

83406

Nr. 2 / Montag, 7. 11. 1988

DM 13,50

sfr 13,50, öS 100,-

# GEO wissen

## WASSER · LEBEN · UMWELT

H<sub>2</sub>O

**Das magische  
Molekül**

GRUNDWASSER

**Die sickernde  
Bombe**

KUREN

**Ein Bad für  
alle Fälle**

DAS NASSE ELEMENT

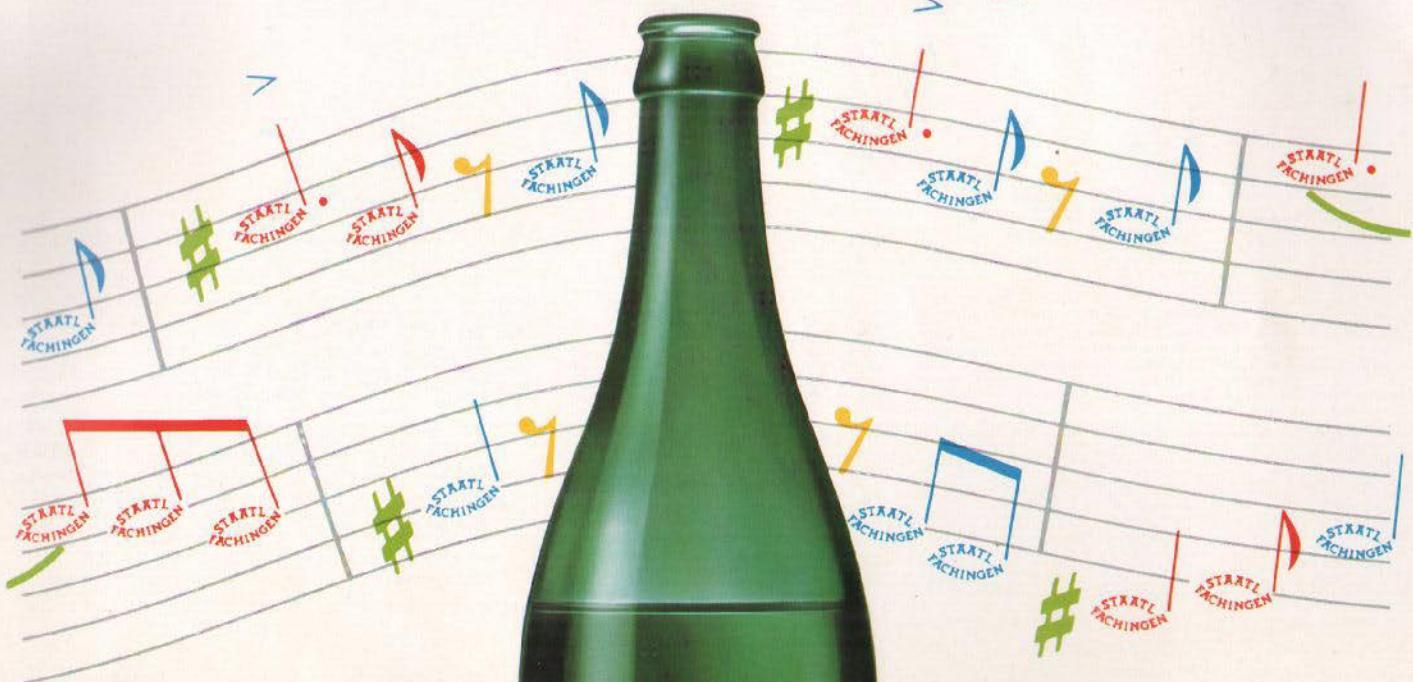
**Labsal für die  
Seele**

EROSION

**Alles geht den  
Bach hinab**



# Von der Natur komponiert.



Grundsätzliches über Wirkungen von Mineralstoffen:

Magnesium regt die Nerven- und Muskeltätigkeit

Kupfer erhöht die Abwehrkräfte – Eisen trägt zur Blutbildung bei

Hydrogencarbonat behebt Sodbrennen, lindert Magenschmerzen

Kalium scheidet Wasser aus, belebt

Kohlendioxid steigert die Durchblutung

## Harmonie schenkt Wohlbefinden.

Wie die Noten in der Musik zum harmonischen Wohlklang werden, so komponiert die Natur über 40 wertvolle Mineralstoffe zu einer einzigartigen Schöpfung: Dem rein-natürlichen Heilwasser STAATL. FACHINGEN. Es wirkt wohltuend auf Magen, Darm



und Galle, behebt Sodbrennen, stabilisiert den Kreislauf, regt den Stoffwechsel an und schafft neue Energien. Fachinger ist unverfälschte Natur, kohlensäurearm und frei von allen Schadstoffen unserer Umwelt. Gönnen Sie sich deshalb immer Fachinger – zur Vorbeugung, zur

Calcium dient als Baustoff für Knochen, Nägel, Zähne, Haut und Haare

Zink ist beteiligt am guten Sehen sowie am Vitamin-A-Stoffwechsel

Natrium beeinflußt die Vorgänge in der Muskulatur, reguliert den Wasserhaushalt

Fluorid erhält und stärkt den Zahnschmelz

Chlorid wirkt auf die Nieren- und Magentätigkeit

STAATL.  
FACHINGEN

Das Lieblingswasser  
der Gesundheitsbewußten.



# 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

STELLVERTRETENDER CHEFREDAKTEUR  
Emanuel Eckardt

CHEF VOM DIENST  
Ernst Artur Albaum, Wolfgang Vollmert

ART DIRECTOR

Erwin Ehret

FOTOGRAFIE

Christiane Breustedt

CHEFREPORTER

Peter-Matthias Gaede

TEXTREDAKTION

Günter Haaf (Leitung), Dr. habil. Reinhard Breuer,  
Dr. Erwin Lausch, Dr. Jürgen Neffe,

Dr. Manfred Pietschmann

BILDREDAKTION

Josef Hurban

LAYOUT

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

KARTOGRAPHIE: Günther Edelmann

DOKUMENTATION: Dr. Arno Nehlsen

SCHLÜSSEREDAKTION

Hinnerk Seehoff, Manfred Feldhoff,  
Peter Jordan, Hans-Werner Kühl, Dr. Karsten Mehner,  
Assistent: Hannelore Koehl

MITARBEITER

Claus Bachmann, Martin Boeckh, Christine Broll, Rainer Busch, Christoph Dörscher, Rainer Drost, Holger Everling, Dr. Annelies Furtmayr-Schuh, Jörg Kühn, Franz Mechler, Barbara Michael, Hanns-J. Neubert, Peter Pedersen, Horst Rademacher, Vladimir Renčin, Renate Ries, Carl-W. Röhrlig, Dr. Matthias Schulenburg, Dr. Beatrix Stoepel, Hermann Untersteiger.

GEO-BILDARCHIV

Birgit Heller, Sybille Dürmeyer, Peter Müller,  
FARBIMPIMATUR: Norbert Kunz

GO-BUROS

**Moskau:** Helga Engelbrecht, Kutusowski 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. 599-4040/4344/45

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 29, 2000 Hamburg 11

Postscheckkonto Hamburg 240 00-209

BLZ 200 100 20

Tel. 0 40/41 18 32 36

**Schweiz:** Seeburgstraße 18, 6002 Luzern

Tel. 0 41-31 37 41

Heftpreis: DM 13,50

Auslandspreise: Schweiz sfR 13,50; Österreich öS 100,-;  
übriges Ausland auf Anfrage.

© 1988 Gruner + Jahr, Hamburg

ISBN-Nr.: 3-570-07327-0

ISSN-Nr.: 0933-9736

Anzeigenpreisliste Nr. 2 vom 1. 1. 1988.  
Bankverbindung: Deutsche AG, 2000 Hamburg 1,  
Konto-Nr. 03 22 800

Offsetdruck: FRITZ BUSCHE

Druckerei-Gesellschaft m.b.H., Dortmund

*lieber Jürgen, lieber Jürgen,*

**M**einen Kollegen und mir wird in unserer schnellen, bilden Zeit die Frage wohl nicht erspart bleiben: Warum kommt – nach all den Berichten über „Killeralgen“ und salmone llenverseuchte Strände – nun auch noch GEO-Wissen mit einem Heft über Wasser heraus?

Die Antwort heißt, im Jargon unserer Branche, „latente Aktualität“. Der Dreck verebbt im Wasser leider nicht so schnell wie in den Schlagzeilen. Unser aller Umgang mit dem lebenswichtigen Nass ist eine unendliche Geschichte, auch wenn das große Publikum nicht immer so aufmerksam hinhört wie im vergangenen Sommer.

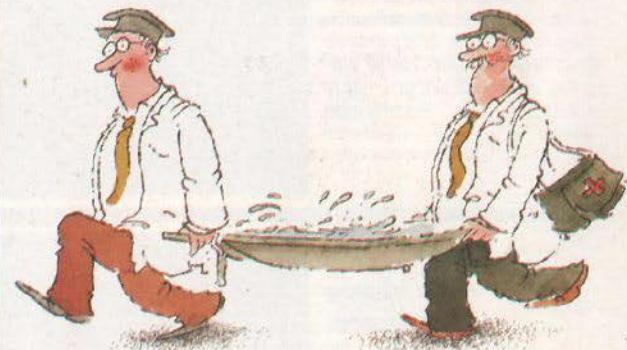
Hinter der schlichten Formel  $H_2O$  verbirgt sich überdies ein spannenderes Thema, als selbst viele For scher sich träumen lassen. Beide Aspekte – wissenschaftlicher Tiefgang wie umweltpolitische Dringlichkeit – verschafften dem „Wasser“-Heft von Anfang an einen vorderen Platz auf unserer Wunschliste.

Als wir freilich den Ozean an Wasser-Themen auszuloten begannen, wurde uns eines bewußt: Wir mußten die Zahl der Beiträge scharf begrenzen, sollte das Heft nicht zum Lexikon geraten und damit das gefährden, was GEO-Wissen auszeichnet – faszinierende Fotos, spannende Reportagen, leicht verständliche und verlässliche Berichte. Immerhin konnten wir – als Teil der GEO-Familie – zwei wesentliche Themenbereiche leichteren Her-

zens kleiner behandeln: Der Nordsee im besonderen ist das GEO-Special Nr. 3/1987 gewidmet, den Ozeanen im allgemeinen das GEO-Buch „Der Planet der Meere“ unseres Kollegen Erwin Lausch.

Es blieb noch genug Stoff zu bewältigen, wie etwa GEO-Redakteur Reinhard Breuer bei seinen Re

durch Afrika überstehen müssen. Dieses Mal lag das Ziel direkt unter seinen Füßen: In den Sielen des Hamburger Abwassernetzes erlebten er und der Fotograf Wolfgang Volz eine Welt, die nicht weniger exotisch ist als ein Flecken Urwald auf der anderen Seite der Erde – und kaum ungefährlicher. Die Reportage „Eine Stadt entleert sich“ (Seite 74) schildert die Abgründe zwischen der gewinneten bürgerlichen



cherchen für den Report „Das magische Molekül“ (Seite 34) erfahren mußte. Als der habilitierte Astrophysiker, dem Theorien über Schwarze Löcher so vertraut sind wie anderen Leuten die Postgebühren, den „Wasser-Papst“ Felix Franks im englischen Cambridge aufsuchte, erkannte er schnell: Was er über  $H_2O$  wußte, war – gemessen an der siebenbändigen Abhandlung des Experten ausschließlich über Wasser – nur ein Tropfen im Meer. Auf keine große Reise, dafür aber in die Tiefe wollte mein Kollege Jürgen Neffe gehen. Für seinen Malaria-Bericht in GEO-Wissen „Abwehr · Aids · Allergie“ hatte er noch eine Odyssee

Oberwelt und deren gar nicht feinen Hinterlassenschaften drunter in den Kloaken.

Schließlich kann ich erfreuliche Nachrichten in einer Sache vermelden: Die „Deutsche Gesellschaft für Psychologie“ hat im Oktober ihren Journalistik-Preis an GEO-Wissen Nr. 1/1987 „Gehirn · Gefühl · Gedanken“ verliehen – für unseren Erstling, der wegen anhaltender Nachfrage jetzt in der dritten Auflage vorliegt.

Herzlich Ihr

*Günter Haaf*  
Günter Haaf

## BILDESSAY

### Quell des Lebens

Die Erde ist der blaue, der Wasserplanet. Alles Leben hängt am Naß. Auch unsere Zivilisation hängt am Tropf. Landwirtschaft und Umwelt, Verkehr und Energie. Dürren und Überschwemmungen bestimmen über das Schicksal von Millionen. Seite 6



## ELEMENT NR. 1

### Das magische Molekül

Der Stoff mit der simplen Formel  $H_2O$  ist eine der ungewöhnlichsten Substanzen. Forscher finden immer neue Eigenschaften des feuchten Elements. Mit dem Wissen wächst ihre Bewunderung für das Wasser. Seite 34



## GRUNDWASSER

### Die sickernde Bombe

Selbst tiefe und noch saubere Brunnen sind von Gift bedroht. Schadstoffe aus Landwirtschaft und Industrie sickern in die Tiefe. Lösungsmittel, Pestizide und Nitrat vergiften die Brunnen. Nun schlagen die Kommunen Alarm. Seite 66



## ABWASSER

### Eine Stadt entleert sich

In den Gedärmen der Städte gärt es: Düstere Flüsse, belastet mit dem Dreck der Wegspül-Gesellschaft, wälzen sich unterirdisch in die Klärwerke – eine allzu gern verdrängte Schmutzflut. Jürgen Neffe und Wolfgang Volz berichten aus der Hamburger Unterwelt. Seite 74



## PHYSIOLOGIE

### Die blaue Eminenz

Wassertiere sind zu erstaunlichen Leistungen fähig: Haie schießen pfeilschnell durch das zähe Naß, das Blut arktischer Fische bleibt auch bei Frost noch flüssig, Wale tauchen in erdrückende Meerestiefen. Seite 100



## PFLANZEN

### Ein saftiger Erfolg

Es war ein langer Weg aus dem nassen Schoß der Ur-Ozeane: Nach unzähligen Anpassungen im Laufe ihrer Jahrmilliarden währenden Evolution eroberen Pflanzen auch die trockensten Wüsten der Erde. Seite 114



## WASSERBAU

### Fluten auf dem Prüfstand

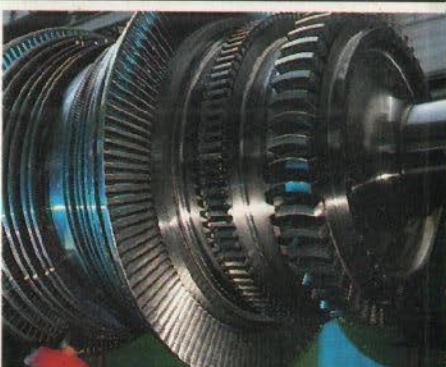
Überschwemmungen bedrohen von jeher die Menschen an Flüssen und Meeren. Deiche und Sperrwerke, Dämme und Wellenbrecher sollen die Gefahren mindern. Manfred Pietschmann besuchte Wissenschaftler, die an Modellbauwerken die verheerende Gewalt der Wassermassen simulieren. Seite 142



## DAMPF

### Keiner macht so großen Druck

Gasförmig ist Wasser am brutalsten. Seit zwei Jahrhunderten nutzen Ingenieure den ungeheuren Druck des siedenden Elements: Heute werden zwei Drittel des elektrischen Stroms mit Hilfe von Dampf produziert, der – aufgeheizt durch die Glut von Kohle- und Kernkraftwerken – mächtige Turbinen antreibt. Seite 166



## TRINKWASSER

### Viel Kohle für den guten Schluck

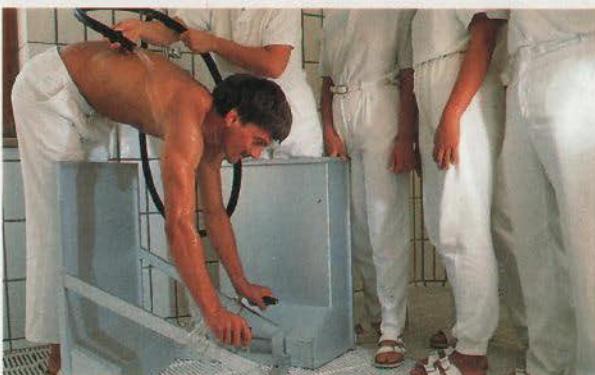
Die Aufbereitung unseres wichtigsten Lebensmittels ist eine Sisyphusarbeit geworden. Das beklagen vor allem die Wasserwerker am Rhein, die das Uferfiltrat des Stromes von Schadstoffen befreien müssen. Seite 54



## HEILWASSER

### Ein Bad für alle Fälle

Millionen fahren jedes Jahr zur Kur. Das Geschäft mit den »Anwendungen« floriert. Halten die Güsse, Packungen und Moorbäder, was sie versprechen? Franz Mechsner ließ sich auf der Suche nach der Wirkung der Wässer kalt abschrubben und heiß baden. Seite 88



## EROSION

### ... und alles geht den Bach hinab

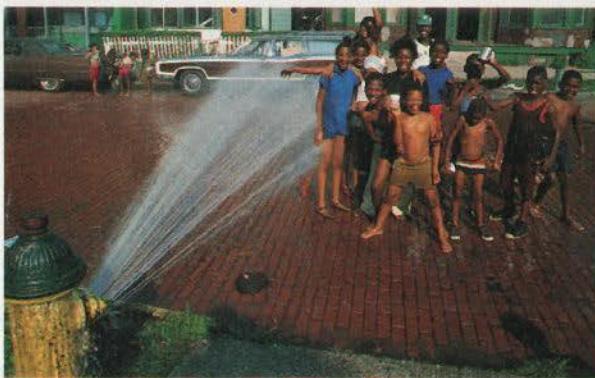
Wasser formt unentwegt das Gesicht der Erde. Es sprengt auch härtestes Gestein, reißt Felsen und Geröll mit sich und verfrachtet den Schutt der Berge in die Senken der Erde – bis Kräfte aus der Tiefe die Ablagerungen wieder emporheben. Seite 128



## SPASS

### Seele, wie gleichst du dem Wasser

Spritzen und Faulzenzen, Segeln und Surfen, Schwimmen und Tauchen: Wasser – das wissen die Denker und Dichter – ist auch das Element der Lust. Seite 178



## Quell des Lebens

6

### Wir, die Brunnenvergifter

Die Jagd nach Wasserver-schmutzern muß jeder bei sich selbst beginnen

28

### Das magische Molekül

34

### Viel Kohle für den guten Schluck

54

### Der wichtigste Rohstoff fällt aus den Wolken

Die Wasserbilanz der Bundes-republik Deutschland

64

### Die sickernde Bombe

66

### Eine Stadt entleert sich

74

### Ein Bad für alle Fälle

88

### Die blaue Eminenz

100

### Nach dem Regen – fertig, los ...

Die Pfütze ist ein Lebensraum für schnelle Starter

112

### Ein saftiger Erfolg

114

### ... und alles geht den Bach hinab

128

### Fluten auf dem Prüfstand

142

### Die stürzende Macht

Gigantische Stauwerke beklecken den Mythos von der sauberen Wasserkraft

154

### Der schneidende Strahl

Scharf gebündeltes Wasser zerteilt sogar Granit und Stahl

156

### Die fließende Form

Wie Schiffsbaumeister das hemmende Wasser überlisten

158

### Die durstigen Brösel

Wer Lebensmittel verarbeitet, muß vor allem richtig mit Wasser umgehen

160

### Die sauberste Lösung

Der Energieträger Wasserstoff ist unschlagbar umweltfreundlich

162

### Keiner macht so großen Druck

166

### Den Trinker nennt man gewaltig, den Dürster nie

Hermann Unterstöger über mäßigen und unmäßigen Flüssigkeitskonsum

174

### Seele, wie gleichst du dem Wasser

178

### Von Aquädukt bis Zisterne

Die wichtigsten Begriffe ums Wasser

190

### Literatur

Bücher zum Thema

204

**Titelfoto:** Arnaud de Wildenberg

**Mikrofotos:** o. J. Göbel/Inst. f. Meereskunde/Univ. Kiel; m. Nuridsany et Perénou; u. I. F. Sauer/Bruce Coleman Ltd.; u. r. Carré/Jacana

**Redaktionsschluß:** 19. 9. 1988



# QUELL DES LEBENS

Wie ein Sinnbild der Schöpfung wuchert das Grün an  
Quellen des Nils im Ruwenzori-Gebirge – Kaskaden und Tümpel im ewigen Kreislauf  
des Wassers. Auf tropische Bergwälder im Herzen Afrikas ergießt  
sich der Regen, der seit Jahrtausenden die  
Völker im fernen Ägypten labt

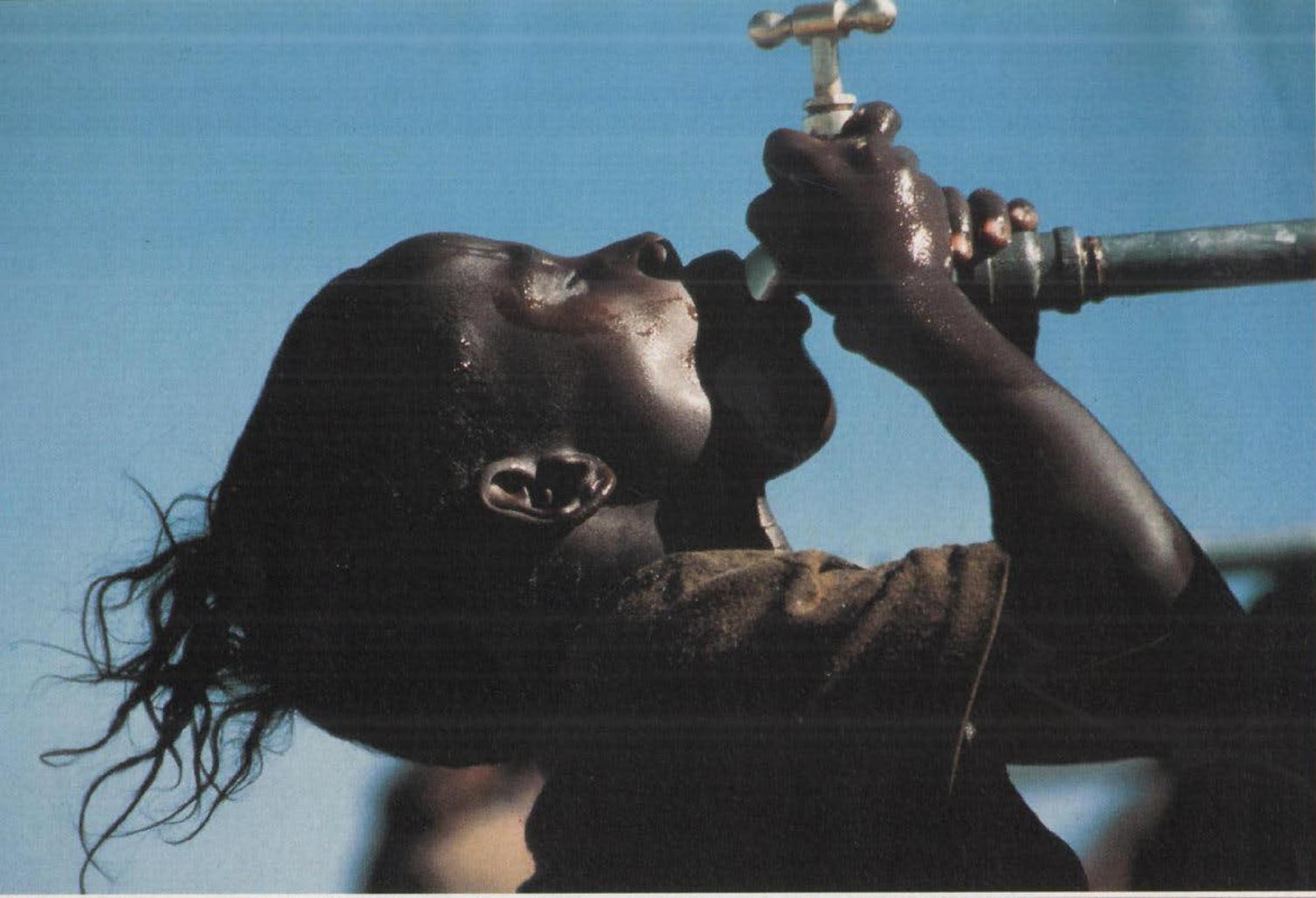




**Heizung  
und Heilung aus der  
Erde**

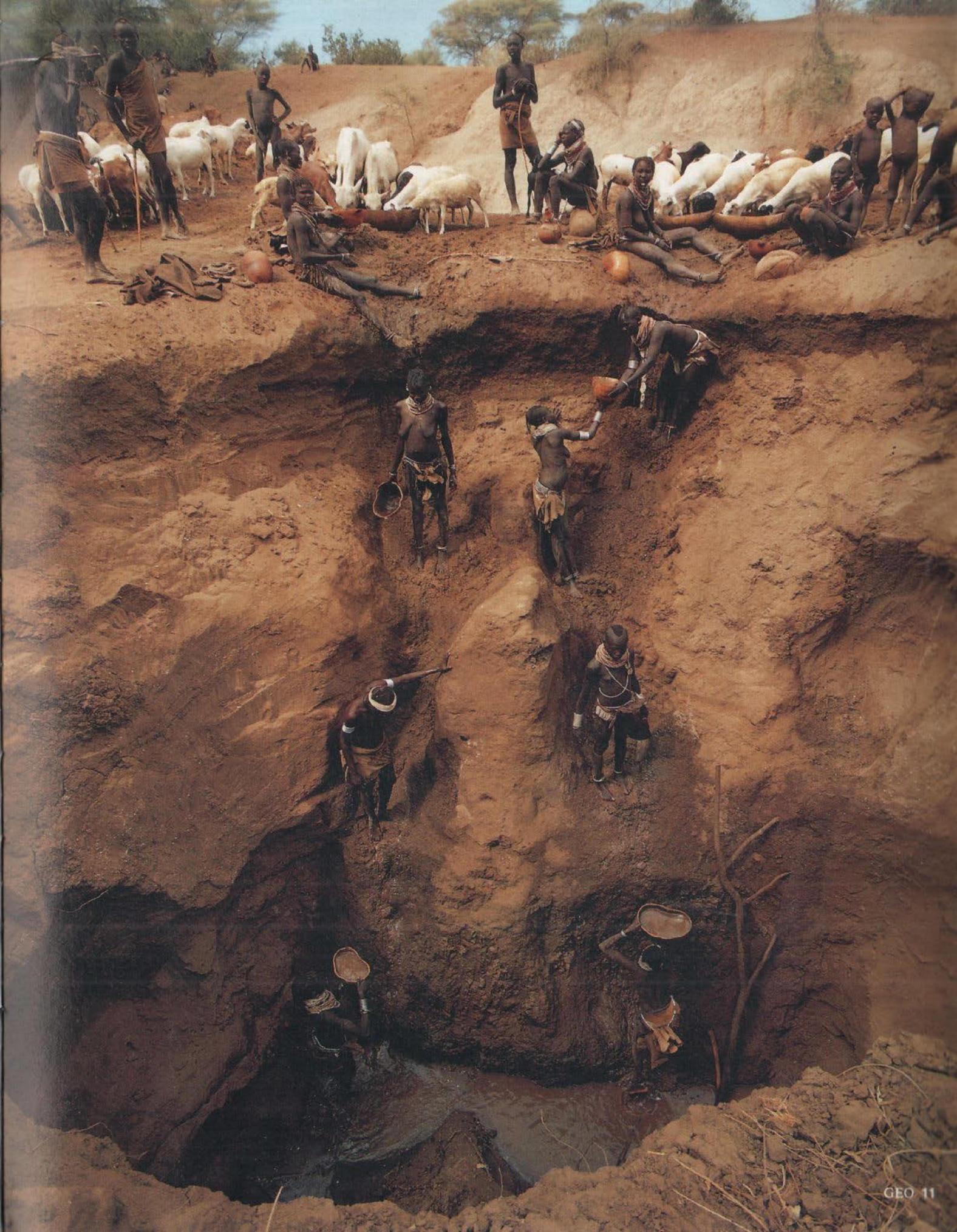
Die Glut im Innern unseres Planeten kann als Energiequelle genutzt werden, wo Wasser, ein guter Wärmespeicher, die unterirdische Hitze an die Oberfläche befördert. Aus dem Svartsengi-Heizkraftwerk auf Island fließt das mineralhaltige heiße Wasser in einen Ablauf-See, der als Heilwasser-Thermalbad manche Leiden lindert hilft





Der Rohstoff des Lebens ist sehr ungleich über die Länder der Erde verteilt. Wassermangel bringt riesige Regionen in existentielle Not – besonders in Afrika. Den meisten Hungerkatastrophen gehen jahrelange Dürren voraus. Wenn es um das nackte Überleben geht, graben die Dürstenden sich immer tiefer auf der Suche nach dem schwindenden Grundwasser

**Grab  
nach dem letzten  
Tropfen**



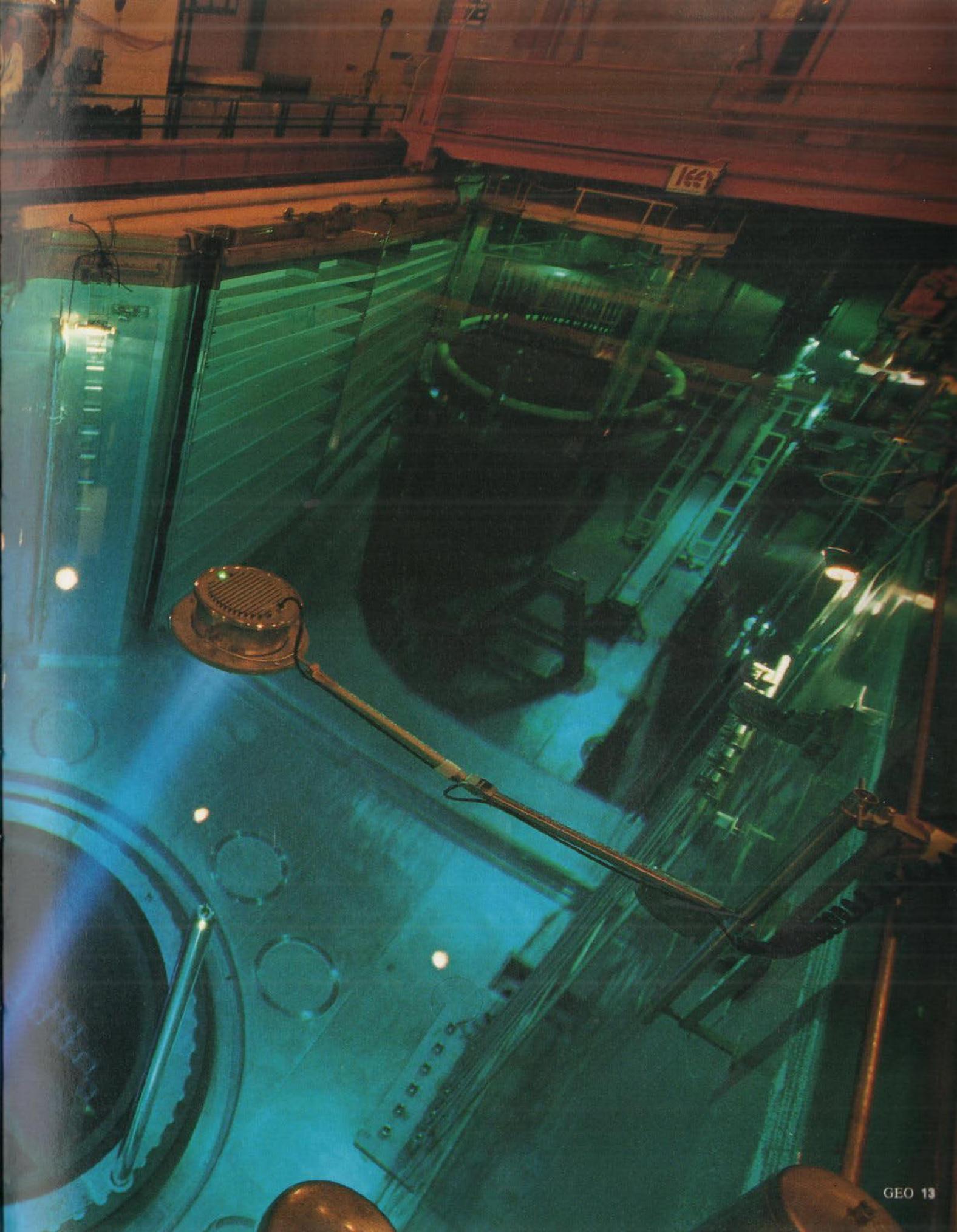


## **Ein kühlendes**

## **Bad bändigt das atomare**

## **Feuer**

Bei der Energiegewinnung ist meistens Wasser im Spiel, nicht nur bei Mühlen und Stauseen. Dampf treibt die Turbinen in Kohle- und Kernkraftwerken an. Die bei der Uranspaltung freiwerdende Energie heizt das Kühlmittel Wasser auf. Im französischen Kernkraftwerk von Tricastin leuchten Scheinwerfer den Technikern beim Austausch der nuklearen Brennstäbe in der gefluteten Reaktorgrube





