorhersagemodell

Lotsen oder Seeleuten. 800 Millionen Gleitkommarechnungen pro Sekunde, neuneinhalb Nanosekunden Taktzeit, Massendatenhaltung auf Kartuschen. Und im Keller leiten Kühlmaschinen die Wärme aus den rasenden Rechenmaschinen ab.

Menschen scheinen hier fehl am Platz. Bei manchen Entscheidungen jedoch sind die Maschinen ratlos. Da ist dann menschliches Einfühlungsvermögen nötig. Wie steht es etwa mit dem besoffenen Seemann im Nordatlantik, der einen rapiden Druckabfall auf dem Barometer seines vorsintflutlichen Bananenpots meldet? Hat der Alkohol seine Sinne vernebelt? Hat er sich nur verlesen? Oder stimmen vielleicht doch seine Angaben, die so ganz und gar nicht in das Mosaik passen wollen, das die IBMs und VAXs und Crays aus all den anderen Daten zusammengefügt haben?

Das ist dann einer der Momente, in denen ein Mensch in die laufende Vorhersageberechnungen in Reading eingreift. Wenn der Computer

die aus dem Rahmen fallende Seemanns-Messung erkannt hat, erscheint sie auf einem Bildschirm im „Met Operations Room“. Das ist der einzige Raum im ganzen Institut, der an eine Wetterstation erinnert. Die Wetterkarten und Diagramme an den Wänden dienen allerdings oft nur dazu, Besuchern die Arbeit hier zu erklären. Wichtiges – wie die unsinnig scheinende Messung auf dem Nordatlantik – erscheint auf dem Bildschirm.

Der Mann am Monitor holt den diensthabenden Meteorologen. Der muß nun entscheiden, was mit dem abweichenden Meßwert geschehen soll. Soll er ihn einfach verworfen? Oder stimmen die Angaben des Seemanns vielleicht doch? Für einen geübten Analytiker ist das meistens kein Problem. Manchmal kann seine Entscheidung zu einer Entscheidung über Leben und Tod werden. Im letzten Winter übersah die Vorhersage ein sich plötzlich verstarkendes Sturmtief vor Schottland, weil bei der Analyse die entscheidende Information fälschlicherweise herausgefallen war. In dem nicht prognostizierten Sturm ertranken zwei Fischer.

„Eine Vorhersage ist eben nur gut, wenn sie auch zuverlässig ist“, bemerkt der Physiker Kreitz. Er hatte von dem folgenreichen Sturmtief erst durch das Gerede auf dem Gang erfahren.

Zuverlässigkeit ist das Problem jeder Wettervorhersage. Je längerfristig die Prognose ist, desto größer wird die Unsicherheit. Deswegen ist Klaus Arpe oft richtig niedergeschlagen. Der Deutsche, eingelernt Meteorologe, arbeitet seit elf Jahren am Institut. Sein Job ist es, Systemkritik zu üben. „Modelldiagnostik“ heißt das. „Damit macht man sich nicht sehr beliebt“, gibt er lächelnd zu verstehen, „weil man ja immer nur an allen herumkämt.“

Im letzten Winter, erinnert er sich, hatte sich über Westeuropa ein „blocking“ festgesetzt, ein „Omega mit kalten Füßen“, wie es im Meteorologenjargon genannt wird. Ein Hochdruckgebiet über Mitteleuropa blockierte die übliche Zugbahn der von Westen heranrückenden Tiefdruckgebiete.

Die Strömungen nahmen deshalb eine meridionale Richtung: Nordströmungen ließen beinahe ganz Südeuropa im Schnee versinken. Seen und Flüsse froren zu, in weiten Teilen Europas brach das Verkehrsnetz tagelang fast völlig zusammen.

Der Computer versprach ein Ende des Kälteeinbruchs in fünf Tagen. Am nächsten Tag prognostizierte er erneut ein Ende in fünf Tagen, am darauffolgenden Tag wieder dasselbe. „Ich wußte vorher“, sagt Klaus Arpe, „daß wir in einer solchen Situation nicht sehr gut sind. Das aber war richtig zum Verzweifeln.“

In den elf Jahren am Institut hat er aber auch erlebt, daß sich die Vorhersagen immer weiter verbesserten. Er

Arpe lange gekämpft hat, ist der sogenannte Strahlstrom über Europa. Der verschob sich im Modell unaufhörlich nach Osten, obwohl er hier in der Wirklichkeit langsamer wird. Modellmäßig betrachtet war der Strahlstrom einfach nicht zu stoppen. Erst kürzlich gelang es, Abhilfe zu schaffen. Die Modellphysiker berücksichtigten die Gebirge, derentwegen sich wellenförmige Störungen nach oben ausbreiten und die Strahlströme beeinflussen. Auf diese Weise greifen sogar die Rocky Mountains in das Wettergeschehen über Mitteleuropa ein – wenn auch mit einer Woche Verspätung.

„Manchmal wissen wir selbst nicht, woher eine Verbesserung kommt“, sagt Klaus

die an der Wetterbildung beteiligt sind: die Drehung der Erde, die Erwärmung am Äquator und die Abkühlung an den Polen, die zeitlichen Änderungen der Zustandsgrößen von Wind, Luftdruck, Temperatur und Feuchte. Und trotzdem schlüpfen viele lokale Wetterereignisse immer noch durch die Maschen des weltweiten Netzes, der Mistral im französischen Rhône-Tal zum Beispiel. Um jedes Detail zu erfassen, fehlen bislang noch die Rechenkapazitäten – trotz Super-Crays und VAXs und IBMs.

Klaus Arpe lächelt. Er spricht von dem Modell wie von einem großen unbekannten Wesen. „Da hat sich schon mancher gewundert“, sagt er, „was da passiert,



„Vorn etwas Meteorologie, hinten etwas Meteorologie, zwischendrin eine Menge angewandte Physik“: In der Computerhalle, fernab jeden Wetters, versieht die „Operator-Crew“ ihren Dienst

Kein Platz mehr für Frösche im Glas

hat daran mitgearbeitet, daß heutige Fünf-Tage-Vorhersagen die durchschnittliche Güte von Zwei-Tage-Prognosen zu Anfang der siebziger Jahre erreicht haben. Aber die Vorhersagegüte ist nur ein Durchschnittswert, der „Korrelationskoeffizient“ von Vorhersage und tatsächlichem Wettergeschehen.

Das Computermodell, mit dessen Hilfe das Wetter berechnet wird, hat immer noch viele systematische Fehler, vor allem, wenn es um höhere Luftschichten geht. „Da oben gibt es viele Probleme“, sagt Klaus Arpe, „von denen ich selbst nie gedacht habe, daß sie existieren.“

Ein systematischer Fehler „da oben“, mit dem Klaus

Arpe „Es gibt keinen erkennbaren physikalischen Grund, aber die Vorhersage ist eindeutig besser geworden.“

Das Modell ist so umfassend und kompliziert, daß kaum einer im Institut es noch in seiner Gesamtheit überblickt. Das zugrunde liegende Computerprogramm besteht aus über 100 000 Computer-Instruktionen. Die Atmosphäre ist darin in 19 Schichten gegliedert, die wie Schalen den Globus einhüllen. Jede Schale wird durch Wellenfunktionen beschrieben. Ein – global betrachtet – engmaschiges Gitternetz, das die Erde einhüllt.

Mathematische Gleichungen repräsentieren im Modell die physikalischen Vorgänge,

wenn er etwas eingibt – wie das herauskommt!“

Und dann kommt er ins Schwärmen, denkt an die Tage zurück, als alles anfing. Als die mittelfristige Wettervorhersage in den Kinderschuhen steckte: „Das war natürlich schön. Da hat jede Verbesserung einen ganz großen Fortschritt gebracht. Jetzt müssen wir kleine Brötchen backen. Ich glaube nicht, daß es den Durchbruch noch geben wird. Denn wenn wir annehmen, daß wir mit unserer Analyse immer näher an die Wirklichkeit kommen, bedeutet das, daß immer weniger Fehler auftreten, die wir eliminieren können.“

Darum arbeiten der Engländer Tim Palmer und der

Italiener Stefano Tebaldi im Institut nun an einem neuen Konzept. Sie wollen bei jeder Vorhersage eine Prognose über deren Güte mitliefern. „Je weiter man sich mit den Vorhersagen in die Zukunft vortastet, um so wichtiger wird das“, sagt Tim Palmer.

Die Experten in Reading experimentieren heute auch schon an der Grenze des theoretisch Machbaren: mit 30-Tage-Prognosen oder „Klimavorhersagen“, wie manche Meteorologen sie nennen. Ein kleiner Analysefehler, der sich schon kurzfristig fatal auswirken kann, bewirkt über längere Zeiträume oft völlig verrückte Wetterbilder. Wenn man heute über dem Pazifik etwas übersieht, kann sich das auf die europäische Wettervorhersage der nächsten Wochen auswirken. Das Wetter ist ein weltweites Phänomen. Die Atmosphäre, erklärt Tim Palmer, sei ein höchst instabiles System.

Die Meteorologen wollen nun versuchen, stabile von weniger stabilen Strömungsmustern zu unterscheiden. Etwa, indem sie die Ausgangswerte „verrauschen“ und leicht voneinander abweichende Wetterbilder durch den Computer schicken. Sie hoffen auf diese Weise beobachten zu können, wie sich unterschiedliche Ausgangslagen in der Analyse auswirken. Kippt ein Strömungsmuster um? Oder bleibt es stabil?

Freilich röhren solche Versuche an ein Gebiet, das, so Tim Palmer, bislang theoretisch-meteorologisch noch ziemlich unerforscht ist – die systemeigene Stabilität der Großwetterlagen. Die Umstellung einer Großwetterlage zur nächsten – wie die von einer „zonalen Strömung“ zu einem „blocking“ – ist schwer vorherzusagen. Erst wenn solche Vorhersagen zuverlässiger werden, gewinnt auch die mittelfristige regionale Prognose an Sicherheit. „Vielleicht“, gibt Palmer dann zu bedenken, „müssen wir uns damit abfinden, daß es nicht nur eine einzige Vorhersage gibt, sondern ein Spektrum verschiedener Möglichkeiten.“

Ein merkwürdiges Institut. Zimmer an Zimmer, drei

Stockwerke hoch. In jedem Raum steht ein Bildschirm, ein oder zwei Regale, ein Spind. Auf dem Boden türmen sich Ordner und Papiere. Wie üblich in Forschungsinstituten ist Platz rar. In der Abgeschlossenheit seines Zimmers kämpft jeder Forscher mit den Launen des Modells, das das Wetter simuliert. Aber das Wetter, das scheint ganz weit weg zu sein, Teil einer anderen Welt. Seltens bekommt man es zu spüren, etwa an einem sonnigen Julitag, wenn es morgens in den Zimmern an der Ostseite zu heiß ist und am Nachmittag die stickige Hitze in die Westseite des Gebäudes wandert. Ansonsten ist die Wetterwirklichkeit – das furiose Blasen eines atlantischen Sturms oder die tiefe Stille einer in Schnee versunkenen Landschaft – verwandelt in Bits und Bytes oder in Magics, die schönen Computergrafiken des Instituts.

Der Rechner ersetzt noch nicht die Intuition

Aber dann und wann weht der Hauch einer nur schwer faßbaren, fast lichtscheuen Stimmung durch die Gänge. Ist es die frappierende Unsicherheit des Produkts – der Vorhersage? Ein Mann sitzt am Bildschirm im Met Operations Room, startt auf die Computerdaten. Der Computer und das Modell schaffen die tägliche Arbeit allein. Ein Modell, das die Wirklichkeit simuliert. Eine Wirklichkeit, die wahrscheinlich eintreten wird, vielleicht aber auch nicht. Wie steht es da um das Produkt?

Der Nutzen von zuverlässigen einwöchigen Wettervorhersagen wird allein für Westeuropa auf weit über 300 Millionen Mark pro Jahr geschätzt, behauptet Lennart Bengtsson, der schwedische Direktor des Wetterzentrums. Einer seiner Mitarbeiter in der Institutsleitung führt als Beispiel die Vorplanung von Schiffs Routen an. Bereits 1981 unternahm das Zentrum einen Versuch mit zwei holländischen Cargoschiffen, die zwischen dem 17. und 25. Februar zwischen

New York und Gibraltar verkehrten. Der Computer in Reading sagte ein intensives Sturmtief im mittleren Atlantik voraus und errechnete dessen Bewegungsrichtung. Die Schiffe wurden nördlich und südlich um das Tief herumdirigiert. Die Wellen im Zentrum des Sturms erreichten eine Höhe von acht Metern. Die „Nedlloyd Rotterdam“ traf nur kurzzeitig auf einen Wellengang von vier Metern und sparte zwölf Stunden Reisezeit ein. Ihr Schwesterschiff, die „Nedlloyd Rochester“, kam nicht ganz so gut weg. Aber auch sie kam noch acht Stunden früher an, als auf der direkten Route durch das Zentrum des Sturmtiefs.

In der Welt draußen, wo nicht das Computermodell, sondern das wirkliche Wetter herrscht, haben sich solche Nutzanwendungen jedoch noch nicht durchgesetzt. Die Festlegung von Schiffs Routen in der Handelsschiffahrt ist bis zum heutigen Tag weitgehend die Domäne des Kapitäns geblieben.

In Gelddingen sehr empfindliche Leute wie die Spekulanten an der Warenterminbörse sind ebenfalls skeptisch. „Der eine oder andere experimentiert schon mal mit mittelfristigen Wettervorhersagen“, gesteht Peter Day, der hochriskante Termingeschäfte auf dem Londoner Kakaomarkt abwickelt. „Aber das steht noch völlig am Anfang. Die Vorhersagen sind einfach noch nicht genau genug.“

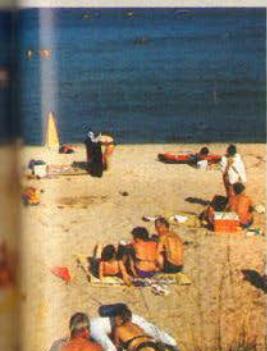
Wetterkarten haben die Intuition von Spekulanten noch nicht ersetzt. Ob das einmal wirklich wird, steht noch in den Wolken. Denn „die Verhältnisse“, so der Meteorologe Liam Campbell, der die Analysen im Met Operations Room von Reading überwacht, „sind nun einmal nicht so klipp und klar, wie man das gern hätte.“

Reiner Luyken, 36, lebt als freier Journalist in Schottland. In Reading beeindruckte ihn vor allem die „Abstraktion des Wettermodells“. **Peter Ginter**, 29, arbeitet als freier Fotograf. Da das Wetterinstitut nicht genug optische Reize bot, verlegte er sich auf kunstvolle Doppelbelichtungen. Im Vordergrund stehen Motive aus der Rechenmaschine: Regenfallgebiete, Winde und Wetterstationen. Die Zweiseitbelichtung zeigt Menschen und Maschinen.



Wie die Wetterfrösche Mohrenköpfe retten

Wenn bei einer Grillparty ein plötzlicher Schauer die Kohlenglut löscht, dann brauen sich Gewitter des Volkszorns zusammen und entladen sich über den Wetterfröschen. Das Mißtrauen gegen die Propheten vom Amt sitzt tief. Nach einer neuen Umfrage der Wickert-Institute glauben 69 Prozent der Bundesbürger dem Fernsehwetterbericht „selten oder nie“. Dabei kann sich die Trefferquote der Wetter-Auguren durchaus sehen lassen: In letzten Jahren bewährten sich 87 Prozent ihrer Ein-Tages-Vorhersagen. Der volkswirtschaftliche Nutzen der verbrämteten Prophete ist enorm: „Jede in den Wetterdienst investierte Mark“ so Heinz



Zankl, Sprecher des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach, „macht sich zwanzigfach bezahlt.“ 214 Millionen Mark kostete im vergangenen Jahr den Steuerzahler der Deutsche Wetterdienst mit seinen knapp 2200 Beschäftigten. Die Wirtschaft – vor allem so „wetterföhliche“ Branchen wie Verkehr, Bauindustrie, Energieerzeugung, Landwirtschaft – hätte an den richtigen Vorhersagen demnach mit über vier Milliarden Mark profitiert.

Der Wetterdienst rettet Bauern die Weizenernte und Bergsteigern das Leben. Er sorgt dafür, daß Segelflieger nicht aus allen Wolken fallen oder daß Kurzurlauber einen Platz an der Sonne finden. Und zwar nicht nur über Radio, TV, Bildschirmtext und die Ansagedienste der Bundespost, die im vergangenen Jahr knapp 44 Millionen mal angerufen wurden. Offenbach, seine elf regionalen Wetterämter und das Seewetteramt Hamburg bieten auch individuelle Beratungen an, die je nach Umfang derzeit 13,50 bis 75 Mark kosten.

Zu den Stammkunden der Wetterämter zählen Fotografen, die ihre Modelle mit kostbarem Outfit nicht im Regen stehen lassen wollen, Süßwarenhersteller, die bei über 25 Grad Celsius keine „Mohrenköpfe“ mehr verschicken oder Paprika-Importeure mit Furcht vor Frost in Ungarn.

Im Monatsabonnement liefern die Wetterämter maßgeschneiderte Prognosen zu Vorzugspreisen. Durch den Bezug von Warnmeldungen per Dauerauftrag kann beispielsweise ein Zirkusdirektor bei drohendem Sturmwind rechtzeitig seine Vorstellung abblasen. Umweltbehörden erfahren unverzüglich von smogträchtigen Inversionswetterlagen. Und der Polier am Bau läßt keinen Beton mehr mischen, wenn Frostwetter angesagt ist.

Ein besonderer Service, der bislang nur Ärzten und Kliniken zugänglich war, wird für 1988 versprochen: Unter der bundeseinheitlichen Telefonnummer (0)11601 erfährt jeder Anrufer zum Ortstarif, welche Wetterberufe seine Gesundheit besonders

angreifen werden. Der große Anklang, den der nordrhein-westfälische Großversuch zur Pollenflug-Vorhersage fand, ermutigt die „Medizin-Meteorologen“, auch Informationen für Heuschnupfengeplagte in diesen Ansagedienst aufzunehmen. Zwar gab es bei den 24-Stunden-Prognosen in den letzten Jahrzehnten kaum Verbesserungen: Schon in den frühen fünfziger Jahren, als die erste Wetterkarte über die Schwarzweißbildschirme flammte, hatten die Meteorologen eine „Vorhersagegug“ von über 80 Prozent erreicht.

Der große Sprung nach vorn wurde – dank Satelliten und Großrechnern – jedoch bei den „weiteren Aussichten“ geschafft, bei der mittelfristigen Vorhersage. War es den Beamten der Wetterämter in den fünfziger Jahren noch strengstens untersagt, über mehr als einen Tag hinaus Auskünfte zu geben, so trauen sich die Offenbacher Meteorologen heute bereits Fünf-Tages-Prognosen zu.

Dabei stützen sie sich nicht nur auf ihre eigenen Großrechner CYBER

180-850 und ETA 10; aus dem englischen Reading schickt zusätzlich der Supercomputer CRAY X-MP/48 seine Daten nach Offenbach. Heinz Zankl: „Beim Erstellen unserer Prognosen kommt dann stets die Abwägung: Welchem Computer glauben wir mehr?“ Die meisten kurzfristigen Prognosen resultieren aus dem hauseigenen Rechnermodell. Grundlage für die Fünf-Tages-Spanne bilden in den meisten Fällen die Werte aus Reading.