**Kein  
schöner Strand in  
dieser Zeit**

Der Nordsee geht es dreckig. Die europäischen Flüsse entleeren ungeheure Frachten an Schwermetallen, Chemiegiften und Salzen in das flache Randmeer. Phosphat und Nitrat düngen die See und lassen Algen üppig wuchern. Werden die winzigen Pflanzen durch Wind und Wellen zu Schaum geschlagen, bilden sich klebrige Teppiche aus Algen-Eiweiß, die sich auf die Strände legen





**Volle  
Wucht fräßt Fels und  
Flammen**

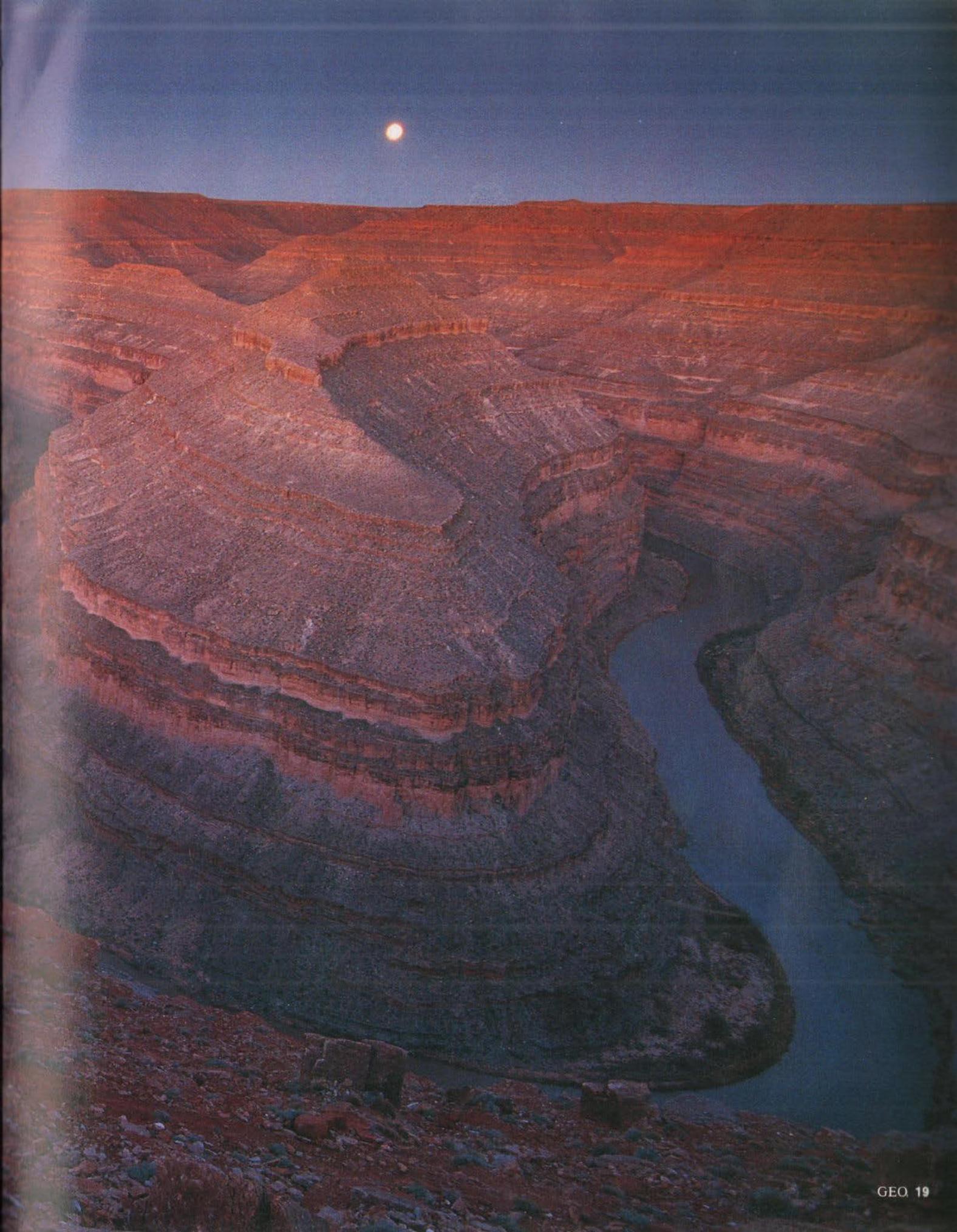
Der Gewalt wild stürzenden Wassers weicht selbst hartes Gestein. Tosende Bäche schneiden sich mit der Zeit bizarre Schluchten – manchmal zwartief, aber nicht breiter als einen Meter. Ingenieure nutzen die Wucht aufgestauter Wassermassen zur Erzeugung von Elektrizität. Feuerwehrleute löschen Brände mit sprühenden Fontänen





Erosion prägt das Bild der Erde und schafft oft atemraubende Landschaften. Seit Jahrtausenden hebt sich die Erdkruste im Westen des nordamerikanischen Kontinents. Das Gefälle der Flüsse nahm zu, wodurch sie sich tiefer ins Gestein fraßen. Wilden Schluchten entstanden, wie die »goosenecks« – »Gänsehälse« – des San Juan River in Utah, eines Nebenflusses des Colorado

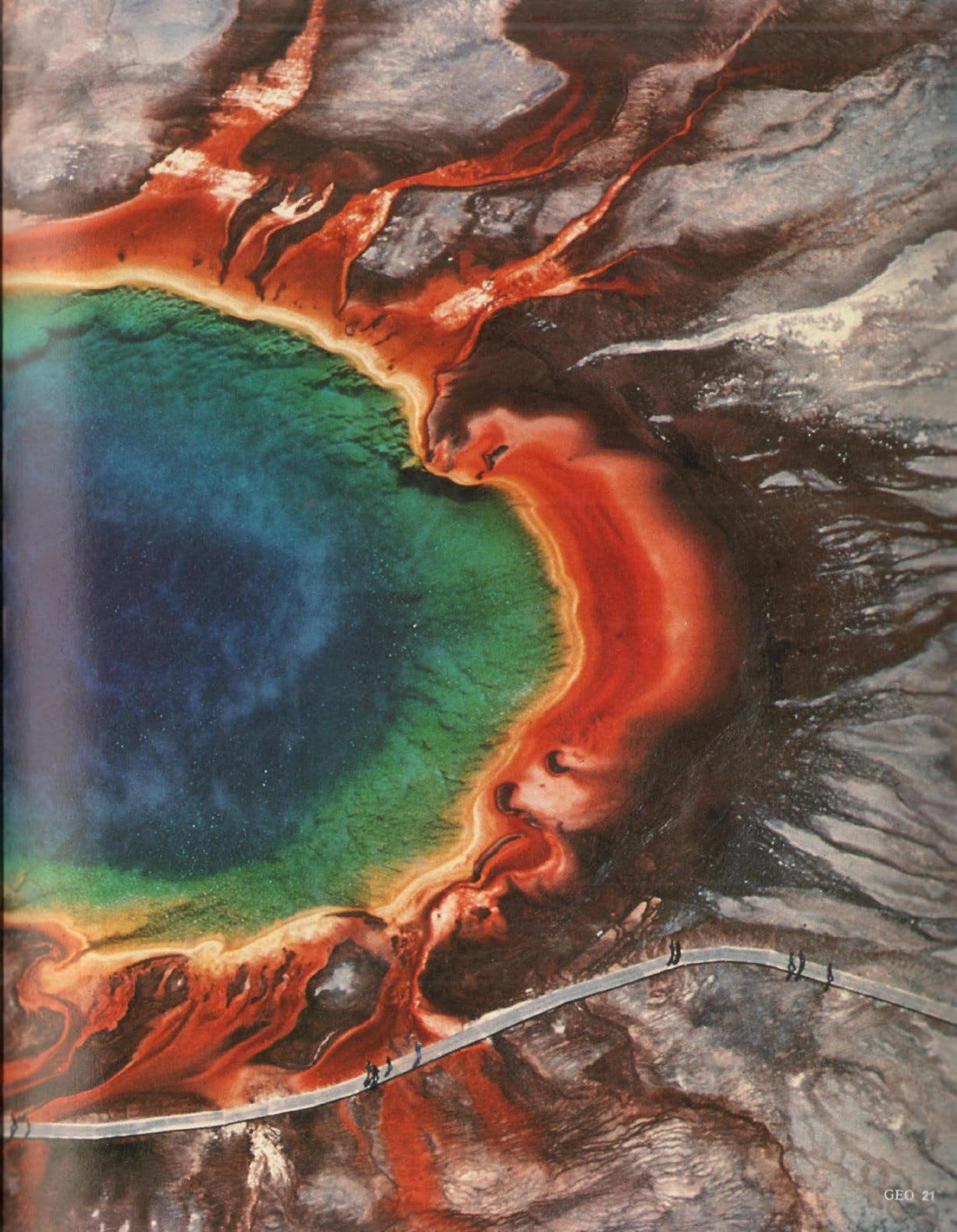
**Wie sie  
sich betten, so  
fließen sie**



Farbig wie die Palette eines Malers strahlt der Quelltopf der »Grand Prismatic Spring« im amerikanischen Yellowstone-Nationalpark. Algen auf den schlammigen Ufern verursachen das bunte Naturwunder um die 65 Grad Celsius heiße Quelle. In solch brodelndem Born könnten nach neuen Evolutionstheorien einst Vorformen des Lebens entstanden sein

**Ein bunter  
Born des blühenden  
Lebens**









**Wenn  
der Himmel die Erde  
ertränkt**

Wenn der Himmel seine Schleusen öffnet, dann können die Menschen oft nur hilflos »Land unter« melden. Schwere Monsunregen in asiatischen Ländern haben mitunter gewaltige Fluten zur Folge, denen Tausende von Menschen zum Opfer fallen. So erlebte Bangladesch im September 1988 die schwerste Überschwemmung seit Menschengedenken



**Der  
Dreck heiligt die  
Mittel**

Schadstoffe im Abwasser bedrohen zunehmend Flüsse und Seen. Immer aufwendiger sind die Klärtechniken, mit denen der Schmutz aus unseren Kloaken wieder entfernt wird. Bakterien, die sauerstoffzehrende Substanzen abbauen, brauchen ihrerseits jedoch Sauerstoff zum Leben: Die Klärseen nördlich von Baton Rouge im US-Staat Louisiana sind von Schläuchen mit winzigen Löchern durchzogen, durch die das Abwasser von unten her belüftet wird







**An den großen  
Strömen kam die Kultur  
in Fluß**

Ob Euphrat und Tigris, Huang He, Indus, Nil oder Tiber: An den großen Strömen standen die Wiegen der Zivilisation. Auch später wurden vorzugsweise an den Ufern der Flüsse – weil sie bequemen Transport erlaubten – Märkte errichtet, aus denen Metropolen wie Paris wuchsen, auch wenn sie oft unter der Gewalt des Stroms zu leiden hätten. Die Zivilisation aber, die ohne die Flüsse nicht denkbar wäre, hat ihre Geburtsheiler zu Kloaken degradiert

*Sauberer Wasser gibt es nicht zum Nulltarif, sondern nur dann, wenn jeder selber*

# **WIR— DIE BRUNNEN- VERGIFTER**



»Killeralgen« und »Robbensterben« mobilisierten – wie hier auf Amrum – Tausende zu Demonstrationen gegen die Verschmutzung der Nordsee

VON GÜNTHER HAAF

**D**ie letzte Saison an der See glich einer Ouvertüre zur Apokalypse der Meere. Sie begann mit dem Wuchern der „Killeralgen“, war überschattet vom Tod vieler tausend Robben und endete mit einem touristischen Paukenschlag: Zum ersten Mal mußte an der deutschen Küste ein Badestrand wegen Infektionsgefahr geschlossen werden.

Die Salmonellenverseuchung traf zuerst Norderney, das älteste Nordseebad hierzulande. Kurdirektor Helmut Hottendorf, den Ruin des in zwei Jahrhunderten gewachsenen Heilbad-Images vor Augen, bot seinem Publikum naheliegenden Trost: Norderneys modernes Meerwasser-Welenschwimmbad stehe jedem Kurgast nun kostenlos zur Verfügung.

Ähnlich hatte in den Anfangsjahren der Wirtschaftswunderzeit auch der Chef der Hamburger Wasserwerke argumentiert. Schon damals waren die meisten Badeanstalten an der Elbe aus gesundheitlichen Gründen geschlossen. Aber jeder Bürger, schrieb Wilhelm Ziegeler 1955, könne sich „in den vorbildlich eingerichteten Badeanstalten erfreuen“.

Die beiden Aussagen legen nahe, daß wir in unserem Umgang mit dem Wasser – mit der natürlichen Umwelt – in drei Jahrzehnten nicht sehr viel weiter gekommen sind. Gewiß, die hektische Betroffenheit so vieler umweltbewegter Politiker und Publizisten und Bürger gab es damals nicht. Aber signalisiert sie tatsächlich einen echten Wandel zum Besseren?

Medienwirksame Gesten beherrschen die öffentliche Diskussion. Was einst dem Landrat – mit Foto für die Lokalpresse – die frühjährlische Abfallsammelaktion im Wald war, ist 1988 dem Bundesminister der fernsehgerechte Schluck Meerwasser (Gerhard Stoltenberg, Kiel) oder das Durchschwimmen des Rheins im Gummianzug (Klaus Töpfer, Mainz): Bonner Berufspolitiker als Bio-Indikatoren.



»Nordsee-Dämmerung: Ölförderung«



»Kranke Fische in der Elbmündung«



»Greenpeace« gegen Dünnäure-Verklapper



»Tote Robbe am Strand von Sylt«



»Killeralgen«-Opfer vor Südnorwegen

„Wir werden“, hatte der Helgoländer Vogelkundler Gottfried Vauk lange vor Töpfers öffentlicher Unempfindlichkeitserklärung prophezeit, „eines Tages draußen nur noch im Neopren-Anzug baden und nichts dabei finden, so wie wir nichts dabei finden, mit dem Auto morgens im Stau zu stehen.“

Vauks bittere Bemerkung trifft den Punkt: Solange die Mehrheit der Bürger Naturschutz als Medienspektakel begreift, ansonsten aber – wenn die gute Sache etwas kosten soll – lauthals klagt, wird die Gefahr von Umweltkatastrophen vor allem in der Nordsee weiter steigen. Denn das flache Randmeer ist – stellvertretend für die Ozeane – das letzte Klärbecken, die allerletzte Kloake der technischen Zivilisation.

Vor 20 Jahren noch hätte der Meeresbiologe Gotthilf Hempel „die Frage, ob der Mensch das Meer ruinieren könne, mit Nein beantwortet“. Zehn Jahre später bereits war der Direktor des Alfred-Wegener-Instituts für Polarforschung eher vom Gegenteil überzeugt. Heute bedarf es keiner theoretischen Debatten mehr: Die Menschheit ist dabei, das natürliche Gleichgewicht in Ozean und Atmosphäre zu stören – ein fahrlässiges Experiment mit den beiden für das Leben essentiellen Hüllen unseres Planeten.

Am „Ende des Verdrängungszeitalters“, das die konservative „Neue Zürcher Zeitung“ ausgemacht hat, hilft das Schwarzer-Peter-Spiel der Verschmutzer – „die Politiker!“, „die Industrie!“, „die Verbraucher!“ – nicht viel weiter. Hier könnte die Zielsetzung der Unfallforschung nach Flugzeugabstürzen als Vorbild dienen: Ihr geht es weniger um die Suche nach Schuldigen als um das Aufdecken der Ursachen, damit ähnliche Katastrophen künftig vermieden werden können.

Einen Ansatz für die Suche nach den gesellschaftlichen Ursachen der globalen Umweltschädigung hat der Bamberger Soziologe Ulrich Beck in seinem Buch „Risikogesellschaft“

aufgezeigt: Die eingefahrenen politischen und wirtschaftlichen Spielregeln führen in die ökologische Sackgasse, so argumentiert Beck, da bei der „Produktion von Reichtümern“ Risiken mitproduziert werden, die langfristig die traditionelle „marktwirtschaftliche Logik der Reichtumsverteilung“ unterlaufen. Diese Risiken hätten nichts mit den leicht durchschaubaren, unmittelbaren Gefährdungen etwa am Arbeitsplatz zu tun, sondern beständen global und über längere Zeiträume – wie weltweite Luft- und Wasserverschmutzung. Viele schnelle ökonomische Erfolge summieren sich zu einer langfristigen ökologischen Gefährdung aller.

Da die globalen Risiken vom einzelnen Verursacher meist nicht direkt empfunden werden können, sind wir auf den Sachverstand hochspezialisierter Wissenschaftler angewiesen. Nur sie können über die alltägliche Erfahrungen hinausgehende, komplexe Bedrohungen frühzeitig erkennen. Den Experten aber fehlt gewöhnlich die Fähigkeit, sich allgemeinverständlich auszudrücken.

So stürzt eine Flut schwer interpretierbarer Fakten auf eine Gesellschaft ein, die traditionell an wissenschaftlichen und technischen Informationen wenig interessiert ist. Kein Wunder, daß offensichtlich eine Mehrheit der Bürger und Politiker, Konsumenten und Manager weiterhin daran glaubt, auch globale Umweltprobleme ließen sich an Spezialisten delegieren und – wie der Flug zum Mond – allein mit Hilfe der Technik lösen.

Umweltschutz als „wichtige Aufgabe“ rangiert seit Jahren bei Meinungs-Umfragen ganz weit vorn. Ein Blick ins „Statistische Jahrbuch“ signalisiert jedoch ungebrochenen Konsum: Rekordzahlen bei der Zulassung neuer Autos, weiter ansteigender Kunststoff- und Papierverbrauch, steigender Energieverbrauch – unterm Strich höhere Belastungen der Umwelt.

Gewiß, auch die „Umweltinvestitionen“ der bundesdeutschen Industrie zogen im letzten Jahrzehnt kräftig an: von knapp zwei auf gut sechs Milliarden Mark. Und der Verbrauch von Pflanzenschutzmitteln – für's Wasser besonders schädliche Gifte – ging immerhin von 33 650 Tonnen im Jahr 1979 auf 31 417 Tonnen im Jahr 1986 zurück. Aber wenn zum Beispiel die Bayer AG sich röhmt, sie habe ihre Abwasser-Einleitungen von 1986



Wir können uns weder als Verbraucher . . .



. . . noch als Wähler aus unserer Verantwortung für die Umwelt schleichen

**Am Ende des  
Verdrängungszeitalters hilft das  
Schwarzer-Peter-Spiel der  
Verschmutzer nicht  
viel weiter**

auf 1987 „um bis zu 30 Prozent“ reduziert, so zeigt dies auch, welch hohen Stand die Umweltverschmutzung erreicht haben mußte, bevor solche Reduktionen möglich wurden.

Sollen Bäche, Flüsse und Meere auf Dauer wieder sauber werden, dürfen nicht nur Symptome kuriert werden. Einsicht tut not, daß die Industrie ihre umweltbelastenden Produkte nicht für Marsmenschen produziert: Wir alle können uns – als materielle Nutznießer – weder aus unserer Verantwortung als Verbraucher noch als Wähler davonschleichen. Denn es sind *unsere* Gewässer, die in *unserem* Auftrag verdreckt werden.

Die Dünnsäure etwa, deren Verklappung in der Deutschen Bucht von „Greenpeace“ vehement bekämpft wird, fällt bei der Herstellung des Weißpigments Titandioxid ab und kann inzwischen auch mit weniger gravierenden Folgen für die Natur auf dem Festland endgelagert werden. An der unverminderten Produktion des Pigments – dieser laut Hersteller Kronos-Titan „heute unentbehrlichen Grundlage für die farbige Gestaltung unserer Umwelt“ – tragen wir als Käufer farbenfroher Waren einen großen Teil der Verantwortung: Die 1988 weltweit produzierten zweieinhalb Millionen Tonnen Titandioxid-Pigmente gelangen in jeden Haushalt der westlichen Welt – im Lack nicht nur weißer Autos, in den Druckfarben von Zeitschriften und Verpackungen, in Kinderspielzeug und sogar in Öko-Farben.

Wer seine Umwelt wirklich schützen will, muß entweder als Konsument auf solche Produkte verzichten – was heute fast unmöglich ist. Oder er muß als Bürger politischen Druck für schärfere Auflagen machen und dann auch – ohne zu murren – als Verbraucher den möglicherweise höheren Preis für die umweltschonender hergestellte Ware akzeptieren. Saubere Verfahren und Produkte bringen aber auch, wenn die Umweltentlastung volkswirtschaftlich erfaßt wird, auf Dauer große finanzielle Vorteile. Verschmutzte Luft, dreckiges Wasser und zerstörter Boden verursachen schon heute gigantische Kosten. Allein für die Sanierung von möglicherweise 70 000 alten Giftmülldeponien, die in der Bundesrepublik das Grundwasser akut gefährden, sind nach Schätzung der deutschen Wasserversorgung mindestens 20 Milliarden Mark nötig.

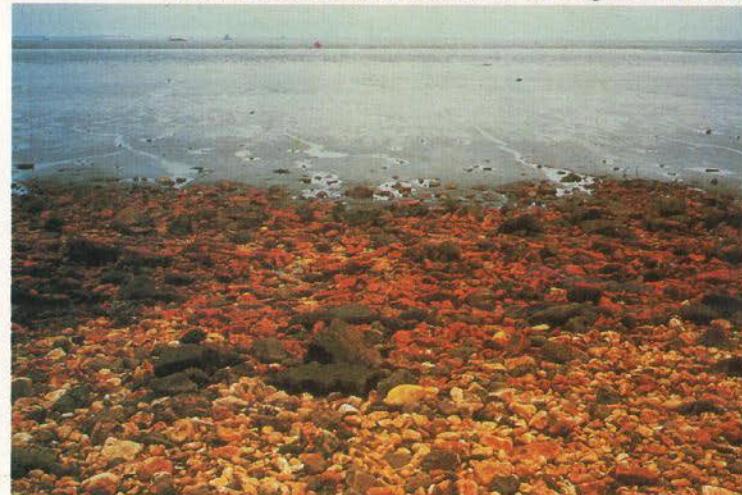
Wie teuer die Sanierung etwa des Rheins oder gar der Nordsee käme, wagt niemand abzuschätzen – und das nicht nur wegen der involvierten internationalen Querelen, vor allem – in Sachen Elbe – mit der DDR. Eine Ahnung von den Dimensionen eines solchen Vorhabens gab im Sommer 1988 ein offener Brief, den besorgte Hamburger Meeresforscher nach dem massenhaften Auftreten der „Killeralge“ in der Nordsee an Bundeskanzler Kohl schickten.

„Warum warten wir“, so hatten die sieben Ozeanographen um den Mee-

**Viele schnelle ökonomische Erfolge summieren sich zu einer ökologischen Gefährdung aller**



Symptome der kranken Nordsee: Tote Seevögel am deutschen Deich . . .



. . . und ein schwermetallverseuchter Strand in Yorkshire

reskunde-Professor Jan Backhaus gefragt, „auf internationale Schutzkonferenzen, die vage und schwache Vereinbarungen produzieren und wichtige Entscheidungen verzögern? Warum bauen wir nicht z. B. ein Klärwerk bei Neu-Darchau an der Elbe und befreien sie von den Schadstoffen unserer Nachbarn?“

Backhaus-Kollege Jürgen Schoer rechnete den Vorschlag durch: Ein Elbklärwerk müßte rund 400mal grö-

ßer sein als das Hamburger Großklärwerk Köhlbrandhöft/Dradenau, das „ohne ausreichende Phosphat- und Stickstoffeliminierung“ 700 Millionen Mark kostete. „Da käme“, bemerkte Schoer spitz, „schon einiges zusammen.“

Mehr noch: Die Reinigung des Flußwassers von Phosphat und Nitrat – sie fördern das Algenwachstum – wäre derzeit technisch gar nicht möglich. Denn das Elbwasser enthält an

der DDR-Grenze im Mittel eine immer noch fünfmal geringere Konzentration dieser Nährsalze als das Wasser im Ausfluß eines dreistufigen, zur ihrer Entfernung ausgerüsteten Klärwerks. Für die Entwicklung einer ausreichend effizienten Anlage wären weitere Milliarden erforderlich. Und da die stickstoffhaltigen Ammoniumsalze mit existierender Klärtechnik nur bei Temperaturen über plus zehn Grad effektiv entfernt werden kön-

## Sie werden kämpfen bis zum letzten Tropfen

Wasser ist zunehmend Ursache von internationalen Konflikten

»In dem Maße, in dem der Bedarf an Wasser ständig wächst, werden die Konflikte zwischen Nationen um gemeinsame Vorräte vermutlich zunehmen.«

Aus »Global 2000«

**S**cheinbar ziellos kreisen Rudel israelischer Flugzeuge zehn bis 15 Kilometer vor der Mittelmeerküste. Ihre Piloten erwarten allerdings keine feindlichen Flieger: Sie spüren grauen Wolkenmassen nach, um sie mit einer Mischung aus Silberjodid und Azeton zu „impfen“, damit Regen auf das dürstende Heilige Land fällt.

Israel zapft Wasser, wo immer es dessen habhaft werden kann. Denn Wasser ist nicht nur die Grundlage allen Lebens, sondern letztlich auch der politischen Macht. Besonders knapp ist es im Mittleren und Nahen Osten. Nicht Öl, sondern Wasser sei der Stoff, der künftige Konfrontationen nähere, heißt es in einer Studie der University of Pennsylvania. Die Autoren prophezeien einen förmlichen Krieg ums Wasser noch vor dem Jahr 2000.

Israels natürliche Wasservorräte sind nahezu erschöpft. Das Land verbraucht schon jetzt 2,2 Milliarden Kubikmeter, während sich die Vorräte jährlich nur um 1,8 Milliarden ergänzen. In sieben Jahren aber soll der Bedarf um ein Drittel höher liegen. In ihren Krie-

gen hatten die Israelis nicht nur um Land, sondern auch ums kostbare Naß gefochten: Heute liegt ein Viertel des Vorrats im besetzten Westjordanland; auch aus dem Südlibanon und den Golanhöhen schöpft Israel Wasser ab.

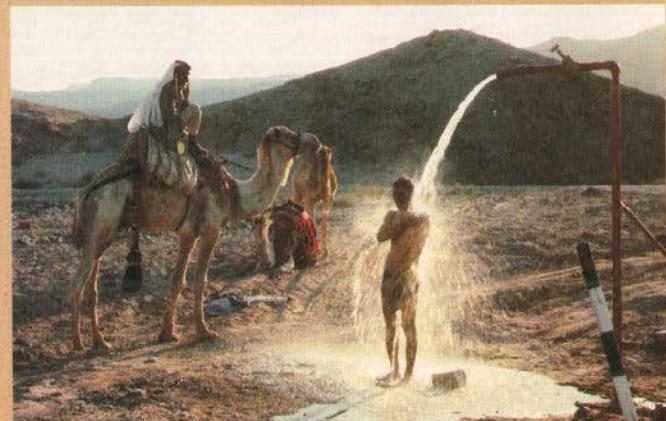
Alte Quellen drohen zu versiegen, neue lassen sich noch schwerer finden als zu Moses Zeiten. Und wenn schon ein Meißel tief im Fels ins Nasse trifft, kochen sogleich die Konflikte hoch. So stößt eine Bohrung bei Herodion in der Nähe von Bethlehem auf den erbitterten Widerstand der Palästinenser: Von den 18 Millionen Kubikmetern, die dort jährlich fließen sollen, wollen die Israelis den arabischen Gemeinden höchstens ein Drittel abzweigen.

Wo Menschen feindselig aufeinanderstoßen, gilt das Wasserabgraben als probates Kampfmittel. Syrien arbeitet daran, die Zuflüsse des Yarmuck – eines Quellflusses des Jordan – ins eigene dürre Land abzuleiten. Der Jordan aber – der israelische Lebensstrom, wenn auch im Vergleich etwa zum Rhein nur ein Flüßchen – speist den See Genezareth, das größte überirdische Süßwasser-Reservoir des Landes. Die prekäre Knappheit fordert den Erfindergeist jüdischer Tüftler heraus. So konnte mit computergesteuerter „Tröpfchenbewässerung“ der Was-

serverbrauch der israelischen Landwirtschaft – mit 75 Prozent der größten Schlucker des Landes – um die Hälfte verringert werden. Weitere Litermillionen sollen per Recycling und Entsalzung gewonnen werden – High-Tech-Verfahren, die teuer und nicht ohne weiteres auf ärmere, weniger entwickelte Länder übertragbar sind. Da der Wasserkreislauf sich nicht an menschengemachte Grenzen hält, sind ungeregelter Eigentumsrechte stets Nährböden für Konflikte – wie einst zwischen Ranchern und Farmers im Wilden Westen, so in Zukunft wohl zunehmend zwischen Staaten an einem gemeinsamen Fluß. Das Leben der rund 50 Millionen Ägypter hängt entscheidend vom Nil ab, damit vom Wohlwollen der Staaten an dessen Oberlauf. Sein Land sei bereit, hatte Präsident Sadat 1980 gedroht, sein

Nilwasser notfalls mit Waffengewalt zu verteidigen: Ägypten, Herrscher über die Quellen des Blauen Nil, hatte „auf das unveräußerliche Recht eines jeden Anliegerstaates“ hingewiesen, „einseitig die Entwicklung der Wasservorräte innerhalb der nationalen Grenzen vorzunehmen“. Ein weiterer Konflikt bahnt sich am Euphrat an. Die Türkei plant an dessen Oberlauf den „Atatürk-Stausee“, der um die Hälfte größer als der Bodensee werden soll. Mit dessen Wasser soll Südost-Anatolien in eine Kornkammer verwandelt werden. Zwar sichert Ankara den Euphrat-Anliegern Syrien und Irak zu, daß weiterhin genügend Wasser im Fluß sein werde. Aber jedes Dürrejahr, jede politische oder militärische Veränderung kann auch hier die Wasserwaage kippen lassen.

Rainer Busch



Volles Rohr im Feindesland: duschender Israeli im seinerzeit besetzten Sinai

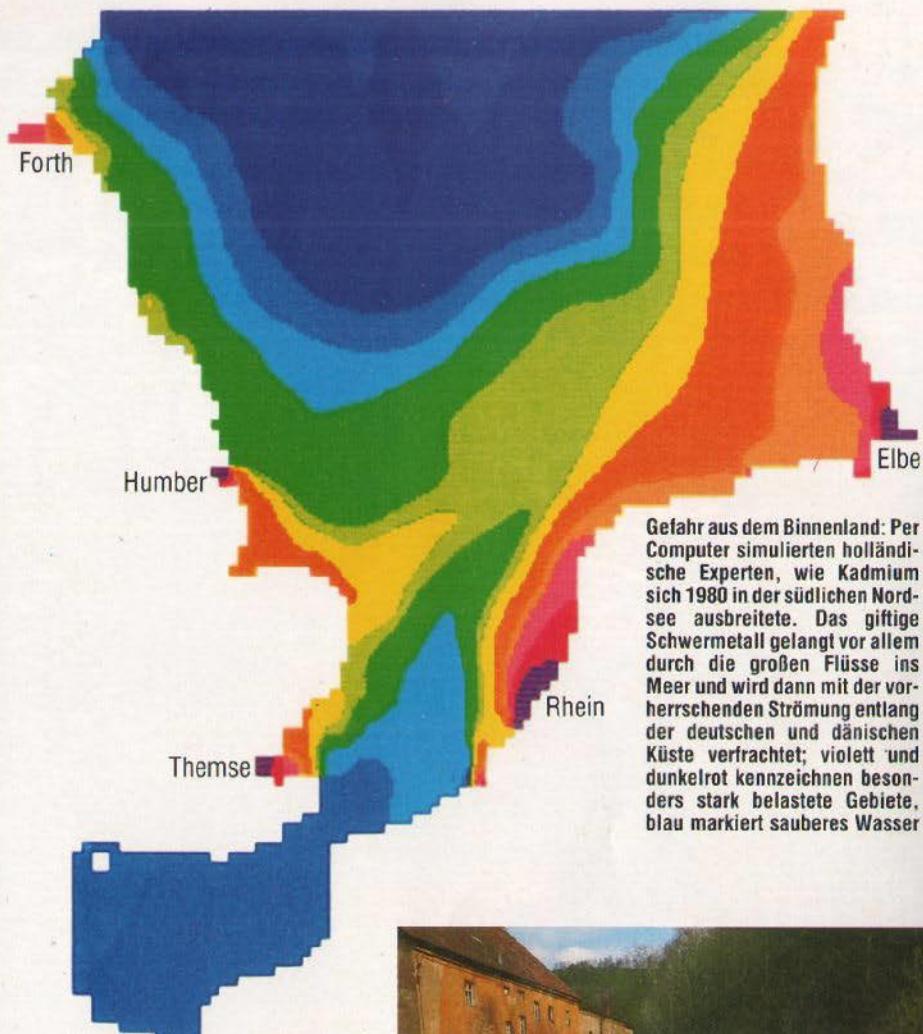
nen, müßte das Flußwasser überdies in der kalten Hälfte des Jahres aufgewärmt werden.

„Es hat auch mich überrascht“, schrieb Schoer an Backhaus, daß im Mittel für die Erwärmung des Elbwassers von 5 auf 10 Grad „etwa 15 Kernkraftwerke nötig“ wären. Angesichts dieser Zahlen fragte sich der Forscher, ob es „nicht sinnvoller wäre, den gewünschten Effekt mit einem Bruchteil der Mittel und erprobten Techniken zu realisieren“ – an der Quelle der Verschmutzung.

Wenn das „Verursacherprinzip“ als Grundsatz der Umweltpolitik kein abstrakter Begriff bleiben soll, müssen die Verschmutzer künftig die Kosten ihres Drecks direkt spüren. Vorschläge, wie dies geschehen könnte, gibt es seit Jahrzehnten – zum Beispiel die „Umweltsteuer“. Ernst Ulrich von Weizsäcker, Direktor des Instituts für Europäische Umweltpolitik in Bonn, lobt sie als „wesentlich marktkonformer und innovationsfreundlicher als das heutige Regelwerk“. Eine Umweltsteuer würde ökologisch nachteilige Verfahren und Produkte verteuern und damit saubere Alternativen für jedermann sichtbar bevorzugen: Sie wären – anders als heute üblich – konkurrenzfähiger.

Wie schnell der finanzielle Hebel technischen Wandel und Verhaltensänderungen zugunsten der Umwelt ins Rollen bringen kann, hat ein weltweites Experiment bereits bewiesen: die Verzehnfachung des Ölpreises durch die OPEC nach 1973. Die „Energiekrise“ war – so gesehen – das erfolgreichste Umweltschutzprogramm aller Zeiten. Denn sie lieferte den Beweis dafür, daß materieller Wohlstand und Energieverbrauch keineswegs unverrückbar aneinandergekettet sind.

Eine „Umweltsteuer“ könnte, mutig eingesetzt, das gleiche leisten. Damit aber würde unsere technische Zivilisation endlich auf einen Kurs gebracht, den die belebte Natur schon vor Jahrmilliarden mit der „Erfahrung“ der Photosynthese und der Atmung eingeschlagen hat: eine geschlossene Kreislaufwirtschaft mit Wasser als Ausgangs- und Endprodukt. Genau dies ist schon heute technisch machbar, wenn auch wirtschaftlich noch nicht durchsetzbar: ein Energieversorgungssystem auf der Basis von Sonnenenergie und Wasserstoff. □



### **Spuren des vereinten Schmutzes: Kadmium-Fahnen in der Nordsee**



Giftiges auf dem Weg ins Meer: bei Dresden . . .

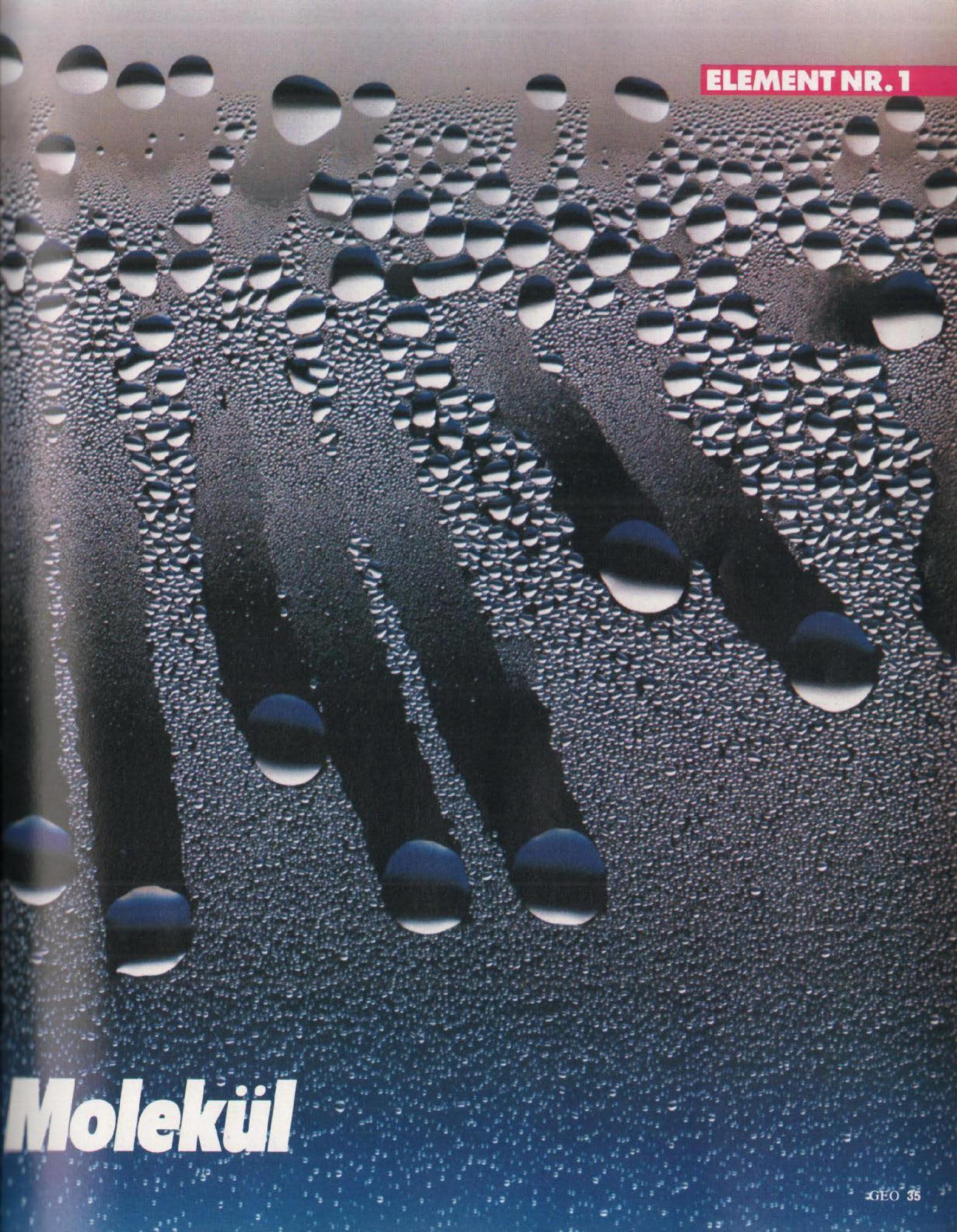


. . . und an der Humber-Mündung in England

## **Geheimnisse einer alltäglichen Flüssigkeit**

Dicke Tautropfen bahnen sich ihren Weg durch einen Rasen winziger Wasserperlen. Der Niederschlag auf kühlem Glas – alltäglicher Anblick in Küche und Kneipe – enthüllt eine der ungewöhnlichen Eigenschaften des Wassers: Seine »Oberflächenspannung« hält jeden Tropfen wie mit einer Gummihaut zusammen. Je mehr die Forscher über das vermeintlich so banale Nass herausfinden, um so größer wird ihr Respekt vor dem Stoff mit der schlichten Formel  $H_2O$

# **Das magische**



ELEMENT NR. 1

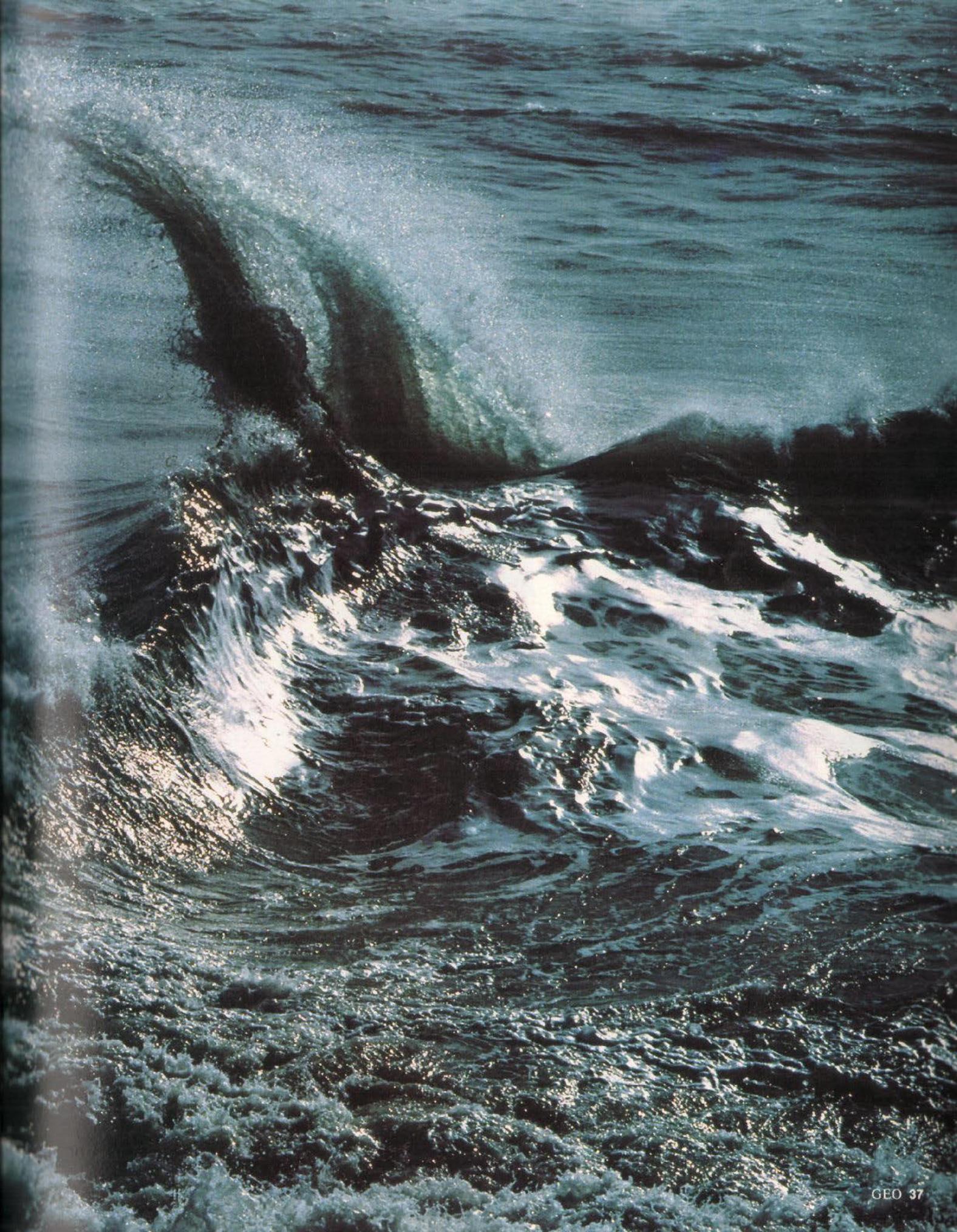
# Molekül

# **Das Hohelied des Wunderstoffes Wasser**

Aus dem Roman »Ulysses« von James Joyce

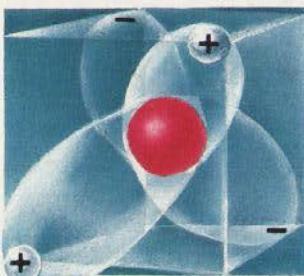
Was bewunderte Bloom, der Wasserfreund, der Wasserzapfer, der Wasserträger, am Wasser, während er zur Feuerstelle zurückkehrte?

Seine Universalität: seine demokratische Gleichheit und Konstanz gegenüber seiner Natur, indem es sich seine eigene Oberfläche suchte: seine riesige Ausdehnung als Ozean ... die Rastlosigkeit seiner Wellen und Oberflächenpartikel, die umschichtig alle Punkte seines Gestades besuchten: die Unabhängigkeit seiner Einheiten: die Variabilität der Zustandsformen des Meeres: seine hydrostatische Ruhe bei Windstille: seine hydrokinetische Geschwollenheit bei Nipp- und Springfluten: seine Gelassenheit nach Verheerungen ... seine klimatische und kommerzielle Bedeutung: sein Überwiegen im Verhältnis 3 zu 1 gegenüber dem trockenen Land auf der Erdkugel ... seine Fähigkeit, alle lösbarren Substanzen einschließlich Millionen von Tonnen der edelsten Metalle aufzulösen und in Lösung zu halten: seine langsame Erosionen von Halbinseln und Inseln ... sein Gewicht, sein Volumen und seine Dichte: seine Uner schütterlichkeit in Lagunen, Atollen und Bergseen ... seine Gewalt bei Seebeben, Wasserhosen, artesischen Brunnen, Eruptionen, Gießbächen, Strudeln, Hochwassern, Überschwemmungen, Grunddünungen, Wasserscheiden, Einzugsgebieten, Geisern, Katarakten, Wirbeln, Maelströmen, Überflutungen, Sintfluten, Wolkenbrüchen... sein geheimes Vorhandensein in Quellen und als latente Feuchtigkeit ... die Einfachheit seiner Zusammensetzung, nämlich aus zwei Bestandteilen Wasserstoff und einem Bestandteil Sauerstoff ... seine Eignung zum Reinigen, zum Lösen von Durst und Feuer, zur Nahrung der Vegetation ... seine Metamorphosen als Dunst, Nebel, Wolke, Regen, Graupel, Schnee, Hagel ... seine Allgegenwärtigkeit, insofern es 90 Prozent des menschlichen Körpers bildete.

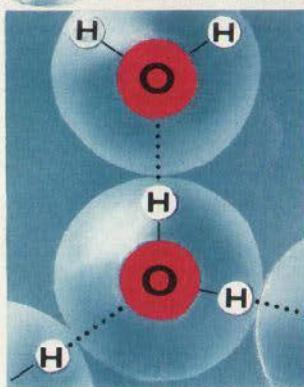


# H<sub>2</sub>O Die drei Gesichter des Wassers

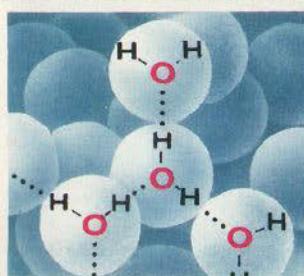
Mit der chemischen Entschlüsselung von H<sub>2</sub>O vor zwei Jahrhunderten war das Thema Wasser für Chemiker, Physiker und Biologen keineswegs abgehakt: Auch heute noch gibt die auf den ersten Blick simple Verbindung Rätsel auf. Seine wichtigsten Eigenschaften und Daten sind in der Grafik auf dieser Doppelseite zusammengefaßt



Die **Atomkerne** des Wasserstoffs (weiß) und des Sauerstoffs (rot) bilden miteinander einen Winkel von 104,5 Grad. Die Wasserstoffkerne formen zwei positiv geladene »Beulen« (+), denen zwei negative Ausbuchtungen (-) der Elektronenhülle gegenüberstehen: Das Molekül ist daher elektrisch aktiv



Die starke »**kovalente Bindung**« (durchgehende Linie) kettet die Atome des Sauerstoffs (O) und Wasserstoffs (H) fest aneinander. Nur 5 Prozent der gesamten Bindungskraft des Moleküls stecken in der »**Wasserstoffbrücke**« (gestrichelte Linie). Sie ist dennoch rund 17mal stärker als die übliche Anziehungskraft zwischen zwei Molekülen



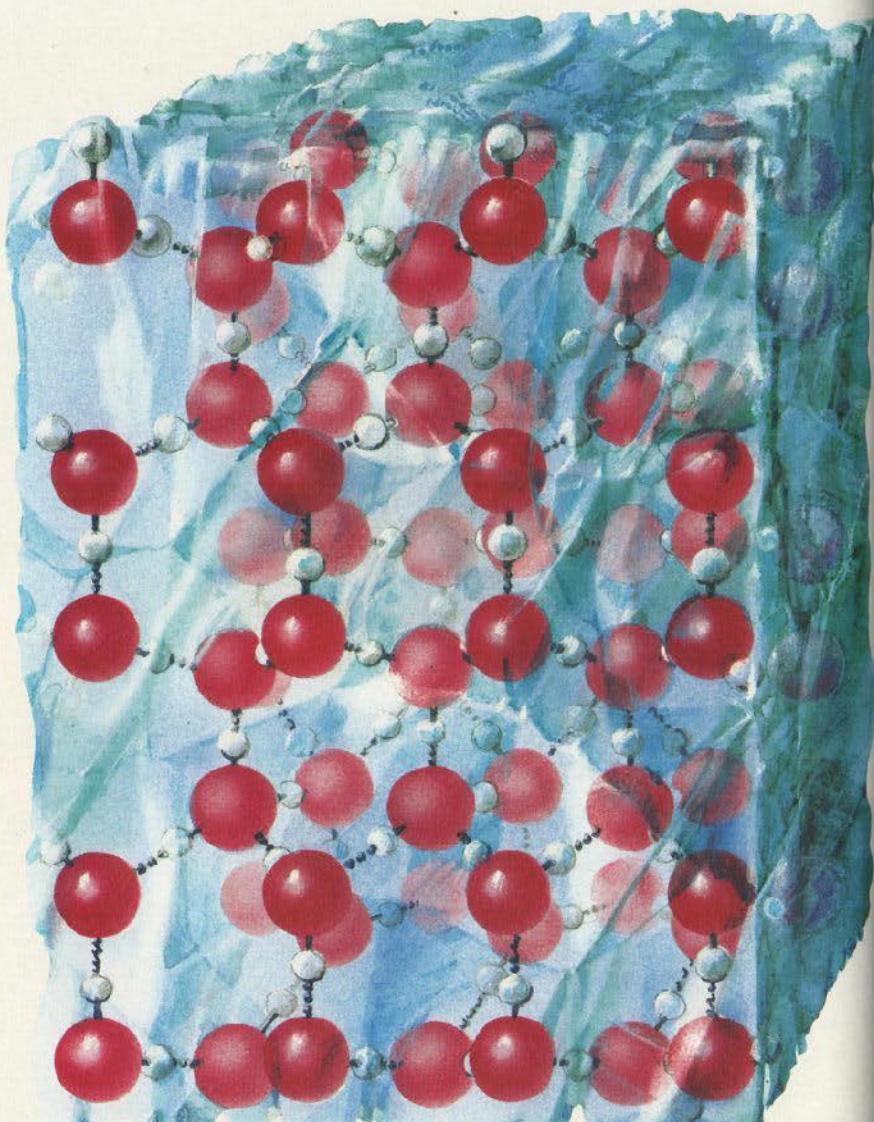
Da Wasserstoffbrücken H<sub>2</sub>O-Moleküle besonders fest miteinander verhaken, liegt Schmelz- und Siedepunkt des Wassers viel höher als bei ähnlichen chemischen Verbindungen: Wenn diese längst verdampft sind, bleibt Wasser noch flüssig – dank der kristallähnlichen »**Cluster**« seiner Moleküle

Alle Angaben in der Temperaturskala beziehen sich – soweit nicht anders vermerkt – auf einen Druck von 1 bar

-273 °C    Fast alle Temperaturskalen orientieren sich am Wasser – auch die beim absoluten Nullpunkt beginnende **Kelvin-Skala**

Eis, wie es im Whisky-Glas klingelt, ist für Experten nur die hexagonale Unterform der ersten von acht Klassen. Strittig ist noch, was beim Gefrieren im Detail geschieht. Dazu sind stets Keime nötig, die durch Verunreinigungen oder zufällige Dichteschwankungen entstehen. An ihnen wachsen große Kristallgitter (Grafik)

## FEST



Der Schmelzpunkt des Wassers ist der untere Eckwert der Celsius-Skala

0 °C

\* +0,01 °C  
Bei einem Druck von 0,006 bar sind am **Tripelpunkt** alle Phasen des Wassers – fest, flüssig, gasförmig – im thermodynamischen Gleichgewicht. Er ist der Fixpunkt der Kelvin-Skala

+4 °C  
Am Punkt seiner **höchsten Dichte** wiegt reines Wasser genau 1 Gramm pro Kubikzentimeter – einst die Basiseinheit der Masse

1 **Kalorie** ist die Wärmemenge, die nötig ist, um 1 Gramm Wasser von +14,5 auf +15,5 Grad zu erwärmen (= 4,19 Joule)

Wasser ist keineswegs so leichtflüssig, wie es im Alltag erscheint, sondern sogar vergleichsweise zäh. Denn seine Moleküle schwimmen nur teilweise isoliert nebeneinander her; viele verbinden sich über Wasserstoffbrücken zu »Cluster« genannten Haufen. Um sie aufzubrechen, ist beim Verdunsten viel Wärme nötig

## FLÜSSIG

Dampf entzerrt die H<sub>2</sub>O-Moleküle. Diese brutalste Form des Wassers dehnt sich am Siedepunkt – bei 1 bar Druck und 100 Grad Celsius – auf ein 1600fach größeres Volumen aus als eine gleiche Masse flüssigen Wassers. Sein Expansionsvermögen macht den Turbinen Dampf, die Strom erzeugen

## GASFÖRMIG

Die **Wärmespeicherkapazität** ist wahrscheinlich die ungewöhnlichste Eigenschaft des Wassers: Bei einer bestimmten Energiezufuhr steigt dessen Temperatur langsamer als bei den meisten anderen Substanzen, und entsprechend gemächlich kühl es sich wieder ab – Voraussetzung für ein lebensfreundliches Erdklima. Beim Erwärmen von 0 auf 100 °C dehnt sich Wasser um gut 4 Prozent aus

Der **Siedepunkt** des Wassers ist der obere Eckwert der Celsius-Skala

+100 °C

+374 °C

**Kritischer Punkt:**

Oberhalb dieser Temperatur und dem dabei erreichten »kritischen Druck« von 221 bar lässt sich Wasser nicht mehr verflüssigen – ein für Dampfmaschinen-Konstrukteure wichtiger Grenzwert



### **Wenn nasse Haut den Nagel trägt**

Ob fragile Blasen seifig schillern, Insekten über Tümpel gleiten oder ein Tropfen einen Nagelbettet – stets ist dabei die kräftige Oberflächenspannung des Wassers im Spiel. Denn an der Grenzschicht der Flüssigkeit werden H<sub>2</sub>O-Moleküle dank der hohen



Bindungskräfte nach innen gezogen, so daß Wasser wie mit einer straffen Haut umgeben ist. Derselbe Effekt läßt auch versprühtes Nass so-gleich zu Tröpfchen gerinnen

**D**er Drink ist geschmacklos, farblos und geruchlos, ohne jeden Nährwert und überdies spottbillig. Wer möchte sich schon damit den Abend verschönern? Allerdings hat er Qualitäten, die sich einem gestandenen Zecher überhaupt nicht offenbaren: Es ist die wichtigste Flüssigkeit des Lebens, eine der merkwürdigsten Substanzen des Universums – Wasser.

Die Wunder und Gewalten des nassen Elements beschrieb kaum jemand so prägnant und poetisch wie James Joyce. In seinem „Ulysses“ rühmt der Ire die „Universalität“ des Wassers und die „Einfachheit seiner Zusammensetzung“, preist die „Rastlosigkeit seiner Wellen“ und „seine Unerschütterlichkeit“ in Bergseen (siehe Zitat Seite 36). Was könnte über diesen Urquell des Lebens mehr gesagt werden?

„Es gibt das Vorurteil“, meint Felix Franks, „daß der Stoff, der aus der Wasserleitung kommt, bestens bekannt und untersucht sei. Aber das Gegenteil ist wahr.“ Franks muß es wissen: Er ist seit über 40 Jahren Wasserforscher. Im „Science Park“ am Rande der englischen Universitätsstadt Cambridge hat sich der 62jährige Brite, Mitglied des Girton College, mit seinem Labor für Kältebiologie ein kleines Imperium geschaffen. Dort untersucht er gemeinsam mit seinen Mitarbeitern seit einigen Jahren die Rolle des Wassers in Lebensprozessen – vor allem bei tiefen Temperaturen.

Felix Franks erzählt mir, kaum daß wir uns begrüßt haben, seine liebste Anekdotte: „Auf der Rückfahrt von einem Vortrag bei einer Firma traf ich in der Bahn einen Chemiestudenten. Als ich ihm berichtete, daß ich über die Struktur von flüssigem Wasser gesprochen hätte, blickte er mich an, als ob ich verrückt wäre. Dann klärte er mich in herablassender Weise auf, daß Wasser bloß  $H_2O$  sei und alles, was man darüber wissen müsse, auf einer halben Seite eines Lehrbuches der anorganischen Chemie gefunden werden könne. Er ließ mich nur allzu deutlich wissen, daß ich meine Zeit verschwendet hätte.“

Eine gewisse Ahnung, daß es um Wasser nicht ganz so einfach bestellt sei, hatte ich schon vor meinem Besuch bei Franks. Als er mir nun sein Hauptwerk zeigt, bin ich trotzdem verblüfft: sieben Bände mit dem Titel „Water – A Comprehensive Treatise“ („Wasser – eine ausführliche Abhandlung“). Daneben stehen noch ein halbes Dutzend Monographien aus Franks' Feder – und alle ausschließlich über Wasser.

Gibt es wirklich so viel darüber zu sagen? Kann es wirklich sein, daß nach einigen Jahrhunderten Physik und Chemie noch immer nicht alles über die schlichte

Substanz mit der chemischen Formel  $H_2O$  bekannt ist? „Gewiß“, reagiert der Wissenschaftler auf meine Verwunderung, „fast keine vergleichbare Flüssigkeit ist gründlicher untersucht worden. Aber Wasser ist eben eine äußerst komplexe Substanz, es gibt kaum eine Eigenschaft, die normal genannt werden könnte und die wir richtig verstehen.“

Dabei müßte es eigentlich einen erheblichen Verständnisbedarf geben. Denn diese un-normale Flüssigkeit ist untrennbar mit der irdischen Biosphäre verbunden. Das Leben entstand im Wasser, hielt sich – erdgeschichtlich gesehen – fast nur dort auf und kann bis heute keine Sekunde ohne Wasser existieren: Es ist an fast allen Stoffwechselprozessen beteiligt, bei der Verdauung wie beim Wachstum. Wasser löst Salze, transportiert Nährstoffe und stabilisiert das Erdklima.

Wasser ist eine Hochleistungssubstanz, der keine andere Flüssigkeit gleichkommt – weder in der Qualität noch in der Quantität, wenigstens auf dieser Erde, die eigentlich „Wasser“ heißen müßte. 1460 Millionen Kubikkilometer  $H_2O$  bedecken fast drei Viertel der Oberfläche unseres Planeten. Über 11 000 Kubikkilometer schwimmen ständig als Dampf in der Luft und werden pro Jahr durchschnittlich 37 mal durch Niederschläge und Verdunstung umgewälzt. Jeden Tag setzen Pflanzen 300 Millionen Tonnen Wasser um: zur Verdunstung und – bei der Photosynthese – als chemischen Rohstoff für energiereiche Kohlenwasserstoffe und damit auch für die tierische und menschliche Nahrung.

### Das Gehirn des Menschen ist ein feuchter Schwamm

Das Leben hat sich – was Wunder – optimal auf die Eigenschaften seines fundamentalen Bestandteils eingestellt. Jeder Mensch besteht zu etwa 60 Prozent aus Wasser – in der Kindheit mehr, im Alter weniger –, sein Blut sogar zu 83 Prozent. Sein Gehirn ist mit 70 bis 75 Prozent  $H_2O$  ein feuchter Schwamm, und sogar in den vermeintlich trockenen Knochen sind noch 22 Prozent davon gespeichert. Durch Atmung, Schweiß und Ausscheidungen geben wir im Schnitt täglich zweieinhalb Liter Wasser ab. Als Ausgleich müssen wir jeden Tag etwa 2,2 Liter direkt mit Speis und Trank aufnehmen – im Laufe unseres Lebens zwischen 55 000 und 65 000 Liter. Die tägliche Differenz von 0,3 Liter deckt unser Körper durch den Stoffwechsel: Die in der Nahrung gespeicherten Wasserstoffatome werden mit dem Sauerstoff der Luft – dem „Abfallprodukt“ der Photosynthese – auf kaltem Weg zu Wasser verbrannt.

Dieser Prozeß setzt die einst von den Pflanzen eingefangene Sonnenenergie wieder frei – im Durchschnitt täglich 1800

Kilokalorien. Sie würden, als reine Wärme, unsere Körpertemperatur auf 63 Grad Celsius erhöhen und uns damit einen fiebrigen Tod bereiten. Doch ein kompliziertes Netz biochemischer Reaktionen sorgt für eine konstante Körpertemperatur. Auch an diesem Regelprozeß ist stets Wasser beteiligt. Mehr noch: Komplizierte Moleküle in den Zellen – etwa die Erbsubstanz DNA – würden ohne Wasser ihre biologische Wirksamkeit verlieren. Kein anderes Molekül spielt eine so zentrale Rolle bei Lebensvorgängen wie der Atomverbund H<sub>2</sub>O.

Wer denkt schon bei einem Schluck Wasser daran, daß wir uns damit auch einige Gramm kosmischer Urmaterie hinter die Binde gießen. Denn der Wasserstoff, einer der beiden elementaren Bestandteile von H<sub>2</sub>O, ist ein 20 Milliarden Jahre altes „kosmisches Fossil“ – sozusagen ein Gebräu der allerersten Stunde.

Wasserstoff entstammt, so erklären es uns die Kosmologen, dem wildesten Augenblick der Weltgeschichte, dem „Urknall“. Nach der Theorie war dies der Moment, in dem unser Universum in einer gigantischen Explosion mit einem fast unendlich heißen und dichten Gas zu existieren begann. Danach, mit zunehmender Expansion des Weltraums, kühlte sich dieses Gas zuerst rasch, dann immer langsa-

mer so weit ab, daß Galaxien, Sterne und schließlich auch feste Himmelskörper wie der Planet Erde entstehen konnten.