Wer jedoch weit in die Zukunft blicken will, der muß immer noch bei den Bauernregeln Rat suchen. Der Berliner Meteorologe Horst Malberg hat kürzlich die alten Volkswisheiten auf ihre Verlässlichkeit überprüft, indem er ihre Aussagen mit den Daten aus den Archiven der Wetterämter verglich. Und tatsächlich hielten viele Sprüche dem Test stand. Die alte Weisheit „Ist der Oktober zu warm und trocken/braucht man im Januar dicke Socken“ stimmt mit einer einzigen Ausnahme seit 1800 lückenlos.

Bernhard Borgeest

A

Absorption

Treffen elektromagnetische Strahlen auf Gasmoleküle, Aerosol-Partikel wie etwa Staub, dann reagieren die getroffenen Teilchen unterschiedlich – je nach ihrer Größe und der Wellenlänge der Strahlung. Bei der Absorption übernimmt das Molekül die Strahlungsenergie und gerät in Schwingungen. Es kann diese Energie in Form von Wärme-Strahlung (Infrarot-Strahlung) wieder aussenden. Lenkt ein Teilchen die auftreffende Strahlung nur um, sprechen Physiker von Streuung oder – wenn die Strahlung auf eine ebene Fläche fällt – auch von Reflexion. Ozon und Wasserdampf absorbieren beispielsweise elektromagnetische Strahlen und geben die Energie als Wärmestrahlung wieder ab. Luftteilchen dagegen streuen das Licht vorwiegend und verändern nur seine Richtung, wobei blaues Licht stärker gestreut wird als rotes. Daher erscheint der Himmel tagsüber blau.

Aerosol

Die Luft ist von Natur aus „verunreinigt“. In einem Kubikzentimeter Luft schweben selbst über den Ozeanen bis zu 1000 kleine Partikel – die Aerosole. Dazu zählen Vulkan- und Wü-

stenstaub, Salz, Pollen, von Algen ausgeschiedenes Dimethylsulfat sowie Bakterien. Zunehmend wirbelt auch der Mensch Staub auf: In einem Kubikzentimeter Stadtluft stecken bis zu mehreren hunderttausend, häufig mit Giftstoffen beladene Partikel, vor allem Rauch und Rußteilchen. Aerosole wirken als Kondensationskerne, an denen sich Wolkentropfen bilden. Außerdem streuen sie diffus das Licht – ähnlich einer Milchglasscheibe – und erhöhen so die Albedo. Aerosole erzeugen ihrer optischen Eigenschaften wegen besonders farbenprächtige Sonnenuntergänge – vor allem in Zeiten nach heftigen Vulkanausbrüchen.

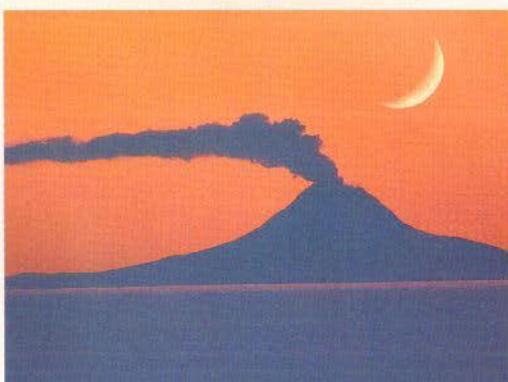
Albedo

Die gesamte Erdoberfläche reflektiert rund ein Drittel der einfallenden Sonnenstrahlung in den Weltraum. Den Reflexionsgrad nennen Fachleute „Albedo“ (lat. *albus*: „weiß“). Ackerböden schlucken den größten Teil der Strahlung: Ihre Albedo liegt nur zwischen 10 und 20 Prozent. Wolken hingegen reflektieren bis zu 90 Prozent des Sonnenlichts.

Antizyklone

Meteorologen nennen ein Hoch häufig beim griechischen Namen: „Antizyklone“ (Gegen-Wirbel). In einem Hochdruckgebiet sinkt die Luft ab, das Barometer steigt, und die Wolken lösen sich auf. In Bodennähe breiten sich die Luft in allen Richtungen aus, abgelenkt von der Coriolis-Kraft. Auf der Nordhalbkugel umströmt der Wind das Hoch daher im Uhrzeigersinn (antizyklonal). Ein Hoch bringt während des Sommers meist warme und trockene, im Winter kalte und klare Witterung mit sich.

Mount Augustine in Alaska: Die Vulkane blasen mehr Aerosole – Staub-, Ruß- und Rauchpartikel – in die Atmosphäre als alle Fabrikschloten dieser Erde



Aphel

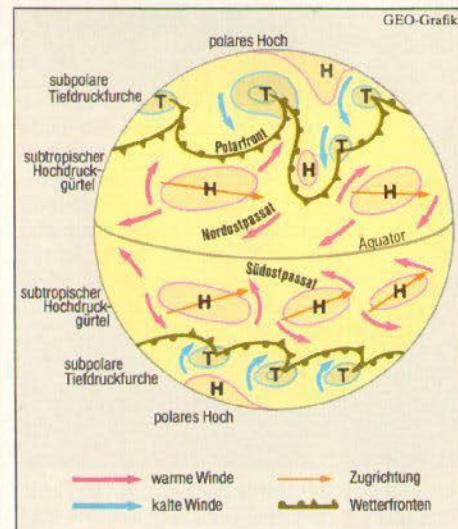
Die Erde bewegt sich auf einer elliptischen Bahn um die Sonne, die in einem der beiden Brennpunkte der Ellipse steht. Am 2. Juli jeden Jahres erreicht sie den Punkt größter Sonnenferne, das Aphel, ein halbes Jahr später hingegen den sogenannten Punkt, das Perihel, wo sie der Sonne um 5 Millionen Kilometer näher ist. Aphel und Perihel „wandern“ langsam um die Sonne: Nach 21 000 Jahren sind sie wieder an ihren jeweiligen Ausgangspunkt angelangt.

Atmosphäre

Die Lufthülle der Erde oder allgemein die Gashülle eines Planeten.

Westwind-Gürtel, die die kalten Polargebiete von den Tropen abschnüren. Die Zone häufiger Westwinde mäandert in Höhen zwischen fünf und zehn Kilometer über den mittleren Breiten; diese Frontalzone führt die Regie über die Zugbahnen der Hoch- und Tiefdruckgebiete an ihrer Unterseite. Während Tiefdruckgebiete aus aerodynamischen Gründen eher polwärts wandern, tendieren Hochdruckgebiete zum Äquator.

Das Ergebnis ist ein weltweiter Trockengürtel, auch „Roßbreiten“ genannt: In ihnen hat die abwärts strömende Luft – die „Passatinversion“ – alles Wasser aufgezehrt. Erst an der Intertropischen Konvergenzzone (ITC) treffen sich die Lüfte



Unentwegt kreisen Luftmassen um die Erde – angetrieben vom Druckgefälle zwischen den Polen und dem Äquator

Atmosphärische Zirkulation

Um die Erde zirkulieren Wind und Wetter bestimmende Luftmassen. Ursache ist hauptsächlich die Drehung des Planeten um seine Achse, während er von der Sonne bescheinen wird. Der Äquatorbereich empfängt stets mehr Sonnenstrahlen als die polaren Breiten. Deshalb heizt sich die Atmosphäre in den Tropen stärker auf, wodurch ein Gürtel höheren Luftdrucks entsteht. Das Druckgefälle zu den Polkappen hin ist im Gebiet der Frontalzone besonders deutlich ausgebildet.

Dem Ausgleich dieses Gefälles sind Grenzen gesetzt: Die Coriolis-Kraft lenkt die Winde auf der Nordhalbkugel nach rechts und auf der Südhalbkugel nach links ab. So entstehen globale

wieder – beladen mit Wasserdampf aus dem Meer. Die Luft steigt hoch, regnet sich aus und kurbelt den Kreislauf von neuem an.

Eine direkte Folge der atmosphärischen Zirkulation sind die *Klimazonen*.

Bauernregeln

„Wenn der Hahn kräht auf dem Mist, ändert sichs Wetter oder es bleibt wie's ist.“ Solche Unsinngesäße sollen die Absurdität von Bauernregeln aufzeigen. Doch gar so unsinnig sind viele der Jahrhunderte alten Erfahrungssätze nicht. Einige bringen sogar komplizierte Meteorologie auf einen simplen Nenner. „Ziehen die Wolken dem Wind entgegen, gibt's am anderen Tage Regen“ heißt es. Der Spruch beschreibt ein typi-



»Sitzt der Bauer in der Glocke, kriegt er keine nasse Socke«

sches Vorzeichen für ein herannahendes Tief: Eine Warmfront schickt in großen Höhen häufig schon Federwolken gen Osten, wenn in Bodennähe die Winde noch nordwestwärts bläsen.

Andere Weisheiten, die sich auf bestimmte Tage im Jahr beziehen, sind allerdings häufig buchstäblich veraltet: Durch wiederholte Kalenderreformen wurde etwa das Datum des Siebenstüfertags mehrfach verschoben. Die angekündigten „sieben Wochen Regen“ bleiben somit meist aus.

Schlecht beraten sind auch etwa Landwirte aus Bayern mit Sprüchen friesischer Marschbauern – und umgekehrt: Denn viele Bauernregeln sind nur lokal gültig.

Beaufort

Die Geschwindigkeit und die Segelführung eines vollgetakelten Windjammers waren für Sir Francis Beaufort vor rund 180 Jahren Kriterien zur Bestimmung der Windstärken. Der englische Admiral entwickelte eine Skala, die – inzwischen von 12 auf 17 Grade erweitert – auch heute noch benutzt wird. Windstärke 2 zum Beispiel steht für eine „leichte Brise“, die nur das Laub bewegt. Windstärke 8 bezeichnet „stürmische Winde“, die Zweige von den Bäumen brechen. Als international gültiges Maß für die Windstärke dient seit 1949 die Einheit Seemeilen pro Stunde, Knoten genannt.

Biosphäre

Der von Lebewesen bewohnte Raum. Hierzu gehören die Pedosphäre (der Boden), die Hydrosphäre und die Atmosphäre. Mitunter bezeichnet Biosphäre die Gesamtheit aller Organismen der Erde.

„El Niño“ – das (Christ-)Kind – nennen peruanische Fischer eine warme Meeresströmung vor ihrer Küste, die alljährlich zur Weihnachtszeit das Ende der Fischfangsaison einläutet. In unregelmäßigen Abständen von zwei bis sieben Jahren scheint das Christkind sich zum Teufelskind auszuwachsen: Der gesamte Südostpazifik erwärmt sich und das Weltklima gerät in Wallung. 1982/83 führte El Niño zu sintflutartigen Regenfällen in Südamerika und zu extremen Dürren in Indonesien, Australien und Südafrika. Hundertausende machte er damals obdachlos; mehr als tausend Menschen brachte er den Tod.

Die Meteorologen nehmen El Niño, anders als die peruanischen Fischer, als Beispiel für eine sogenannte Klima-Anomalie – ein Ausnahmezustand in der Zirkulation der Atmosphäre.

Für gewöhnlich weht auf der südlichen Erdhalbkugel der Passatwind von Ost nach West – von einem Hochdruckgebiet vor Süd-

EL NIÑO

Christkind mit teuflischem Charakter

amerika 8000 Kilometer weit zu einer großen Tiefdruckzone über Indonesien und Australien – und treibt warmes Oberflächenwasser vor sich her, das sich vor den Küsten Südostasiens staut. Dieser Normalzustand gerät mittlerweile aus den Fugen: Aus heiterem Himmel fällt im Ospazifik der Luftdruck und steigt gleichzeitig – in einer Luftdruckschaukel – über Australien. Der Passat erlahmt und bricht zusammen. Dadurch läßt der Staudruck auf den Ozean nach. Es kommt zu einem „Badewanneneffekt“. Warme äquatoriale Wassermassen schwappen in Richtung Peru – wie in einer Waschküche steigen Wolken auf. Über Südamerika führt die hohe Feuchtigkeit zu to-

senden tropischen Unwettern. Dort fällt der Regen, der nunmehr in Südostasien fehlt, wo dann extreme Hitze und Dürre herrschen.

El Niño-Phänomene beeinflussen möglicherweise auch das Wetter auf der Nordhalbkugel: Im Winter 1982/83 verlagerte sich hier der Jet Stream südwärts, und über Nordamerika brausten ungehindert Stürme hinweg.

Noch ist nicht geklärt, wie die Luftdruckumkehr und das Hindernis und Herschwappen des Pazifik in Gang kommt. Eine Theorie nimmt an, daß El Niño immer dann entsteht, wenn sich das „äquatoriale Wärmereservoir“ der Ozeane langsam wieder aufgefüllt hat. Zuletzt meldete sich „das Kind“ in diesem Sommer. Mit einer Temperaturerhöhung des Ospazifik von nur etwa zwei Grad Celsius verhielt es sich diesmal allerdings recht brav. Die verheerenden Unwetter, die der Temperaturanstieg um sechs Grad zur Jahreswende 1982/83 ausgelöst hatte, blieben aus.



Februar 1983: Von El Niño entfacht, fegt ein Staubsturm über Melbourne

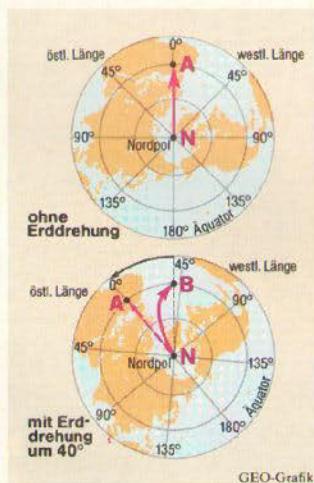
Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe (CFK)

CFK sind Kohlenwasserstoffe, bei denen der Wasserstoff ganz oder teilweise durch die Halogene Chlor und Fluor ersetzt ist. Die gänzlich halogenisierten Abkömmlinge der Gase Methan und Äthylen gelten als besonders reaktionsträge. Weil sie etwa mit Rasierschaum, Haarspray oder Insektengift keine chemischen Verbindungen eingehen, eignen sie sich sehr gut als Treibgase in Sprays.

Diese CFK stehen im Verdacht, die schützende Ozonschicht zu zerstören (siehe Seite 40). Darüber hinaus absorbieren sie – ähnlich dem *Kohlendioxid* – die Wärmestrahlung der Erde und tragen somit zum Treibhauseffekt bei (siehe auch Seite 24).

Coriolis-Kraft

Eine Kraft, der eine jede Luft- oder Meeresströmung auf der Erde unterliegt. Ohne Erddrehung würde sich beispielsweise ein in die Höhe geworfener Ball – oder auch ein „Luftpaket“ – vom Nordpol Richtung Äquator von N nach A bewegen. Da sich die Erde aber in dieser Zeit unter ihm gedreht hat, wartet der Empfänger bei A vergebens: Aus seiner Sicht verläuft die Flugbahn bogenförmig und endet beim Punkt B.



Diese Regel gilt für alle Körper, die sich auf der Erde in irgendeine Richtung bewegen: Nördlich des Äquators werden sie stets nach rechts, südlich davon stets nach links abgelenkt. Die Luft kann also nicht vom Hoch- zum Tiefdruckge-

biet strömen, sondern wird ebenfalls nach rechts abgelenkt und umströmt dabei den Kern des Tiefs – auf der Nordhalbkugel immer gegen den Uhrzeigersinn.

Dendrochronologie

Baumring-Analyse (siehe Seite 64)

Dürre

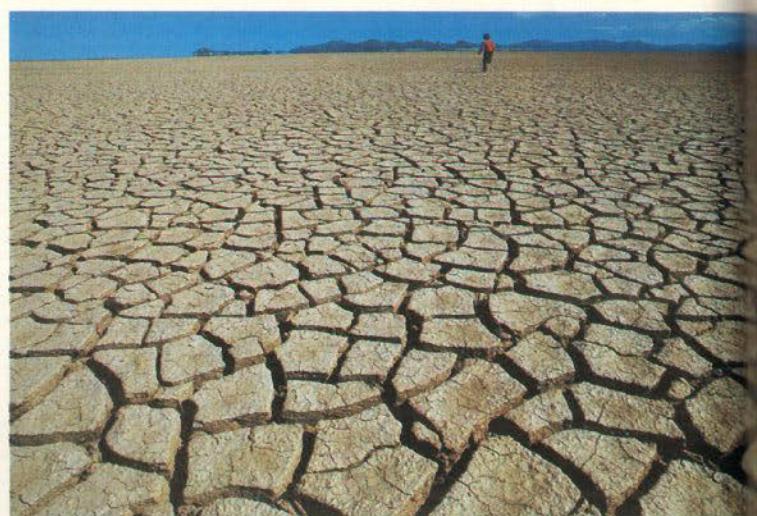
Am eindringlichsten sind die Bilder aus der Sahelzone: Bleibt der Regen aus, dann verdorren die Pflanzen, verdursten und verhungern Mensch und Tier. Klimatologen verwenden den Begriff „Dürre“, wenn über Wochen hin keine Niederschläge fallen und hohe Temperaturen gleichzeitig die Verdunstung verstärken. Wie rasch die Pflanzen verkümmern, hängt vor allem vom Wasservorrat in den Böden ab. In den Subtropen kommt es regelmäßig zu Dürren, weil dort die Regenmenge von Jahr zu Jahr sehr stark schwankt. Zu den verheerenden Auswirkungen solcher Trockenperioden tragen allerdings auch Menschen bei – etwa durch eine übermäßige Nutzung des Bodens oder die Vernichtung der schützenden Pflanzendecke.

Eiszeit

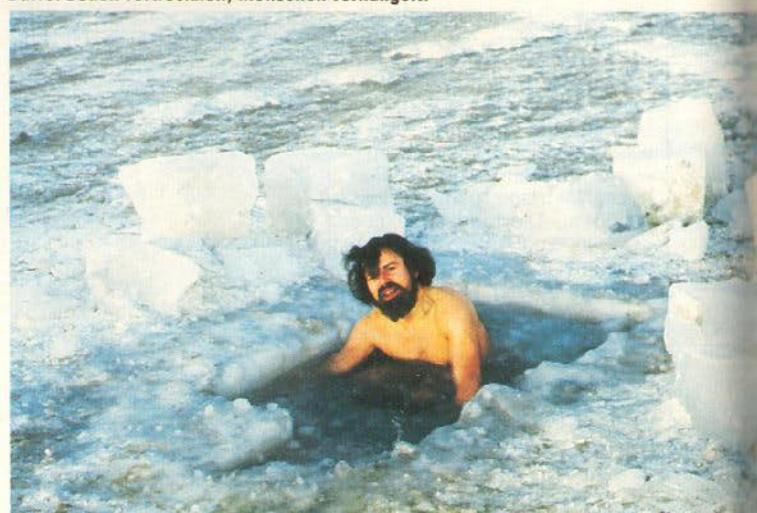
Klimasprünge kamen im Laufe der Erdgeschichte häufig vor. Die zeitlichen Abläufe sind freilich besser bekannt als die Ursachen (siehe Seite 62). Vermutlich ist das Erdklima zu Beginn einer Eiszeit zunächst feuchter als gewöhnlich. Zeitlich verzögert sinken dann die Temperaturen – möglicherweise um mehr als 10 Grad bis auf Jahresmittelwerte von knapp über null Grad in Mitteleuropa. Die letzte Eiszeit dauerte rund zwei Millionen Jahre. Sie endete nach vier großen und vielen kleinen Vereisungsschüben, die jeweils von Warmzeiten unterbrochen waren, vor rund 10 000 Jahren – als Würm-Eiszeit (Alpen), Weichsel- (Nordeuropa) oder Wisconsin-Eiszeit (Nordamerika).

Föhn

Ein Fallwind wie jeder andere, und doch – als Südföhn im Alpenvorland – gefürchtet wie kaum ein anderer. Mit viel Wasserdampf angereicherte Regenwolken treiben über Italien gegen die Alpen, steigen hoch und kühlen dabei um ein Grad pro 100 Meter ab. Von einer bestimmten Höhe an sind die Wölken so kalt, daß der Dampf kon-



Dürre: Böden vertrocknen, Menschen verhungern



Eiszeiten haben auch ihre warmen Phasen

densiert – es regnet. Da bei der Kondensation die Wärmeenergie frei wird, die zuvor bei der Verdunstung gespeichert wurde, sinkt die Temperatur beim weiteren Aufsteigen der Luft nur noch um 0,6 Grad pro 100 Meter. Ist der Scheitelpunkt über den Alpen erreicht, fließt die nun „ausgeregnete“ Luft als Fallwind nach Norden. Beim Abstieg wird sie um 1 Grad pro 100 Meter wärmer. Im Vorapengebiet trifft der Föhn – meist bei naßkaltem Wetter – viel wärmer und trockener ein, als er die Poebene in Norditalien verlassen hat.

Frontalzone

Das Gebiet größter Luftdruckgegensätze zwischen den Tropen und den Polarzonen. Hier entstehen als Ausgleichsströ-

mungen die Westwinde (siehe *Atmosphärische Zirkulation*).

Fronten

Fronten markieren Luftmassen unterschiedlicher Herkunft und Eigenschaften. Bei einer Warmfront rückt warme gegen kalte Luft vor. Gleitet Warmluft über Kaltluft, entsteht eine Schichtbewölkung mit lang anhaltenden Niederschlägen (siehe *Wolken*). Ist dagegen kalte Luft auf dem Vormarsch (Kaltfront), dann schiebt sich die kalte Luft unter die warme und preßt sie hoch. Haufenwolken und heftige Niederschläge sind die Folge. Eine Kombination beider Frontentypen ist die Okklusionsfront: Sie bildet sich, wenn die Kaltfront eine voraus-eilende Warmfront einholt und sie in die Höhe hebt.

Gewitter

Gewitter entstehen, wenn feuchtwarme Luft in heftigen Winden aufsteigt. Zwischen Gewitterwolken sowie zwischen Wolken und Erde entladen sich im Bruchteil von Millisekunden Blitze mit 20 bis 30 Millionen Volt Spannung und Stromstärken von mehr als 200 000 Ampere. Im „Blitzkanal“ dehnt sich die Luft explosionsartig aus: Es donnert.

Hydrosphäre

Die Wasserhülle der Erde. Sie umfaßt die Ozeane und ihre Nebenmeere, Seen, Flüsse und das Grundwasser. Rund 71 Prozent der Erdoberfläche sind von Wasser bedeckt.

Infrarot-Strahlung

Wer es sich vor einem Kamin bequem macht, der sieht nicht nur das Leuchten des Feuers, er fühlt vor allem dessen Wärme. Im Spektrum der elektromagnetischen Wellen schließen sich die für uns unsichtbaren Wärmestrahlungen mit einer Wellenlänge von 0,8 Mikrometer bis 1 mm an das sichtbare rote Licht an. Auch die von der Sonne erwärmte Erde sendet Infrarot-Strahlen aus. Ein Teil davon entweicht in den Welt Raum; der größte Teil wird jedoch von Wasserdampf und anderen Gasen in der Atmosphäre absorbiert.

Inversion

siehe Smog

Isobaren

Linien, die Punkte gleichen Luftdrucks verbinden. Sie erscheinen auf Wetterkarten als geschlossene Höhenlinien eines „Druckgebirges“. Dicht gepackte Isobaren deuten auf ein großes Luftdruckgefälle hin.

Isothermen

Linien, die Punkte gleicher Temperatur markieren. Isothermen finden als Monats- oder Jahres-Isothermen der Temperatur-Mittelwerte vorwiegend auf Klimakarten Verwendung.

Jahreszeiten

Wäre die Erdachse nicht gegen die Ebene der Umlaufbahn um die Sonne geneigt, gäbe es auf der Erde keine Jahreszeiten. Die Neigung beträgt 23,5 Grad. Innerhalb eines Jahres pendelt der senkrechte Sonnenstand, der Zenit, scheinbar zwischen den Wendekreisen $-23^{\circ}26'45''$ nördlicher und $23^{\circ}56'30''$ südlicher Breite –



Durch Blitzschlag sterben in der Bundesrepublik jährlich etwa 80 Menschen

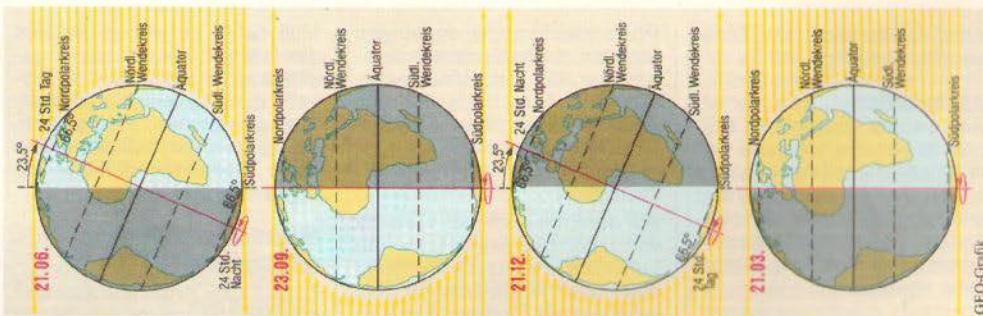
hin und her. Stets bestrahlt die Sonne eine Hälfte der Erde: Am 21. Juni liegt die Fläche innerhalb des nördlichen Polarkreises 24 Stunden lang im Sonnenlicht. Der Bereich innerhalb des südlichen Polarkreises liegt dagegen im Dunkel der Polarnacht. Am 21. 12. herrschen umgekehrte Verhältnisse. Dazwischen liegen Übergangsstationen. Die Tages- und-Nachtgleichen am 21. März und 23. September markieren Frühlings- und Herbstanfang. Dann scheint die Sonne senkrecht auf den Äquator, und die Grenze zwischen Tag und Nacht verläuft von Pol zu Pol.

werden von Jet-Piloten bei West-Ost-Flügen als treibstoffsparende Rückenwinde genutzt.

Kohlendioxid

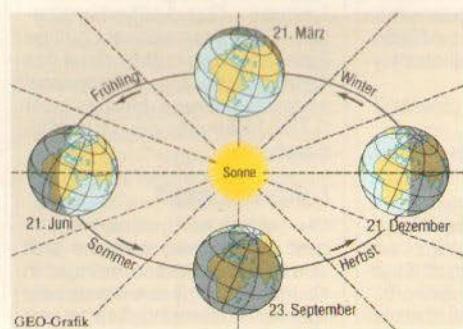
Nur 0,036 Prozent der Erdatmosphäre besteht aus diesem farb- und geruchlosen Gas der Kohlensäure. Es sprudelt aus Sektgläsern oder macht als rauendes Trockeneis Dampf auf der Theaterbühne. Vor allem aber ist es ein wichtiger Bestandteil des Kohlenstoffkreislaufs. Bei der Photosynthese reduzieren die Pflanzen das CO₂ mit Hilfe der Sonnenenergie zu Kohlenhydraten, der

Grundlage der Nahrungsketten. Bei der Atmung wird CO₂ als „Abfallprodukt“ wieder frei. Gewaltige Mengen Kohlenstoff sind in der Biomasse gebunden – zumal in den Pflanzen und vor allem in den tropischen Regenwäldern. Kohle-, Erdöl- und Erdgasvorkommen speichern den in früheren Epochen gebundenen Kohlenstoff. Der Mensch verfeuert verstärkt die Urwälder und die in Jahrtausenden abgelagerten fossilen Brennstoffe in kurzer Zeit. Dadurch steigt der CO₂-Gehalt der Atmosphäre kontinuierlich an. Weil Kohlendioxid die Wärmestrahlung der Erde absorbiert,



Jet Streams

Jet Streams oder Strahlströme sind extrem starke Westwinde, die an der Obergrenze der Troposphäre zwischen 8 und 13 Kilometer Höhe wehen. Ein Jet Stream bläst zwar in einer meist nur wenige hundert Meter mächtigen Schicht, dafür aber mit einer Geschwindigkeit von 200 bis 600 km/h. Strahlströme sorgen für den Austausch stratosphärischer und troposphärischer Luft – und



Mit geneigter Polachse läuft die Erde um die Sonne (links). Deshalb empfängt jeder Punkt der Erde im Jahresrhythmus Sonnenlicht aus wechselnden Winkeln (oben)

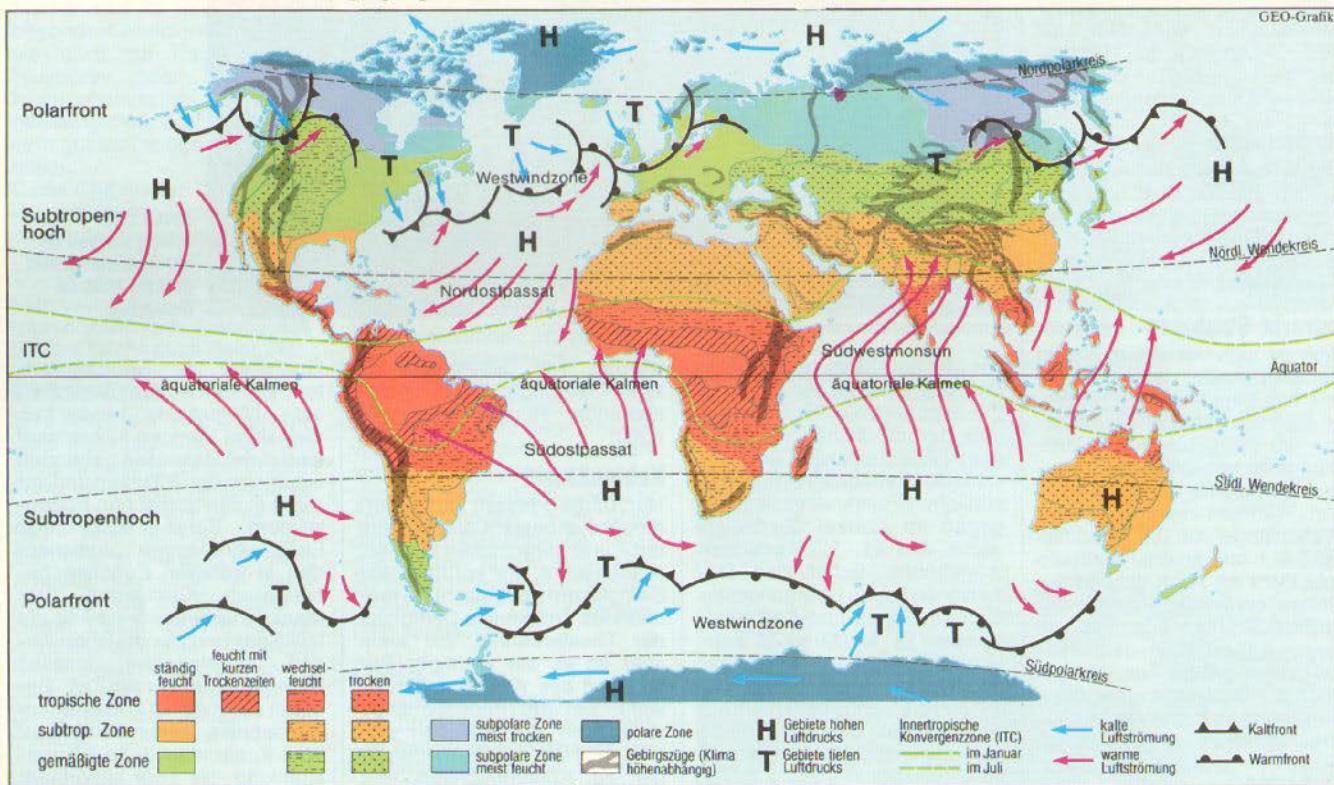
KLIMAZONEN

Die Sonne hat der Erde Gürtel umgespannt

Am Äquator scheint die Sonne fast senkrecht; die Pole werden von ihren Strahlen nur gestreift. Die Folge: Zwischen Äquator und Antarktis erstrecken sich sehr unterschiedliche Klimazonen. Aber nicht nur die jeweilige geographische Breite spielt

bei dieser Zonierung eine Rolle. Auch die Land-Meer-Verteilung, die atmosphärische Zirkulation und die physikalische Gestalt der Erdoberfläche prägen den Klimatyp. Anhand von Kriterien wie Monats- und Jahresmitteltemperaturen oder

mittlerer Schneedauer lassen sich Grenzen zwischen den Zonen ziehen. Es entsteht eine buntgestreifte Weltkarte. Mit den Klimazonen deckt sich weitgehend die Ausbreitung der unterschiedlichen Vegetationstypen (siehe Karte rechts).



ist es maßgeblich am Treibhauseffekt beteiligt.

Kondensation

Der Kondensations- oder Taupunkt ist erreicht, wenn die Luft mit Wasserdampf voll gesättigt ist. Die relative Luftfeuchte liegt dann bei 100 Prozent. Sind genügend Kondensationskerne vorhanden, entsteht Nebel (siehe *Wolken*).

Kryosphäre

Kryosphäre Gesamtheit des gefrorenen Wassers auf der Erdoberfläche. Die Kryosphäre ist Teil der Hydrosphäre.

Lithosphäre

Erdsphäre

Luftt.

Das Gasgemisch der Erdatmosphäre: Luft besteht aus rund 78 Volumenprozent Stickstoff, 21 Prozent Sauerstoff, 1 Prozent Argon, 0,036 Prozent

Kohlendioxid und aus geringen Mengen verschiedener Spuren-gase. Die Turbulenz der Atmosphäre sorgt dafür, daß sich diese Verteilung erst in Höhen über 100 Kilometer ändert.

Luftdruck

Auf der Erde lastet das Gewicht von vielen Kilometern Luft – der Luftdruck. Zu dessen Messung dient noch heute das von dem italienischen Physiker Evangelista Torricelli im Jahre 1643 erfundene Quecksilberbarometer. Die international gültige Einheit für den Luftdruck ist das Hektopascal. Ein Hektopascal entspricht einem Millibar oder 0,750 Millimeter der Quecksilbersäule.

Luftfeuchtigkeit

Die absolute Luftfeuchtigkeit gibt die insgesamt in der Luft vorhandene Wassermenge in Gramm pro Kubikmeter an; die relative Luftfeuchtigkeit ist ein

Maß dafür, zu wieviel Prozent die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist. Erreicht sie 100 Prozent, dann können Nebel- oder Wolkentröpfchen entstehen. Je wärmer die Luft ist, desto mehr Wasserdampf kann sie aufnehmen.

Meeresspiegel-schwankungen

Es gibt zwei Arten von Meerespiegelschwankungen: Wenn in der Antarktis das Eis schmelzen und die Nordsee das Norddeutsche Tiefland überfluten würde, so würden Geographen von einem eustatischen Anstieg des Meeresspiegels sprechen. Zu einer eustatischen Senkung des Wasserstands kam es beispielsweise während der letzten Eiszeit. Der Meeresspiegel sank um etwa 100 Meter.

Von diesem Auf und Ab unterscheiden die Wissenschaften ein Phänomen mit entgegengesetzten

setzter Auswirkung, die sogenannten isostatischen Meerespiegelschwankungen: Landmassen können durch die Last von oft Kilometer hohen Eismassen heruntergedrückt und dadurch vom Meer überflutet werden. Bei Druckentlastung infolge der Eisschmelze hebt sich die Landoberfläche wieder aus dem Wasser.

Mesosphäre

Eine kalte, in etwa 50 bis 80 Kilometer Höhe liegende Schicht der Erdatmosphäre (siehe Grafik Seite 29).

Methan (CH_4)

Spurengas, das zum Treibhauseffekt beiträgt. Produziert von Bakterien, für die Sauerstoff Gift ist, gelangt das auch „Faulgas“ oder „Sumpfgas“ genannte CH_4 von jener in die Atmosphäre. Doch seit einigen Jahrzehnten steigt die Methankonzentration an, zur Zeit um

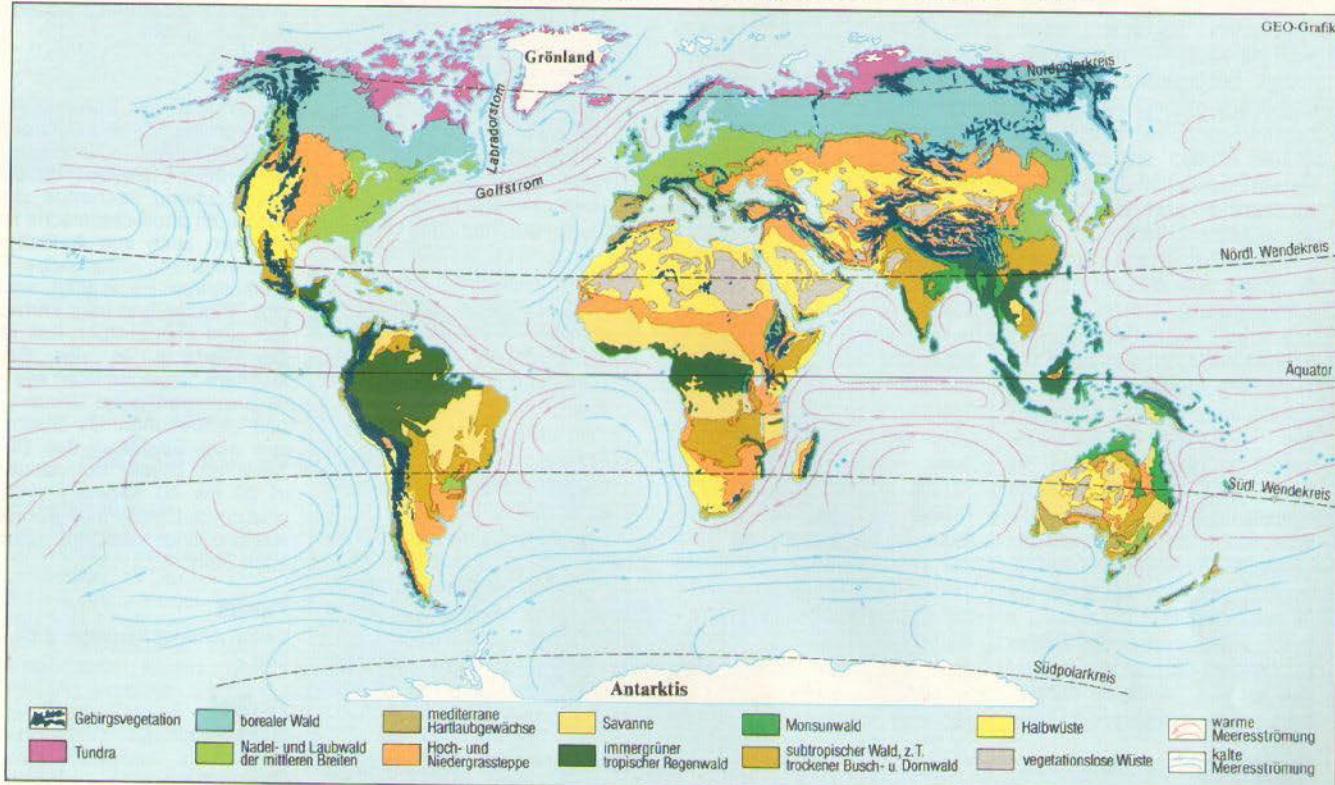
MEERESSTRÖMUNGEN

Kalte und warme Größen aus fernen Breiten

Ähnlich der Luft in der Atmosphäre zirkuliert auch das Wasser der Ozeane, freilich viel trüger. In den Tiefen der Weltmeere bringen vor allem Unterschiede in Temperatur und Salzgehalt – also Dichteunterschiede – gewaltige Aus-

gleichsströmungen in Gang. Winde – etwa die Passate – treiben das Oberflächenwasser vor sich her. Vor allem Erddrehung und Reibungskräfte beeinflussen den Lauf der Strömungen. Für das Klima sind die Meeresströmungen mit entscheidend.