Gemeinsam zeichneten Kosmologen und Kernphysiker ein Bild jenes Augenblicks nach, in dem die Atomkern-Teilchen entstanden: In der ersten Millisekunde nach der Geburt von Zeit und Raum muß eine unvorstellbar heiße Suppe aus Urteilchen – den sogenannten Quarks – gekocht haben. In ihr wurden bei 10 000 Milliarden Grad die Quarks zu positiv geladenen Protonen und elektrisch neutralen Neutronen – den Bestandteilen aller Atomkerne – zusammengebacken.

Zunächst gebar das Universum nur das Proton, den Atomkern des späteren Wasserstoffs. In den folgenden Minuten produzierten dann die ersten Kernreaktionen schwerere Atomkerne, nämlich Deuteronen – mit einem Proton und einem Neutron – sowie die Atomkerne des Elements Nr. 2, Helium, mit zwei Protonen und zwei Neutronen im Kern. Dabei sank die Temperatur unter eine Milliarde Grad, wodurch der rasch expandierende Kosmos für weitere Kernverschmelzungen zu kalt wurde.

Zurück blieb eine Mischung aus Wasserstoff und Helium, an der seitdem die Sterne – prozentual sehr bescheidene – Veränderungen bewirken: Bis zum heutigen Tag



## POLYWASSER **Nur der Schweiß der Forscher**

Erst interessierte sich niemand dafür, dann wollte jeder mit dabeisein und zum Schluß keiner mehr etwas damit zu tun gehabt haben. Die kurze, aber heftige Geschichte um das „Polywasser“ ist nicht nur ein Beispiel für die Fehlbarkeit der Wissenschaft, sie beweist auch, daß selbst professionelle Wasserforscher ihrem flüssigen Objekt viel mehr zu trauen, als es die Schulweisheit nahelegt.

Anfang der sechziger Jahre arbeitete der sowjetische Physiker Nikolai Fedjakin an der Technischen Hochschule in Kostroma – einer Stadt 300 Kilometer nördlich von Moskau – über das Verhalten von Flüssigkeiten, die in dünnen Kapillaren eingeschlossen waren. Damals

entdeckte er, daß sich in den versiegelten, teilweise mit Wasser gefüllten Glasröhren im Lauf von Tagen eine neue Flüssigkeit ansammelte – und zwar im ursprünglich flüssigkeitsfreien Raum. Im Laufe eines Monats wuchs diese neue Flüssigkeitssäule um etwa 1,5 Millimeter an. Obwohl 1963 die Arbeit Nikolai Fedjakins auch auf englisch erschien, nahm im Westen niemand Notiz von dem „modifizierten“ oder „anomalen“ Wasser, wie es zunächst genannt wurde.

Von da ab verlagerte sich das Zentrum der Aktivität nach Moskau an das Institut für Physikalische Chemie. Dort veröffentlichte der Direktor des Laboratoriums für Oberflächenkräfte, Boris V. Derjagin, in den Folgejahren eine Reihe von Arbeiten, in denen er nicht nur Fedjakins Ergebnisse bestätigte, sondern sie sogar noch verbesserte. Zum Beispiel benutzte er Quarz statt Glaskapillaren, um bei solchen Experimenten stets mögliche Verunreinigungen auszuschließen.

Seine „Resultate“ waren erstaunlich: Anomales Wasser war 1,4mal dichter und 15mal zäher als Wasser, es gefror erst bei minus 30 Grad Celsius und verdampfte oberhalb von etwa 200 Grad.

Noch erstaunlicher: Die Artikel, die in den Berichten der „Sowjetischen Akademie der Wissenschaften“ erschienen, wurden im Westen zunächst völlig ignoriert. „Ich muß gestehen“, kommentiert Felix Franks in seinem Buch „Polywasser“, „daß ich wie meine Kollegen die Bedeutung der Entwick-

lungen nicht richtig einschätzte.“

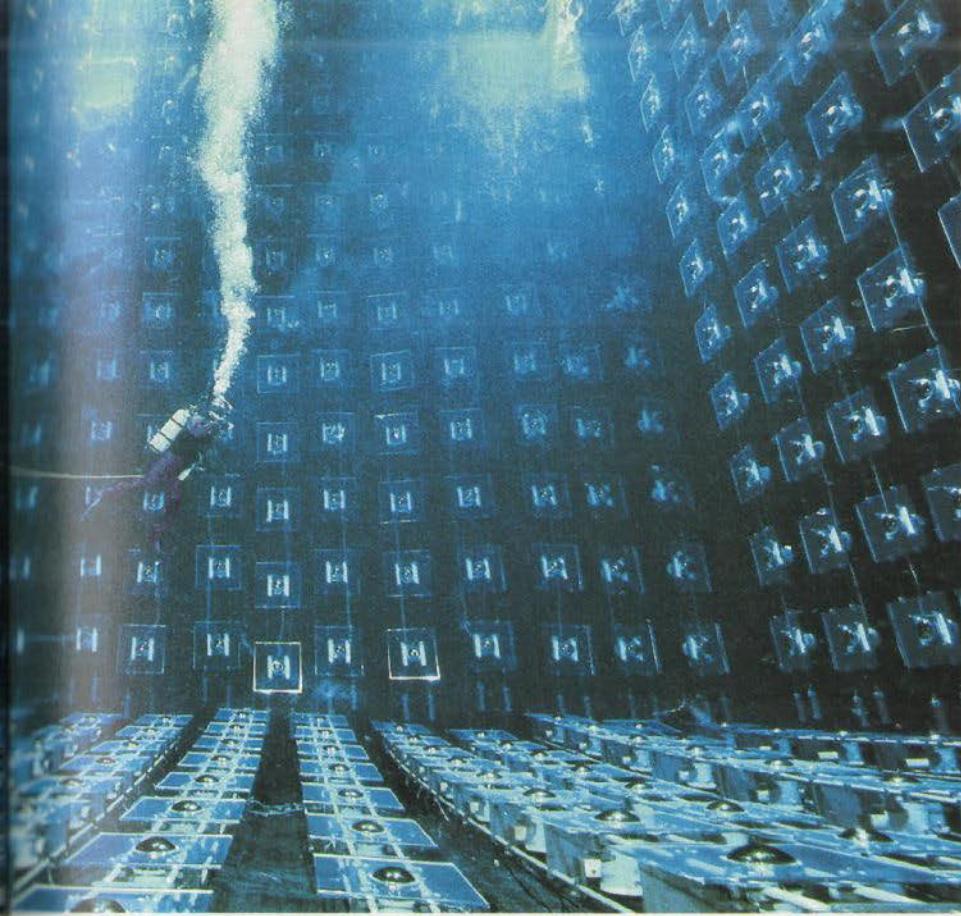
Das sollte sich ändern. Von 1966 an reiste Derjagin mehrmals in den Westen und präsentierte seine Arbeiten. Zwei Jahre später erschienen auch erste Zeitungsberichte, begannen Spekulationen zu wuchern. Konnte flüssiges Wasser tatsächlich Polymere – also stabile Ketten – bilden? Hatte es ein „strukturelles Gedächtnis“ über Tausende von Moleküldurchmesser hinweg? War Polywasser in biologischen Geweben, porösen Mineralien

oder gar in der Atmosphäre anderer Planeten denkbar?

Auch in westlichen Wissenschaftsjournalen erschienen nun Artikel, und das Office of Naval Research der amerikanischen Marine stellte sogar Gelder für diese Forschungen bereit. Schließlich publizierten im Juni 1969 vier Forscher vom U.S. Bureau of Standards in der Zeitschrift „Science“ das Resultat spektroskopischer Analysen, wonach „Wasser an Quarzoberflächen in eine polymere Form ... übergeführt wird. Seine Eigenschaften sind nicht die des Wassers und man sollte die Substanz nicht einmal Wasser nennen.“ Die Möglichkeit von Verunreinigungen verneinten die Amerikaner.

Nun brach der „Polywasser-Goldrausch“ los, angefeuert von der sowjetisch-amerikanischen Rivalität. Ein amerikanischer Chemiker heizte die Stimmung zusätzlich an, als er Polywasser zur „gefährlichsten Substanz auf Erden“ erklärte. Würde Polywasser in die Umwelt gelangen, dann könnte, so fabu-





## **Das Gebräu der allerersten Stunde**

Ein bizarres Wasserbecken, gespickt mit Foto-Detektoren, liegt 660 Meter tief in einer US-Salzmine. Mit 6800 Tonnen Wasser wollen Physiker den Zerfall von Wasserstoffkernen – Protonen – untersuchen. Sie registrieren aber auch Spuren flüchtiger »Neutrinos« aus dem All

erzeugen sie in ihrem Innern durch Kernfusion die schwereren Elemente bis hin zum Element Nr. 26, dem Eisen – also auch das Element Nr. 8, den Sauerstoff. Noch schwerere Atomkerne backen in den katastatischen Todeszuckungen von Sternen mit hinreichend großer Masse zusammen: Wenn solche Sonnen als Supernovae verglühen, schleudern sie ihre „erbrüteten“ Elemente in den interstellaren Raum. Dort ballen sich im interstellaren Gas neue Sterne zusammen, die abermals schwere Elemente erbrüten und diese schließlich wieder bei Explosionen ins All speien. So ergibt sich ein Zyklus, den jeder Atomkern innerhalb der Milchstraße im Laufe vieler Milliarden Jahre millionenfach durchlaufen haben muß. Das gilt auch für jenen „solaren Urnebel“, aus dem unser Sonnensystem hervorging. Die Atome jedes Wasser-

lierte er, es alles „normale“ Wasser umwandeln und so mit jedes Leben auslöschen.

Doch schon ein Jahr später kam die Entwarnung: Wissenschaftler der Bell Telephone Laboratories publizierten im Frühjahr 1970 das Ergebnis besonders empfindlicher Messungen, wonach Polywasser enorme Mengen anorganischer Stoffe enthielt, die offenbar aus verunreinigten Zonen der Quarzröhren herausgelöst worden waren. Das Ganze war ein Schmutzeffekt.

Polywasser-Arbeiten erschienen noch in den drei folgenden Jahren, nun vor allem kritische. Schließlich hatten sich rund 400 Forscher in etwa 500 Fachartikeln mit dem „Polywasser“ blamiert. Im August 1973 setzte Derjakin den Schlußpunkt, als er zugab, daß in völlig reinen Quarzkapillaren kein Polywasser entsteht. Er blieb Direktor seines Instituts; von Fedjakin, dem Urheber des Desasters, wurde nichts mehr gehört.

Der Geist des Polywasser schien sich im Juni 1988

wieder zu regen: In der renommierten britischen Wissenschaftszeitschrift „Nature“ war der Artikel einer französischen Forschergruppe um Jacques Benveniste veröffentlicht worden, der die Wirksamkeit der Homöopathie naturwissenschaftlich zu erklären schien. Auch hochverdünnte wäßrige Lösungen, in denen theoretisch kein Molekül einer bestimmten immunologischen Wirksubstanz mehr enthalten war, schienen noch einen – von Naturwissenschaftlern als unmöglich erklärt – Effekt auszulösen.

Der Artikel schlug hohe Wellen: Die einen sahen die Naturwissenschaft bedroht, andere hofften auf „Wasser mit Gedächtnis“. Aber eine spektakuläre Nachprüfung des Effekts durch ein Team um den „Nature“-Chefredakteur John Maddox konnte wenige Wochen später die Ergebnisse Benvenistes nicht bestätigen.

Die Moral? Dem Wasser wird auch heute noch alles mögliche zugeschrieben.

Reinhard Breuer

tropfen, unseres Körpers, ja der ganzen Erde haben also zuvor in den heißen Herzen ungezählter Sterne geschlummert.

Was sich im solaren Urnebel während und nach der Entstehung der Planeten abspielte und wie das Wasser dabei auf die Erde kam, ist noch ziemlich umstritten. Die Forscher sind sich aber sicher, daß er selbst schon Wassermoleküle enthielt: In kalten Gaswolken zwischen den Sternen konnten Astronomen unter mehreren Dutzend Molekülarten auch Wasser nachweisen.  $H_2O$  in Form von Eis enthalten auch die Kometen, wie bei der Wiederkehr des Kometen Halley vor zwei Jahren endgültig bewiesen werden konnte. Vor allem auf die junge Erde mußten viele Kometen eingeschlagen und so dem Planeten ein Taufgeschenk beschert haben.

Eine zweite Quelle war die Erde selbst, genauer das Erdinnere: Vulkane spießen nach Ansicht von Geochemikern in den ersten Jahrtausenden gewaltige Gasströme aus – vor allem Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan und Schwefelverbindungen. Diese Gase dominierten wahrscheinlich die Uratmosphäre, bis sich die Erde soweit abgekühlt hatte, daß der Dampf abregnen konnte. Resultat der urzeitlichen Sintflut waren Meere, Seen und Flüsse.

Seitdem formen Wassermassen – anderthalb Milliarden Kubikkilometer – das Antlitz des blauen Planeten, und zwar nicht nur in flüssiger Form. So ist auch heute noch in den Eiskappen Grönlands und vor allem der Antarktis so viel Wasser gespeichert, daß – schmelzt die weiße Pracht – der Meeresspiegel weltweit um rund 70 Meter steigen würde. Vor 18 000 Jahren freilich, zum Höhepunkt der letzten Kaltzeit, lag der Meeresspiegel hundert Meter tiefer als heute.

Wasser, das war schon den ersten Denkern klar, ist eine ganz besondere Flüssigkeit. Als der griechische Philosoph Thales von Milet vor gut zweieinhalbtausend Jahren postulierte, nicht Götter, sondern Naturkräfte seien Ursache der natürlichen Erscheinungen, da räumte er dem Wasser den Platz als zentrales „Element“ seiner Kosmologie ein: Die anderen Elemente – Erde, Luft und Feuer – ließen sich nach der Naturphilosophie des Aristoteles in Wasser verwandeln, nicht aber umgekehrt.

Selbst der geniale Isaac Newton glaubte vor drei Jahrhunderten noch an die antike Lehre. Erst 1784 erklärte der englische Chemiker Henry Cavendish, daß Wasser kein „Element“, sondern ein Molekül ist: eine aus noch elementarer Bausteinen zusammengesetzte Verbindung. Die Flüssigkeit, so behauptete Cavendish, setze sich aus „gewöhnlicher“ – atembarer – und „entflammbarer Luft“ zusammen. Mit Hilfe galvanischer Elemente hatte er Strom durch Wasser geleitet. Dabei wurden jene beiden Gase freigesetzt, die – so mutmaßte der Chemiker – ein Gemisch im Verhältnis von 2 : 1 bildeten. Den Beweis blieb Cavendish nicht schuldig: Mit einem lauten

Knall verbrannte er die künftig „Knallgas“ genannte Mischung wieder zu Wasser.

Mit dem leichteren der beiden Gase aus zerlegtem Wasser hatte der Franzose Jean-François Pilâtre de Rozier sich kurze Zeit zuvor, zum Gaudium der Leute, an einer damit gefüllten Blase in die Luft tragen lassen. Er bezichtigte Cavendish der Lüge und wollte öffentlich den Gegenbeweis antreten. Ganz nach Cavendishs Beschreibung zerlegte er Wasser in die beiden Gase, füllte damit seine Lungen und hielt sich einen brennenden Wachsstab an die Lippen. Dann atmete er aus. „Es gab eine schreckliche Explosion“, notierte ein Augenzeuge, „und de Rozier hatte das Gefühl, ihm seien sämtliche Zähne aus dem Mund geblasen worden.“

Es hätte dieser PR-Show nicht bedurft, um die chemische Wahrheit zu verbreiten. Antoine-Laurent Lavoisier, Botaniker, Chemiker und Mitglied der Académie Française, stellte klar: „Was ist Cavendishs entflammbare Luft? Ist es vielleicht eine merkwürdige Form des Wasserdampfs? – Aber nein, meine Herren, es ist Hydrogenium.“

Der Name – seit 1791 offiziell – blieb und überlebte auch Lavoisiers Hinrichtung unter der Guillotine durch das Revolutionstribunal: Hydrogenium ist „das, was Wasser erzeugt“. Und Lavoisier ersann auch die chemische Formel für Wasser: Zwei Atome Hydrogenium plus ein Atom Oxygenium – seit 1786 wissenschaftlicher Name des Sauerstoffs – ergeben  $H_2O$ .

Die Spaltung des Wassers war eine Revolution, vergleichbar der Atomspaltung in unserem Jahrhundert. In einer erregenden neuen Vision verworfen die Wissenschaftler die antike Elementlehre und begründeten die moderne Chemie. Freilich glaubten viele Forscher, dem von Felix Franks erwähnten Studenten ähnlich, daß mit der Entschlüsselung des  $H_2O$ -Moleküls das Thema beendet sei. Je länger aber Physiker, Chemiker und Biologen sich mit dieser Substanz beschäftigten, um so deutlicher wurde, daß Wasser – wie Felix Franks meint – „nahezu alle Kriterien für Normalität verletzt“.

„Normalerweise“ können sich die Chemiker auf drei ihrer Faustregeln, in jahrhundertelangem Umgang mit Ingredienzen aller Art entwickelt, verlassen: Gewöhnlich

- wachsen die Temperaturen für das Schmelzen und Sieden einer Substanz mit der Größe der Moleküle an,
- sind Stoffe in festem Zustand dichter und damit schwerer als in flüssigem,
- kann ein Molekül um so mehr Wärme speichern, je größer es ist (wobei die Größe durch die Summe der Atomgewichte seiner Atome bestimmt wird).

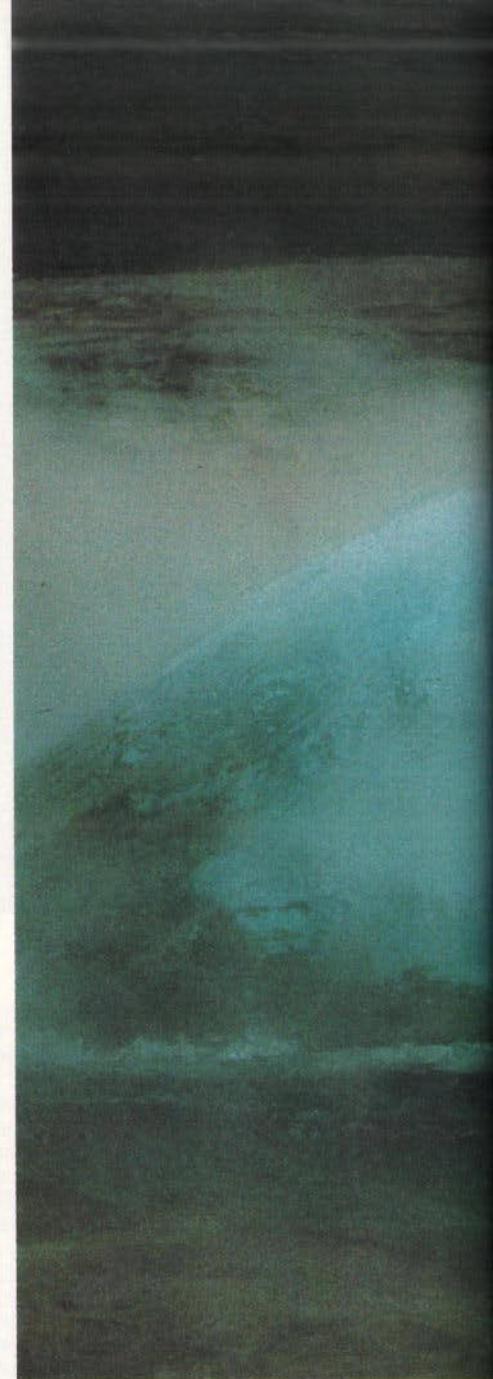
Im Trend der ersten Faustregel liegt ein enger Verwandter des Wassers, der ebenfalls dreiatomige Schwefelwasserstoff  $H_2S$ : Der berühmt-berüchtigte Stinkstoff schulischer Chemiestunden ist zwischen minus

85,5 und minus 60,7 Grad Celsius flüssig. Auch andere vergleichbare Stoffe – Methan ( $CH_4$ ), Kohlendioxid ( $CO_2$ ), Ammoniak ( $NH_3$ ) oder Schwefeldioxid ( $SO_2$ ) – schmelzen schon bei minus 57 Grad und weniger. Und der Temperaturbereich, in dem sie flüssig sind, umfaßt meist nur wenige Grade.

Wasser fällt dagegen völlig aus dem Rahmen: Sein Eis schmilzt erst beim phantastisch hohen Wert von 0 Grad, und es ist über volle hundert Grad flüssig – Eckwerte, an denen der Schwede Anders Celsius 1742 seine Temperaturskala eichte. Gemessen an ähnlich kleinen Molekülen müßte Wasser eher bei minus 97 Grad schmelzen und bei minus 93 Grad schon wieder verdampfen. Das hätte freilich zur Folge, daß die Menschheit bei heutigen Temperaturverhältnissen auf dem Trockenen säße: Es gäbe weder Flüsse noch Meere, sondern allenfalls Wolken.

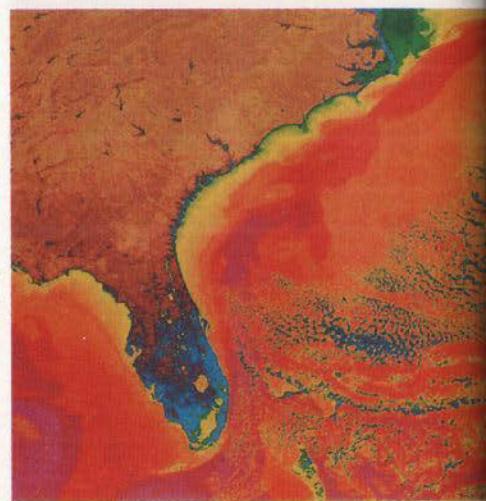
Der zweite Erfahrungssatz der Chemie trifft zum Beispiel auf die meisten Metalle zu: Geschmolzenes Blei schwimmt auf festem Blei. Wasser dagegen wird nach dem Schmelzen schwerer und erreicht bei plus vier Grad Celsius seine höchste Dichte: In der Flüssigkeit sind die Moleküle dicht ineinander verschachtelt, während sie sich in Eiskristallen zu regelmäßigen – und damit leichteren – Gittern entflechten. Eis schwimmt also auf Wasser. Diese uns so selbstverständliche, in Wirklichkeit aber „unnormale“ Eigenschaft hat verhindert, daß Seen und Meere im Lauf der Erdgeschichte von Grund auf und für alle Zeiten zu Eisblöcken gefroren sind.

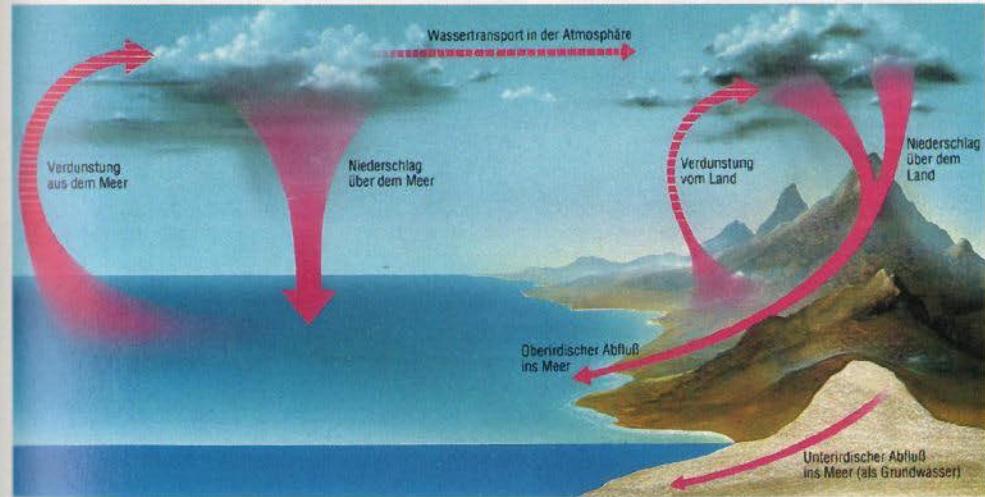
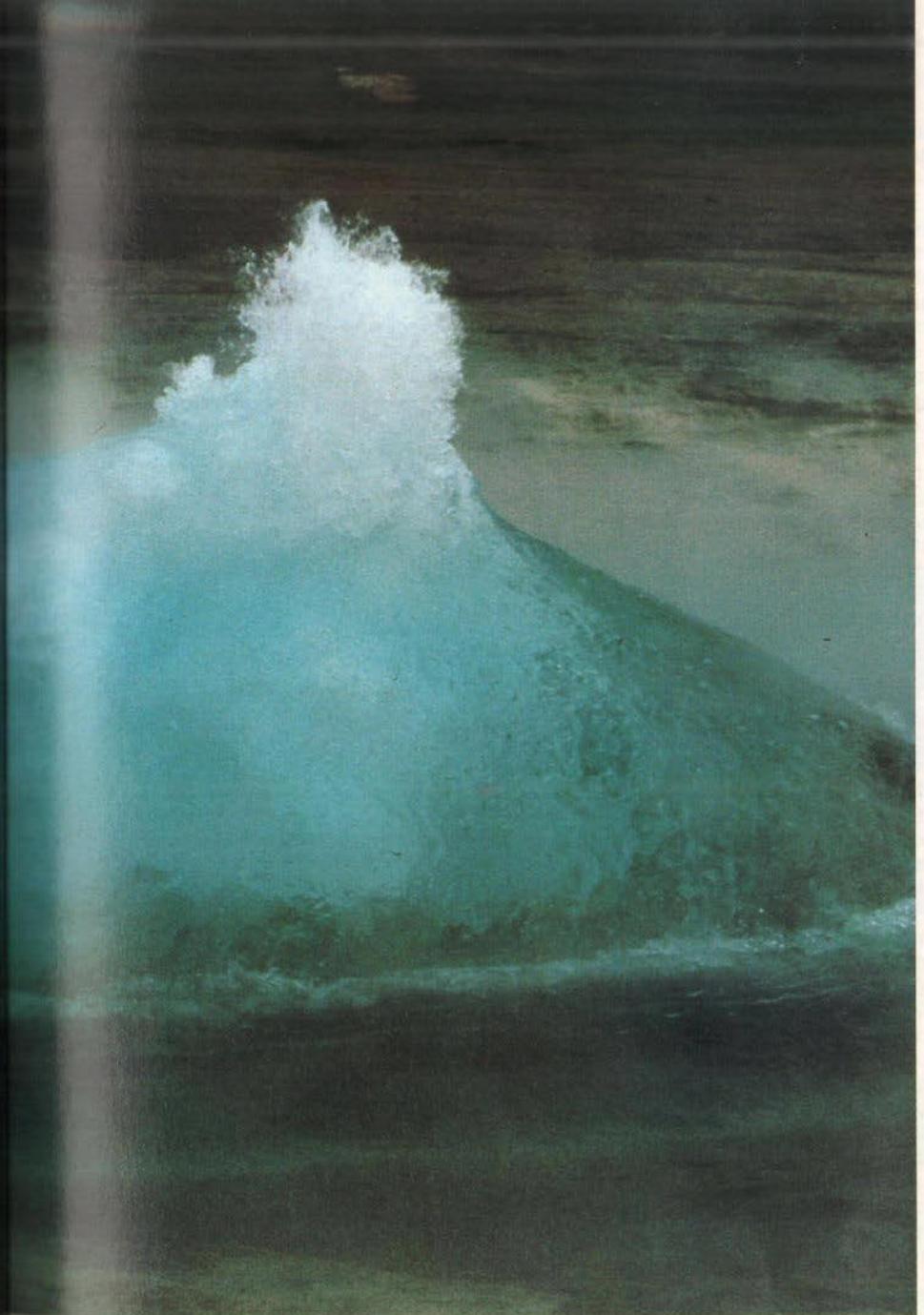
Auch der dritte Verstoß des Wassers gegen die guten Sitten der Chemie bewirkt entscheidende klimatische Vorteile für das Leben auf der Erde. Jede Substanz verschluckt einen Teil der ihr zugeführten Wärme als innere Bewegung der Moleküle; der Rest erhöht die Temperatur. Wer zum Beispiel einen Liter Alkohol um ein Grad Celsius erwärmen will, muß ihm 585



## Aufwallt das Naß, bereit zum neuen Zyklus

Brodelnde Geysire bringen Erdwärme an den Tag. Viel gewaltiger ist der Energiestrom von der Sonne: Er treibt den globalen Wasserkreislauf. Jährlich verdunsten vom Meer 425 000 Kubikkilometer Wasser, 111 000 gehen aufs Land nieder. Riesige Mengen warmen Wassers – auf dem Satellitenbild rot markiert – fließen mit dem Golfstrom an der US-Ostküste vorbei nach Europa





Kalorien zuführen. Ein Liter Wasser hingegen schluckt bei gleicher Temperaturerhöhung 1000 Kalorien – obwohl das Alkoholmolekül fast dreimal so groß ist wie das H<sub>2</sub>O-Molekül. Bei einer bestimmten Energiezufuhr steigt die Temperatur des Wassers langsamer als bei den meisten anderen Substanzen, und entsprechend gemächlich kühlt es sich wieder ab.

„Die abnorm hohe Wärmespeicherkapazität ist wahrscheinlich“, meint Franks, „die ungewöhnlichste Eigenschaft des Wassers.“ Ohne sie wäre ein biologisch akzeptables Erdklima kaum denkbar. Franks rechnet mir das am Beispiel der „Warmwasserheizung Europas“ vor: Das Wasser des Golfstroms fließt mit einer Geschwindigkeit von 36 Kilometer pro Tag vom Golf von Mexiko in Richtung Arktisches Meer. Stunde um Stunde werden 100 Kubikkilometer Wasser bewegt, was einem Quader von 1000 Meter Mächtigkeit und 10 Kilo-

### Eine neutrale Verbindung hätte niemals Leben ermöglicht

meter Kantenlänge entspricht. Über die gesamte Strecke kühlt das Wasser um rund 20 Grad ab; die dabei freiwerdende Energie erwärmt die Umgebung. Daraus folgt, daß der Golfstrom in jeder Stunde soviel Energie abgibt, wie beim Verbrennen von 285 Millionen Tonnen Kohle freigesetzt wird. „Ein Kraftwerk mit dieser Energieabgabe“, fügt Franks hinzu, „würde die gesamte Weltjahresproduktion an Kohle in nur knapp zwölf Stunden verfeuern.“

Solche Abnormitäten haben indes ihren guten Grund, nämlich im Bau des Wassermoleküls. Franks, der mich längst als totalen Wasserläien erkannt hat, führt mich nun in die wahren Geheimnisse seines Forschungsobjekts ein. Er zieht aus einer Tüte eine Handvoll schwarzer und weißer Stäbchen und steckt sie zu kleinen Figuren zusammen – ins gigantische vergrößerte Modelle der chemischen Verbindung H<sub>2</sub>O: In Wirklichkeit hat ein Wassermolekül einen Durchmesser von nur einem Zehnmillionstel Millimeter – in einem Stecknadelkopf ließen sich rund sechs Milliarden Milliarden davon unterbringen.

Die Anatomie des Moleküls ist im Prinzip einfach: Eine Wolke aus zehn Elektronen hüllt die drei Atomkerne ein. Wären die beiden Wasserstoffkerne und der Sauerstoffkern als H-O-H in einer geraden Linie aneinandergekettet, so würde die Bilanz aus zehn negativ geladenen Elektronen und zehn positiven Kernteilchen – zwei Hs, acht Os – exakt ausgeglichen sein: Das H<sub>2</sub>O-Molekül wäre elektrisch und somit chemisch ziemlich inaktiv.

Eine so langweilige Verbindung aber hätte niemals Leben, wie wir es kennen, auf der Erde ermöglicht. Denn in Wirklichkeit gleicht das Wassermolekül einem „V“. An dessen Spitze sitzt das Sauerstoff-

atom, an den Schenkeln spannen die beiden Wasserstoffatome einen Winkel von 104,5 Grad auf.