Während etwa der Golfstrom die Wärme der Karibik vor die Küsten Englands und Frankreichs trägt, bringt der Labradorstrom, der in der Baffin-Bay westlich von Grönland entsteht, den Bewohnern Neufundlands Kälte.



jährlich etwa ein bis zwei Prozent. Schuld daran ist der Mensch. Denn Methan entsteht in großen Mengen in Reisfeldern und Müllkippen sowie im Pansen von Wiederkäuern, beispielsweise der 1,3 Milliarden Rinder auf der Erde.

Monsun

Diese jahreszeitlich wechselnden Winde strömen zum sommerlichen Hitzetief über Zentralasien hin. Als Regenspender entscheiden sie über Leben oder Tod in Afrika und Asien. Die Innertropische Konver-

genzone liegt im Sommer über Asien, wodurch der Südostpassat den Äquator überschreitet. Da er sich der Coriolis-Kraft nicht entziehen kann, bläst er – nun Südwestmonsun genannt – über das Meer nach Nordosten. Im Winter herrschen umgekehrte Verhältnisse: Die Luft weht vom kalten, trockenen Hochdruckgebiet Zentralasiens in Richtung Südwesten.

Niederschläge

Das Wasser mehrerer Millionen Wolkentröpfchen muß sich zusammenschließen, damit sich ein Regentropfen bilden kann. Günstige Bedingungen für solche Zusammenschlüsse herrschen bei Temperaturen unter 0 Grad in Wolken, die teils aus Eiskristallen, teils aus Wassertropfen bestehen. Weil über Eis ein niedrigerer Dampfdruck als über Wasser herrscht, wachsen die Kristalle auf Kosten der Tröpfchen. Sie entwic-

keln sich zu großen Flocken, die im Winter als Schnee die Erde erreichen, im Sommer aber unterwegs zu Regen schmelzen. Bei kräftigen Aufwinden treiben die Kristalle mehrmals in die Höhe. Je nach Temperatur verblassen sie entweder zu Graupel oder wachsen zu Hagelkörnern.

Niederschläge bestehen nicht nur aus Wasser. Da sie die Atmosphäre auswaschen, enthalten sie auch Staub, Ruß und gelöste Gase, wie Kohlensäure, Salpetersäure und Schwefelsäure – die Ingredienzien des Sauren Regens.

Ozeane

Die Ozeane spielen für das Weltklima die Rolle der großen Mäßigern: Sie machen die Winter milder und die Sommer kühler. Möglicherweise können sie auch eine globale Erwärmung abpuffern, wenn auch nur sehr langsam: Mehrere hundert Jahre dauert es, bis das Wasser der



Nasse Hosen in Seoul: Jeden Sommer bestimmt der Monsun das Wetter in den Ländern am Indischen und Pazifischen Ozean – von Indien bis Korea

Nach dem Feuersturm droht Kälte, Finsternis und Hungersnot

Totale Zerstörung und radioaktive Verseuchung der unmittelbar betroffenen Regionen wären nicht die einzige Folge eines atomaren Schlagabtausches. Die womöglich größere Katastrophe beginnt – der Theorie des „Nuklearen Winters“ zufolge – erst danach: Gewaltige Feuersbrünste peitschen über die Kontinente, zerstören Raffinerien und Chemiewerke, verschlingen ganze Städte und Wälder. Gigantische schwarze Wolken aus Ruß und Rauch, voller Giftstoffe und Radioaktivität, quellen hoch bis in die Stratosphäre.

Ein finsterner Schleier überzieht den Himmel über ganzen Kontinenten und macht den Tag zur Nacht. Statt der Erdoberfläche erhitzen die Sonnenstrahlen nunmehr nur noch die zusammenhängende Wolkendecke, die die langwelligen Wärmestrahlens ins All zurücksendet.

Unter diesem atmosphärischen Leinentuch stürzen die Temperaturen. Der „Nukleare Winter“ zieht ein. Er vernichtet die Ernten

– in der Ukraine ebenso wie in den Great Plains im Mittelwesten der USA. Kornkämmern und Obstgärten werden zu Eiszügen, eine globale Hungersnot bricht aus und rafft die Überlebenden des Atomschlags dahin. „Die Atmosphäre nach dem Atomkrieg: Dämmerung am Mittag“ hieß der Aufsatz, der 1982 erstmals ein solches Szenario entwarf. In der schwedischen Zeitschrift „Ambio“ veröffentlichten die Chemiker Paul Crutzen vom Mainzer Max-Planck-Institut für Chemie und John Birks von der University of Colorado ihre Berechnungen über die Auswirkungen eines Atomkrieges, in dem Kernwaffen mit einer Sprengkraft von 5650 Millionen Tonnen TNT gezündet werden. Das wäre weniger als die Hälfte des Atom-Arsenals der Supermächte (zum Vergleich: Im Verlauf des gesamten Zweiten Weltkriegs wurden Bomben mit rund drei Millionen Tonnen TNT-Sprengkraft abgeworfen). Die Fachwelt schreckte auf. Bislang

waren in allen einschlägigen Szenarien die klimatischen Auswirkungen von Ruß und Rauch schlichtweg vergessen worden. Inzwischen haben amerikanische wie sowjetische Studien die prinzipielle Richtigkeit der Berechnungen von Birks und Crutzen bestätigt. Es gibt sogar noch dramatischere Computer-Szenarien: Auch die vom Atomkrieg vermutlich nicht direkt betroffene Südhälfte könnte von schwarzen Wolken überzogen werden und im nuklearen Winter erstarren. Da die Rußteilchen von Sonnenstrahlen womöglich so sehr erhitzt werden, daß sie weiter aufsteigen und monatelang in der Atmosphäre bleiben, wird ein weltweiter Temperaturabfall bis zu 40 Grad für möglich gehalten. Der Atomkrieg wäre der extremste Eingriff des Menschen ins Klima – und womöglich sein letzter: Trotz restlicher Unwägbarkeiten prophezeien viele Wissenschaftler das Aussterben zahlloser Pflanzen- und Tierarten, inklusive der Spezies Homo sapiens.

Ozeane einmal umgewälzt ist und die riesigen Reservoirs der Tiefsee mit dem Oberflächenwasser durchmischt sind. Die Weltmeere bleiben auch die große Unbekannte bei den Hochrechnungen zum CO_2 -Anstieg. Denn niemand kann zuverlässig sagen, wieviel Kohlendioxid sie schlucken und in die Tiefe führen.

Ozon

Die dreiatomige Variante (O_3) des normalerweise zweiatomig vorkommenden Sauerstoffs. Nahe dem Erdboden entfaltet das stechend riechende Gas, das durch photochemische Reaktionen auch aus Autoabgasen entsteht, unliebsame Eigenschaften: Es ist giftig, schädigt Pflanzen und trägt vermutlich zum Waldsterben bei. Die Ozon-Schicht in der Stratosphäre hingegen filtert wie eine Sonnenbrille die für das Leben gefährlichen UV-Strahlen aus dem Spektrum des Sonnenlichts. Dieser Schutzhilf in 20 bis 40 Kilometer Höhe wird durch Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe verdünnt (siehe auch Seite 40).

Passat

siehe *Atmosphärische Zirkulation*

Perihel

siehe *Aphel*

Polarkreise

Die beiden Breitenkreise, an denen die Sonne genau an einem Tag im Jahr nicht untergeht (Mitternachtssonne) und einmal gar nicht erst aufgeht (Polarnacht). Die Polarkreise liegen auf 66,5 Grad Nord und 66,5 Grad Süd (siehe auch *Jahreszeiten*).

Pollenanalyse

Untersuchung von fossilem Blütenstaub (siehe Seite 66)

Reflexion

siehe *Absorption*

Sintflut

Von Gott dem Alten Testament zufolge als Strafe über die sündige Menschheit verhängt, brach eine gewaltige Flutkatastrophe über die Welt herein, vor der sich nur Noah und seine Familie mit einer Arche voller Tiere retten konnten. Vorläufer dieses Mythos finden sich bereits in den Epen der Sumerer. Die Archäologen nehmen heu-



Ein Atomkrieg würde die Atmosphäre zum Leinentuch der Erde machen

Angebot mit 3 Vorteilen

zur Anzeige auf Seite 145

- Gratis zur Begrüßung eine aktuelle GEO-Ausgabe
- Gratis 4 außergewöhnliche GEO-Farbdrucke
- Ca. 20% Preis-Vorteil = DM 2,- pro Heft gespart gegenüber Einzelpreis

Detail-Garantie auf der Rückseite

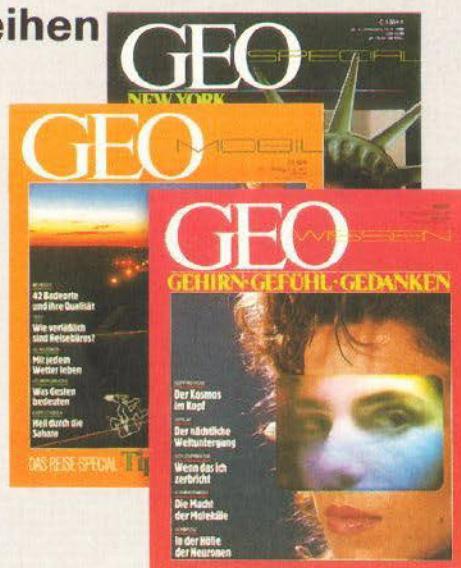


GEO-Sonderreihen für Leser, die noch mehr wissen wollen

GEO-SPECIALS:

Die Sonderreihe GEO-SPECIAL behandelt immer ein Thema umfassend und ausführlich in fesselnden Reportagen und mit einzigartigen Fotos. Dazu Hintergrund-Informationen und Insider-Tips zum Einkaufen, für Ausflüge, Theater, Restaurants, Hotels usw. Mit GEO-SPECIAL werden Sie zum Kenner des jeweiligen Gebiets. Jedes SPECIAL hat mind. 160 Seiten, GEO-Heft-Format. Noch lieferbar sind die Ausgaben: »Bonn«, »Mexiko«, »New York«, »Schweiz«, »Rom«, »Nordsee«, »Alaska«, »China« und »Baden-Württemberg«.

Bitte lesen Sie auf der Rückseite weiter.



Bücher von GEO – so farbig und fesselnd wie unsere Welt

In den Büchern von GEO wird unsere vielseitige Welt auf neue Weise erlebbar; sie widmen sich faszinierenden Themen, vermitteln Information und Wissen aus erster Hand. Inhalt, Ausstattung und Umfang entsprechen der hohen GEO-Qualität: Bücher von GEO haben 350 Seiten und mehr, im Format 20,5 x 28 cm, Leineneinband und farbigen Schutzumschlag sowie 250 bis 480 fast immer farbige Abbildungen.

Von GEO sind bisher 13 Bücher erschienen.
Bestellmöglichkeit auf der Rückseite.



Bitte
mit 60 Pf
freimachen,
falls Marke
zur Hand

Antwort-Postkarte

GEO
Leser-Service
Postfach 1116 29

2000 Hamburg 11

Bitte
mit 60 Pf
freimachen,
falls Marke
zur Hand

Antwort-Postkarte

GEO
Leser-Service
Postfach 1116 29

2000 Hamburg 11

Bitte
mit 60 Pf
freimachen,
falls Marke
zur Hand

Antwort-Postkarte

GEO
Presse-Versand-Service
Postfach 600

7107 Neckarsulm

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 8,50 statt DM 10,50, also z.Zt. mit ca. 20% Preis-Vorteil. Ich kann keine Kündigungsfrist versäumen, denn ich darf jederzeit kündigen.

Name/Vorname

Straße/Nr.

Postleitzahl Wohnort

Telefon-Nummer für evtl. Rückfragen

Datum

Unterschrift

Datum _____ Unterschrift _____

Wenn ich bei GEO bleibe, bezahle ich bequem und bargeldlos durch 1/4jährliche Bankabbuchung DM 25,50

Bankleitzahl (bitte vom Scheck abschreiben):

Meine Kontonummer: _____

Geldinstitut: _____

Ich möchte statt 1/4jährlicher Bankabbuchung lieber eine Jahresrechnung (12 Hefte DM 102,-).

Bitte ankreuzen, falls gewünscht:

Auslandspreise: Schweiz Fr. 8,50 statt Fr. 10,50 Einzelpreis.

Österreich: S 65,- statt S 80,- Einzelpreis.

Sonstiges Ausland: DM 8,50 zuzüglich Porto

82032 A/O

Detail-Garantie

- Gratis zur Begrüßung eine aktuelle GEO-Ausgabe und dazu 4 außergewöhnliche GEO-Farbdrucke, 21x15 cm groß, die 900jährige Bavaria Buche (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. 20% Preis-Vorteil, wenn Sie sich für GEO entscheiden. Sie sparen DM 2,- pro Ausgabe gegenüber Einzelpreis.
- Sie können keine Kündigungsfrist versäumen, denn Sie dürfen jederzeit absagen.

Bestell-Karte für GEO-Sonderreihen

JA, ich möchte die Möglichkeit nutzen und Ausgaben der GEO-Sonderreihen bestellen. Bitte liefern Sie die von mir gewünschten Exemplare gegen Rechnung frei Haus. Das Porto und die Verpackung sind bereits im Preis enthalten. Senden Sie mir den (die) folgenden Titel (Anzahl der gewünschten Exemplare bitte eintragen):

- »Bonn« (F 8506) DM 12,80
- »Mexico« (F 8602) DM 12,80
- »New York« (F 8604) DM 13,50
- »Schweiz« (F 8701) DM 13,50
- »Rom« (F 8702) DM 13,50
- »Nordsee« (F 8703) DM 13,50
- »Alaska« (F 8704) DM 13,50
- »China« (F 8705) DM 13,50
- »Baden-Württemberg« (F 8706) DM 13,50

- GEO-MOBIL Herbst/Winter '87 (J 8702) DM 7,50
- GEO-WISSEN Ausgabe 1/87 (K 8701) DM 13,50 82098
- GEO-WISSEN Ausgabe 2/87 (K 8702) DM 13,50 82098

Lieferung solange Vorrat reicht.

Name/Vorname

Straße/Nummer

Postleitzahl Wohnort

Datum Unterschrift

82033

GEO-MOBIL:

Tips, Tests und Trends für Reisen. Für alle, die Reisen planen, und für unterwegs als wertvoller Ratgeber. Die Ausgabe Herbst/Winter '87 liegt vor.

GEO-WISSEN:

Reportagen aus der Wissenschaft. Für alle, die neugierig sind, die gern mehr wissen wollen. Wegen der großen Nachfrage wurde die bereits vergriffene Ausgabe GEO-WISSEN 1/87 – Gehirn/Gefühl/Gedanken – nachgedruckt und ist jetzt wieder erhältlich. Mitleser, die sich für GEO-WISSEN 2/87 interessieren, können ebenfalls mit dieser Karte bestellen.

Bestell-Karte für die Bücher von GEO

JA, bitte liefern Sie mir gegen Rechnung und mit 10 Tagen Rückgaberecht folgende Bücher von GEO: (Anzahl der gewünschten Exemplare bitte eintragen):

- »Die New York-Story« (X 2056) DM 98,-
- »Die amerikanische Reise« (X 7029) DM 98,-
- »Amerika« (X 7996) DM 98,-
- »Die Wüste« (X 1665) DM 98,-
- »Die Sonne« (X 1720) DM 98,-
- »Tibet« (X 1721) DM 98,-
- »Bedrohte Paradiese« (X 4955) DM 98,-
- »Geburt eines Ozeans« (X 7030) DM 98,-
- »Der Planet der Meere« (X 2058) DM 98,-

- »Regenwald« (X 4572) DM 98,-
- »Verlorene Menschen« (X 4742) DM 98,-
- »Die Alpen« (X 2380) DM 98,-
- »Der Mensch« (X 1639) DM 98,-

Name/Vorname

Straße/Nummer

Postleitzahl Wohnort

Datum Unterschrift

Ihre Garantie, wenn Sie Bücher von GEO jetzt bestellen:

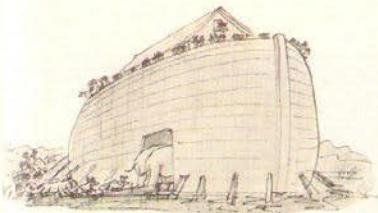
- Sie können jedes Buch 10 Tage lang kostenlos zu Hause prüfen und sich so Ihr eigenes Urteil bilden.
- Sie gehen mit dem Abruf des Buches keinerlei Verpflichtungen ein.
- Sie haben das Recht, jedes Buch innerhalb von 10 Tagen nach Erhalt ohne Begründung zurückzuschicken. Damit ist alles für Sie erledigt.

Alle Preise inkl. MwSt., Porto und Verpackung.

Ausland:

Lieferung nur gegen Vorkasse per Scheck zuzüglich DM 3,-.

82034



»Wenn das nun doch nur ein kleiner Schauer ist, stehen wir ziemlich dumm da«

te an, daß die Sintflut-Überlieferungen nicht von einer globalen Klimaänderung, etwa dem jähnen Ende der letzten Eiszeit, sondern von einer lokalen Katastrophe im Zweistromland berichten. Bei Ausgrabungen in Ur fanden sie eine etwa 4500 Jahre alte Schlammschicht, die auf eine Überschwemmung von Euphrat und Tigris hinweist.

Smog

So künstlich wie das Wort – eine Kombination aus den englischen Wörtern *smoke* (Rauch) und *fog* (Nebel) – ist auch die Ursache: Wenn sich vom Menschen produzierte Luftverschmutzung mit einer „aus tauscharmen“ Wetterlage paart, kommt es zum Smog. Hält ein stabiles Hochdruckgebiet mit seiner absinkenden, erwärmen Luft die Kaltluft gefangen, bildet sich eine sogenannte Inversion aus. Unterhalb der Inversionsschicht sammeln sich Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Stickoxide und Staub aus Fabrikschloten, Heizungsanlagen und Auspuffabgasen. Als Kondensationskerne für den Wasserdampf fördern sie die Nebelbildung. Dadurch wird noch mehr Sonnenlicht abgeblendet; die untere Luftschicht kühlert weiter ab, und die Inversion verstärkt sich.

Smog bedroht die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen und greift die Oberfläche von Baumaterialien an. Smog-Verordnungen regeln, wann und mit welchen Konsequenzen Smog-Alarm gegeben wird. Je nach Inversionsuntergrenze, Windstärke und Schadstoffgehalt werden Autoverkehr und Industrieproduktion in drei Stufen gedrosselt oder eingestellt.

Sonnenflecken

Durchschnittlich alle elf Jahre häufen sich auf der Oberfläche der Sonne die Flecken – Gebiete, die rund 1200 Grad kühler sind als die etwa 5500 Grad Celsius heiße Photosphäre und die deshalb dunkler erschei-

nen. Schon um die Jahrhundertwende war dieser Sonnenfleckencyklus von dem Briten Edward Maunder erstmals mit dem Klimageschehen auf der Erde in Verbindung gebracht worden: Während der „kleinen Eiszeit“ traten zwischen 1625 und 1715 so gut wie keine Sonnenflecken auf.

Der lange vermutete Einfluß der Sonnenflecken auf Wetter und Klima konnte erst in jüngerer Zeit statistisch signifikant nachgewiesen werden. Wie die Berliner Meteorologin Karin Labitzke und ihr amerikanischer Kollege Harry van Loon kürzlich berichteten, verbirgt sich der Sonnenfleckencyklus wahrscheinlich in den beiden Phasen der sogenannten Quasi-Biennalen Oszillation (QBO) – einmal im Rhythmus von beinahe zwei Jahren, also „quasi biennial“, abwechselnd nach Osten oder Westen driftenden Strömungssphänomen in der Stratosphäre über dem Äquator.

Bei der Auswertung der drei letzten Sonnenfleckencyklen zwischen 1956 und 1987 hatten die beiden Meteorologen die Zeiten maximaler oder minimaler Fleckenaktivität mit Wettersternen auf der nördlichen Erdhalbkugel verglichen: nicht mehr – wie üblich – jahrgangsweise, sondern jeweils nach der östlichen oder der westlichen QBO-Phase. Dabei wurde folgender Sonnenfleckencyklus sichtbar:

- Solange sich die QBO in ihrer West-Phase befand, waren Temperatur und Luftdruck im Polargebiet während des Sonnenfleckencyklus höher als normal. Damit waren diese Daten „positiv“ mit dem Sonnenfleckencyklus korreliert. Die Daten aus südlicheren Breiten und in den Wintern der Ost-Phase der QBO verhielten sich hingegen umgekehrt.

- Während der West-Phase der QBO kam es darüber hinaus nur im Maximum der Sonnenflecken zu den großen „Stratosphärenerwärmungen“ im Polargebiet mitten im Winter; während der Ost-Phase der QBO traten solche Erwärmungen eher zum Zeitpunkt eines Sonnenfleckencyklus auf. Es scheint, als ob der Einfluß der QBO auf die Stratosphäre außerhalb der Tropen während eines Minimums stärker ist als während eines Maximums.

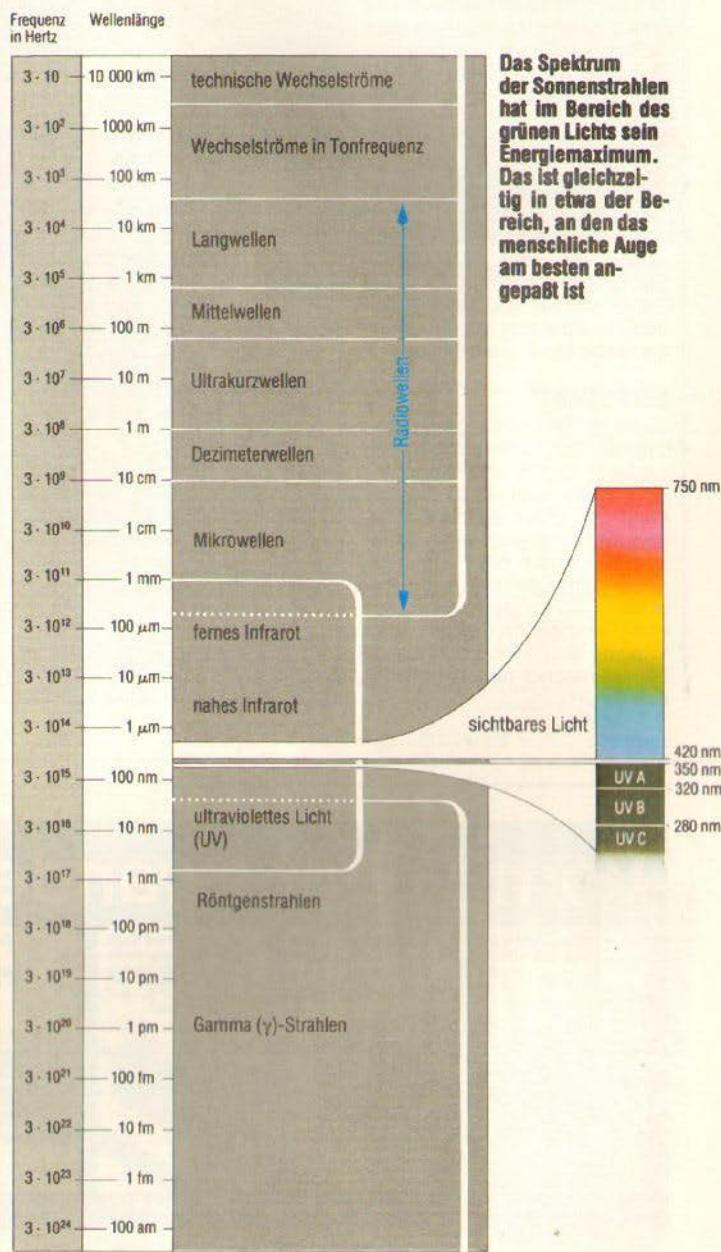
- Einen engen Zusammenhang fanden die Meteorologen auch zwischen dem Sonnen-

fleckencyklus und dem Wettergeschehen in der Troposphäre; besonders ausgeprägt war die Korrelation während der West-Phase der QBO über Nordamerika und den angrenzenden Meeren: je höher die solare Aktivität, desto höher der Luftdruck.

Wie der Sonnenfleckencyklus über den Umweg der QBO Temperatur und Luftdruck auf Meereshöhe beeinflußt, wird derzeit untersucht. Ob die neuen Erkenntnisse zu besseren Wetter- oder Klimaprognosen führen, läßt sich noch nicht abschätzen.

Spektrum

Das Spektrum der elektromagnetischen Wellen reicht von den langwelligen Radiowellen über Infrarot-(Wärme-)Strahlung, sichtbares Licht, Ultraviolet-(UV-)Licht und Röntgenstrahlung bis hin zur extrem kurzweligen Gammastrahlung. Je höher die Frequenz – oder, anders ausgedrückt: je kürzer die Wellenlänge – einer elektromagnetischen Strahlung ist, desto höher ist auch die von ihr transportierte Energie. UV-, Röntgen- und Gammastrahlen können, anders als das für uns



sichtbare Licht, Mutationen im Erbgut verursachen.

Die Sonne sendet ein breites Bündel elektromagnetischer Strahlung aus. Unser Auge ist allerdings nur für einen kleinen Teil dieses Spektrums empfänglich: für den Wellenbereich von 350 bis 750 Nanometer. Was darunter liegt – das Ultra-Violett –, verursacht Sonnenbrand; was darüber liegt – das Infra-Rot –, können nur spezielle Kameras sichtbar machen.

Spuren gase

In der Atmosphäre nur in „Spuren“ enthaltene Gase. Dazu gehören klimawirksame Stoffe wie Kohlendioxid, Methan, Lachgas, Ozon, Kohlenmonoxid und die Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe.

Stickstoff

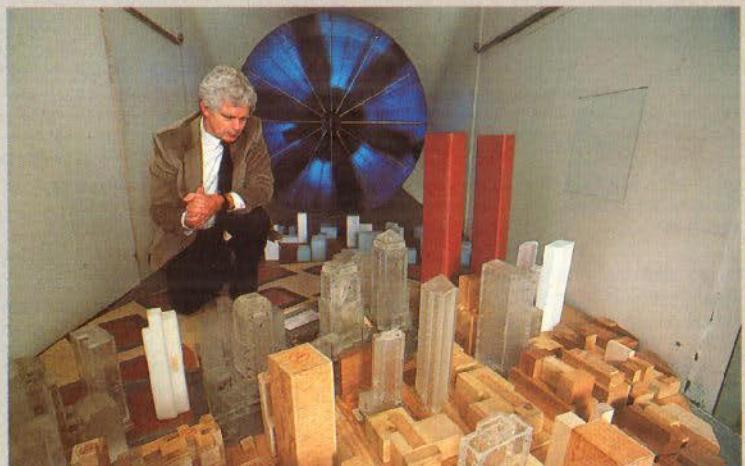
Chemisch trüges Gas, das als zweiatomiges Molekül (N_2) den Hauptanteil (rund 78 Prozent) der Luft ausmacht. An andere Atome gebunden – etwa im Nitrat oder im Ammonium –, ist Stickstoff ein wichtiger Nährstoff für Pflanzen, die ihn in organische Moleküle einbauen.

Stickoxide

Sauerstoffverbindungen des Stickstoff. Zu ihnen gehören Lachgas (N_2O), Stickstoffmonoxid (NO) und das „nitro Gas“ NO_2 . Stickoxide entstehen bei Verbrennungsprozessen. Sie sind in der Regel giftig und tragen erheblich zur allgemeinen Luftverschmutzung und womöglich auch zum Waldsterben bei. Lachgas ist Mitverursacher des Treibhaus- effekts.

STADTKLIMA

Wenn Winde auf die Wände wehen



Schlechte Werte für die Aerodynamik: eine City im Windkanal

Ein Schwabinger kann seine Maß öfter im Freien trinken als einer, der in Fürstenried siedelt: Im Zentrum der bayrischen Landeshauptstadt gibt es im Laufe eines Sommers bis zu dreimal mehr „Biergartentage“ als in der Peripherie, dreimal so viele Abende, an denen es nach neun Uhr noch wärmer als 20 Grad ist. Eine vergleichsweise angenehme Eigentümlichkeit jeder City: des Stadtklimas.

Städte haben ihr spezifisches Wetter. Die starke Bebauung macht sie zu Wärmeinseln. Dächer, Wände und Asphalt nehmen an sonnigen Tagen große Mengen Strahlungsenergie auf, die sie wie eine Nachspeicherheizung wieder abgeben. Zusätzlich heizt der Mensch seinen

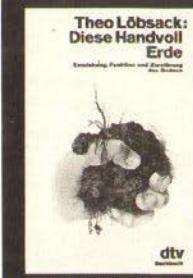
Städten ein: mit Automotoren, Maschinen und Öfen. Die „Klimaanlage der Natur“, die Verdunstung, ist weitgehend abgestellt, weil die Kanalisation das Regenwasser rasch abführt. Zwischen einem und drei Grad liegen deshalb die Temperaturen einer Stadt durchschnittlich über der ihres Umlandes. In Washington, D.C. sind es sogar sechs Grad.

Auch weht in der Stadt ein anderer Wind: Die vielen gemauerten Hindernisse drosseln ihn. Der schwache Luftzug lässt nicht nur die Hitze in den Straßen stehen, er kann auch die vielen Abgase und Staubpartikel nicht wegführen. In der Stadt ist die Belastung mit Aerosolen rund zehnmal höher als auf dem Lande. Sie bilden eine Dunstglocke, die das Son-

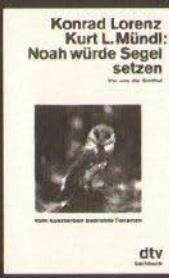
nenlicht dämpft und die Wärmeabstrahlung der Stein- und Asphaltwüste treibhausartig abfängt. Zudem sind Aerosole Kondensationskeime, die die Nebelbildung fördern. Regentage und Gewitter werden häufiger, weil über den stark erwärmten Siedlungen die Luft verstärkt aufsteigt und oft zur Bildung von Quellbewölkung führt.

Der schlafraubenden Schwüle und der ungesunden Atmosphäre in den Zentren könnte nach Ansicht von Klima-Ökologen entgegengewirkt werden – beispielsweise durch zusammenhängende Gürtel aus Bäumen und Sträuchern, die als „Grüne Lungen“ den Staub schlucken, oder „Luftleitbahnen“, die frische Flurwinde durch die Straßen führen.

Vom Lebenswandel der Lebensräume



dtv 10620 / DM 9,80



dtv 10750 / DM 16,80



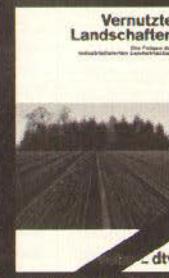
dtv 10502 / DM 9,80



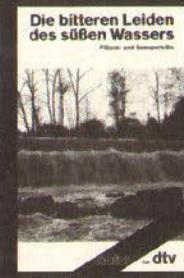
dtv 10371 / DM 12,80



dtv 10589 / DM 14,80



dtv 10600 / DM 12,80



dtv 10486 / DM 12,80

Stratosphäre

Teilschicht der Atmosphäre in einer Höhe von etwa 12 bis 50 Kilometern über der Erde (siehe Grafik auf Seite 29).

Temperaturgradient

Bis hinauf in die Stratosphäre nimmt die Lufttemperatur pro 100 Meter um durchschnittlich 0,5 bis 1 Grad Celsius ab. Der Abkühlungseffekt resultiert vor allem aus der Druckabnahme. Auch aufsteigende Luft kühlte sich ab: um 1 Grad pro 100 Meter. Oberhalb des Kondensationspunktes bremst die freiwerdende, im Wasserdampf gespeicherte Energie die Abnahme auf 0,6 Grad pro 100 Meter. In der Stratosphäre bewirkt die Strahlungsabsorption der Ozon-Schicht einen Temperaturanstieg.

Treibgase

siehe Seite 40

Treibhaus-Effekt

siehe Seite 22

Tropen

Zone zwischen den Wendekreisen (siehe Jahreszeiten). Die inneren Tropen unterscheiden sich von den Subtropen in

re. Hier spielt sich das Wetter ab (siehe Grafik auf Seite 29).

Ur-Atmosphäre

Gashülle, die vor über vier Milliarden Jahren die Erde umgab. Sie bestand aus Wasserstoff, Methan, Ammoniak und Wasserdampf – den Zutaten der „Ursuppe“, mit der Stanley Lloyd Miller 1953 als erster im Labor organische Moleküle – mögliche Vorstufen des Lebens – zusammenbraute.

Vulkanismus

Wenn Vulkane mit großem Ge- töse explodieren, schleudern nicht nur sehr viel CO₂, sondern auch enorme Mengen Staub und Asche in die Luft, die sich als Aerosole auf das Klima auswirken.

Wasserdampf

Wasser, das gasförmig in der Luft enthalten ist. Im Wasserdampf steckt verborgene (latente) Wärme. Sie wird frei, wenn er zu kleinen – als Wolken oder Nebel sichtbaren – Wassertropfchen kondensiert.

Wetterkarten

Die erste aktuelle Wetterkarte präsentierten Meteorologen 1851 bei einer Weltausstellung in London. Heute werden über ein internationales Datennetzwerk Wetterinformationen von vielen tausend Beobachtungspunkten rund um den Globus gesammelt. Großrechner konstruieren daraus eine vorläufige, noch stark mit Zahlen überfrachtete Wetterkarte, die von Meteorologen interpretiert und weiter vereinfacht wird.

Auf unserer europäischen Muster-Wetterkarte (siehe nächste Seite) zum Beispiel ziehen sich Fronten von Island bis in die Biskaya, deren Charakter sich mehrmals ändert: Die Okklusionsfront wandelt sich über der Nordsee zu einer Kaltfront und geht dann zwischen Süde England und dem zweiten Tief-Kern über dem Atlantik in eine Warmfront über. Halbkreise auf der Frontlinie markieren eine Warmfront, Dreiecke eine Kaltfront. Isobaren verbinden in geschlossenen Linien die Orte gleichen Luftdrucks.

Typisch für die europäische Wettersituation ist das Tief über Island und der Ausläufer des Azorenhochs. Einzelne Stationsmeldungen zeigen Windrichtung und -stärke, Lufttemperatur und Bewölkungsgrad, gemessen in Achteln des Fir-



Nur sechs Prozent des Festlandes auf der Erde sind noch von tropischen Regenwäldern bedeckt

Feuchtigkeit und Schwüle. In Äquatornähe gibt es keine Jahreszeiten; hier regnet es täglich. Zu den Wendekreisen hin wird es indes heißer und trokener: Niederschläge fallen – wenn überhaupt – nur zu bestimmten Regenzeiten.

Troposphäre

Unterste, an den Polen bis zu 8 Kilometer und am Äquator bis zu 17 Kilometer hoch reichende Luftsicht der Atmosphä-

nordklima macht Innenwetter

mit Luftheizungen und Lüftungen in Hallen und Großräumen aller Art.