Das hat Konsequenzen. Die Elektronenwolke – bei elektrisch inaktiven Molekülen nahezu kugelförmig – bekommt vier „Beulen“, die an zwei gekreuzte Gewichtsbecher-Hanteln erinnern (siehe Grafik Seite 38, links oben). Wo sich die Hanteln kreuzen, sitzt das Sauerstoffatom. Die Wasserstoffatome bilden die längeren Enden der Hanteln; sie laden das Molekül dort positiv auf. Auf der entgegengesetzten Seite formen zwei elektrisch negative Beulen die kürzeren Enden der Hanteln. Werden die beiden positiven mit den beiden negativen Punkten durch gedachte Linien verbunden, so gleicht das Molekül einer Pyramide mit vier Ecken, einem „Tetraeder“. Die unterschiedliche elektrische Ladung der Ecken macht das Wassermolekül „polar“, wie Chemiker sagen – und diese Polarität verleiht  $H_2O$  seine ungewöhnlichen Eigenschaften.

Wie ein Magnet wirkt jedes Wassermolekül elektrisch auf die Umgebung ein. An seinen negativen Spitzen können sich die positiven Ecken anderer  $H_2O$ -Moleküle anlagern, an deren Minus-Seite wiederum die Plus-Punkte weiterer Moleküle: Die Wasserstoffatome schlagen regelrechte „Brücken“ zu ihren Nachbarn. So fügen sich in einer amorphen Molekül-Suppe viele strukturierte, weitverzweigte Netzwerke zusammen: Flüssiges Wasser gleicht auf molekularer Ebene einer Mischung aus eisähnlichen Kristallen und gasförmig-freien Einzelmolekülen.

Entscheidend für die geheimnisvollen Eigenschaften flüssigen Wassers ist die Bindekraft der Wasserstoffbrücken. Sie verfügen zwar nur etwa über fünf Prozent der gesamten Bindungskraft innerhalb des Wassermoleküls; der große Rest steckt in den „kovalenten Bindungen“. Dennoch sind Wasserstoffbrücken rund 17 mal stärker als die gewöhnlichen Kräfte zwischen zwei Molekülen. Und das genügt, um chaotische Molekül-Schwärme in geordnete Formationen zu zwingen.

#### **$H_2O$ ist das wichtigste Lösungsmittel unseres Planeten**

Von allen chemischen Elementen vermag allein Wasserstoff – das einzige Atom, das über nur ein Elektron verfügt – solche speziellen Brücken zu schlagen, wenn auch nicht mit allen molekularen Partnern: Mit Kohlenstoffatomen geht es nicht, wohl aber mit Sauerstoff und Stickstoff (chemisches Kürzel: N). Deshalb bleibt auch Ammoniak –  $NH_3$  – bei viel höheren Temperaturen flüssig, als es ihm aufgrund seiner Größe eigentlich zukommt.

Wasserstoffbrücken spannen sich auch in anderen Stoffen, vom simplen Alkohol bis hin zur höchst komplexen Erbsubstanz

DNA: Wasserstoffbrücken als Querverstrengungen stabilisieren die beiden wendeltreppenartig gewundenen Stränge der DNA – die berühmte Doppel-Helix – präzise in ihrer dreidimensionalen Form.

Eben jene Polarität macht Wasser so universell einsatzfähig. Elektrisch geladene Moleküle – Ionen – ziehen Wassermoleküle an, umhüllen sich also gewissermaßen mit einem Wassermantel, und werden dadurch löslich.  $H_2O$  ist das wichtigste Lösungsmittel auf unserem Planeten, im Kleinen wie im Großen: Es schleppt alles, was zum Leben notwendig ist, durch Ozeane und Organismen. Jeder Liter Meerwasser enthält knapp 30 Gramm Kochsalz, dazu andere Salze, Spurenstoffe und auch den Sauerstoff, den Meerestiere einatmen.

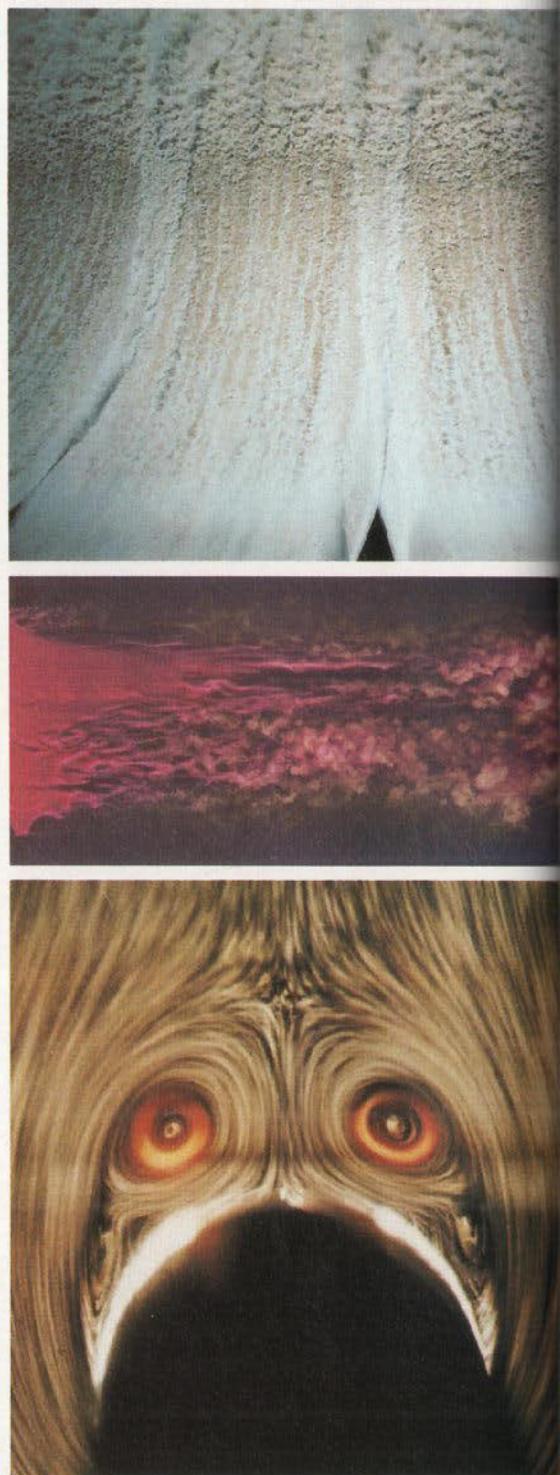
Auch im Körper des Landlebewesens Mensch übernimmt Wasser den Transport von Gasen und Salzen, Fetten und Hormonen. Allein rund 7000 Liter Blut – einen ziemlich wäßrigen Saft – muß das Herz pro Tag im Kreislauf umwälzen, so daß die Körperzellen die täglich beim Nahrungsaufwechsel anfallenden 0,3 Liter Wasser produzieren können. Denn dazu allein benötigt unser Organismus 185 Liter Sauerstoff, die von den Lungen aus rund 6300 Liter Luft gewonnen werden – natürlich wiederum mit Hilfe von Wasser in Form eines feuchten Films auf den Lungenbläschen.

Freilich lösen sich nicht alle Substanzen gleich gut in Wasser, wie jeder Versuch verdeutlicht, fettige Hände oder öltränkte Lappen in kaltem Wasser zu reinigen: Wer Wasser und Öl mischen will, muß – wie Seifensieder, Margarineproduzenten und schließlich jede Hausfrau weiß – zu Hilfsmitteln greifen.

Unser alltäglicher Kampf mit schmierigen Händen und schmutziger Wäsche basiert darauf, die „wasserfeindlichen“ Stoffe zu überlisten. Der Trick: Die reinigenden Zusätze – im Fachjargon „Amphiphile“ genannt – sind sowohl in Wasser als auch in Öl lösbar. Sie bilden nämlich beim Zusammentreffen der feindlichen Flüssigkeiten eine Zwischenschicht und wenden darin ihre wasserlösliche Molekülseite dem Wasser und ihre öllösliche Seite dem Öl zu.

„Obwohl Seifen schon seit mindestens 3000 Jahren bekannt sind, ist der Waschvorgang noch immer nicht vollständig verstanden“, kommentiert Manfred Kahlweit, Direktor des Max-Planck-Instituts für biophysikalische Chemie in Göttingen – Vertreter dieses aufblühenden Forschungszweiges suchen nach Amphiphilen für bestimmte Öle und salzhaltiges Wasser, die beide Flüssigkeiten optimal auflösen. Ihre Hoffnung: Waschmittel zu entwickeln, die bei Zimmertemperatur so gründlich reinigen wie heutige Waschmittel erst bei 60 Grad Celsius. Ein weiteres Ziel sind Substanzen, mit denen Erdölfelder weiter ausgebaut werden können, die für herkömmliche Fördermethoden bereits erschöpft sind. In der Regel verbleibt

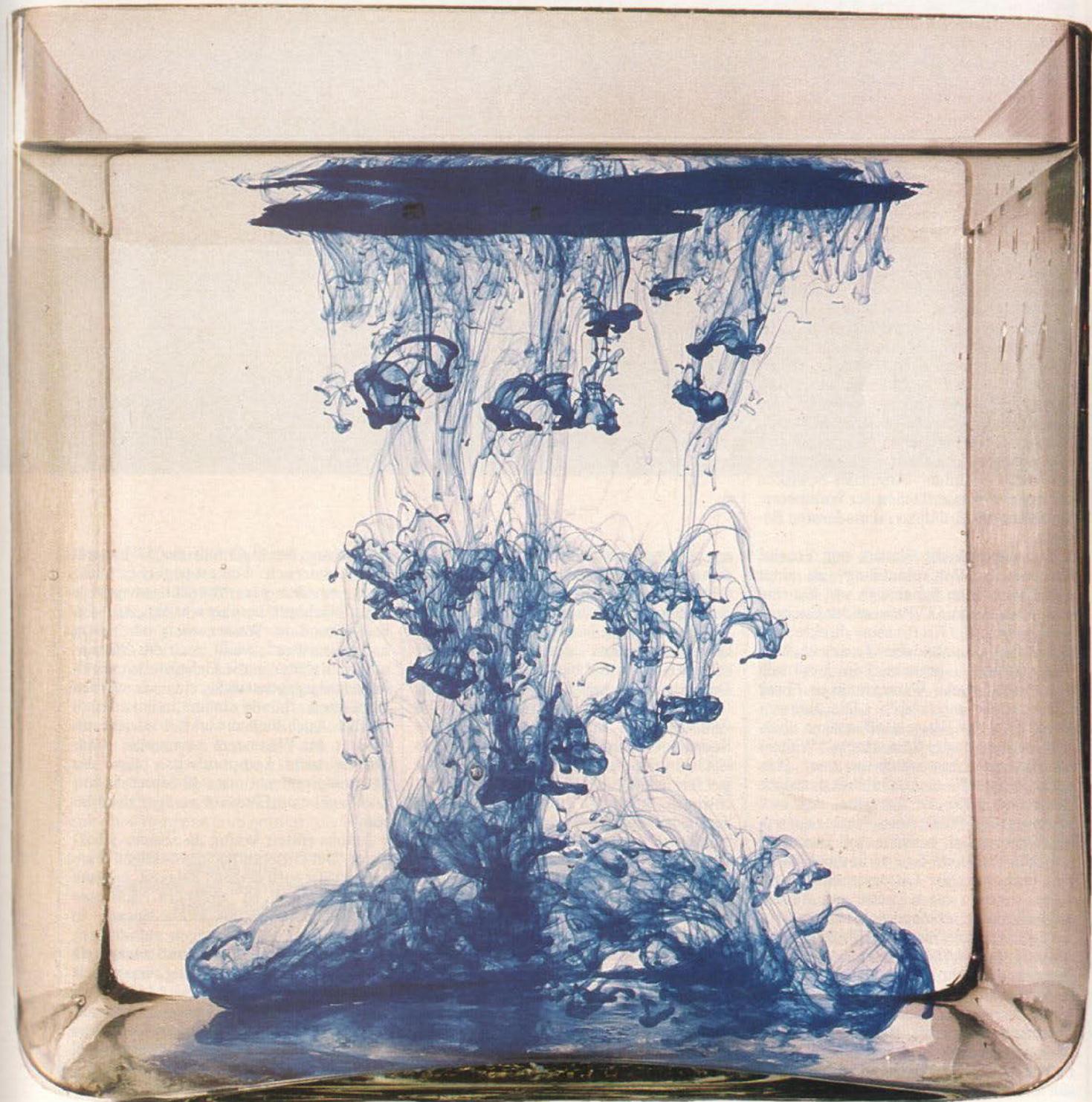
## **Wirbelnde Spiele zwischen Ordnung und Chaos**



Filigrane Farbspuren hinter sich herziehend, sinkt Tinte hinab auf den Boden des wassergefüllten Glases. Die Erinnerung an kindliche Experimente macht ein Problem der Strömungsmechanik sichtbar:

Wann und wie verwirbeln gleichmäßig - »laminar« - fließende Flüssigkeiten? Auch mit Supercomputern lässt sich der Weg des Wassers ins wirbelnde Chaos - etwa beim Abfluß über eine von oben gesehene Staumauer - nicht exakt berechnen. So müssen Physiker und Inge-

nieure weiterhin experimentieren, um zu sehen, wie ihre gefärbten laminaren Modellströme sich - je nach Versuch - in ungeordnete Zöpfe auflösen oder symmetrische Wirbelmuster bilden



nämlich rund die Hälfte eines Ölvorkommens in der Tiefe. Diese Schätzungen per „chemischer Überflutung“ doch noch zum Fließen gebracht und so der Erde entzissen werden.

Auch Wasser ist keineswegs so leichtflüssig, wie es im Alltag erscheinen mag. In ihm heben sich die elektrischen Kräfte zwischen den Molekülen gegenseitig auf. Anders an der Oberfläche: Dort werden die Wassermoleküle ins Innere gezogen, weshalb die Grenzschicht sich wie eine straffe Gummihaut verhält. Diese „Oberflächenspannung“ lässt kleine Wassermengen zu Tropfen gerinnen, sorgt dafür, daß mit Luft aufgeschäumtes Wasser nur für Sekunden perlbt, und unterstützt vorzüglich die Bildung von Zellmembranen. Als „Kapillarkraft“ befördert sie in Pflanzen den Saft durch enge Röhrensysteme zu den Blättern hoch – zumindest einige Meter. „Wir wissen immer noch nicht“, merkt Felix Franks kritisch an, „wie das Wasser in die Wipfel hoher Bäume gelangt – die Kapillarität allein schafft es nicht.“

Verblüffend ist auch, mit welcher Leichtigkeit Wassermoleküle ausgedehnte dreidimensionale und stabile Gitter aufbauen. Die Gitterverbände im Wasser lassen sich nämlich nur mit hohem Energieaufwand völlig aufbrechen. Dies aber bedeutet, daß viel Wärme nötig ist, um Wasser zu verdunsten oder zu verdampfen: pro Liter knapp 600 Kilokalorien. Pflanzen, Tiere und auch der menschliche Körper nutzen diesen Effekt, wenn sie Wasser – etwa durch Poren in der Haut – verdunsten und sich somit abkühlen. Ähnliches bewirken die riesigen Wasserflächen der Weltmeere: Sie halten das Erdklima im moderaten Bereich.

Eigentlich gleicht Wasser, sagt Franks, eher einem „Wackelpudding“ als einer Flüssigkeit. Zum Schmelzen von Eis sind beispielsweise nur 13 Prozent der Energie menge nötig, die Eis für seine direkte Verdampfung – also ohne den Umweg über die flüssige Phase – braucht. Dies kann sich der amerikanische Wasserforscher Frank Stillinger nur so erklären: „Die überwiegende Zahl der Wasserstoffbrücken überlebt das Trauma des Schmelzens.“ Wissenschaftler sprechen deshalb von einer „flüssigen Struktur“ – eine scheinbar paradoxe Bezeichnung für die Tatsache, daß zwischen fest und flüssig beim Wasser nur wenig Unterschied besteht. Im Eiskristall sind alle Moleküle fixiert; in der Flüssigkeit lösen sich die Gitterverbände nicht völlig, sondern nur teilweise auf, werden deformiert und schieben sich ineinander.

Aber weil viele Wasserstoffbrücken zwischen H<sub>2</sub>O-Molekülen auch bei steigender Temperatur nicht brechen, bleibt Wasser im Vergleich zu anderen Flüssigkeiten ungewöhnlich lange flüssig – bei normalem Luftdruck von 0 bis 100 Grad Celsius. „Flüssig“ ist freilich ein relativer Begriff. Felix Franks stuft Wasser sogar als relativ zäh ein, jedenfalls bei Zimmertemperatu-

## Wo Licht dem Lauf des Wassers folgt

In hohem Bogen fließt das Nass ins Becken – und mit ihm das Licht, das im abgedunkelten Raum einzig durch das gläserne Rohr in den Strahl gelangt. Einmal im Wasser, wird Licht an der Grenzfläche zum dünneren Medium Luft hin-

und hergespiegelt (»Totalreflexion«). Auch der ringförmige »Halo« geht auf Wasser zurück: Tröpfchen, aber auch Eispartikel in der Atmosphäre brechen das Licht der Sonne



ren. Und er erklärt mir sogleich, warum dies gut für die Schiffahrt sei: Wäre Wasser flüssiger, entstünden leichter Wirbel, wodurch der Treibstoffverbrauch ansteige.

„Wasser ist ein biologischer Klebstoff“, fährt Franks fort, „der große Moleküle räumlich stützt und biologisch aktiv hält.“ Das gilt nicht nur für die Erbsubstanz DNA, sondern auch für Eiweißstoffe: Die Proteine – Bau- und Botensubstanzen des Körpers – legen sich einen Mantel aus H<sub>2</sub>O-Molekülen zu und können sich somit fast frei in wäßrigen Flüssigkeiten wie Blut bewegen. Sobald sie ihre Wasserhülle verlieren, werden sie wieder gallertartig gebunden. Osmose und Quellfähigkeit der Zellen hängen von dieser Eigenschaft ab. Der Forscher schränkt aber auch ein: „Es ist immer noch ein Geheimnis, wie Wasser das Protein in der korrekten Form einzentriert.“

Franks hat inzwischen seine Stäbchen zu einem Gitterkäfig zusammengesteckt und peilt mich durch dessen sechseckige – „hexagonale“ – Zwischenräume an. „Das ist Wasser“, sagt er, „fast alles leerer Raum.“ In der Tat: Da jede kleine Molekülkugel nur an jeweils vier Nachbarn stößt, bleibt dazwischen viel Platz. Die hexagonale Git-

terpackung des H<sub>2</sub>O füllt nur 57 Prozent der rechnerisch dichtestmöglichen Packung, bei der jedes Molekül von jeweils zwölf Nachbarn berührt würde. „Aus diesem Grund ist Wasser auch sehr leicht komprimierbar“, weicht mich der Wissenschaftler weiter in die Geheimnisse seines Forschungsgegenstandes ein, „da werden die Gitterverbände einfach ineinander gedrückt. Auch die Schwerkraft staucht das Wasser der Weltmeere zusammen. Wäre Wasser nicht komprimierbar, läge der Meeresspiegel um etwa 40 Meter höher, und es gäbe fünf Prozent weniger Landfläche.“

Franks rüttelt kräftig an seinem Steckgitter. Der Gitteraufbau des flüssigen Wassers erklärt auch dessen Fähigkeit, enorme Wärmemengen zu speichern. Einzelne Moleküle können nur wenig Energie in Form innerer Schwingungen aufnehmen; jeder energetische Überschuß zwingt sie deshalb in schnelle Bewegung, was wir als Wärme spüren. Ein Gitter von Molekülen dagegen vermag eine Energiezufluhr mit schier unendlich vielen unterschiedlichen Schwingungen gleichsam auszupendeln. „Wasser ist eine Art Energieschwamm“, witzelt Franks, „den können Sie auch mit



Wasser begießen, ohne daß er gleich naß wird.“

Aber auch die Wärmespeicherkapazität des Energieschwamms Wasser ist begrenzt. So geraten Lebewesen vor allem auf dem Festland, wo Seen, Pfützen und Körper im Winter rasch auskühlen, in eine tödliche Gefahr. „Kälte ist der schlimmste Feind vieler Lebensformen“, konstatiert Franks, der seit Jahren die Beziehung zwischen Leben und Kälte erforscht. „Nicht nur, weil sich dann die physiologischen Prozesse verlangsamen, sondern weil die wesentliche Lebenschemikalie – das Wasser – bei Temperaturen gefriert, die in der

die merkwürdige Überwinterungsstrategie des Waldfrosches *Rana sylvatica*. Sie war 1985 vom kanadischen Forscherpaar Kenneth und Janet Storey von der Carleton University in Ottawa aufgedeckt worden. Wenn der Frost diese Frösche in ihrem geschützten Winterquartier erreicht, werden ihre Augen undurchsichtig, erstarren ihre Körper beinhart. Die inneren Organe – obwohl selbst nicht gefroren – werden von jeder Sauerstoff- und Nahrungszufuhr abgeschnitten. Steigen die Temperaturen wieder an, reicht den Waldfröschen ein Tag zum Auftauen.

Wie die Lurche dies bewerkstelligen, enthüllten die Storeys Schritt für Schritt: Während der Einwinterung wandelt der Frosch-Organismus Glykogen, das in seiner Leber gespeichert ist, in Glucose um. Im Bedarfsfall steigt der Pegel dieses Kälteschutzmittels bis auf das 60fache seines Normalwertes – Mengen, die einen Menschen zum hochgradigen Diabetiker machen würden. Die Zuckerverbindung Glucose zieht – via Osmose – das Wasser aus den Zellen, so daß allenfalls das Gewebewasser zwischen den Körperzellen einfriert. Die zurückbleibende, eingedickte Zellflüssigkeit erstarrt zu einer festen

Masse. „Die Zuckerverbindungen kristallisieren nicht“, erläutert Franks, „sie bilden ein Glas. In diesem Zustand weist nichts mehr auch nur auf einen Funken Leben hin.“

Viele Tiere kühler Klimazonen können das Gefrieren ihrer Körperflüssigkeit auch bei Frost hinauszögern, wobei sie mit unterschiedlichen Tricks stets eines versuchen: zu vermeiden, daß sich jene „Keime“ bilden, die Eiskristalle zum Wachsen brauchen. So können bestimmte antarktische Fische dank eines speziellen Antigefrier-Proteins noch bei Wassertemperaturen existieren, die unter dem Gefrierpunkt ihres Blutes liegen. Denn ihr körpereigenes Frostschutzmittel unterdrückt die Keimbildung im Blut, das daher bis minus 2 Grad Celsius flüssig bleibt.

Die Eisbildung läßt sich bekanntlich auch mit Salz verzögern: Knapp 30 Gramm pro Liter senken den Gefrierpunkt um 1,86 Grad. Ein solcher Salzgehalt in seiner Körperflüssigkeit würde einen Fisch oder Frosch freilich glatt umbringen. Glücklicherweise ermöglichen Proteine Kälteresistenz in viel geringerer Konzentration als eine Salzlösung, die das gleiche leisten würde. Die Larve der Gallenfliege *Eurosta*

---

### Wenn Blut jenseits des Gefrierpunkts flüssig bleibt

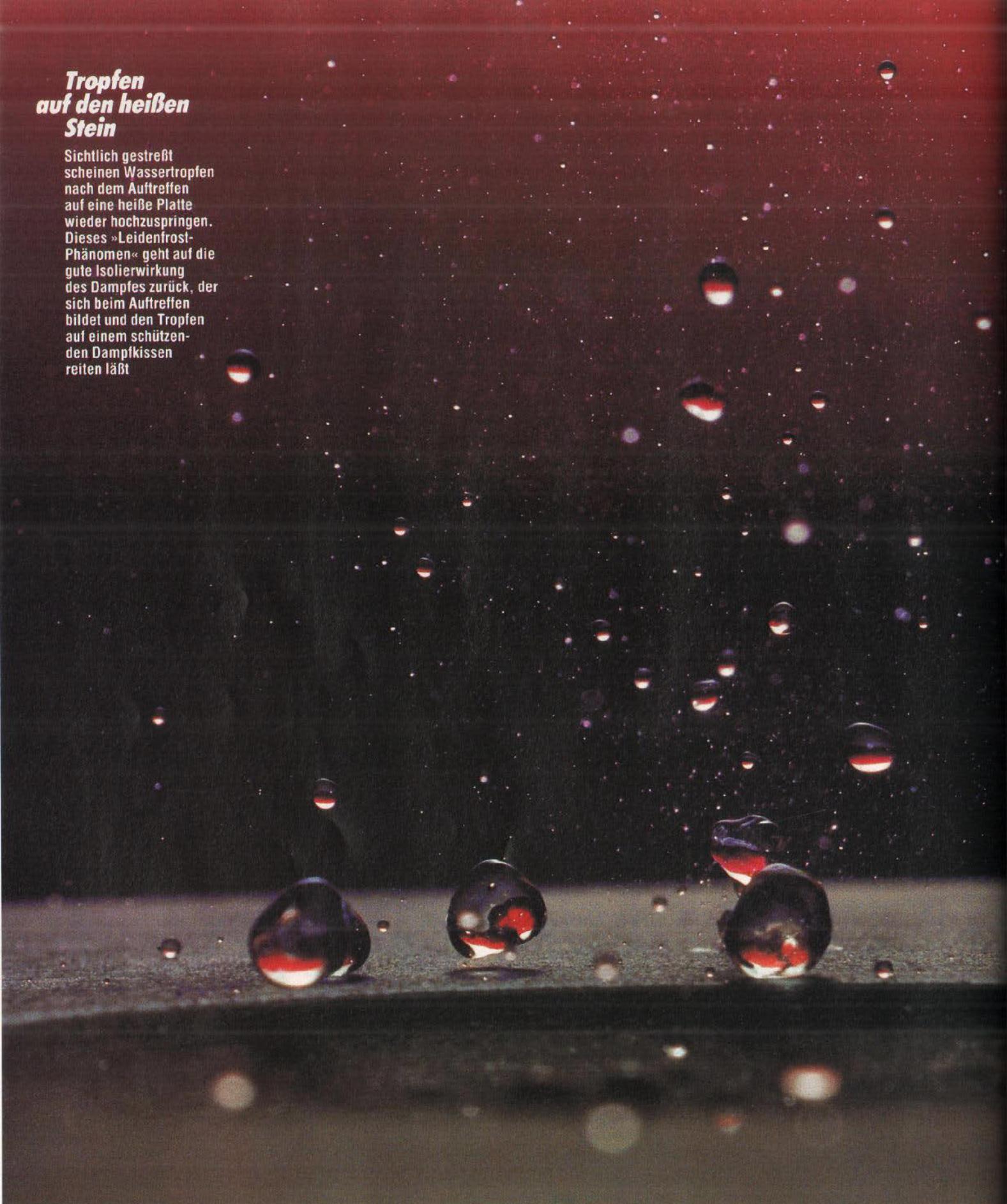
---

Ökosphäre weit verbreitet sind. Wenn Wasser im Gewebe einfriert und die Konzentration der gelösten Stoffe in der Restflüssigkeit ansteigt, zerstört dies den Organismus – es sei denn, er ist durch spezielle Mechanismen dagegen gewappnet.“

Als Beispiel für die „Kältehärtung“ bestimmter Organismen schildert Franks mir

## **Tropfen auf den heißen Stein**

Sichtlich gestreift scheinen Wassertropfen nach dem Auftreffen auf eine heiße Platte wieder hochzuspringen. Dieses »Leidenfrost-Phänomen« geht auf die gute Isolierwirkung des Dampfes zurück, der sich beim Auftreffen bildet und den Tropfen auf einem schützenden Dampfkissen reiten lässt





*solidaginis* – vermutlich der Kälterekordler im Tierreich – überlebt dank hoher Glucose- und Glycerinwerte noch bei sibirischer Kälte von minus 40 Grad.

Manche Pflanzen trotzen noch schärfstem Frost. Einige Bäume Nordamerikas und Asiens überleben sogar Wintertemperaturen von minus 50 Grad – allerdings, so Franks, nur nach jeweils monatelanger Kältehärtung: „Dieselben Bäume sterben, wenn sie im Sommer einen Kälteschock von minus 20 Grad Celsius abbekommen.“

Zwar ist den Wasserforschern im Prinzip klar, daß Eiskristalle nicht ohne Keime wachsen können. Aber um die Details beim Gefrieren von  $H_2O$  streiten sich Franks und seine Kollegen noch. Keime können zum Beispiel durch winzige Dichte-Schwankungen entstehen, wie sie in einer unruhigen Flüssigkeit immer wieder zufällig auftreten. Noch wirkungsvoller sind kleine Staubteilchen oder fremde Moleküle, an denen sich ganze Knäuel von Wassermolekülen anlagern.

Der entscheidende Anstoß zum Kristallisieren könnte eine Art molekulare Verwechslung sein: Womöglich imitiert ein Keim die Struktur einer Eiskristall-Oberfläche, zwingt dadurch die benachbarten Wassermoleküle in eine eisähnliche Formation und senkt somit den Energieaufwand, der nötig ist, um flüssiges Wasser in Eis zu verwandeln. Dies geschieht um so leichter, je tiefer die Temperatur liegt. Unterhalb von minus 30 Grad Celsius enthält jedes Gramm Wasser – auch ohne Verunreinigungen – einen Keim, so daß die Vereisung fast von jedem beliebigen Punkt aus starten kann. Bei vorsichtiger Abkühlung läßt sich das Einfrieren etwas länger, bis zu etwa minus 40 Grad hinauszögern (Normaldruck: 1 bar).

---

**Selbst Eis  
ist den Forschern nicht  
gleich Eis**

---

Sobald ein Eiskristall entsteht, frisst er sich rasch durch die gesamte erreichbare Flüssigkeit. Im Prinzip reicht ein einziger Keim aus, um etwa einen Tropfen in einer Wolke zu einer Schneeflocke gefrieren zu lassen. Dabei können die „verrücktesten Formen“ entstehen, wie Felix Franks schwärmt: Nadeln, Federn, Zweige oder Kugeln – das ganze Panoptikum der Schneeflocken.

Selbst Eis ist den Forschern nicht einfach nur Eis. Das, was wir aus dem Gefrierfach holen, ist für Experten als „Eis I h“ nur die hexagonale Unterform der ersten von acht stabilen Klassen. Die Vielfalt gefrorenen Wassers beruht, wie ich lese, auf der Fähigkeit der Eiskristalle, unter Druck andere Formen anzunehmen: Die sechseckigen Kristalle alltäglichen Eises können dann Würfelform annehmen („Eis Ic“) oder gar paarweise ineinandergeschoben werden

(„Eis VII und VIII“). Nur Eis der Klasse I schwimmt auf dem Wasser; Eis der Klassen II bis VIII ist in der Regel dichter als jenes der Klasse I und bis zu 50 Prozent schwerer als flüssiges Wasser: Es würde auf einem See einfach untergehen. Zum Glück entstehen die schwereren Eisvarianten nur unter hohem Druck und bei tiefen Temperaturen.

Mit Zwangsmäßigkeiten dieser Art läßt sich auch der Gefrierpunkt des Wassers – Fixpunkt der Celsius-Temperaturskala – verschieben: Unter einem Druck von 150 000 bar gefriert Wasser erst bei plus 400 Grad Celsius. Und der Unterschied zwischen flüssigem Wasser und Dampf verschwindet bei 374 Grad Celsius und 221 bar: Jenseits dieses „kritischen Punktes“ läßt sich der Wasserdampf auch durch stärkste Drücke nicht mehr verflüssigen. In einer solchen Hölle gibt es keine Meere.

Derlei exotische Daten dienen indes nicht nur akademischer Neugierde: Sie helfen Ingenieuren und Technikern zum Beispiel bei der Konstruktion von Kraftwerken und Dampfmaschinen oder beim Mischen von Wasser mit anderen Stoffen. Glaziologen wiederum benötigen extreme Gefrierpunkt-Werte zur Berechnung des Fließverhaltens von Gletschern. Sogar Astrophysiker und Planetologen profitieren von der Fleißarbeit der Wasserforscher – vor allem, nachdem die amerikanische Voyager-Sonden einen bizarren, auf der Erde unbekannten „Wasservulkanismus“ auf einigen Monden des Saturn und des Uranus entdeckt haben.

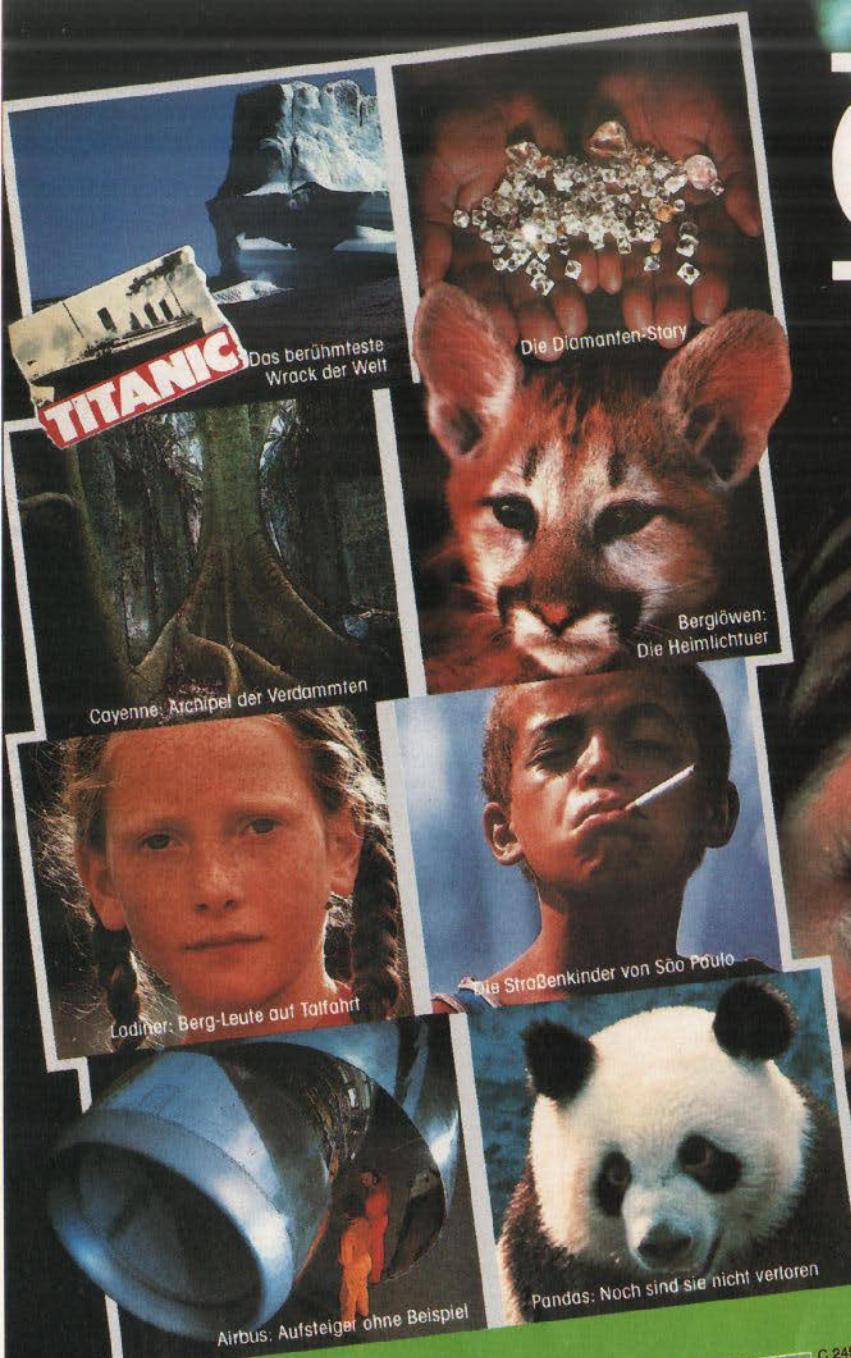
Unser blauer Planet ist also keineswegs der einzige Ort im Sonnensystem, an dem es Wasser gibt. Noch heute – so eine umstrittene These des amerikanischen Klimaforschers Louis Frank von der University of Iowa – bombardieren Minikometen, Relikte aus dem solaren Urnebel, regelmäßig die Erde. Pro Minute will er mit einer Satelliten-Kamera 20 solcher Einschläge in der oberen Atmosphäre beobachtet haben. Jeder Minikomet war nach seiner Abschätzung ein 100 Tonnen schwerer Brocken aus Wassereis. Während der gesamten Erdgeschichte hätte ein solches Bombardement allemal genug  $H_2O$  geliefert, um die irdischen Ozeane zu füllen.

Felix Franks scheinen die kosmischen Wasser-Rätsel weniger aufzuregen als das Palaver darum: „Zu viele Amateure reden über Wasser. Jeder denkt, er weiß, was Wasser ist.“ Dann zitiert er einen Sinnspruch, der im Büro seines akademischen Lehrers hing: „Mein tägliches Gebet zu Gott: Bitte hilf mir, meinen Mund so lange zu halten, bis ich weiß, über was ich rede.“ Demnach müßte, strenggenommen, auch Franks nach 40 Jahren Wasserforschung manchmal noch schweigen. □

---

**Dr. rer. nat. habil. Reinhard Breuer**, 42, ist GEO-Redakteur und Astrophysiker mit Lehrauftrag an der Universität Hamburg.

# GROSSE



# GEO

Das neue Bild der Erde

Kostenlos  
für Sie  
eine aktuelle GEO-Ausgabe

C 2498 E

10.50 DM  
Österreich: 15.80  
Schweiz: fr 10.50  
(23. Februar 1987)



# REPORTAGEN...



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

**D**ie Bilder dieser Seite stehen für GEO-Reportagen. Jede 20, 30 Seiten lang, jeweils 7 Reportagen erarbeitet die Redaktion für eine GEO-Ausgabe. Fordern Sie jetzt ein aktuelles Heft zum Kennenlernen an (extra dazu: 4 GEO-Farldrucke als Geschenk!). Postkarte (Seite 163) bitte noch heute abschicken.

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



Es steht schlecht um unser wichtigstes Lebensmittel: Der Schluck aus dem Wasserhahn ist nicht immer nur harmlos. Schadstoffe aus Industrie und Landwirtschaft verseuchen die Brunnen, aus denen Wasserwerker das lebenswichtige Nass fördern. Besonders am Rhein, an dessen Ufern sich Industriebetriebe ballen, wird die Aufbereitung des Grundwassers zu reinem Trinkwasser immer aufwendiger

# Viel Kohle für den guten Schluck

»Wasserverdüsung« in Köln-Weiler: Hier wird sogenanntes Rheinuferfiltrat, bevor es versickert, mit Sauerstoff angereichert – damit Bodenbakterien



## TRINKWASSER

VON CHRISTOPH DRÖSSER;  
FOTOS: GEORG FISCHER

**E**s ist ruhig im Wasserwerk an diesem Dienstagnachmittag um halb sechs. Der Meister und die Schlosser von der Reparaturkolonne haben bereits Feierabend. Hans Seul sitzt am Schaltpult der Kommandozentrale in Weiler, von wo aus die drei linksrheinischen Kölner Wasserwerke gesteuert werden. Um diese Zeit ist der Schaltwärter allein verantwortlich für die Wasserversorgung von rund 605 000 Menschen, Herr über 96 Pumpen, 40 Aktivkohle-Filterkessel und drei Wasserspeicher mit insgesamt 46 000 Kubikmeter Fassungsvermögen – bis zum Schichtwechsel um 22 Uhr, wenn der Kollege von der Nachschicht kommt.

Wenn Hans Seul den Blick hebt, sieht er an der Wand des klimatisierten Schaltraums einen Schaltplan, auf dem sämtliche Brunnen, Filter und Speicher der Kölner Wasserwerke eingezeichnet sind. Lämpchen leuchten auf, wenn Pumpen arbeiten; blaue Linien symbolisieren Leitungen für „Rohwasser“, grüne für Trinkwasser. Ein Instrument zeigt den Wasserdruck in den beiden Ausgangsleitungen des Werks an: knapp über 5 bar – ein normaler Wert. Hoch ist heute dagegen der Nitratgehalt des Leitungswassers: Die Anzeige pendelt bei 33 Milligramm pro Liter, immerhin zwei Drittel des gesetzlich erlaubten Grenzwerts. Zwei Computerbildschirme präsentieren dem einsamen Wasserrwächter die aktuellen Daten aller drei Werke. Über zwei Monitore überwacht er per Videokamera die beiden Einfahrten zum Betriebsgelände.

Hans Seul hat genug Routine, um nicht unablässig auf die Monitore und Instrumente starren zu müssen. Der 49jährige gelernte Elektriker zieht gern an seiner Zigarre und widmet sich einem fünften Bildschirm – dem Farbfernseher: Es läuft das Fußball-Europameisterschaftsspiel Bundesrepublik Deutschland gegen Dänemark.

Der Fernseher gehört zum notwendigen Inventar. Denn der Wasserverbrauch der Stadt hängt direkt mit dem

die Schadstoffe abbauen können

Angebot der TV-Anstalten zusammen. In einer halben Stunde, wenn die Fußballer zur Pause in die Kabinen gehen, werden zigtausend Kölner einem lang zurückgehaltenen Bedürfnis freien Lauf lassen – und da droht ein rapi-der Druckabfall im Leitungsnetz.

Hans Seul wird also schon ein paar Minuten vorher die Pumpen im Wasserwerk Severin anwerfen, sie sozusagen „in Lauerstellung“ halten, um dann innerhalb von Sekunden die Förderleistung erhöhen zu können. Doch auch ohne den Schaltwärter würde die hunderttausendfache Toilettenspülung Köln nicht trockenlegen: „Severin“ läuft auch automatisch. Bei sinkendem Druck schalten sich die Pumpen von selbst ein und laufen so lange, bis 5 bar wieder erreicht sind. Für ein paar Minuten aber könnte das Wasser spärlicher rinnen, in ein paar Vorort-Hochhäusern sogar ausbleiben. Das verhindern soll der Schaltwärter; sein Leistungs-nachweis ist eine gleichmäßige Druck-Kurve auf dem Schichtprotokoll am nächsten Morgen.

Das Wasserwerk arbeitet dann am besten, wenn man nichts von ihm merkt. Trinkwasser kommt so selbstverständlich aus dem Hahn wie die Atemluft in die Lungen. Öffentliche Aufmerksamkeit erregt es nur, wenn ein Rohr bricht oder Meldungen über Schadstoffe Schlagzeilen machen.

**»Dat Wasser vun Kölle  
es jot – och wemmer av un zo  
d'r Dönn scheß han«**

Die meisten Bürger wissen nicht einmal, was sie für einen Liter Wasser bezahlen müssen – in Köln derzeit 0,16 Pfennig. Ebensowenig ist bekannt, woher die 145 Liter Wasser stammen, die der Durchschnittsbürger täglich aus dem Leitungsnetz zapft. 37 Prozent der Kölner glauben, ihr Trinkwasser käme direkt aus dem Rhein. Da helfen auch die Werbebrochüren der Gas-, Elektrizitäts- und Wasserwerke Köln AG (GEW) nicht viel, die um Verständnis für die Arbeit des kommunalen Großunternehmens werben. Ein Slogan der GEW hat allerdings seinen Weg in den Volksmund gefunden: „Dat Wasser vun Kölle es jot!“ Populär wurde er durch das gleichnamige Lied der Mundart-Band „Bläck Fööss“, die den Werbespruch auf ihre Weise kommentiert: „Och wemmer av un zo d'r

Dönn scheß han, mer gläuen wigger dran“ (Auch wenn wir ab und zu Durchfall haben, wir glauben weiter dran).

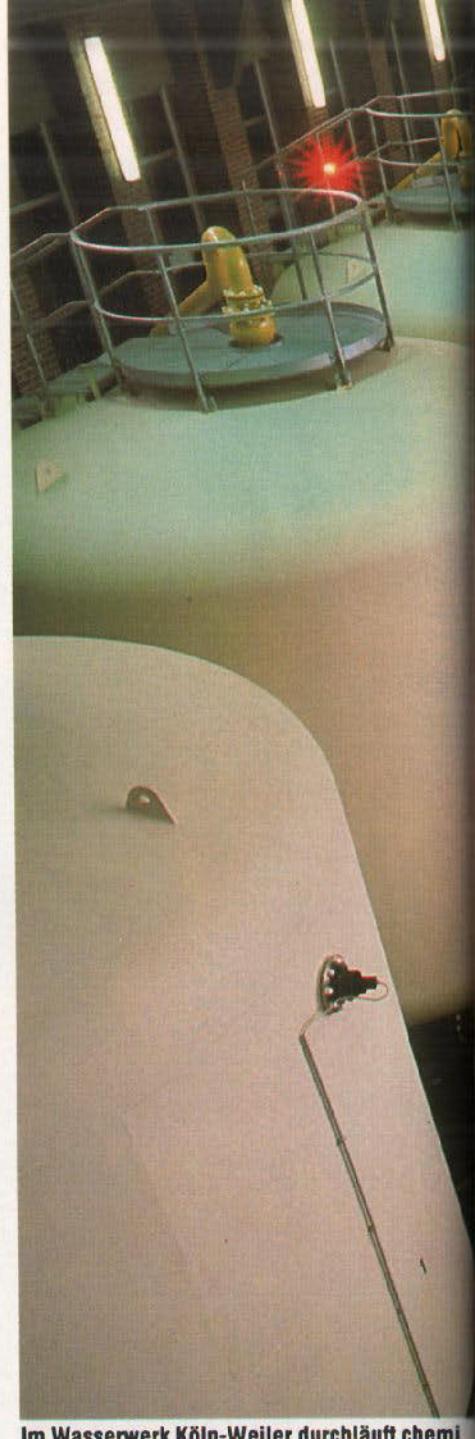
Herbert Wokel verbringt einen Großteil seiner Arbeitszeit im Auto, weil die Anlagen der Kölner Wasserwerke über die ganze Stadt verteilt sind. Der Informatiker und „Gruppenleiter Elektrotechnik“ setzt seine Computerkenntnisse dafür ein, den Betrieb der Kölner Wasserwerke so weit zu automatisieren wie in kaum einer anderen deutschen Stadt.

„Die Kollegen in anderen Städten sind dem Computer gegenüber oft noch etwas mißtrauisch“, vermutet Wokel und lächelt. Heute will er mir den Weg des Wassers ins öffentliche Trinkwassernetz zeigen. An der Ausfahrt Chorweiler verlassen wir die Autobahn Köln-Neuss. Hinter dem Reihenhausvorort Weiler lässt einzig das Verkehrsschild „Wasserschutzgebiet“ die Nähe des Wasserwerks ahnen.

Der Forst zur rechten Hand, in den wir einbiegen, dient einem nüchternen Zweck: Um alle Wasserwerke herum hat die GEW Bäume hochwachsen lassen, rund 500 Hektar Wald, der das Grundwasser vor Verunreinigungen durch Landwirtschaft und Industrie schützen soll. Doch der grüne Schutzbügel kann nicht verhindern, daß aus angrenzenden Feldern verunreinigtes Grundwasser nachsickert.

Im Wasserwerk Weiler, einem schlichten roten Backsteinbau, schlägt mir angenehm frische Luft entgegen – gekühlt vom hochgepumpten Grundwasser, das übers ganze Jahr eine konstante Temperatur von elf Grad hat. Niemand ist im blitzblanken Innern des Gebäudes zu sehen. Nur ein Springbrunnen plätschert vor sich hin.

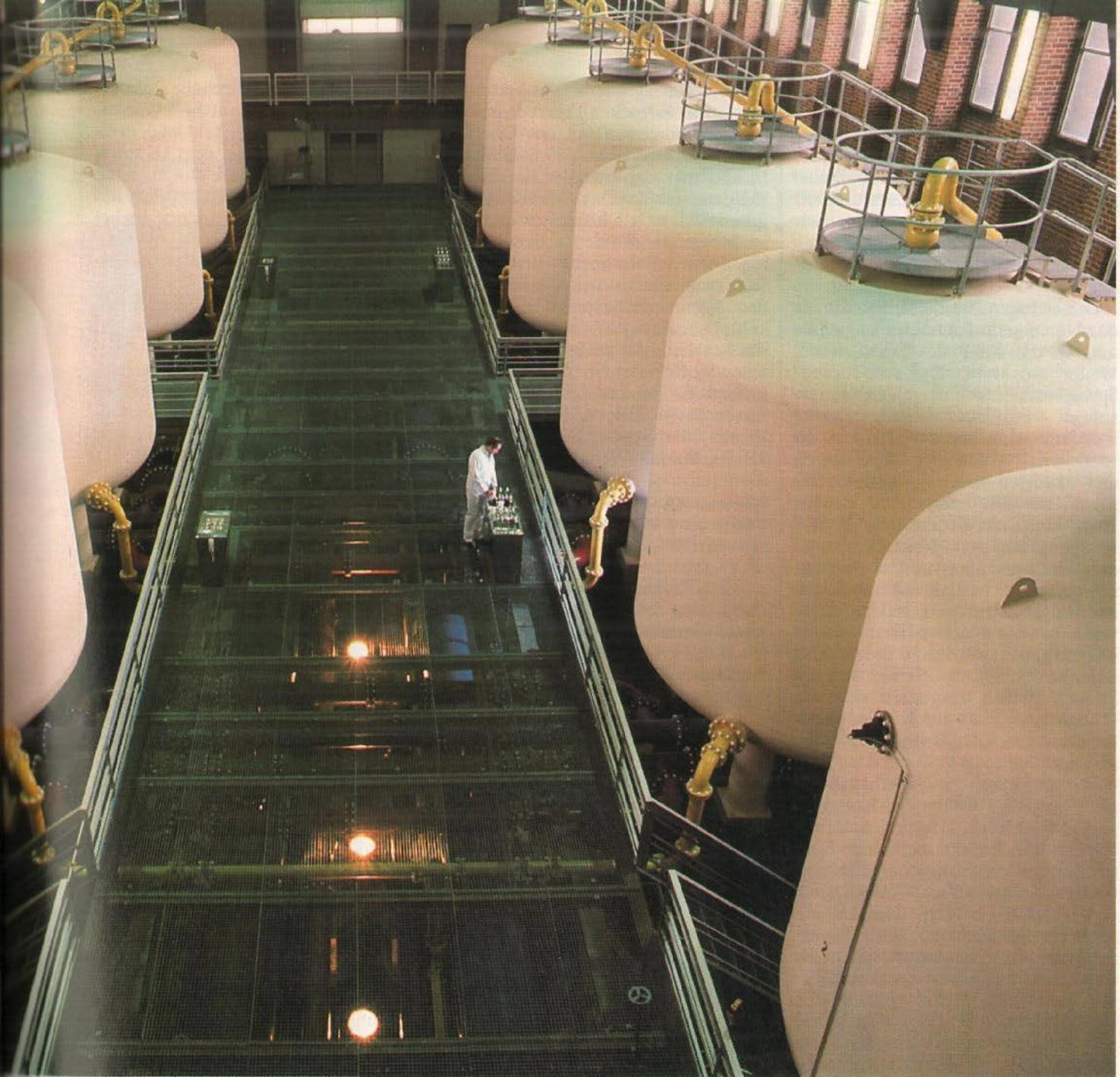
Das kühle Nass, das hier aus der Erde gefördert wird, hat schon einen weiten – und nicht immer sauberen – Weg hinter sich. Indirekt stammt etwa die Hälfte des linksrheinischen Kölner Trinkwassers tatsächlich aus dem Rhein – aus jenem Abwasserkanal Europas, an dessen Ufern unter anderem die weltweit größte Zusammenballung chemischer Fabriken angesiedelt ist. Nach Jahrzehnten hemmungsloser Verschmutzung hat sich der Gesundheitszustand des Stroms zwar erheblich gebessert, trotz Rückschlägen wie der Sandoz-Katastrophe vom November 1986 (siehe Seite 60). Aber immer noch muß die Brühe aus dem Rhein zahlrei-



Im Wasserwerk Köln-Weiler durchläuft chemi-



Ameisen halten den Schutzwald gesund . . .



Kalbenbelastetes »Rohwasser« riesige Filterkessel, gefüllt mit teurer Aktivkohle



... der um die Förderbrunnen gepflanzt wurde



Schaltzentrale im Werk Weiler: Der Fernseher gehört dazu

**Ameisen  
im Kampf gegen  
die Brunnen-  
vergifter**

che Stationen durchlaufen, bevor sie das Prädikat „Trinkwasser“ verdient.

Den Löwenanteil der Reinigungsarbeit erledigt die Natur. In Köln-Worringen fördern die GEW „flußseitiges“ Grundwasser aus dem Boden. Hinter dem Begriff verbirgt sich Rheinwasser, das eine Sickerstrecke von mehreren hundert Metern hinter sich hat.

Dieses sogenannte Uferfiltrat fließt durch eine sechs Kilometer lange Leitung in die Nähe des Wasserwerks Weiler, wo es in einer Art Riesen-Springbrunnen – einer „Verdüsungsanlage“ – mit Sauerstoff angereichert wird, um dann wieder im Boden zu versickern. Auf dieser Reise durch den sandigen und kiesigen Untergrund, die ein halbes Jahr dauern kann, bleibt ein Großteil der Verunreinigungen hängen. Mikroben bauen organische und anorganische Substanzen ab, wobei weitgehend unbekannt ist, welche Bakterien welche Gifte wann und wie knacken. Den Wasserwerken genügt es, daß 80 Prozent der organischen Schadstoffarten auf der Strecke bleiben. Insgesamt läuft das Grundwasser so durch zwei Erdschichten bis zu den Brunnen am Wasserwerk.

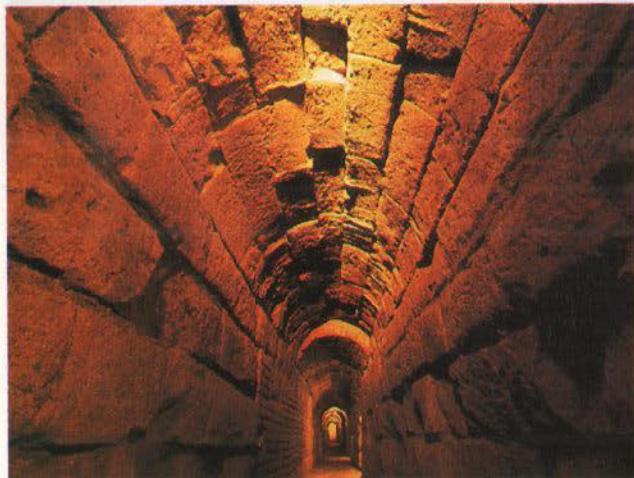
Wir betreten die Filterhalle, wo zwölf mächtige Tonnen stehen, jede sechs Meter hoch. Zusammen enthalten sie 600 Kubikmeter einer Substanz, ohne die eine sichere Wasserversorgung in Köln nicht möglich wäre – Aktivkohle. Der unscheinbare schwarze Stoff hat fabelhafte Eigenschaften: hohe chemische Reaktionsfreudigkeit und eine gewaltige Ober-

fläche. Ein Gramm der porösen schwarzen Körnchen bringt es auf etwa 1000 Quadratmeter. Die Oberfläche der Aktivkohle allein in dieser Halle entspricht etwa der Größe der Bundesrepublik. Das Geheimnis der Filtersubstanz sind feine Kapillaren im Innern der Kohle, in denen viele organische Substanzen und sogar Schwermetalle zurückgehalten werden. Alle paar Monate muß die Aktivkohle „reaktiviert“ werden. Dann werden die in ihr enthaltenen organischen Stoffe unter einem „reduzierten Luftstrom“ herausgebrannt. Das hat seinen Preis: Eine Aufbereitung des Inhalts aller zwölf Behälter kostet 850 000 Mark.

#### Wie das Rheinwasser durch eine Menge Kohle sein „h“ verliert

Die Aktivkohle arbeitet am besten, wenn etwa 300 Kubikmeter ungereinigtes Grundwasser pro Stunde durch jeden der zwölf Behälter fließen. Bei stärkerem Strom werden nicht alle Verunreinigungen herausgefiltert, bei zu geringem Fluß können sich Keime gefährlich anreichern. Da der Wasserverbrauch der Stadt im Laufe eines Tages stark schwankt, lässt der Schaltwärter in der Nacht riesige unterirdische Speicherbecken vollaufen, damit die Verbrauchsspitzen am Morgen und am frühen Abend abgedeckt werden können.

#### Frisches Quellwasser aus der Eifel für den Durst der Römer



Schon vor 2000 Jahren wurde die Stadt am Rhein mit Trinkwasser versorgt: Die römischen Statthalter ließen eine 78 Kilometer lange Leitung von den Eifelquellen nach Köln mauern

In der Mitte der Filterhalle steht ein verchromtes Becken mit zwei Wasserhähnen: „Rohwasser“ steht an dem einen, „Trinkwasser“ an dem anderen. Früher, erzählt Herbert Wokel, stand da „Reinwasser“ – ohne „h“: „Wir haben die Beschriftung geändert, um bei Besuchern keine Verwirrung über die Rechtschreibung aufkommen zu lassen.“ Ich nehme je einen Schluck – und schmecke keinen Unterschied: Beide Leitungen liefern angenehm frisches, klares, geruchs- und geschmackloses Wasser. Was bei der Reinigung durch die Aktivkohlefiltration passiert, ist nicht herauszuschmecken: Für die meisten Umweltgifte besitzen wir kein Sinnesorgan.

In einem der vielen Seitengänge des Wasserwerks macht mich Wokel auf ein zigarrenkistengroßes Kästchen aufmerksam. Rote Ziffern flimmern darauf: 32.7, 32.8, 32.6. Hier wird der Nitratgehalt des ins Netz gehenden Wassers – in Milligramm pro Liter – kontinuierlich gemessen.

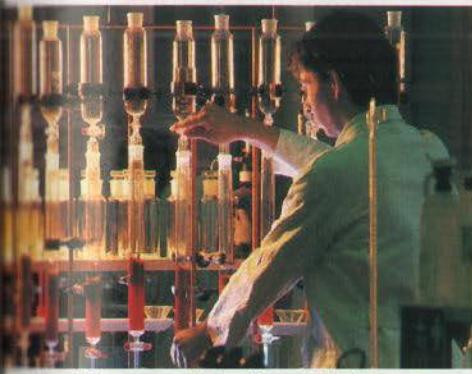
Nitrate, Salze der Salpetersäure, machen bundesdeutschen Wasserwerken heute erhebliche Sorgen. Seit Jahren nimmt ihr Gehalt im Grundwasser fast aller Städte zu – eine Folge der Überdüngung in der Landwirtschaft, gleich ob mit Kunstdünger oder „natürlich“ mit Gülle. Weil die Aufnahmefähigkeit von Pflanzen und Boden begrenzt ist, gerät überschüssiges Nitrat ins Grundwasser.

Im Körper kann sich das harmlose Nitrat in krebsfördernde Nitrosamine verwandeln und besonders Kleinkinder gefährden. Umweltschützer fordern deshalb, den gesetzlichen Nitrat-Grenzwert für Wasser, das als Babynahrung verwendet wird, weit niedriger als die bisher zulässigen 50 Milligramm pro Liter anzusetzen.

Nitrat ist – auch im Vergleich zu den meisten organischen Giften – tückisch: Es wird durch herkömmliche Reinigungs- und Filterverfahren inklusive Aktivkohle nicht entfernt. Und wirksame Entsalzungsverfahren wie die umgekehrte Osmose haben zwei Haken: Der Kubikmeter Wasser würde fast doppelt so teuer und das Nitrat nicht aus der Welt geschafft, sondern in der Regel nur konzentriert und ins Abwasser geleitet.

Die hohe Nitrat-Konzentration im Grundwasser ist einer der Gründe, weshalb die GEW hier in Weiler das Rheinuferfiltrat versickern lassen.

## **Chemiker überwachen ständig das Lebensmittel Nr. 1**



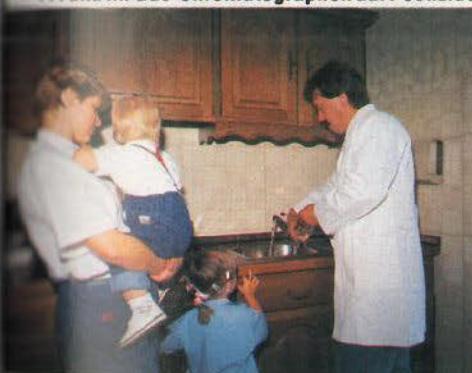
**Das Wasserwerklabor testet Trinkwasser . . .**



**... mit klassischen Methoden auf Nitrat . . .**



**... und im Gas-Chromatographen auf Pestizide**



**Die Prüfer kommen auch in die Haushalte**

Denn das „dreckige“ Wasser des Flusses enthält nur halb soviel Nitrat wie das „saubere“ Grundwasser. Darüber hinaus bleibt den Wasserwerkern heute nicht viel mehr übrig, als hilflos ihre Nitrat-Meßuhr zu beobachten. Der Schaltwärter kann zwar kurzfristig den Nitratgehalt beeinflussen, indem er nur aus Brunnen pumpen lässt, die möglichst weit von den Feldern entfernt liegen. Senkt sich dort jedoch der Grundwasserspiegel ab, dann sikert nitrathaltigeres Wasser der Umgebung nach.

In einem Nebenraum schnuppere ich den typischen Chlorgeruch von Hallenbädern. „Chlordioxid“, korrigiert mich Herbert Wokel. „Ein Liter davon reicht für zehn Schwimmbadfüllungen Trinkwasser.“ Die Kölner versetzen ihr Trinkwasser mit dieser desinfizierenden Chlor-Sauerstoff-Verbindung, weil sie weniger reaktionsfreudig ist als reines Chlor: Das kann sich mit organischen Substanzen verbinden und krebszerregende Stoffe bilden. Allerdings riecht es ein bißchen muffig, was die „Akzeptanz“ bei empfindlichen Verbrauchern nicht gerade fördert.

### **Bräuereien und Chemiewerke aber pumpen noch aus eigenem Brunnen**

Zentral mit Wasser versorgt werden unsere Großstädte – für uns eine Selbstverständlichkeit – erst seit etwa 100 Jahren. In Köln allerdings hatte es solchen Komfort schon früher einmal gegeben – vor 2000 Jahren: Die Römer hatten eine 78 Kilometer lange unterirdische Leitung gebaut, durch die klares Quellwasser aus der Eifel bis in die Grenzstadt Colonia Claudia Ara Agrippinensis floß. Mit den Römern verschwand auch die Wasserbaukunst. Bis ins letzte Jahrhundert waren weder Trinkwasserversorgung noch die Abwasserentsorgung geregelt; viele Stadtbewohner schöpfen ihr Wasser aus unreinen Brunnen. Kein Wunder, daß noch 1849 die Cholera 1357 Kölner dahinraffte.

Erst nachdem Louis Pasteur 1865 Mikroorganismen als Erreger von Seuchen erkannt hatte, dämmerte den Stadtvätern die Gefahr durch verseuchtes Wasser. Die zentrale Wasserversorgung wurde zur sozialen Aufgabe: „Wasserwerke müssen, wenn sie wirklich gemeinnützig sein

sollen, von der Stadt selbst verwaltet werden“, forderte der Rat der Stadt Düsseldorf bereits 1868. „Schon der ärmeren Klassen wegen soll die Herbeischaffung eines so unentbehrlichen Bedürfnisses nicht an Private überlassen, sondern seitens der Gemeinde dafür gesorgt werden.“

Heutzutage erhält in Köln kein Bürger mehr das Recht, Trinkwasser privat aus dem Boden zu pumpen. Doch einige Firmen, Institutionen und auch Haushalte haben noch alte Rechte; sie fördern etwa halb soviel Grundwasser wie die beiden Kölner Versorgungsunternehmen ins Netz geben. Besonders die Brauereien, die das obergäige „Kölsch“ produzieren, bedienen sich großzügig aus dem Grundwasservorrat. Auch die Großindustrie im Kölner Norden wie Bayer-Dormagen, Ford und Esso pumpt kräftig Wasser aus dem Untergrund, ohne dafür bezahlen zu müssen.