Wärme im Winter – Frische im Sommer

nordklima bietet energiesparende Systeme zur Heizung, Lüftung und Wärmerückgewinnung in Hallen und Großräumen aller Art, z.B. für:

- Supermärkte/Möbelhäuser
- Verwaltungsgebäude
- Ausstellungs- und Lagerhallen
- Gaststätten und Säle
- Werk- und Industriehallen
- Bars und Diskotheken
- Kinos und Theater
- Kfz-Werkstätten
- Sport- und Freizeithallen
- Spritz- und Trockenkabinen
- Kirchen und Versammlungsräume
- Gewächshäuser

nordklima: Damit Menschen sich wohl fühlen. Im Beruf, zu Hause und während der Freizeit.

nordklima[®]

Wärme im Winter, Frische im Sommer

Luft- und wärmetechnische

Geräte und Anlagen

Bitte Info und Beratung anfordern bei

nordklima
Luft- und Wärmetechnik GmbH
D-2842 Lohne/Oldb., PF 1140 G
Tel. 0 44 42/8 89-0, Fax 8 89 59
TTX 444 213

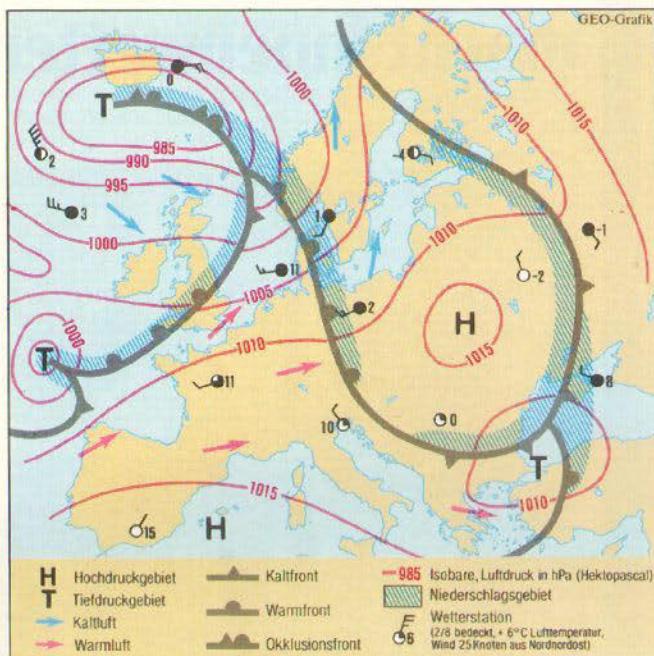
Anatomie eines Musterlandes

Baden-Württemberg – das ist für viele der Inbegriff für wirtschaftlichen Erfolg und Zuverlässigkeit. Das neue GEO-Special Baden-Württemberg hinterfragt diesen Mythos und nimmt Mentalität, Kultur und Landschaft der Schwaben genau unter die Lupe.

Das neue GEO-Special Baden-Württemberg, 230 Seiten, DM 13,50

Ab 2. 12. bei Ihrem Zeitschriftenhändler





Typisches Europawetter: Islandtief und Hoch über Rußland

Wetterrekorde: die Hitliste der Meteorologen

Temperatur-Maximum	
Einzelmessung	+58 Grad C; Al-Aziziyah/Libyen
Jahresmittelwert	+34,4 Grad C; Dallol/Athiopien
Temperatur-Minimum	
Einzelmessung an einem bewohnten Ort	-89,2 Grad C; Wostok/Antarktis
Jahresmittel (berechnet)	-71,1 Grad C; Oymyakon/UdSSR
-57,8 Grad C; Nedostupnosti/Antarktis	
Temperaturdifferenz-Maximum	
im Laufe eines Jahres	106,7 Grad C (-70/+36,6); Werchojansk/UdSSR
innerhalb eines Tages	55,5 Grad C (+6,6/-48,9); Browning Montana/USA
Temperaturdifferenz-Minimum	
innerhalb eines Jahres	11,8 Grad (+31,4/+19,9); Saipan/Marianeninseln
Maximaler Niederschlag	
Regenintensität	38,1 mm/min; Barst/Guadeloupe
Tagesmenge	1870 mm; Cilaos/Réunion
in 1 Monat	9300 mm; Cherrapunji/Indien
in 12 Monaten	26 461 mm; Cherrapunji/Indien
Jahresmittel (Summe)	11 684 mm/Mt. Waialeale/Kauai/Hawaii
Regentage	350 Tage/Jahr; Kauai/Hawaii
Minimaler Niederschlag	400 Jahre ohne Niederschlag; Calama/Atacamawüste, Chile
Maximaler Schneefall	
an einem Tag	1,93 m; Silver Lake/Colorado, USA
Längste Sonnenscheindauer	4300 Stunden pro Jahr; libysche Sahara
Maximale Windgeschwindigkeit	416 km/h; Mt. Washington/New Hampshire
Höchster Sturmschaden	2,3 Mrd. Dollar; Hurrikan „Frederic“, USA; 1979
Maximale Gewittertage	322/Jahr; Bogor/Java, Indonesien
Maximale Meerestemperatur	35,6 Grad C; Persischer Golf
Maximaler Luftdruck	1083,8 Hektopascal; Agata/UdSSR
Minimaler Luftdruck	856 Hektopascal; Taifun bei Okinawa/Japan
Langlebigster Regenbogen	3 Stunden; Nord-Wales
Tiefster Dauerfrostboden	1500 m; Lenabecken/UdSSR
Maximale Eisdicke	4776 m; Wilkes Land/Antarktis

maments: Helgoland meldet zum Beispiel Westwind mit 15 Knoten, einen zu acht Achteln bedeckten Himmel und eine Lufttemperatur von 11 Grad Celsius.

Wettersatelliten

Alle 30 Minuten funkten „Meteosat“, der europäische Wetter-satellit, ein aus 36 000 Kilometer Höhe aufgenommenes Bild zur Erde. Er „hängt fest“ über der Erde – genau auf der Höhe des Äquators über dem nullten Längengrad – und dreht sich mit der Erde um die Erdachse. Neben „Meteosat“ gibt es noch weitere solcher „geostationären“ Satelliten. Zusammen mit amerikanischen, japanischen und sowjetischen „erdumlaufenden“ Satelliten – sie umkreisen in Höhen zwischen 800 und 900 Kilometern die Erde –, halten sie die „Weltwetterwacht“.

Wind

In fünf Kilometer Höhe wehen Winde immer längs der Isobaren. Darunter blasen sie eher in Richtung des tiefen Luftdrucks – eine Folge der Coriolis-Kraft, die erst in Bodennähe durch Reibung an Einfluß verliert. Lokale Windsysteme entstehen in den Bergen als Talwinde oder durch die schnellere Erwärmung von Landflächen gegenüber dem Wasser (Land-See-wind-Systeme). Die Windstärke wird in Beaufort oder Knoten gemessen.

Witterung

Der allgemeine Wetterablauf über einem Gebiet während eines Zeitraums von mehreren Tagen oder Wochen.

Zyklone

Riesige Luftwirbel, die mit tiefem Luftdruck und wolkenge-bänderten Fronten für schlechtes Wetter sorgen. Wird durch starke Aufheizung der Boden erwärmt, dann steigt die Luft nach oben und kühlst sich ab. So entsteht am Boden ein „thermisches Tief“, in das Luft hineinströmt, wodurch es zu Niederschlägen kommt. Ein „dynamisches Tief“ entsteht dagegen in der Frontalzone, aus der es bevorzugt nach Nordosten hin ausschert. Da sich in der Frontalzone tropische Warm- und polare Kaltluft begegnen, bilden sich im Grenzbereich Kalt- und Warmfronten, die unser Wetter gestalten (siehe auch Antizyklone).

WOLKEN

Wenn ein Amboß am Himmel steht, nahen Blitz und Donnerschlag

„Sendboten des Todes“ und „Sinnbild alles Wanderns“ nennen Hermann Hesse die Wolken. Die wissenschaftliche Definition klingt nüchterner: Wolken sind eine Ansammlung winziger in der Luft schwiebender Wassertröpfchen oder Eiskristalle. Sie streuen das Licht gleichmäßig diffus und erscheinen deswegen weiß. Wolken beeinflussen entscheidend die Albedo und die Strahlungsbilanz der Erde.

Von jeher dienen die wechselhaften Gebilde Seeleuten wie Bergbauern als Hilfe bei Wetterprognosen. Mit ein wenig Übung in der Himmelsschau kann es jeder zu einem Meister der kurzfristigen und kleinräumigen Vorhersage bringen.

Es gibt zwei Haupttypen von Wolken:

Typ 1: *Cumuluswolken* (Quell- oder Haufenwolken). Sie bilden sich durch Konvektion: Erhitzte Luft steigt vom Erdboden auf und reißt immer größere Luftmassen in die Höhe. Dabei kühlst sie ab, und der unsichtbare Wasserdampf kondensiert zu kleinen Tropfen. So können niedrige Schönwetterwolken (*Cumulus humilis*) entstehen, aber auch die blumenkohlartigen Quellwolken (*Cumulus congestus*), aus denen es gelegentlich leicht regnet, und schließlich die riesigen Gewitterwolken (*Cumulonimbus*). Aus ihnen prasseln heftige Schauer und auch Hagel auf die Erde nieder. Da *Cumuluswolken* vor allem bei starker Erwärmung des Bodens auftreten, sind sie bei uns im Sommer besonders häufig.

Typ 2: *Stratuswolken* (Schichtwolken). Sie entwickeln sich vor allem durch Aufgleitvorgänge bei stabiler Schichtung, wenn etwa die Warmfront eines Tiefs sich langsam über kalte Luft schiebt. Federförmige Eiswolken (*Cirren*) sind die ersten Vorboten einer

Front. Bald folgen dünne Schichtwolken (Altostratus translucidus), die noch schwach die Sonne durchscheinen lassen. Schließlich ziehen graue Regen- oder Schneewolken (Nimbostratus) auf. Sie können sich über Hunderttausende von Quadratkilometern erstrecken und sind die Quelle für ausgiebige und langanhaltende Niederschläge.

Neben Konvektion und Aufgleiten gibt es noch andere Vorgänge, die zur Wolkenbildung führen: Wenn die Erde in klaren Nächten ihre Wärme abstrahlt, dann sinkt die Temperatur in der darüberliegenden Luft und es entsteht Nebel und Hochnebel.

Die Meteorologen, die Wolken, ähnlich wie Biologen die Lebewesen, in Familien, Gattungen und Arten einteilen, ordnen die Formenvielfalt am Firmament drei „Stockwerken“ zu. In unseren Breiten sind das

1. das Stockwerk der Eiswolken (6 bis 13 km Höhe);
2. das mittlere Stockwerk mit unterkühlten Wasserwolken und Eis-Wasser-Mischwolken (2 bis 6 km Höhe) und
3. das untere Stockwerk der nicht unterkühlten Wasserwolken (bis 2 km Höhe).



In etwa zehn Kilometer Höhe schweben die flauschigen Cirrus- oder Federwolken. Sie bestehen nur aus Eiskristallen und künden von einem nahenden Tief. Lösen Cirren sich auf, deutet das meist auf den Übergang zu besserem Wetter hin



Kilometerweit erstrecken sich die grauen Nimbostratus-Wolken in die Höhe. Die Schleusen des Himmels stehen offen: Im Sommer bringen Nimbostratus langanhaltende Landregen und im Winter dichten Schneetreiben



Dichte, gewaltige Cumulonimbus-Wolken turmen sich auf. An der eisigen Obergrenze der Troposphäre sind sie amboßförmig ausgefranst. Sie bergen enorme Mengen Wasser, die in heftigen Schauern niedergehen, begleitet von Sturmböen, Blitzen und Hagelschauern



Blendend weiß heben sich die Wattebüschel der Schönwetterwolken gegen das strahlende Blau des Himmels ab. Zeigen diese Wolken vom Typ Cumulus humilis die Farben der bayrischen Rautenfahne so deutlich, dann bleibt das Wetter stabil klar, sonnig und trocken

Stratus-Formen	Schichten-Schleier	Schichten-Fäden	Cumulus-Formen: Haufen	Regenwolke
hohe Schleierwolke (Cs)		Federwolke (Cr) Hakenwolke (Cc)		
feine Schätzchen (Cc)		feine Schätzchen (Cc)		
hohe Schichtwolke (As)				
große Schätzchen (Ac)		Gewitterwolke (Cb)		
mittlerhe Hohe Haufenwolke (Ac)		Schauerwolke (Cb)		
tiefe Schichtwolke (St)	Hautenschichtwolke (Sc)	(Cu) Haufenwolke	Regenwolke (Ns)	
				Fractusw.

In drei Etagen spielt sich das Wettergeschehen ab. Dort treiben die unterschiedlichsten Quell- und Schichtwolken – keine starren, sondern dynamische Gebilde

Enzyklopädie der

Naturforschung ist eine formal strenge Methode, Neues über die Welt zu erfahren. Auch für Naturwissenschaftler ist Unbekanntes viel reizvoller als Bekanntes. GEO-Wissen fragte vier renommierte Meteorologen und Klimaforscher:

1 Welche offene Frage aus Ihrem Spezialgebiet würden Sie in den nächsten zehn Jahren am liebsten beantworten?



Prof. Dr. Paul J. Crutzen ist Direktor der Abteilung Chemie der Atmosphäre des Max-Planck-Instituts für Chemie in Mainz. Der gebürtige Holländer wurde als Co-Autor der Theorie vom »Nuklearen Winter« über seinen Fachbereich hinaus weltweit bekannt

1 Es ist zu erwarten, daß ich mich mit einigen Fragen beschäftigen werde, die bis heute überhaupt noch gar nicht gestellt worden sind. Denn auch in der Vergangenheit konnte ich nie Zehnjahrespläne für meine Forschung entwickeln, an die ich mich dann hätte halten können. Es hat auf dem Gebiet der Luftchemie immer wieder überraschend neue Entwicklungen gegeben. Zum Beispiel verstehen wir erst jetzt in etwa, wie die Atmosphäre „sauber“ gehalten wird.

Die allermeisten Gase, die durch natürliche und industrielle Prozesse in die Atmosphäre gelangen, werden durch nur winzige Mengen von sogenannten OH-Radikalen, dem „Waschmittel“ der Atmosphäre, abgebaut – und nicht etwa durch molekularen Sauerstoff, obwohl Sauerstoff etwa zehntausend Milliardenmal häufiger vorkommt. OH-Radikale – Verbindungen aus je einem Sauerstoff- und Wasserstoffatom – entstehen durch die Einwirkung ultravioletter Sonnenstrahlung auf das Ozon der Troposphäre. Die Troposphäre, die unteren zehn Kilometer der Atmosphäre, enthält nur etwa zehn Prozent des gesamten Ozons der Atmosphäre. Trotzdem ist dieses Ozon von großer Bedeutung für die Kreisläufe der meisten Spurengase in der Atmosphäre.

Solare UV-Strahlung und Ozon spielen eine dominierende Rolle bei der globalen Luftreinhaltung, so daß beide lebensnotwendig sind. Andererseits sind zuviel UV-Strahlung und zuviel Ozon wieder schädlich für die Biosphäre. Es kommt also auf die von der Natur geschaffene richtige Bilanz an.

2 Welche Grenzen der Erkenntnis sehen Sie für die Wetter- und Klimaforschung?

Hierbei handelt es sich auch um ein faszinierendes Zusammenspiel zwischen solaren, chemischen und biologischen Prozessen, die zur Emission wichtiger atmosphärischer Spurenstoffe führen. Die Menschheit ist jetzt dabei, diese Bilanz erheblich zu stören. In den belasteten Gebieten auf der Erde nimmt das troposphärische Ozon durch zunehmende Stickoxid- und Kohlenwasserstoff-Ausstöße zu. In Reinluftgebieten vermuten wir das Umgekehrte. Das Ozon in der Stratosphäre wird durch die von Menschen erzeugten Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe angegriffen.

Die eben erwähnten – sowie einige zusätzliche – Gase beeinflussen auch das Klima der Erde. Dadurch wird der durch den Kohlendioxid-Anstieg erwartete Treibhauseffekt in Zukunft etwa verdoppelt. Deshalb sind globale Luftchemie – und Klimaforschung nahe miteinander verknüpft.

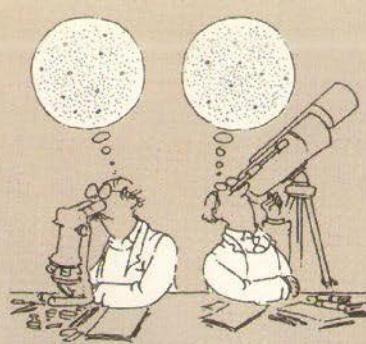
Ein wichtiges Forschungsthema der kommenden De-

3 Wie schätzen Sie die bundesdeutsche Klimaforschung im internationalen Vergleich ein?

kade wird es sein, die photochemischen Prozesse, die sich in der Atmosphäre abspielen, quantitativ zu erfassen. Um die Wechselwirkung zwischen Biosphäre und Atmosphäre besser zu verstehen, müssen wir die Quellen mehrerer wichtiger atmosphärischer Spurenstoffe abschätzen können. Ich glaube, daß sich eben in diesen Bereichen die wichtigsten Aktivitäten abspielen werden. Besonders für die Tropen fehlen Informationen. Eine einzelne Frage aus diesem Komplex kann ich da nicht auswählen. Überhaupt kommt es in der Zukunft bei der Forschung auf internationale Zusammenarbeit an.

2 Eines der größten Probleme der globalen Umwelt- und Klimaforschung liegt darin, daß viele wichtige Prozesse sich auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen abspielen. Wenn man zum Himmel schaut, sieht man das Chaos der Wolkenbildung. Auf der Erde wiederum sind Abgabe oder Aufnahme von Spurenstoffen an Böden und Pflan-

Ignoranz



zen durch höchst variable mikrobiologische und bodenphysikalische Prozesse beeinflußt, so daß gemessene Emissionen von Quadratmeter zu Quadratmeter erhebliche Unterschiede aufweisen können. Es ist natürlich völlig unpraktikabel, in Klimamodellen zu versuchen, jede einzelne Wolke zu modellieren oder Bodenemissionen auf jedem Quadratmeter zu erfassen. Die Gesamtheit dieser Prozesse muß also über größere Raum- und Zeitskalen „parametrisiert“ werden. Damit hat man in der Wetter- und Klimaforschung bisher gute Fortschritte erzielt, auch wenn die Wolkenparametrisierung noch immer die größte Unsicherheit bei den Klimaprognosenmodellen ist. Bei den Emissionen dagegen hat man sich erst in den letzten Jahren mit diesem Problem befaßt.

Wechselwirkungsprozesse zwischen Atmosphäre und Biosphäre werden sicher nicht nur durch direkte menschliche Eingriffe geändert, sondern auch durch sich wandelnde klimatische Bedingungen. Umgekehrt beeinflussen unterschiedliche Gas-Emissionen das Klima. Wie beim Wolkenproblem müssen solche Prozesse anhand großräumiger Variablen parametrisiert werden. Wir haben gute Hoffnung, daß das gelingen wird. Wir müssen ja auch nicht alle Einzelheiten der Biochemie eines Menschen kennen, um sein Verhalten in etwa vorhersagen zu können.

Prof. Dr. Hartmut Graßl
ist Physiker am GKSS-Forschungszentrum Geesthacht und
designierter Direktor am
Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg



3 Sowohl auf dem Gebiet der Klimaforschung als auch in der Luftchemie gehört die bundesdeutsche Forschung zur Weltspitze. Bei der Luftchemie wurde die Forschung sogar anfänglich von deutscher Seite angeführt. Die Konkurrenz aus Amerika nimmt aber ständig zu. Ich sehe hierzulande ein großes Problem: Im Gegensatz zu den USA haben bundesdeutsche Universitäten die Bedeutung unseres Forschungsgebiets noch nicht genügend eingesehen.

teilweise kompensieren, oder erhöhen sie ihn gar?

Zweitens: Kann der Energiehaushalt an der Erdoberfläche mit Erdbeobachtungssatelliten bestimmt werden?

Während die Teilantworten auf die erste Frage den Unsicherheitsbereich bisher vorhergesagter globaler Veränderungen einengen helfen, verbessert die Messung der Energiehaushalt-Anomalien nicht nur längerfristige Wettervorhersagen, sondern eröffnet den Weg zu Klimavorhersagen: Sie erlaubt die Bestimmung des vorhersagbaren Teiles der Schwankungen von Jahreszeit zu Jahreszeit und von Jahr zu Jahr. Sind diese Teile groß genug, gibt es vielleicht Klimavorhersagen.