Bernd Fokken ist überzeugt von der Qualität seines Produkts. Der „Hauptabteilungsleiter Wassergewinnung“ der GEW hat durchgesetzt, daß alle linksrheinischen Kölner Wasserwerke mit Aktivkohlefiltern arbeiten. Ein Unternehmen mißt seinen Erfolg aber auch am Umsatz, und die GEW machen da keine Ausnahme. Von Wasserspar-Appellen hält Bernd Fokken daher nicht viel: Köln sei ein Wasserüberschüßgebiet, das Trinkwasser werde also in der nächsten Zeit nicht knapp werden. „Wir sind hier doch nicht in der Sahelzone“, pflegt GEW-Vorstandssprecher Hansgeorg Winter zu argumentieren.

Gewinnung und Lieferung eines Kubikmeters Wasser frei Haus verbrauchen 0,3 Kilowattstunden Energie. „Wasser ist das umweltfreundlichste Reinigungsmittel“, sagt Fokken, der gerne das unsinnige Wassersparen mancher „Umweltfreunde“ anprangert. Die, so glaubt er, reduzieren ihre Toilettenspülung auf ein Rinsal und entfernen dann mit scharfen Chemikalien die „Ränder“.

Wirtschaftliches Interesse an höherem Wasserverbrauch läßt sich Fokken indes nicht unterstellen: Wenn der Verbrauch zurückginge, müßten die hohen Fixkosten des Rohrnetzes, die 80 Prozent der Gesamtkosten ausmachen, eben durch höhere Kubikmeterpreise hereingeholt werden.

Ganz ungeniert wird auch in Köln ein höherer Wasserverbrauch nicht

mehr propagiert. Die GEW-Manager beginnen einzusehen, daß es nicht ihre Aufgabe sein kann, mit immer aufwendigeren Verfahren ein hochwertiges Lebensmittel bereitzustellen, das dann gedankenlos durch Toilettenspülungen geschickt wird. „Sinnvolles Sparen“ empfehlen sie den Verbrauchern neuerdings. Heute ließe ihre Öffentlichkeitsabteilung wohl nicht mehr den Satz drucken, der noch vor einigen Jahren in einer Werbebrüche zu lesen war: „Die Höhe des Wasserverbrauchs ist ein Zeichen für die Höhe der Zivilisation.“

Neben dem malerisch restaurierten Wasserwerk Severin liegt das zentrale Labor der Kölner Wasserwerke. Hier werden jährlich 2500 Wasserproben analysiert, nicht nur für die GEW, sondern auch für die Kollegen von anderen kleinen Wasserwerken.

Mit rheinischer Gemütlichkeit begrüßt mich Rainer Pütz in seinem Labor. Das ändert sich schnell, als er auf „sein“ Thema zu sprechen kommt. Mit sprudelnden Worten hält der 37jährige Wasserchemiker ein Kurzreferat über die verschiedenen Verfahren, mit denen seine Mitarbeiter das Trinkwasser untersuchen: Nach einer Viertelstunde schwirrt mir der Kopf von Begriffen und Kürzeln, mit denen Laborgeräte und Spektroskopie, Pestizide und chlorierte Kohlenwasserstoffe benannt werden.

Das Kölner Wasser unterliegt während des gesamten Weges vom Fluß bis zum Wasserhahn einer strengen chemischen und biologischen Kontrolle. So wird das Rheinwasser kontinuierlich kontrolliert. Regelmäßig ziehen die Chemiker auch Proben aus den übers ganze Stadtgebiet verteilten Pegelbrunnen, um die Grundwasserqualität im Stadtgebiet zu überwachen. Selbstverständlich untersuchen die Kontrolleure auch das Rohwasser vor und nach der Aktivkohlefilterung. Und obwohl ihre Verantwortung eigentlich an der Wasseruhr der Kunden endet, gehen Probensammler der GEW auch in die Haushalte. Kein Wunder, daß im Labor unablässige Hektik herrscht, und dies obwohl sich die Zahl der Mitarbeiter in den letzten zehn Jahren auf zwanzig verdoppelt hat.

Alle angelieferten Proben durchlaufen mehrere Tests. In Standardanalysen werden zunächst der pH-Wert und die Menge der gelösten Sal-

## Sandoz und der Rhein: Chronologie einer Verwirrung

Die Brandkatastrophe beim Schweizer Chemiekonzern Sandoz im Herbst 1986 sorgte für ein internationales Informations-Chaos: Nur durch Glück blieb den rheinischen Wasserwerken eine Verseuchung ihres Trinkwassers erspart

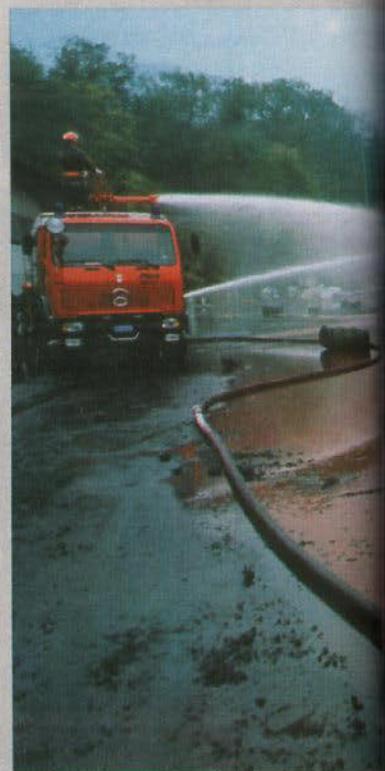
Im Einzugsbereich des Rheins leben 20 Millionen Menschen, die Trinkwasser aus dessen Uferfiltrat beziehen. In den größten deutschen Strom werden aber auch die Abwasser von einem Fünftel der Chemieindustrie Westeuropas geleitet – eine Mischung aus schätzungsweise 100 000 Substanzen, von denen nur einige 1000 genauer bekannt sind. Passiert ein Unfall in einem Chemiebetrieb, wie 1986 bei der Basler Firma Sandoz, dann gibt es Rheinalarm bis Rotterdam. Welche Verwirrung damals – trotz des seit Jahren existierenden internationalen Warnsystems – zwischen den zuständigen Stellen herrschte, zeigt die Chronik der Woche nach dem Unfall aus der Sicht der Kölner Wasserwerke.

### Samstag, 1. November 1986

Gegen 1.30 Uhr ist nach einem Brand in einer Lagerhalle des Chemiekonzerns mit dem Löschwasser eine unbekannte Menge Phosphorsäureester in den Rhein gelangt. Doch erst am Nachmittag meldet der „Warndienst Rhein“: Unfall bei Sandoz! Um welche Stoffe es sich genau handelt, wird nicht mitgeteilt.

### Sonntag, 2. November

Immer noch gelangen Gifte in den Strom, die Substanzen Thiometon und Disulfoton werden genannt. Bei Basel sterben die ersten Fische, der Rhein verfärbt sich und stinkt. Der Warndienst empfiehlt, die „Ent-



Auch am Tag nach dem Großbrand fließen

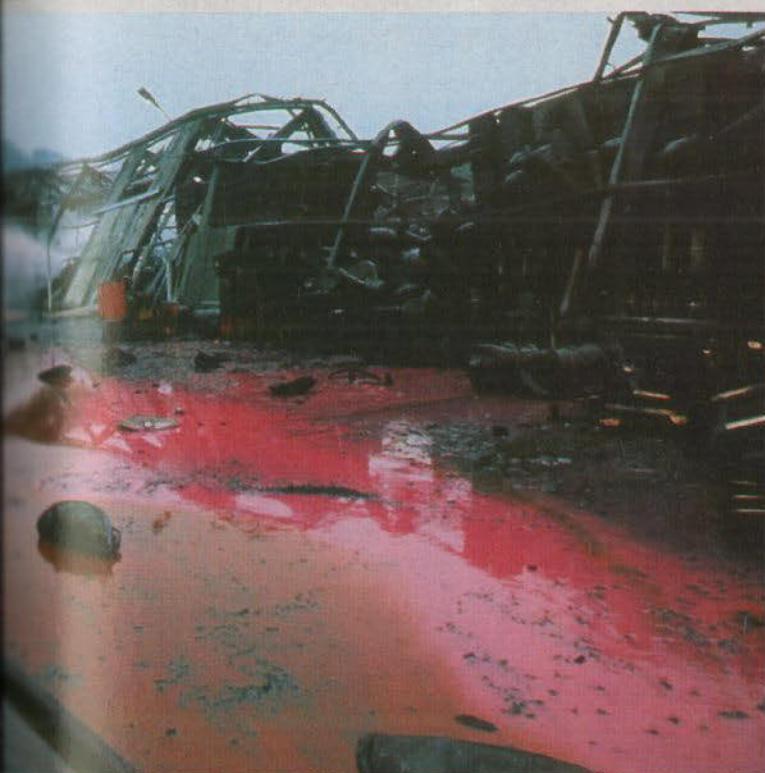
nahme von Rheinwasser zur Trinkwasseraufbereitung“ einzustellen – ein für die Kölner Wasserwerke überflüssiger Ratschlag, weil die das ohnehin nicht praktizieren. Sie fragen sich allerdings besorgt, ob die Giftstoffe vom Rhein in den Boden sickern und das Uferfiltrat verseuchen könnten. Die Experten erwägen, die Uferfiltrat-Pumpen abzustellen.

### Montag, 3. November

Die Behörden erwarten die Giftwelle in Nordrhein-Westfalen für den 5. November. Die „Kölnische Rundschau“ meldet: „Die Färbung des



In der rechtsrheinischen Gemeinde Unkel gibt es Trinkwasser aus dem Tank



mit dem Löschwasser der Basler Feuerwehr giftige Chemikalien in den Rhein

Rheins zog sich bis Mannheim hin. "Tatsächlich wird die Welle erst in zwei Tagen dort sein."

#### Dienstag, 4. November

Die „Frankfurter Rundschau“ meldet, Sandoz habe die Wasserwerke bis Rotterdam alarmiert und die Stoffe genannt, die möglicherweise in den Rhein gelangt sind. Tatsächlich aber liegen den rheinischen Wasserwerken fast vier Tage nach der Katastrophe noch keine Informationen der Schweizer Firma vor. Das Engler-Bunte-Institut des DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches) beginnt, Rheinwasserproben zu untersuchen.

Inzwischen treffen Analysenergebnisse von Proben ein, die am 1. November die Chemische Landesuntersuchungsanstalt im badischen Offenburg genommen hat. Erst ein paar Wochen später wird sich herausstellen, daß die tatsächliche Höchstbelastung des Rheins ein Zehnfaches der in Offenburg gemessenen Werte betragen hat.

Die Kölner beschließen, ihre Förderbrunnen vorübergehend stillzulegen – das linksrheinische Köln wird nun allein aus rheinfernern Grundwasserbrunnen versorgt. Die Wasserwerker wollen verhindern, daß die Gifte in ihre Brunnen gelangen.



Arbeiter in Schutanzügen räumen die abgebrannte Lagerhalle auf

#### Freitag, 7. November

Um 10 Uhr trifft die Giftwelle in Köln ein – zwei Tage später als vorhergesagt. Die Kölner haben Glück: Der Pegel des Rheins liegt unterhalb des Grundwasserspiegels. Dadurch konnte das vergiftete Wasser nicht in die Uferbereiche einsickern.

#### Sonntag, 9. November

Die Giftwelle ist an der Stadt vorbeigegangen. Um 20 Uhr wird für

die Kölner Wasserwerke Entwarnung gegeben.

#### Montag, 10. November

Zehn Tage nach dem Unfall informieren die Behörden – auf der Grundlage eines Sandoz-Berichtes vom 7. November – über die Gefahren, die von den Giftstoffen für das Trinkwasser hätten ausgehen können: Die meisten der Stoffe sind biologisch schwer abbaubar. Die Halbwertzeiten – jene Zeitspanne, in der Mikroorganismen die Hälfte einer Giftmenge zersetzen – beträgt bei manchen fünf Monate.

#### Mittwoch, 12. November

Auf der Mitgliederversammlung der Arbeitsgemeinschaft Rheinwasserwerke (ARW) werden die Untersuchungsergebnisse der DVGW vorgestellt: Der Rhein ist sozusagen mit einem blauen Auge davongekommen. Zwar starben die meisten Fische, doch die Mikroorganismen überlebten den Giftangriff – der Fluß hatte sich seine biologische Reinigungsfähigkeit bewahrt. Auch die Bakterien im Boden blieben verschont; für die

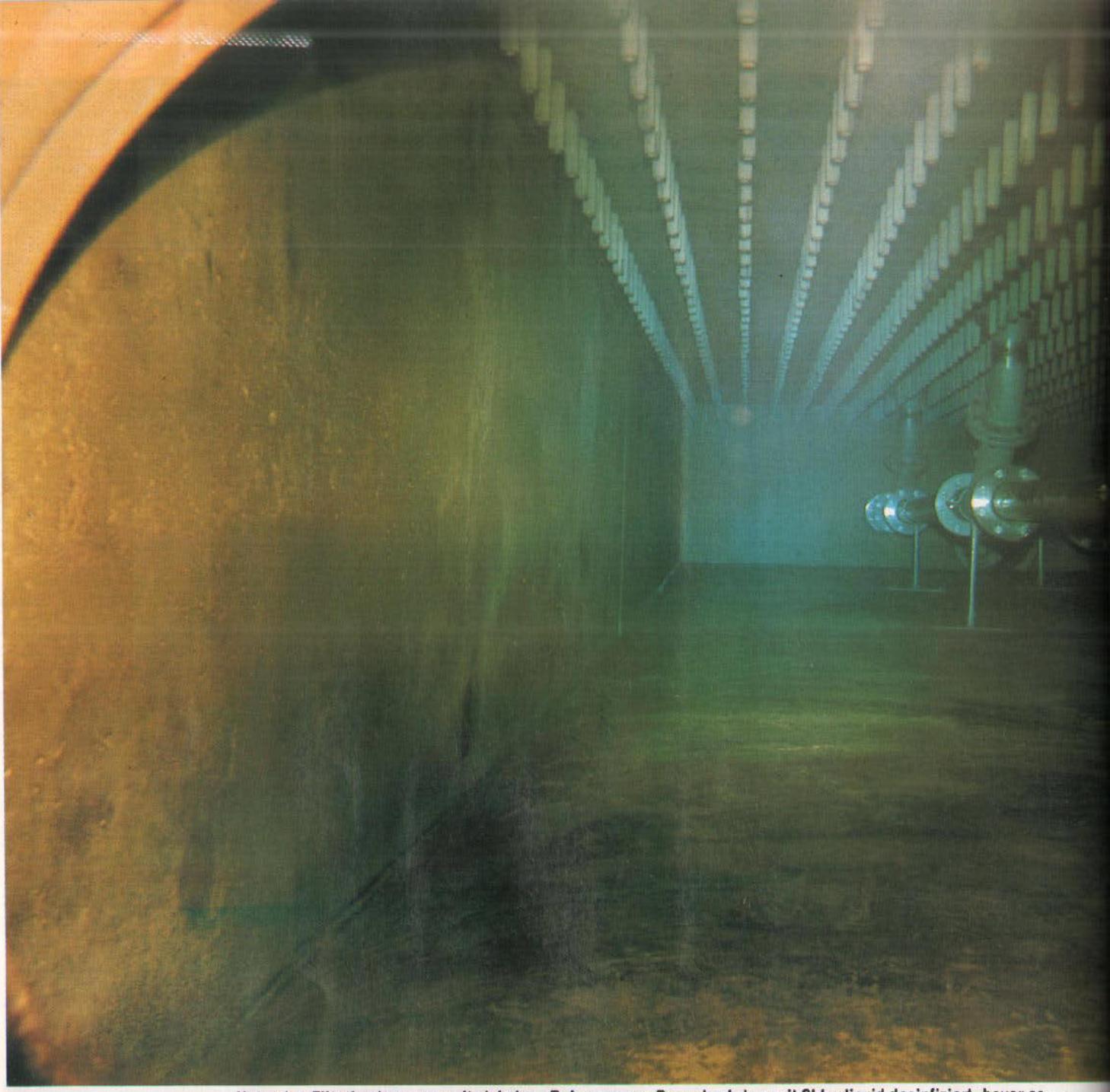
Unfälle produzieren im Grunde nur Spitzenwerte der „normalen“ Einleitung von Giften in die Flüsse. Täglich schluckt der Rhein tonnenweise biologisch schwerabbaubare Chemikalien, Schwermetalle und Nährsalze wie Phosphate und Nitrate.

Bereits 1981 versprach der Verband der Chemischen Industrie den Wasserwerken, eine Liste aller wassergefährdenden Stoffe und ihrer chemischen Eigenschaften zu veröffentlichen – bis heute ist das nicht geschehen. Die Unternehmen müssen strengere Auflagen befürchten, wenn erst die genaue Zusammensetzung ihrer Abwässer bekannt ist.

Zwar hat die chemische Industrie seit 1974 vier Milliarden Mark in die Abwasserreinigung investiert. Die jährlichen Betriebskosten belaufen sich zur Zeit auf zwei Milliarden Mark. Doch mit mehr und besseren Klärverfahren wächst auch das Problem der Entsorgung des giftigen Klärschlamm. Vor allem aber gelangt ein großer Teil der Pflanzenschutzmittel nicht durch Abwasserrohre in die Flüsse, sondern über Landwirtschaft und Gartenbau.

Die Wasserwerke am Rhein sehen deswegen den besten Gewässerschutz darin, daß die Produktion und Anwendung von Agrochemikalien drastisch reduziert wird und die schwerabbaubaren Stoffe durch leichtabbaubare ersetzt werden. Wenn die Verbraucher für die teure Aufbereitung des Trinkwassers zur Kasse gebeten werden, sei das Verursacherprinzip auf den Kopf gestellt. Dieses Prinzip wird allerdings nicht einmal bei Störfällen konsequent angewendet, bei denen der „Verursacher“ bekannt ist.

Sandoz hat bis zum Juni dieses Jahres 30 Millionen Schweizer Franken Entschädigung gezahlt. Und in diesem Frühjahr fand vor dem Bundesgerichtshof ein mehrjähriger Rechtsstreit zwischen der Stadt Bonn und BASF mit einem Urteil sein Ende, das zumindest für die Wasserwerke von erheblicher Bedeutung ist. Der Chemiekonzern hatte 1983 mehrfach die unzulässige Menge von 500 Kilogramm pro Tag des krebserregenden Stoffes BCBE (Bis-Dichloridobutylether) in den Rhein geleitet, worauf die Bonner Vorsichtshalber einige zusätzliche Wasseranalysen durchführten. Gemäß dem Richterspruch muß die BASF den Bonner Stadtwerken nun einen Teil der Analysekosten ersetzen – genau 1540,80 Mark.



Unter den Filterbecken sammelt sich das »Reinwasser«. Danach wird es mit Chlordioxid desinfiziert, bevor es . . .

## **Wird das Wasserwerk in Zukunft zu einer Chemiefabrik?**



. . . in blitzblanken Rohren zum Verbraucher fließt

ze – darunter der Nitrat-Gehalt – bestimmt. Die Chemiker interessiert außerdem die „Härte“ des Wassers, also die Konzentration von Kalzium- und Magnesium-Ionen. Die große Härte des Kölner Trinkwassers ist zwar nicht gesundheitsschädlich, aber sie führt zu Kalkablagerungen in Boilern und Kaffeemaschinen und erhöht den Waschmittelverbrauch.

Das Standard-Chemielabor mit Kolben, Reagenzgläsern und Bunsen-



brennen genügt freilich nicht, um die töckischen Umweltgifte unserer Zeit aufzuspüren. In einem Raum ohne Chemiegeruch beherrschen blinkende Digitalinstrumente und flimmernde Computerbildschirme die Szene. Hier fahnden die GEW-Chemiker nach Schwermetallen. Um auch noch Spuren von wenigen Millionstelgramm in den Wasserproben nachzuweisen zu können, setzen sie modernste technische Spürhunde ein: zwei akten-

schrankgroße Geräte – ein „Atom-Absorptions-Spektral-Potometer“ und ein „Induktiv gekoppeltes Plasma-Emissions-Spektrometer“. Damit können sie eine Vielzahl unterschiedlicher Metalle in einem Analysegang aufspüren.

Quecksilber, Blei, Cadmium und Chrom, vor wenigen Jahren noch die viel diskutierten Umweltgifte, bereiten den Wasserwerkern heute relativ wenig Sorge. Die Rheinwasserqualität ist erheblich besser geworden, und der Boden filtert Schwermetalle sehr gut heraus. Allerdings kann niemand sagen, ob nicht eines Tages die Filterkapazität des Bodens erschöpft sein wird und sich die nicht abbaubaren Metalle plötzlich in größeren Mengen im Grundwasser anreichern. Pütz und seine Kollegen befürchten, daß Phosphatersatzstoffe in umweltfreundlichen Waschmitteln diesen Prozeß verstärken könnten.

#### **Blei im Rohr ist »out« – jetzt macht auch das Kupfer Probleme**

Blei gelangt bis heute meist auf traditionelle Weise ins Trinkwasser: In vielen Kölner Häusern liegen noch alte Bleirohre, und auch die Wasserwerke können keine Garantie übernehmen, daß nicht noch einige Hausanschlüsse aus Bleirohren bestehen. Da dieses Schwermetall fast nur von stehendem Wasser aufgenommen wird, rät Reiner Pütz zu einem einfachen Mittel: „Morgens als erstes zweimal die Klospülung betätigen!“

Eine Etage über den High-Tech-Spürgeräten untersucht das Team um Andrea Joeris-Viethen von der „Organischen Abteilung“ die Wasserproben auf jene Stoffe, die heute die meisten Schlagzeilen machen: chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW), die vor allem aus Altlasten und Chemieunfällen stammen, und Pestizide aus Landwirtschaft und Gartenbau. Hier oben im Labor ist die Stimmung locker, Plakate und Aufkleber an den Wänden signalisieren Umweltbewußtsein. Auch die „Organische Abteilung“ vertraut auf die Empfindlichkeit von High-Tech-Geräten: Ihre sechs Gas-Chromatographen können noch 25 Nanogramm einer Substanz in einem Liter Wasser nachweisen – das entspricht einem Stück Würfelzucker, aufgelöst in 20 Schwimmbecken.

Trinkwasseralarm mußte die GEW noch nie auslösen; die Aktivkohle „arbeitet“ gerade bei organischen Stoffen zuverlässig. Die Proben direkt aus dem Rhein jedoch geben Anlaß zur Sorge: Viele Pestizide werden bei der Uferfiltration nicht komplett abgebaut.

Noch betreiben die Kölner Wasserchemiker ihre aufwendigen Messungen weitgehend freiwillig. Aber vom 1. Oktober 1989 an wird die sorgfältigere Überwachung des Lebensmittels Nr. 1 obligatorisch. Dann dürfen nach der neuen Trinkwasserverordnung von jedem einzelnen Pflanzenschutzmittel noch allenfalls 0,1 Millionstelgramm in einem Liter Trinkwasser enthalten sein, die Summe der Pestizide darf 0,5 Millionstelgramm nicht überschreiten – ein „politischer“ Grenzwert, kritisiert die chemische Industrie. Umweltschützer halten dagegen, daß die Langzeitwirkungen der meisten Stoffe ebenso unbekannt sind wie die Wechselwirkungen verschiedener Schadstoffe miteinander. Nach dem Prinzip „im Zweifel für die Gesundheit“ sollten deshalb ihrer Meinung nach die Grenzwerte möglichst niedrig liegen.

Mit immer aufwendigeren Methoden werden dem Wasser immer mehr Schadstoffe entzogen – doch die Rechnung zahlt der Verbraucher, nicht etwa der Verursacher. Wenn es auch in Zukunft heißen soll: „Dat Wasser von Kölle es jot“, wird das Wasserwerk bald zur Chemiefabrik und das preiswerte Naß zum teuren Trunk werden.

Aber trotz High-Tech hat das Wasser schon heute seine Tücken. Seit in den Haushalten vermehrt Kupferleitungen verlegt werden, häufen sich bestimmte Wasserrohrsäden: Das Wasser frißt sich offenbar durch die Wände der Kupferleitungen. Ein 42 Monate dauernder Großversuch des GEW-Labors konnte die Ursache für den Lochfraß an den Rohren noch nicht restlos klären – unter Laborbedingungen hielten die Rohre dicht. Rainer Pütz jedenfalls ist ratlos: „Wer alle Korrosionsprobleme löst, der hat schon fast einen Nobelpreis verdient.“

Der Mathematiker **Christoph Drösser**, 30, arbeitet als freier Wissenschaftsjournalist in Hamburg. Das Rheinwasserproblem kennt er seit seiner Kindheit: Er stammt aus Leverkusen.  
**Georg Fischer**, 41, Mitglied der Hamburger Fotografenvereinigung Bilderberg, ist spezialisiert auf technische Themen.

Alle Zahlenangaben: Wassermengen in km<sup>3</sup> pro Jahr, Jahrestdurchschnitt 1976–1985

**NIEDERSCHLÄGE**  
auf das Gebiet der  
Bundesrepublik Deutschland  
**215**

**VERDUNSTUNG**  
vom Gebiet der  
Bundesrepublik Deutschland  
**127**

**ABFLUSS KLEINER  
KÜSTENGEWÄSSER**  
vom Gebiet der Bundesrepublik  
Deutschland in Nord- und Ostsee  
**4**

**ELBE**  
Mündung  
**28**

**EMS**  
Mündung  
**4**

**WESER**  
Mündung  
**12**

**ELBE**  
Zufluß aus der  
DDR und CSSR  
**23**

**RHEIN**  
Abfluß in die  
Niederlande  
**77**



## Der wichtigste Rohstoff fällt aus den Wolken

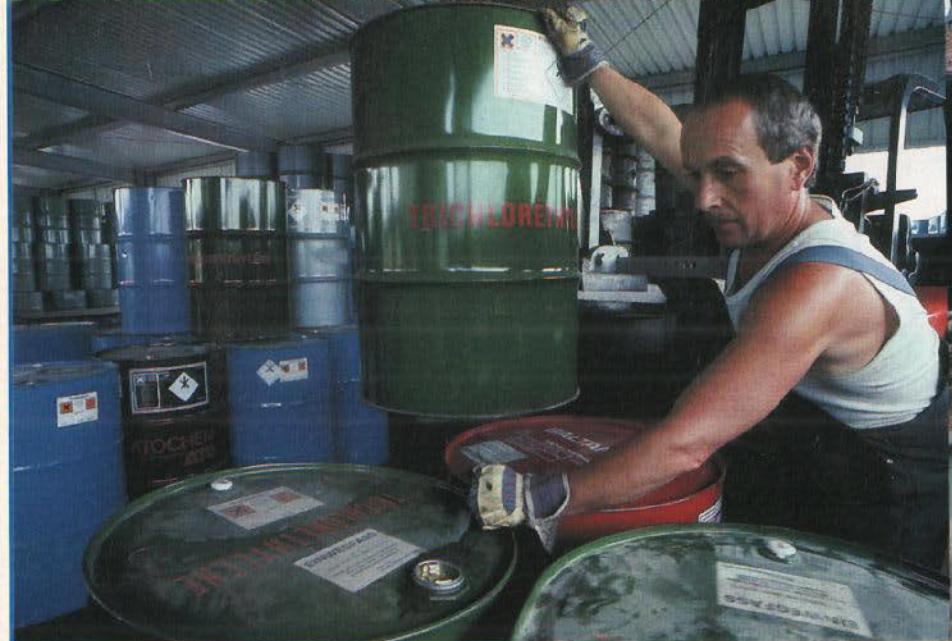
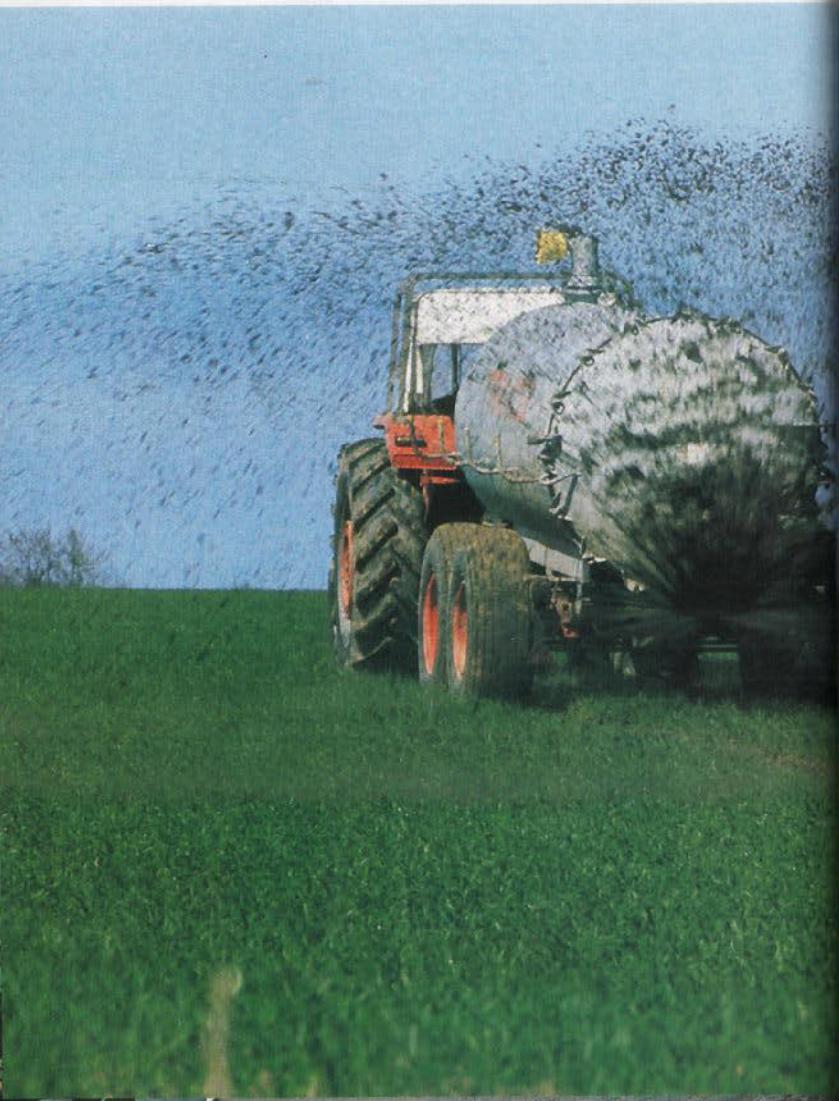
**A**n Wasser mangelt es wahrlich nicht in der Region zwischen Alpen und Nordsee. Ausgiebige Niederschläge, relativ gleichmäßig übers Jahr verteilt, machen Mitteleuropa zu einem der günstigsten Lebensräume der Erde – auch für Industriegesellschaften. Die bequeme Wasserver- und -entsorgung der Mitteleuropäer verführte freilich

zur Sorglosigkeit: Heute muß der wichtigste aller Rohstoffe oft schon vor der Nutzung teuer gereinigt werden – und danach erst recht. Nicht Wasser ist knapp geworden, sondern sauberes Wasser. Das verdeutlicht die „Einnahmeseite“ der bundesdeutschen Wasserbilanz (siehe Tabelle): Rund 215 Billionen Liter – viermal mehr, als der Bodensee

fäßt – fallen im Durchschnitt pro Jahr aus den Wolken; weitere 87 Billionen Liter – 87 Kubikkilometer – fließen von „Oberliegern“ zu, vor allem aus der Schweiz, Österreich und der DDR. Auf der „Ausgabenseite“ führen die Gewässerkundler Verdunstung und Abfluß ins Meer sowie ins benachbarte Ausland an.