2 Das Klima und seine Änderungen wären verstanden, wenn Wechselwirkungen zwischen unbelebter und belebter Natur einschließlich der Wirkung der Aktivitäten der zahlenmäßig fast explodierenden Menschheit bekannt wären.

Messungen können aus zwei prinzipiellen Gründen nicht völlig genügen: Die mathematisch formulierbaren, also prinzipiell verstandenen physikalischen und chemischen Prozesse würden auch bei extrem gesteigerter Kapazität der Großrechner noch immer nicht alle Bewegungen in Atmosphäre, Ozean, Eis und Erdkruste detailliert genug beschreiben. Die notwendige

gen Näherungen begrenzen also immer die Aussagen der Klimamodelle.

Und: Die Wechselwirkungen der belebten Natur mit dem unbelebten Teil des Klimasystems können noch nicht aus Grundprinzipien abgeleitet und damit auch nicht mathematisch formuliert werden. Wir sind bis auf weiteres auf empirische Beziehungen angewiesen.

3 Forschung im Bereich der Geowissenschaften braucht gegenwärtig – neben Köpfen – Großrechner für Modellrechnungen und Satellitengeräte für globale Beobachtungen in festem Zeitintervall. Im europäischen Rahmen ist wegen der ideenfördernden kulturellen Vielfalt bei internationaler Zusammenarbeit kein Mangel an guten Ansätzen. Der Rückstand (gegenüber den USA) bei der Erdbeobachtung vom Weltraum aus wird durch angelaufene Programme der europäischen Weltraumbehörde ESA wahrscheinlich bald beseitigt. Großrechner stehen zur Verfügung, Klimamodelle wurden oder werden in fast allen größeren europäischen Ländern entwickelt.

Das Klimaprogramm der Bundesregierung bildet, aufbauend auf längerfristiger Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, eine günstige Basis. Eine Mobilisierung

1 Erstens: Können Veränderungen kurzlebiger Substanzen, wie zum Beispiel der Aerosolteilchen und der aus ihnen sich bildenden Wolken, den zunehmenden Treibhauseffekt der Atmosphäre aufgrund erhöhter Konzentration langlebiger Gase

Enzyklopädie der Ignoranz

der Wetterdienste bei der Aufbereitung der Satelliten-daten ist notwendig. Um die eigene Stimme entsprechend dem finanziellen Beitrag zur ESA geltend machen zu können, ist außer einer nationalen Koordinierung der Erdbeobachtung auch eine systematische Förderung guter Experimentervorschläge notwendig, die dann eher in den europäischen Rahmen passen.



Prof. Dr. Hans Hinzpeter ist Meteorologe und seit 1976 Direktor am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg

Die gegenwärtigen Klimamodelle sind äußerst komplex. Sie müssen die Wirkung einer Reihe wichtiger kleineräumiger Prozesse in der Atmosphäre – beispielsweise die Entstehung von Cumuluswolken – mit Hilfe großeräumiger Parameter darstellen. So haben die dabei wichtigen Vorgänge – auch ohne Berücksichtigung der Mikrophysik – räumliche Ausdehnungen von einigen Kilometern, sind also klein, gemessen an der

räumlichen Auflösung der Modelle von einigen hundert Kilometern.

Damit die klimatische Wirkung dieser konvektiven Bewölkung nicht durchs weite Maschennetz der Modelle fällt, wird sie meistens über die relative Feuchte (Luftfeuchtigkeit) ermittelt, die sich in dem größeren Raum einstellt (zum Beispiel 250 x 250 x 1 Kilometer). Die Bedeckung mit solchen Wolken bestimmt, wieviel Sonnenlicht von den Wolken innerhalb des Meßraums reflektiert wird.

Für das Erdklima spielt gerade die Bedeckung mit Wolken in den unteren 1000 Metern der Lufthülle eine wesentliche Rolle. So kann eine Erhöhung des Bedeckungsgrades um nur wenige Prozent die (Treibhaus-) Wirkung einer Verdopplung des Kohlendioxid (CO_2)-Gehalts der Luft kompensieren, weil von der hellen Oberfläche der Wolken mehr Sonnenenergie ins Weltall reflektiert würde. Der steigende CO_2 -Gehalt könnte jedoch auch die atmosphärische Zirkulation so verändern, daß die Wolkenbedeckung abnimmt und der Treibhaus-Effekt entsprechend verstärkt würde.

Unser Ziel ist es deshalb, die Bedeckung mit tiefen Wolken in den Klimamodellen besser darzustellen. Da diese Wolkenbildung an Vertikalbewegungen in den unteren 1000 Metern der Atmosphäre (die „Grenzschicht“) gebunden ist, muß zunächst die konvektive Strömung in dieser Grenzschicht bestimmt werden – auch in Abhängigkeit von großeräumigen Parametern

wie etwa der Grenzschichtmächtigkeit und der Differenz zwischen Wasser- und Lufttemperatur. Danach muß dann der Bedeckungsgrad abgeleitet werden.

Die in der Grenzschicht auftretenden Konvektionsmuster werden zum Teil verstanden; aus ihnen den Bedeckungsgrad abzuleiten, ist ein weiterer, sinnvoller Schritt – auch wenn der Erfolg eines solchen Vorhabens nicht garantiert werden kann.

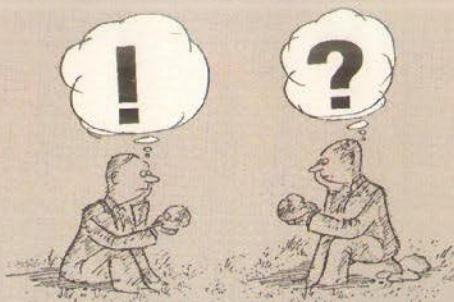
2 Hier interessieren mich zwei Probleme, ein mehr akademisches und ein sehr praxisnahe.

Erstens: Um das Klima eines Ortes annähernd korrekt beschreiben zu können, müssen wir die wesentlichen meteorologischen Parameter – Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Niederschlag und Temperatur – als Komponenten eines „Klimavektors“ auffassen, dessen Verteilung das Klima kennzeichnet. Wesentliche Merkmale des Klimas sind also zumindest die meteorologischen Mittelwerte, die Schwankungsbreite – „Varianz“ – der einzelnen Klima-Komponenten sowie die Co-Varianzen zwischen den Komponenten: So ist ein Winterregen-Klima Beispiel für die negative Co-Varianz Temperatur-Niederschlag; ein Sommerregen-Klima gilt dagegen als positive Co-Varianz. Aufwendiger ist dann die Charakterisierung des Klimas eines größeren

Gebietes, etwa Mitteleuropas. Denn hierbei müssen zusätzlich zwei Punkt-Korrelationen berücksichtigt werden, die beispielsweise eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit erlauben, daß der August in Bayern verregnet und kühl, in Niedersachsen aber trocken und warm ist. Die Beschreibung des Klimas der Erde wäre entsprechend umfangreicher und außerordentlich komplex. Derartige Darstellungen liegen nur in Ansätzen vor.

Der entscheidende Test für Klimamodelle ist die Wirklichkeit. Wenn Modelle bei vorgegebenen gegenwärtigen Bedingungen, etwa der atmosphärischen Zusammensetzung oder der Pflanzenbedeckung der Erdoberfläche, ein Ergebnis liefern, das dem tatsächlich herrschenden Klima hinreichend ähnelt, dann wächst auch das Vertrauen in die Prognosekraft dieser Modelle – zum Beispiel, wenn die Folgen eines verdoppelten Kohlendioxidgehalts der Atmosphäre errechnet werden.

Alle bekannten Klimamodelle sind deterministisch. Sie liefern lange Zeitreihen der Zustandsgrößen, also zum Beispiel die Variation der Temperatur in einer bestimmten Epoche. Daraus müssen dann die zuvor erwähnten Kenngrößen des Klimas abgeleitet werden. Hier stehen wir – insbesondere bei der Niederschlagsverteilung – noch ganz am Anfang. Ich hoffe, noch eine bessere Beschreibung des Klimas im oben skizzierten Sinn zu erleben. Ob es gelingen wird, an Stelle deterministischer Modelle solche



statistischen Charakters zu entwerfen, die einige Klima-Kenngrößen direkt liefern und so deren mühsame Ableitung aus langen Ergebnisreihen deterministischer Modelle überflüssig machen würde, ist allerdings zu zweifeln.

Zweitens: Eine mehr pragmatische Definition ordnet dem Klima nur jene Änderungen des Wettergeschehens zu, die mit den numerischen Modellen der Wetterdienste nicht mehr vorhersagbar sind – also etwa solche mit Perioden von mehr als einer Woche. Die Entwicklung längerfristiger Vorhersagen beurteile ich jedoch optimistisch.

Für die Wettervorhersagemodelle wird zum Beispiel die Temperatur des Meerwassers vorgegeben, die Atmosphäre aber ansonsten als ein vom Ozean isoliertes Medium angesehen. Für größere Vorhersagezeiträume muß aber die Wechselwirkung zwischen Ozean und Atmosphäre berücksichtigt werden. Ich bin überzeugt, daß wir lernen werden, diese Wechselwirkung besser zu verstehen, und daß Modelle, die Ozean und Atmosphäre koppeln, künftig Jahreszeitvoraussagen erlauben werden. Solche Prognosen werden zwar nicht so detailliert sein wie die täglichen Wettervorhersagen. Aber sie könnten für größere Gebiete – etwa Mitteleuropa – zumindest die Tendenz einer Abweichung vom Mittelwert über einen größeren Zeitraum liefern: zum Beispiel, ob ein Sommer zu kalt und zu naß zu werden droht.

3 Ist eine Forschungsrichtung wissenschaftlich attraktiv und mit den notwendigen finanziellen Mitteln ausgestattet, dann gelingt es meistens, Wissenschaftler von Rang zu gewinnen und internationale anerkannte Leistungen zu erreichen. Für die Forschung im Rahmen des Klimaprogramms der Bundesregierung sind die notwendigen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Arbeit geschaffen worden: Ein geeigneter Großrechner wurde bereitgestellt, Teildisziplinen werden kontinuierlich und koordiniert gefördert. Die Klimaforschung in der Bundesrepublik braucht heute keinen Vergleich mit den Leistungen anderer Länder zu scheuen. Bei der Entwicklung gekoppelter Ozean-Atmosphäre-Modelle nimmt sie einen Spitzenplatz ein.

Auch regionale Klimamodelle – etwa Küstenklima und Klima des Oberrheintals – sind in den letzten Jahren entwickelt worden. Sie können ebenso international bestehen wie zum Beispiel auch die Erforschung des Strahlungstransports in der Atmosphäre und die Wechselwirkung des Strahlungsfeldes mit den Wolken.



Prof. Dr. Karin Labitzke
ist Meteorologin und Leiterin der Arbeitsgruppe »Stratosphäre« im Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin

1 Für mich ist die wichtigste Frage, ob sich das Klima wirklich ändert oder ob wir es bei allen „extremen Lagen“ doch mit der natürlichen Variabilität des Klimas zu tun haben. Dabei interessiert es mich besonders, inwieweit die „natürlichen Schwankungen“ (etwa Vulkanismus, Schwankungen der Sonnenaktivität) die anthropogenen Einflüsse – beispielsweise Anstieg des Kohlendioxid, Abbau des Ozon – kompensieren oder verschleieren. Die Wirkung der „natürlichen Schwankungen“ auf das Klima sind noch lange nicht vollständig erkannt. Erst in neuester Zeit wurden zum Beispiel Messungen über Schwankungen der Solarkonstante bekannt. Außerdem ist es extrem schwierig, den Einfluß des vulkanischen Aerosols auf das Klima zu berechnen. Hier sehe ich einen Schwerpunkt für die Forschung und hoffe, daß wir in den nächsten zehn Jahren zu wesentlichen Erkenntnissen kommen.

2 Es handelt sich beim Klima um ein komplexes und stark nicht-lineares System. Um den Problemen gerecht zu werden, müßte möglichst alles – vom Antarktis-Eis bis zum Ozon der mittleren Atmosphäre, vom vulkanischen Aerosol bis zu den Schwankungen der Sonnenaktivität – und vieles mehr – in die Modellrechnungen einbezogen werden. Dies wird auch mit der nächsten Computergeneration noch nicht möglich sein. Ich sehe auch Probleme bei der Interpretation der Ergebnisse – mangels erfahrener Diagnostiker.

3 In der Bundesrepublik können wir in einem Vergleich mit der internationalen Forschung durchaus bestehen. Ich sehe aber für die Zukunft große Schwierigkeiten, besonders für die Universitätsinstitute, da die Universitäten zur Zeit auf die Bedürfnisse der neunziger Jahre (weniger Studenten) geschrumpft werden, so daß für den begabten Nachwuchs fast keine Chancen mehr bestehen. In der Klimaforschung handelt es sich um langfristige Vorhaben, die nicht mit Assistenten und Doktoranden in drei Jahren zu lösen sind. Die jetzige Personalpolitik richtet sich gegen Dauerstellen, so daß die erfahrenen Diagnostiker, die man zur Beurteilung der Modellergebnisse braucht, allmählich aussterben und Nachwuchs nicht heranwachsen kann.

Die unglaubliche Welt des Menschen

Ein neues Buch von GEO
gibt erschöpfend Auskunft darüber,
was wir Menschen schon immer
über uns wissen wollten.



Dies ist ein Buch, das vor wenigen Jahren noch nicht vorstellbar gewesen wäre. Denn gerade in jüngster Zeit hat die medizinische Forschung überraschende Erkenntnisse über die komplexen Vorgänge des Lebens, über Krankheiten und das Altern gewonnen. Eine Vielzahl von neuen Disziplinen, von der Gen-Forschung bis zur Virologie, hat sich entwickelt und ist ins Blickfeld der Öffentlichkeit geraten – mit faszinierenden Problemstellungen und Erkenntnissen, die das Selbstverständnis des Menschen beeinflussen. Elektronenmikroskopie und Makrofotografie, Computertomographie und Ultraschall, neue Farbbe- und histologische Techniken

machen bisher Unsichtbares in uns sichtbar.

Angesammelt hat sich eine immense Menge an Wissen, das im Detail nur noch Spezialisten zu überschauen vermögen. Nunmehr hat ein umfangreicher Stab von Mitarbeitern der altehrwürdigen amerikanischen „National Geographic Society“ das gesamte Fachwissen mit Akribie und unerhörtem Aufwand für das Verständnis des interessierten Laien aufgearbeitet. Entstanden ist „The Incredible Machine“, ein Buch, das Incredibile Machine“, ein Buch, das außergewöhnliche Einblicke in die Funktionen unseres Körpers gewährt. Es berichtet vom Werden des

Lebens wie vom Kreislauf der Kräfte, vom Blut wie vom Immunsystem, von den Vorgängen bei der Sinneswahrnehmung wie von immer noch geheimnisvollen Prozessen im Gehirn – kurz: Es berichtet über den Menschen, das interessanteste Lebewesen auf Erden.

GEO hat eine deutsche Ausgabe dieses ebenso erstaunlichen wie wichtigen Werkes erarbeitet und bringt sie gemeinsam mit der „National Geographic Society“ als ein neues Buch von GEO heraus.

liche Maschine

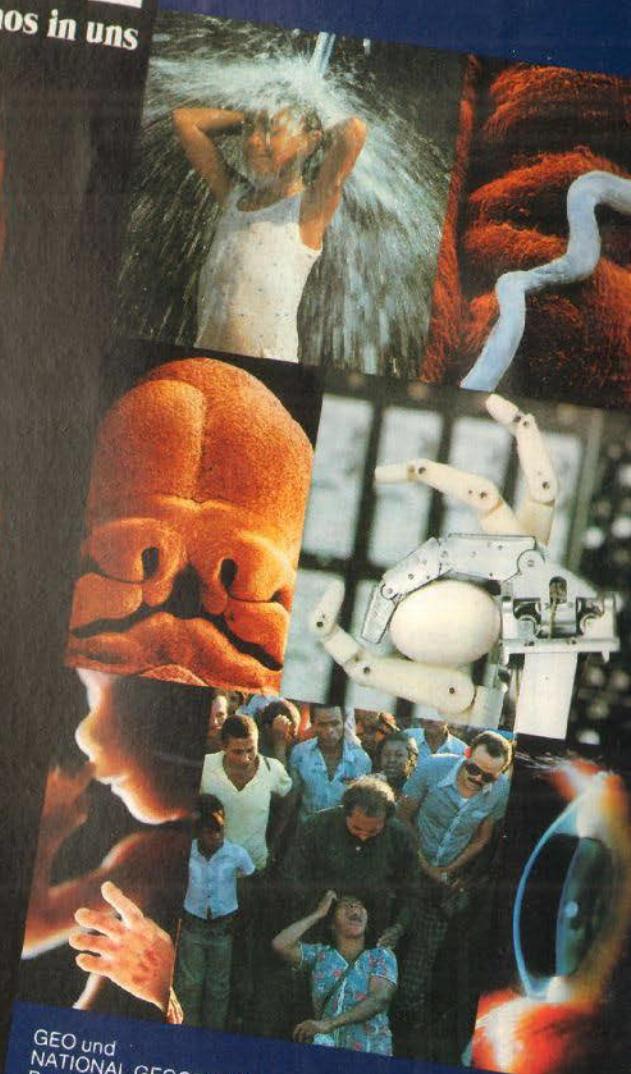
Der Mensch

Eine phantastische Reise durch den Kosmos in uns

GEO



NATIONAL
GEOGRAPHIC
SOCIETY



GEO und
NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

Der Mensch
Eine phantastische Reise
durch den Kosmos in uns
384 Seiten mit ca. 400 farbigen Abbildungen
Format 20,5 x 28 cm, gebunden, DM 98,-
ISBN 3-570-01639-0

Beachten Sie bitte die Abrufkarte
auf Seite 163.

WETTER UND KLIMA ALLGEMEIN

Hans Häckel: „*Meteorologie*“. Ulmer, Stuttgart 1985

Karl Röcznik: „*Wetter und Klima in Deutschland*“. Hirzel, Stuttgart 1986

Günter D. Roth: „*Wetterkunde für alle*“. BLV, München 1985

Wolfgang Weischet: „*Einführung in die Allgemeine Klimatologie*“. Teubner, Stuttgart 1983

TREIBHAUS-KLIMA

Oceanus, Volume 29 Nr. 4: „*Changing Climate and the Oceans*“. Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts 1986

Christian-Dietrich Schönwiese und Bernd Diekmann: „*Der Treibhausefekt*“. DVA, Stuttgart 1987

Bolin Warrick und Döös Jäger (Hrsg.): „*The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems*“. John Wiley & Sons, Chichester 1986

OZON-SCHICHT

Peter Fabian: „*Atmosphäre und Umwelt*“. Springer, Berlin, Heidelberg 1987

PLANETEN-KLIMA

J. Kelly Beatty (Hrsg.): „*Die Sonne und ihre Planeten*“. Physik-Verlag, Weinheim 1983

Rudolf Kippenhahn: „*Unheimliche Welten – Planeten, Monde und Kometen*“. DVA, Stuttgart 1987

John Lewis und Ronald Prinn: „*Planets and Their Atmospheres*“. Academic Press, Orlando 1984

Stephen H. Schneider und Randi Londer: „*The Coevolution of Climate and Life*“. Sierra Club Books, San Francisco 1984

GAIA

James E. Lovelock: „*Gaia – A new look at life on Earth*“. Oxford University Press, Oxford 1979

PALÄOKLIMA

John Imbrie und Katherine Palmer Imbrie: „*Die Eiszeiten*“. Econ, Düsseldorf, Wien 1983

Christian-Dietrich Schönwiese: „*Klimaschwankungen*“. Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1979

Martin Schwarzbach: „*Das Klima der Vorzeit*“. Enke, Stuttgart 1974

KLIMAANLAGEN

Günther M. Keller und Herbert Rudolf: „*Klima 87 pro und contra*“. Promotor, Karlsruhe 1986

Peter Kröling: „*Gesundheits- und Befindungsstörungen in klimatisierten Gebäuden*“. Zuckschwerdt, München, Bern, Wien 1985

Karl-Heinz Quenzel: „*Dicke Luft im Büro*“. Bauverlag, Wiesbaden, Berlin 1986

ARCHITEKTUR UND KLIMA

Bernd Fasel: „*Die Alten bauten besser*“. Eichborn, Frankfurt 1982

HEILKLIMA

Otmar Harlfinger: „*Bioklimatischer Ratgeber für Urlaub und Erholung*“. Gustav Fischer, Stuttgart 1985

Gerhard Jäger: „*Heilklima, starke Medizin*“. Flöttmann, Gütersloh 1984

HÖHENKLIMA

Paul T. Baker und Michael A. Little: „*Man in the Andes*“. Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, Pennsylvania 1976

Roman A. Zink: „*Ärztlicher Rat für Bergsteiger*“. Thieme, Stuttgart, New York 1985

WETTERVORHERSAGE

Warren Washington und Claire Parkinson: „*An Introduction to Three-Dimensional Climate Modelling*“. University Science Books, Mill Valley, California 1986

Fotovermerke nach Seiten. Anordnung im Layout: l. = links, r. = rechts, o. = oben, m. = Mitte, u. = unten.

Titel: Manfred Mähn (Foto), Carl W. Röhrig (Illustration)

Seite 4: Ulrich Schmidt/Institut für Chemie, Klimforschungsanlage Jülich; l. o.; Loren McIntyre: r. o.; J. S. Gifford: l. m. o.; Michael Lange/Visum: r. m. o.; Monika Polasz/Stern: l. m. u.; Wolfgang Volz/Bildberg: r. m. u.; Thomas Stephan: l. u.; Peter Ginter: r. u.

Seite 5: Bea Weidner/The Atlantic Monthly: May 87: l. o.; NASA: r. o.; Rasch/Action Press: m. o.; Andrei Reiser/Bildberg: l. m. u.; Wolfgang Kunz/Bildberg: r. m. u.; Thomas Ives 1985: l. u.; Vladimir Renčin: r. u.

DAS DRAMA MIT DEM KLIMA
Tony Bacewicz/The Hartford Courant: 67; Daudier/Jerriac: 89; Anna Griffiths: 9 u.; Klaus D. Francke/Bildberg: 10 l. o.; Volker Dietze: 10 r. o.; Chris Johns: 10 l. m. ; Dr. Krieger/Hamburg: 10 r. m. ; Thomas Ives 1985: 10 u.; DFVLR/Bildverarbeitung: Oberpfaffenhofen: 11; Howard B. Bluestone/Science Source/Photo Researchers: 12; Fred Podolak: 12/13; Peter Ginter: 14; Hans Madej/Bildberg: 14/15; Philippe Piatly/Paris: 16/17; Sandy Feisenthal: © 1982 National Geographic Society; 18; Robert W. Hernandez/Photo Researchers: 18/19; Edi Ani Otto: 20/21

DAS UNHEIMLICHE SPIEL MIT DEM FEUER
Thomas Ives 1982: 24/25; Hans Madej/Bildberg: 26; Hans Silvester/Focus: 27 o.; Joachim Fischer: 27 l. u.; Guillermo Aldiari: 27 m. u., 36 o.; Eberhard Grämer/Bildberg: 27 r. u.; G. Boutin/Explorer: 28; Frieder Bückle/Bildberg: 29 l. u., 36 o.; Wolfgang Kunz/Bildberg: 29 r. u.; Loren McIntyre: 30; J. B. Brignoli/The Image Bank: 36 m.; Ned Haines/Photo Researchers: 37; Steve Jackson/Nairobi: 38

DIE SPRÜHENDE GEFAHR
Michael Lange/Visum: 40/41; Mark Schoeberl and A. J. Krueger/NASA/Goddard: 42/43; Wolfgang Tscharkne: 44; Jim Herpolzheimer: 45

UNSER UNWAHRSCHEINLICHER PLANET
NASA: 46/47, 46 r., 48 o., 50 l., 53; Hughes Aircraft Company, Space + Communications Group: 46/1; Jet Propulsion Laboratory/USGS: 48/49; Jet Propulsion Laboratory/Cal. Institute of Technology: 49; Don Davis: 50 r.

AUF DEN SPUREN VON GAIA
Heiner Müller-Elsner: 56-61 außer G. de Laubier/L'Express: 58, J. S. Gifford: 60

BOTSCHAFTEN AUF DER EISZEIT
James V. James/Dr. Paul A. Mayewski: 62/63; Doug Henderson, Discover Magazine 1987, Family Media Inc.: 63 o.; Musée Royal de Belge: 63 u.; Michael Lange/Visum: 64/65; Kenneth Garett/Woodfin Camp/Focus: 68 o., 69 l. o. und r. u.; Courtesy Dr. M. MacFarlane: 68 l. u.; Wissenschafts- und Technik/UDSSR/Boek: 68 r. u.; Manfred Kage: 69 m. l. und r.; Urs Moeckli: 69 u.; Mark S. Twickler/Philibert/Paris: 70/1 l. u.; Prof. Bernhard Stauffer/Universität Bern: 70 r. u.; Richard Howard/Black Star: 71 l. und r. u.; Guido Mangold: 72/73; Serge Brunier/Seaux: 73 u.

IN JAHR, DAS AUS DER REIHE TANZTE
Susanne Feyli: 74/75, 76 u., 77 o.; Gerald Sagorski/Diagonale: 76 o., 77 u., P. Anastassi/Gamma: 78/79; H. Morimoto/Gamma: 78 l.; J. Francol/Gamma: 79 u.; Magnum/Focus: 80/81; Harald Sund: 82 l. o.; Tim Thompson: 82 r. o.; Al Harvey: 82 l. m. o.; Brian Milne/First Light: 82 r. m. o.; Gary Black: 82 l. m. o.; Barry Lewis/Network: 82 l. m. u.; Walter Mayr/Focus: 82 l. u.; Rainer Drexel/Bildberg: 82 r. u.; E. Bork: 83 l. o.; S. C. Wilson/Entrepas: 83 r. o.; Greg Stott: 83 l. m. o.; Alan Carruthers: 83 r. m. o.; Luis Girard: 83 l. m. u.; John Vink/Agence Vu: 83 r. m. u.; Guido Mangold: 83 l. u.; Lois

Lammerhuber: 83 r. u.; Sygma/Pandis: 84/85; Action Press/Schweizer Illustrierte: 86; Charles Seiler/Schweizer Illustrierte/Action Press: 87 o.; Felix Aebi/Schweizer Illustrierte/Action Press: 87 o.; Freiegegeben vom Reg. Präsidium Stuttgart Nr. 2/60634 C. Luftbild Alfred Brügger, Stuttgart: 89; Mark Perlestei/Picture Group/Focus: 90/91

DIE WINDIGE BURG
Wolfgang Volz/Bildberg: 96-108

BAUTEN GEGEN ALLE WETTER

Elisabeth Zeschin: 110/111; David Hiser/Photographers Aspects: 112 o., 113 l. und r. o., 121 r. o.; J. C. Fauchon/ANA: 112/113 u.; K. Nomach/Photo Researchers: 114 l. o.; James H. Carmichael/The Image Bank: 114 r. o.; Georg Gerster: 114/115 o., 115 o. (2), 116 o., 117, 118 u., 119; B. Gérard/HOA-QUE: 115 r. o.; Nick Wheeler/Black Star: 116 u.; Carl Franck/Photo Researchers: 118 o.; Mario Rossi/Photo Researchers: 118 m.; François Gohier/Explorer: 120 l. o.; Wolfgang Kaelber: 120 l. u., 121 l. o.; Renaudau/HOA-QUE: 120/121 u.; Hans-Jürgen Burkard/Bildberg: 122/123, 123 o.; Jim Brandenburg: 123 m.; M. Huet/123: 123 u.

REIZENDES AN DER LUFT

Wolfgang Kunz/Bildberg: 124-133 außer Heiner Müller-Elsner: 126 l. und m., Guido Mangold: 126 u.

ZUGZWANG FÜR DIE LUNGE

Thomas Stephan: 134-144 außer Reinhold Messner: 144 l.

PROPHETEN MIT 800 MEGAFLOPS
Peter Ginter: 145-154; Ellerbeck & Schaff/Bildberg: 155 o.; Milan Horacek/Bildberg: 155 l. o.; Wolfgang Volz/Bildberg: 155 m. u.; Klaus Imbeck: 155 r. u.

GLOSSAR

Steve Kaufman: 156; Ferrare/Gamma: 157 o.; Nick Bade/Life Magazine, © Time Inc.: 157 u.; Terence Moore: 158 o.; Photography © Bruno J. Zahner/New York City. All rights reserved: 158 u.; Thomas Ives 1983: 159; AP: 161; Defense Nuclear Agency: 162; Hank Morgan: 166; Uwe George: 167; Dr. Krüger/Hamburg (3): 169; ZEPA: 169 u.

ENZYKLOPÄDIE DER IGNORANZ
Gerald Sagorski/Diagonale: 172

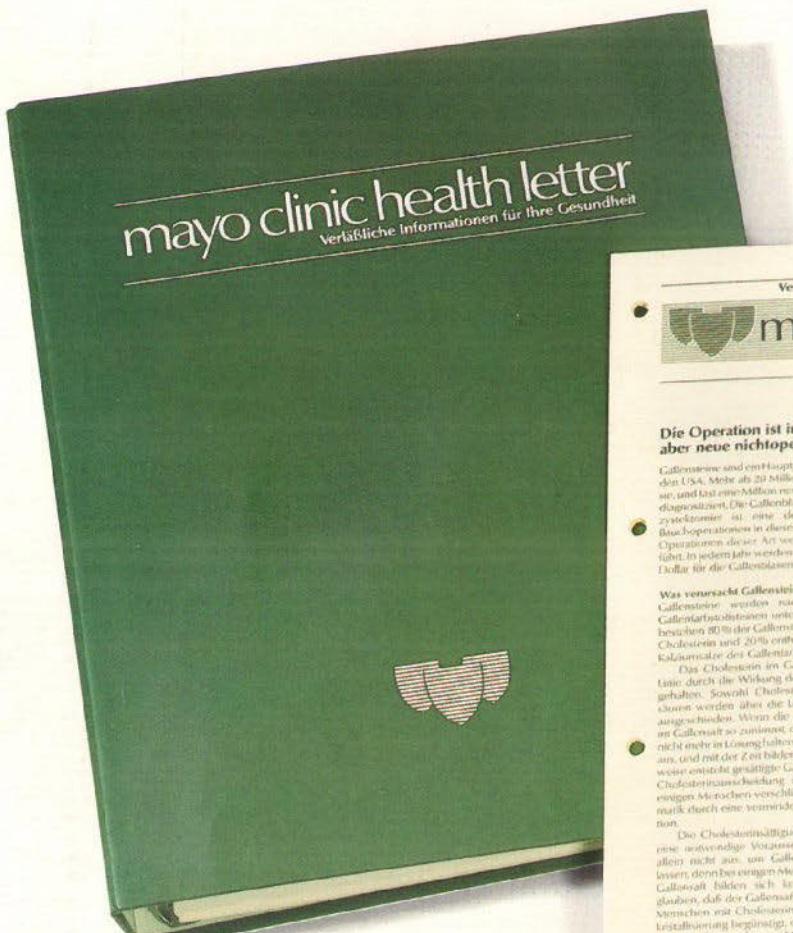
ZEICHNUNGEN/ILLUSTRATIONEN
Vladimir Renčin: 3, 5 l. u., 171, 173; Bea Weidner/The Atlantic Monthly: May 87: 5 l. o., Jörg Kühn: 29, 32/33; Harald Konopatzki: 31, 34/35; David Austin/New Scientist: 45; Don Davis/VCH Verlagsgesellschaft O'Leary „Die Sonne und ihre Planeten“: 50 r.; Prof. Dr. Beker/U. Stuttgart-Hohenheim: 64; Detlev Malwald/Studie für Landkartentechnik: 66/67, 156, 158, 159, 160/61, 168, 169; Monika Polasz/Stern: 92/93, 94/95; Dr. Volkmar Krosch, Bundesanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn/Akademie für Raumforschung und Raumplanung Hannover/Deutscher Wetterdienst: 126/127; Reinhard Blank/Stern: 165 r. u.; Drawing by Frank Modell © 1983, The New Yorker Magazine, Inc.: 165 l. o.

Für unverlangt eingesandte Manuskripte übernehmen Verlag und Redaktion keine Haftung.

© GEO 1987, Verlag Gruner + Jahr, Hamburg, für sämtliche Beiträge.

Einem Teil der Auflage liegen Prospekte für Time Life, Dr. Müller Enzyklopädie, Neues Gymnasium Zürich, Dr. Steinflies Sprachreisen und Gruner + Jahr AG & Co bei.

Sichern Sie sich die neuesten medizinischen Erkenntnisse eines der bedeutendsten Forschungs-, Diagnose- und Therapiezentren der Welt.



Der praktische Sammelordner, den jeder regelmäßige Leser ohne zusätzliche Berechnung erhält.

Verlässliche Informationen für Ihre Gesundheit

mayo clinic health letter

Die Operation ist immer noch die übliche Behandlung bei Gallensteinen, aber neue nichtoperative Methoden sind vielversprechend

Gallensteine sind jetzt häufiger und steigen weiter an. In den USA, mehr als 20 Millionen Menschen haben sie, und knapp eine Million neuer Fälle treten jedes Jahr auf. Die Gallenblasenentfernung (Cholezystektomie) ist eine der häufigsten großen Bauchoperationen in diesem Lande – fast 500 000 Operationen dieser Art werden jährlich durchgeführt. In jedem Jahr werden mehr als eine Milliarde Dollar für die Gallensteinbehandlung ausgegeben.

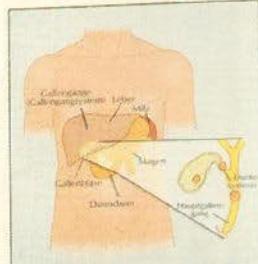
Was verursacht Gallensteine?

Gallensteine werden nach Cholesterin- oder Gallenkristallsteinen unterschieden. In den USA bestehen 80% der Gallensteine hauptsächlich aus Cholesterin und 20% enthalten zum größten Teil Kalzinate des Gallenkristalls.

Das Cholesterin im Gallensaft wird in erster Linie durch die Wirkung des leberseitigen Gallenblasen- und Cholangiokarzinoms verursacht. Sowohl Cholesterin als auch Gallenkristalle werden über die Leber in den Gallensaft ausgeschieden. Wenn die Menge an Cholesterin im Gallensaft so zunimmt, dass die Gallensäfte es nicht mehr in Lösung halten können, kristallisiert es sich an. Und mit der Zeit bilden sich Steine. Normalerweise entsteht gesättigte Galle durch eine erhöhte Cholesterinausscheidung in den Gallensaft. Bei einigen Menschen verschlechtern sich die Probleme durch eine verminderte Gallensäuresekretion.

Die Cholesterinsättigung des Gallensafts ist eine notwendige Voraussetzung, aber es reicht allein nicht aus, Gallensteinbildung zu lösen, denn bei einigen Menschen mit gesättigtem Gallensaft bilden sich keine Steine. Choleriker glauben, dass der Gallensaft etwas enthält, das bei Menschen mit Cholesteringallensteinen die Ausscheidung begünstigt, oder dass eine Substanz bilden, die bei Menschen verhindert, dass keine Steine bilden.

Gallensteine, die in der Gallenblase liegen, verursachen im Allgemeinen keine Symptome und müssen nicht unbedingt entfernt werden. Steine, welche die Gallenblase verlassen und entweder den Ausführungsgang der Gallenblase (Ductus cysticus) oder den Hauptgallengang (Ductus choledochus) verstopfen, können Schmerzen verursachen. In diesen Fällen sind chirurgische Maßnahmen erforderlich, aber neue medikamentöse und andere, nicht-operative Behandlungen befinden sich derzeit in Erprobung.



Über 800 Ärzte und Wissenschaftler der mayo clinic in Rochester, Minnesota (USA), liefern Ihnen außerordentlich wertvolle Informationen für Ihre Gesundheit.

Sie werden im »mayo clinic health letter« unter anderem lesen können:

- Neue Medikamente bei der Behandlung von Herzerkrankungen
- Genitaler Herpes – eine Seuche?
- Krebs – Vorsorge, Heilungschancen
- Neue Behandlungsmethoden bei Nieren- und Gallensteinen
- Selbstbehandlung beim Tennisellenbogen
- Impotenz – Ursachen und Behandlung
- Gefahren der Bauchhöhlenschwangerschaft
- Schnarchen und Ihre Gesundheit
- Multiple Sklerose
- Akupunktur und chronische Schmerzen

Der »mayo clinic health letter« erscheint monatlich und kostet vierteljährlich DM 30,-. Jeder Abonnent erhält ohne zusätzliche Berechnung den praktischen Sammelordner sowie 1x im Jahr das umfassende Stichwort-Register.

Bitte senden Sie Ihre Bestellung an den Verlags-Service »mayo clinic health letter«, Postf. 1116 29, 2000 Hamburg 11. Sie erreichen uns auch telefonisch: 040/4118 37 40. Leisten Sie bitte keine Vorauszahlung. Sie erhalten eine Rechnung.

Lesen Sie den »mayo clinic health letter« regelmäßig. Nutzen Sie die vielen wertvollen und für Sie persönlich wichtigen Beiträge aus dem Zentrum der medizinischen Wissenschaft.

mayo clinic health letter

Verlässliche Informationen für Ihre Gesundheit.

DER AUGENBLICK, IN DEM SIE DEN ZUSCHLAG ERHIELTEN. DAS GEFÜHL, IM RICHTIGEN MOMENT DAS RICHTIGE GETAN ZU HABEN. OMEGA. FÜR DIE ENTSCHEIDENDEN MOMENTE DES LEBENS.



Geschütztes Modell

OMEGA. FÜR JENE MOMENTE, DIE ZUM EREIGNIS WERDEN. IN DER GESCHICHTE DER OLYMPIADE. IN DER RAUMFAHRT. IN IHREM LEBEN.

OMEGA CONSTELLATION. FÜR SIE UND IHN.

Ω
OMEGA