**Wasserbilanz der Bundesrepublik Deutschland**  
(km<sup>3</sup>/Jahr; Quelle: Bundesanstalt für Gewässerkunde)

Jahresdurchschnitt	1976–85	1931–60
Niederschlag	215	207
Zufluß von Oberliegern	87	83
<b>Einnahmen</b>	<b>302</b>	<b>290</b>
Verdunstung	127	129
Abfluß über die Grenzen	124	116
Abfluß ins Meer	48	44
Unterirdischer Abfluß	1	1
Abfluß aus der BRD	173	161
Grund- und Bodenwasserbildung	2	±0
<b>Ausgaben</b>	<b>302</b>	<b>290</b>



Giftstoffe aus Müllhalden, Pestizide und Nitrat aus Schädlingsbekämpfung und Düngung, krebserregende Chemikalien aus Reinigungen und Industrie: Vielfältig

## GRUNDWASSER

Jahrzehntelang hat die Erde nur geschluckt: Chemikalien und Düngemittel drangen in den Boden – und verschwanden so aus dem Bewußtsein. Doch nun tauchen Pestizide, Nitrat und chlorierte Kohlenwasserstoffe in Grundwasserproben immer öfter wieder auf. Wasserwerker schlagen Alarm: Unsere Brunnen sind vergiftet

# Die sickernde Bombe

von CHRISTINE BROLL

Raunen geht durch die Runde im Feuerwehrheim im badischen Biengen. „Der Wasserwerkchef hätte am liebsten, daß wir zur Dreifelderwirtschaft zurückkehren“, sagt einer der Landwirte. Allgemeines Kopfschütteln. „Seit 30 Jahren sind wir auf den Maisanbau spezialisiert. Die Dreifelderwirtschaft wäre für die meisten von uns eine Katastrophe“, meint ein anderer. Aber allen in der Runde ist klar, daß es mit dem Maisanbau so wie bisher nicht weitergehen kann.

Die Äcker der im Feuerwehrheim versammelten Bauern wurden genau wie die ihrer rund 200 Berufskollegen in und um Biengen im letzten Frühjahr per einstweiliger Anordnung zum Wasserschutzgebiet erklärt. Der Freiburger Regierungspräsident Norbert Nothelfer sah sich zu diesem Schritt gezwungen, weil „Gefahr im Verzug“ war – Gefahr für das Trinkwasser von über 200 000 Bürgern im Freiburger Raum: Im Grundwasser, das auf das Wasserwerk Hausen der Freiburger Energie- und Wasserversorgungs-AG zuströmt, waren Nitrat und Pflanzenschutzmittel in besorgniserregenden Konzentrationen gefunden worden.

Gefahr im Verzug ist nicht nur in Freiburg. Allerorten steigen die Schadstoffmengen im Grundwasser an. In landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten bereiten Nitrat und Pestizide Probleme, in Ballungsräumen sind es vor allem chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKWs). Die großflächige Verseuchung ist längst nicht mehr allein ein ökologisches, sondern auch ein ökonomisches Problem, denn

Grundwasser ist in Deutschland die wichtigste Trinkwasser-Ressource. Jahr für Jahr fördern die Wasserwerke rund 2,6 Milliarden Kubikmeter im Wert von etwa fünf Milliarden Mark aus dem Boden.

Immer häufiger aber müssen sie melden, daß ihr Brunnenwasser nicht mehr genießbar ist. Dann bleibt nur die Wahl zwischen dem Bau einer teuren Aufbereitungsanlage oder der Schließung des Werks. Zwischen 1977 und 1985 mußten allein in Baden-Württemberg 247 Trinkwasserbrunnen wegen zu hoher Nitratwerte aufgegeben werden, bei 188 waren sie nur knapp unter der zulässigen Höchstgrenze von 50 Milligramm pro Liter. Weitere 148 Anlagen lagen 1985 zwar darüber, sie konnten aber durch Beimischung nitratarmen Wassers weiter betrieben werden.

Eine neue Welle von Schließungen ist ab Oktober 1989 zu erwarten. Dann wird nach der neuen Trinkwasserverordnung keine höhere Pflanzenschutzmittel-Konzentration als 0,1 Millionstelgramm pro Liter ( $\mu\text{g/l}$ ) erlaubt sein – alle Pestizide zusammen dürfen  $0,5 \mu\text{g/l}$  nicht überschreiten. Eine großangelegte Untersuchung in Baden-Württemberg zeigte, daß rund 100 „Wasserfassungen“ diesen Wert bereits überschreiten. Wie viele Wasserwerke pestizidhaltiges Trinkwasser abgeben, läßt sich gegenwärtig gar nicht abschätzen. Denn nur weit weniger als 100 der rund 300 hierzulande zugelassenen Pestizide lassen sich derzeit in solch niedrigen Konzentrationen überhaupt nachweisen. Die Zulassung für diese Wirkstoffe aber wird nach Inkrafttreten der neuen Verordnung ablaufen.

Reines Wasser aus Brunnen ist rar geworden. Längst stillen die Städte ihren



und die Quellen der Grundwasserverseuchung

Durst aus Reservoiren unter stadtfernen, noch naturnahen Gebieten. Grundwassersabsenkungen sind häufig die Folge.

- Frankfurt und andere Städte des Rhein-Main-Ballungsraums haben so lange Grundwasser aus dem Hessischen Ried gepumpt, bis ganze Eichenwälder abstarben und die ehemalige Sumpflandschaft zu versteppen drohte.
- Hamburg bezieht seit 1982 jährlich mehrere Millionen Kubikmeter bestes Grundwasser aus der Nordheide. Naturschützer berichten schon jetzt über trocken gefallene Bäche und Feuchtwiesen.
- München hat in Oberau bei Garmisch eine Brunngalerie gebohrt – gegen den geschlossenen Widerstand von Landrat, Bürgermeistern und Bevölkerung. Bislang blieb die befürchtete Grundwasserabsenkung aus.

Die Münchner begannen schon vor 100 Jahren, Wasser aus dem Umland zu fördern. Denn mangels Kanalisation und wenigen schleppender Entleerung der Abortgruben war ihr eigenes Grundwasser von schlechter Qualität. Heute ist die obere Grundwasserschicht vor allem durch Chemikalien belastet. Obwohl dieses Wasser nur als Brauchwasser genutzt wird, startete München vor einigen Jahren ein Untersuchungsprogramm, mit dem Umweltsünder aufgespürt werden sollen. Aus 1000 „Grundwassergegeln“ haben Wigand Kahl, Stadtdirektor im Umweltschutzreferat von München, und seine Mitarbeiter in Zusammenarbeit mit dem Wasserwirtschaftsamt seitdem Proben ziehen und analysieren lassen.

„Wenn wir in einem Pegel Schadstoffe entdecken, beginnt die kriminalistische Arbeit“, berichtet Kahl. „Bis jetzt haben wir 35 Verschmutzungsberde mit chlorierten Kohlenwasserstoffen entdeckt.“ Meist handelt es sich um Trichlorethylen und Perchloroethylen, kurz „Tri“ und „Per“ genannt. Verursacher sind oft metallverarbeitende Firmen, chemische Reinigungen, Druckereien und Transportunternehmen, die beim Lagern und Abfüllen die CKWs verschütteten.

Als CKWs als Ersatz für das explosionsgefährliche Waschbenzin eingeführt wurden, hielt man sie für einen großen Fortschritt. Erst allmählich werden die Folgen des sorglosen Umgangs mit diesen leichtflüchtigen Chemikalien deutlich: Ein Schnapsglas Tri oder Per genügt, um das Wasser eines 50-Meter-Schwimmbeckens ungenießbar zu machen. In der Bundesrepublik aber werden Jahr für Jahr schätzungsweise 60 000 Tonnen Per und 30 000 Tonnen Tri verbraucht – der Inhalt von rund fünf Milliarden Schnapsgläsern. Ein großer Teil davon endet nach wie vor in der Umwelt – auch im Grundwasser.

Hohe CKW-Konzentrationen wirken beim Einatmen narkotisierend und schädigen Leber und Nieren. Außerdem er-

härtet sich der Verdacht, daß CKWs krebserregend sind. Amerikanische Wissenschaftler berichten, daß Per bei Versuchstieren Nierentumore auslöst. „Wir hatten keine Ahnung, daß CKWs sogar durch Beton gehen“, berichtet der Geschäftsführer einer großen Münchner Chemikalienhandlung (Name der Red. bekannt). 1200 Liter der Chemikalien sickerten ins Grundwasser unter seinem Firmengelände, bis bei Untersuchungen der Schaden auffiel. Niemand hatte erwartet, daß beim Befüllen von Fässern das Grundwasser verunreinigt werden könnte – der Boden in der Lösemittelabfüllhalle war schließlich betoniert. Trotzdem war durch „Tropfverluste“ beim Abfüllen und Bettanken die große CKW-Menge in den Untergrund gelangt. Ein zweiter Herd war eine betonierte „Restmengenrinne“, durch die flüssige Abfälle abließen. „Jetzt haben wir eigene Versuche gemacht“, sagt der Geschäftsführer und schüttelt ob der Ergebnisse noch immer erstaunt den Kopf: „Innerhalb von etwa einer Stunde durchdringen CKWs eine 60 Zentimeter starke Betonschicht.“



Probenahme beim Pilotprojekt »umweltschonender Maisanbau« in der Nähe von Freiburg: weniger Herbicide und Nitrat

Auf dem Firmengelände arbeiten mittlerweile vier Anlagen an der Sanierung des Grundwassers, darunter eine „Doppelkammerstripanlage“, die pro Stunde 30 Kubikmeter verschmutztes Grundwasser fördert und fein zerstäubt, wobei die leichtflüchtigen CKWs in die Luft entweichen. Das „gereinigte“ Wasser leitet die Firma in den Untergrund zurück. Für diese und andere Sanierungsmaßnahmen hat sie bislang rund 250 000 Mark ausgegeben.

„Doch picobello sauber“, so Stadtdekan Kahl, „bekommt man das Grundwasser auch durch eine Sanierung nicht. Ob wir alle CKW-Linsen, die sich am Boden der wasserführenden Schicht ange-

## Katalog mit vielen Unbekannten: Nur 64 von 214 Stoffen sind analysierbar

Laut »Wasserpfennig-Gesetz« dürfen Baden-Württembergs Bauern in Wasserschutzgebieten nur

Acephat	Calciumcyanamid	Dichlorvos
Alfamethrin	Calciumcyanid	Diclobutrazol
Alachlor	Carbendazim	Diclofop-methyl
Alpha-Naphthylessigsäureamid	Carboxin	Dicofol
Alpha-Naphthylessigsäureester	Chinomethionat	Dicropophos
Anilazin	Chlorfenvinphos	Dicyclopentadien + Zibethextrakt
Anthrachinon	Chlorflurenol-Ester	Dienochlor
Azinphos-ethyl	Chloridazon	Difenoquat
Azinphos-methyl	Chloromequat	Diflubenzuron
Azocyclotin	Chloroxuron	Dinocap
Belag grobkörniger Mineralstoffe	Chlorphacinon	Dioxacarb
Bendiocarb	Chlorphonium	Disulfoton
Benomyl	Chlorpropham	Dithianon
Benzoylprop-ethyl	Chlorpyrifos	Diuron
Beta-Indolybuttersäure	Chlorthalonil	Dodemorph
Beta-Indolylessigsäure	Chlortoluron	Eisen-II-Sulfat
Bifenox	Clofentezin	Endothal
Binapacryl	Cyanamid	Endosulfan
Bitertanol	Cycloat	Entsäueretes Steinkohlenteeröl
Bromfenoxim	Cyfluthrin	EPTC + R 25 788
Bromophos	Cyhexatin	Ethanol
Bromophos-ethyl	Cymoxanil	Ethepron
Bromoxynil-Ester/Salze	Cypermethrin	Ethirimol
Bupirimat	2,4-D-Salz	Ethofumesat
Butocarboxim	Dalapon	Fenarimol
Butylat	Daminozid	Fenbutatin-oxid
	Deiquat	Fenfuram
	Deltamethrin	Fenpropatrin
	Demeton-S-methyl	
	Demeton-S-methylsulfon	
	Desmetryn	
	Dialifos	
	Dichlofluuanid	
	Dichlorprop-Salz/Ester	

sammelt haben, beseitigen können, ist nicht mit Sicherheit zu sagen.“

Vor allem jenen Münchnern, die nicht auf reines Bier verzichten wollen, muß der „obere Grundwasserleiter“ (siehe Grafik Seite 70/71) am Herzen liegen. Niemand kann garantieren, daß CKWs nicht auf Dauer von dort durch die schützende Deckschicht in das Tiefenwasser sickern und damit in die Brunnen der Münchner Brauereien, die ihr Brauwasser aus 100 bis unter 200 Meter Tiefe fördern.

Besonders betroffen von CKW-Verschmutzungen ist Mannheim. Ein Teil des Brunnenwassers des Wasserwerks Rheinau – es liefert 60 Prozent des Trinkwassers für die 300 000-Einwohner-Stadt – ist laut Trinkwasserverordnung nicht mehr für den menschlichen Genuss geeignet. In einzelnen Brunnen wurden seit 1985 60 bis 90 Milligramm CKW pro Kubikmeter gemessen – Trinkwasser darf insgesamt aber nur 28 enthalten.

„Ein riesiger CKW-haltiger Wasserstrom fließt unterirdisch auf das Wasserwerk Rheinau zu“, erklärt der Leiter der Wasserwerke Rhein-Neckar AG (RHE), Hansjörg Weiss. „Vor der Brunnengalerie ist der Strom zwei Kilometer breit und 40 Meter tief. Das wird auch in den nächsten 15 bis 20 Jahren so bleiben.“

Bereits im Herbst 1979 waren in den Rheinauer Brunnen CKWs entdeckt worden. Die Wasserwerker mußten schon damals befürchten, die Grenzwerte auf

Dauer nicht mehr einhalten zu können. Doch eine Stilllegung des Werks kam nicht in Frage. „Mannheim ist auf dieses Wasser angewiesen. Ein Werk dieser Größe kann man nicht von heute auf morgen schließen“, sagt Weiss. Langfristig konnte die Wasserversorgung Mannheims nur durch eine Aktivkohlefilteranlage gesichert werden, welche die CKW-Konzentration auf 5 Milligramm pro Kubikmeter senkt.

Nach umfangreichen Ermittlungen konnten die zuständigen Staatsanwaltschaften im Oktober 1986 die Täter überführen. Die RHE reichte beim Landgericht Heidelberg Klage gegen die Heidelberger Firmen Graubremse und Chemi-

sche Werke Kluthe ein. Sie verlangte über 17 Millionen Mark als Ersatz der Kosten für Bau und Betrieb der Filteranlage. Schon kurz darauf einigten sich die Parteien auf einen außergerichtlichen Vergleich.

Auch andere Betriebe, denen früher oder später eine Beteiligung an der Grundwasserverschmutzung nachgewiesen worden wäre, erklärten sich mit den angeklagten Unternehmen solidarisch. Bei der „Kollekte Tri“ kamen neun Millionen Mark als Schadensersatz an das Wasserwerk zusammen. Doch auch die Mannheimer Bürger müssen für die CKW-Verschmutzungen herhalten: Für die entsprechende Aufbereitung eines

*Immer wieder müssen Trinkwasserbrunnen wegen zu hoher Nitratwerte geschlossen werden*



*Noch Pestizide einsetzen, die Wirkstoffe aus dem »Positiv-Katalog« (unten) enthalten. Doch 70 Prozent der Substanzen können nicht nachgewiesen werden*

Fenthion	Kali-Seife	Naphthylessigsäure	Piperonylbutoxid	Thiophanat-methyl
Fentinacetat	Kupfernaphthalen + atherische Öle	Napropamid	Piproctanyl	Thiram
Fentihydroxit	Kupfernaphthalen + Naturharze	Nitrothal-isopropyl	Pririmiphos-methyl	Tierkörpermehl
Fenvalerat	Kupferoxychlorid	Nuarimol	Prochloraz	Tierkörperfett + entsäuerter Baumteer
Ferbam		Omethoat	Procymidon	Promecarb
Fettsäuren	Lecithin	Oxydemeton-methyl	Propachlor	Propamocarb
Flamprop-M-isopropyl	Lenacil	Parathion	Propiconazol	Propiconazol
Flubenzimin	Linuron	Parathion-methyl	Propineb	Tolclofos-methyl
Fluorochloridon	Malathion	Paraffinöl	Propyzamid	Tolyfluanid
Flurenol	Maneb	Paraquat	Pyrazophos	Triadimenfon
Formetanat	Mancozeb	Parfumöl Daphne	Pyrethrine	Triadimenol
Fosetyl	MCPA (Läuterungspatrone)	Penconazol	Quarsand	Triallat
Fuberidazol	MCPA-Ester/Salze	Pencycuron	Quizalofop-Ester	Triazophos
Furalaxyd	Mecoprop-Ester/Salze	Pendimethalin	Rinderblut	Trichlorfon
Furmecyclox	Mepiquat	Permethrin	Rotenon	Tridemorph
Glyphosat	Metalaxyl	Pflanzlicher Vergällungsstoff + Harze + Stearinpech	Schwefel	Trifluralin
Guazatin	Metadehyd	Pflanzlicher Vergällungsstoff + Stearinpech	Sulfotep	Triforin
Heptenphos	Metamitron	Pflanzlicher Vergällungsstoff + Stearinpech + körnige Mineralstoffe	Synthetische Riechstoffe	Vinclozolin
8-Hydroxychinolin	Methabenzthiazuron	Phenmedipham	Synthetische Riechstoffe + Harze	Warfarin
Hymexazol	Methamidophos	Phosalon	Tebutam	Zineb
Imazalil	Methfuroxam	Phosphamidon	Terbufos	Zinkphosphid
Ioxynil-Salz	Methidathion	Phoxim	Terbutylazin	Z-9 Dodecenylacetat
Iprodion	Methiocarb		Terbutryny	
Isotenphos	Metiram		Thiabendazol	
Isoproturon	Metobromuron		Thiocyclam	
	Metolachlor			
	Metoxuron			
	Metsulfuron-Ester			
	Mevinphos			
	Mineralöl			
	Mineralstoffe gebunden mit Vinylpolymeren			
	Monolinuron			

■ nicht analysierbar

□ analysierbar

Kubikmeters Wassers bezahlen sie zehn Pfennig mehr.

Wenn Hansjörg Weiss die Sorgen mit den CKWs „nur“ in Rheinau hätte, wäre er glücklich. Doch auch auf das Wasserwerk Käfertal, das 40 Prozent des Mannheimer Trinkwassers liefert, strömt eine „CKW-Fahne“ zu. Zur Zeit kann sie noch durch „Abwehrbrunnen“ umgeleitet werden, hat aber schon Kosten in Millionenhöhe verursacht, die derzeit noch die Stadt Mannheim trägt. Darüber hinaus wachsen in Rheinau auch die Probleme mit dem Nitrat. In einigen Brunnen liegt die Nitratkonzentration schon deutlich über dem Grenzwert von 50 Milligramm pro Liter. „Nur durch geschicktes Fahren der Brunnen kann im abgegebenen Trinkwasser ein Wert von 40 Milligramm pro Liter eingehalten werden“, erklärt Weiss. Um das nitratreiche Rheinauer Wasser mit nitratarmem mischen zu können, erweiterten Mannheim, Heidelberg und einige Umlandgemeinden in der Nähe von Schwetzingen ein Gemeinschaftswasserwerk; Kosten: 27 Millionen Mark. Resignation und Wut mischen sich bei dem Ingenieur: „Es kann nicht Aufgabe der Wasserwerke sein, immer den Dreck herauszuholen, den andere hineintun, und dann auch noch ins Gerede zu kommen.“

Vor allem die Düngung der Felder verursacht die hohen Nitratwerte im Grundwasser. Davon betroffen sind besonders alle landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebiete wie der Oberrheinitalgraben, die Mosel-, Main- und Neckar-Niederungen, das norddeutsche Flachland und der Niederrhein.

Nicht Nitrat selbst ist gesundheitsschädlich, sondern seine Abbauprodukte. Schon in der Mundhöhle bauen Bakterien teilweise das Nitrat in Nitrit um. Dieses Nitrit reagiert im Magen mit Aminen zu den krebserregenden Nitrosaminen. „Somit entstehen im Organismus potentiell krebserzeugende Stoffe aus Vorstufen, die selbst nicht krebserzeugend sind“, erklärt Rudolf Preussmann vom Deutschen Krebsforschungsinstitut. Nach gleichzeitiger Verfütterung von Nitrit und Aminen an Versuchstiere wurden die für die entsprechenden Nitrosamine typischen Tumore festgestellt. N-Nitrosoverbindungen gehören zu den potentesten chemischen Karzinogenen, die derzeit bekannt sind. Bei den Tierexperimenten wurden allerdings hohe bis sehr hohe Nitritkonzentrationen eingesetzt.

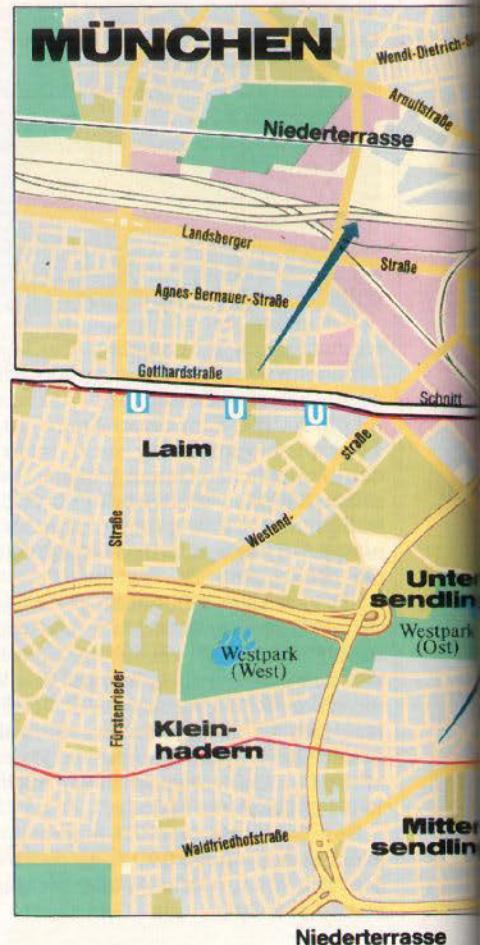
Bei Babys kann das Nitrat außerdem die sogenannte Blausucht hervorrufen, an der das Kind quasi innerlich erstickt kann. Dank regelmäßiger Trinkwasserkontrollen trat diese Krankheit in der Bundesrepublik während der vergangenen Jahrzehnte nur noch selten auf.

Eine „böse Überraschung“ erlebte Weiss' Freiburger Kollege Wilhelm Beck,

als er – um künftig den Grenzwert eingehalten zu können – nitrathaltiges Grundwasser mit nitratarmem Flusswasser strecken wollte. „Vorsichtshalber untersuchten wir vorher diese Flüsse auf Pestizide. Wir fanden jede Menge!“ Eine Beimischung des Uferfiltrats der Flüsse zur Lösung des Nitratproblems schied also aus. Nach diesen alarmierenden Befunden wurde das gesamte Vorfeld der Tiefbrunnen untersucht.

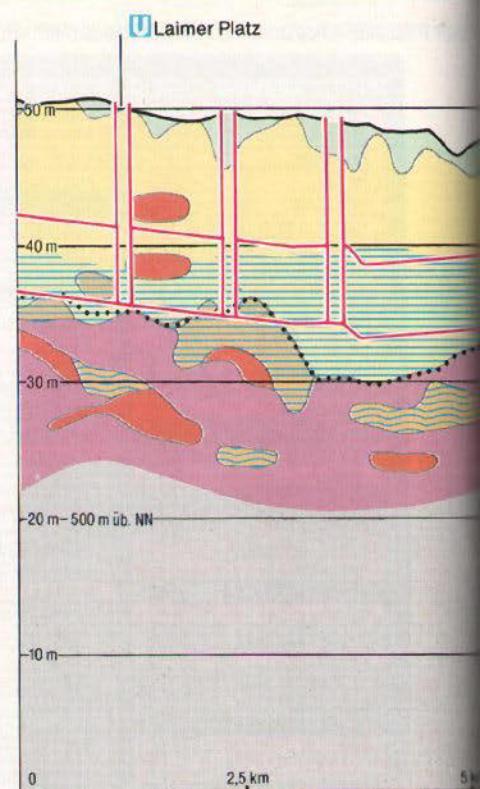
„Die Grund- und Flusswasseruntersuchungen im Vorfeld waren noch erschreckender“, erklärt Beck aufgebracht. Insgesamt fand er 27 Wirkstoffe – unter anderem das Herbizid Metazachlor, dessen Konzentration den zulässigen Grenzwert um das 1500fache überschritt. Das vor allem im Maisanbau verwendete Atrazin wurde in 50 Prozent, dessen Abbauprodukt Desethylatrazin in 79 Prozent der Proben gefunden. „In den Brunnen selbst finden wir bis jetzt nur Spuren. Aber wenn das so weitergeht, werden wir 1990 die Grenzwerte erreicht haben.“

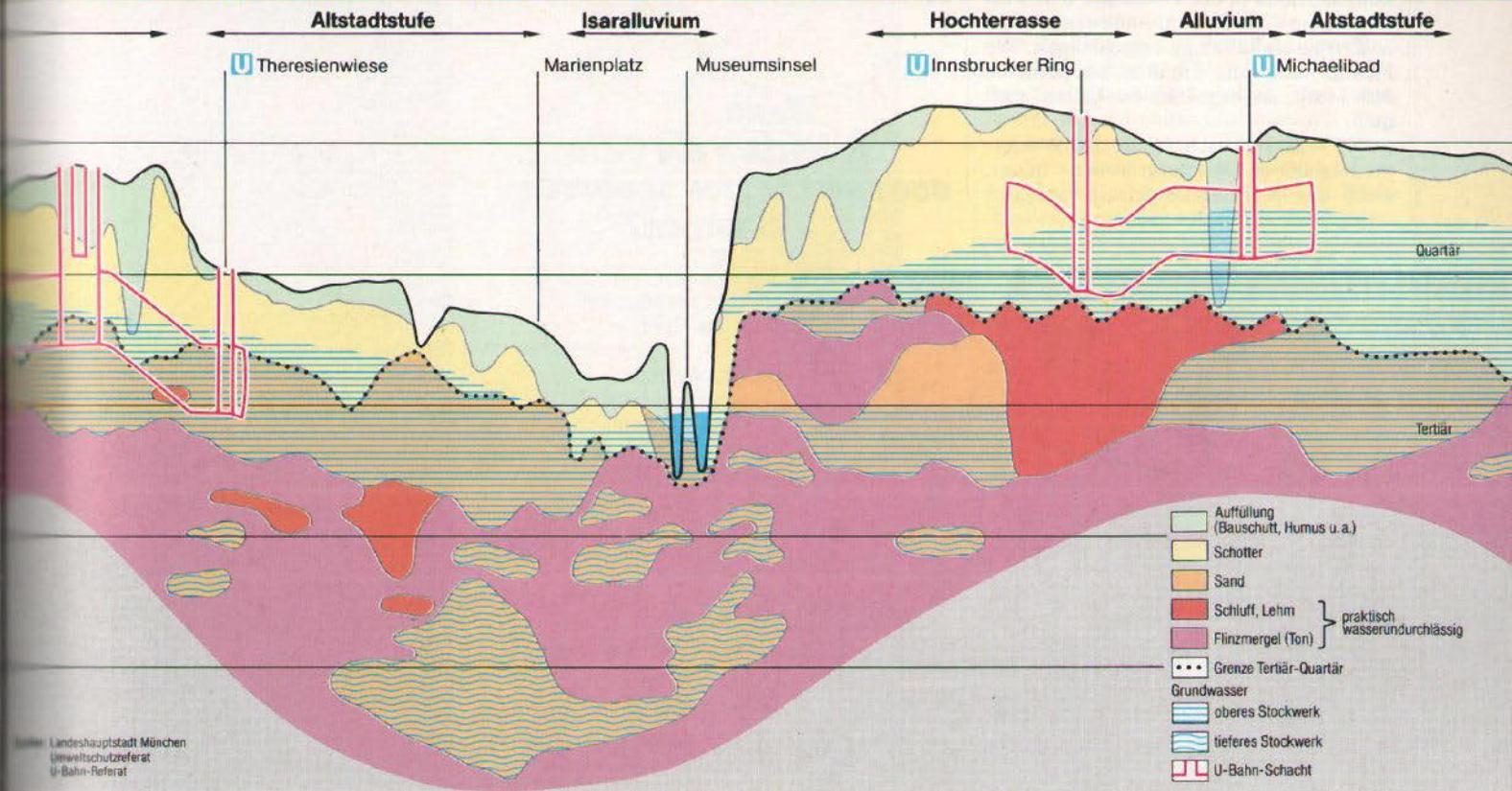
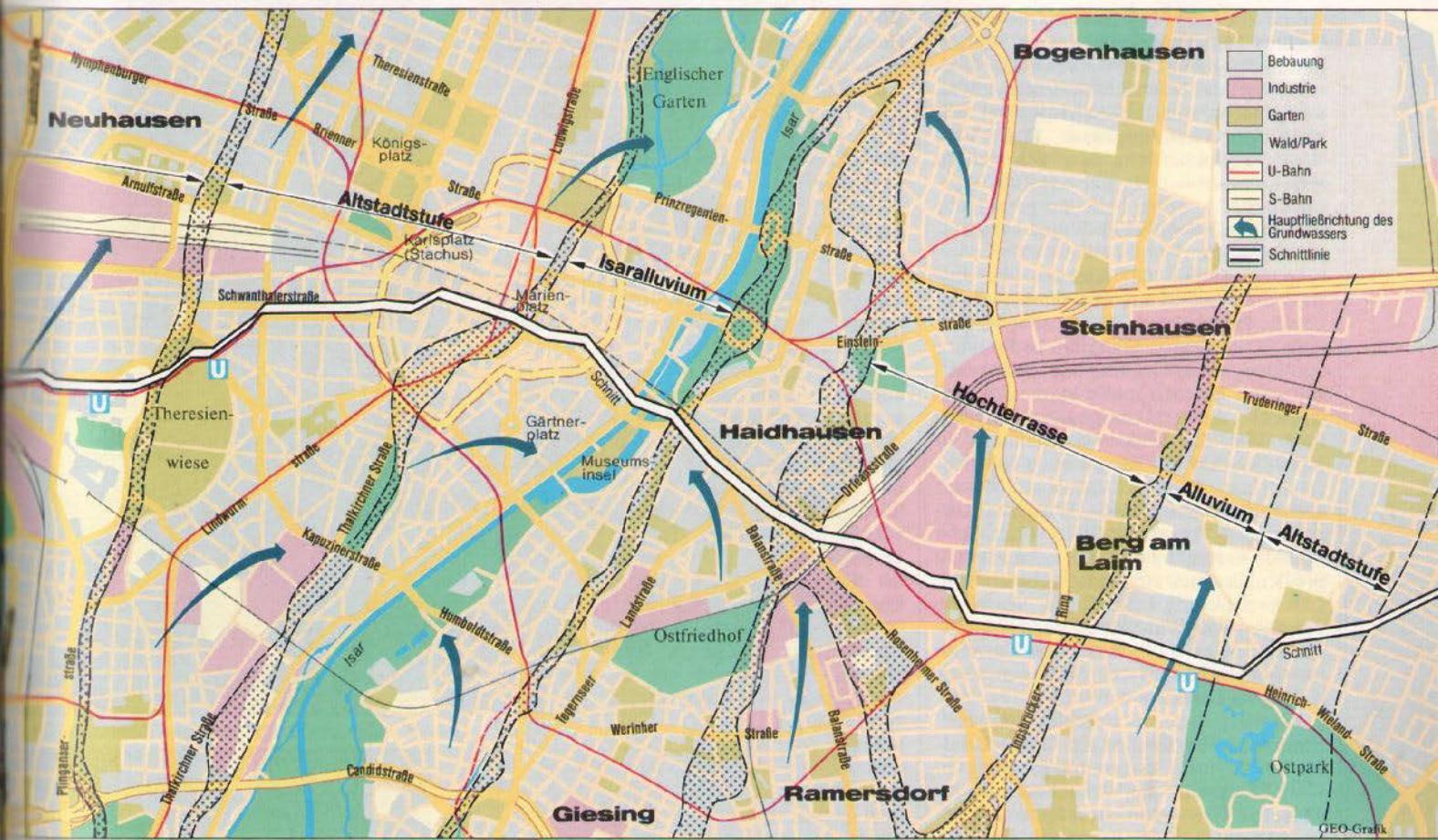
Soweit wollte es der streitbare Wasserwerkschef nicht kommen lassen. Er schlug Alarm. Rückblickend meint er: „Am Anfang, als ich an die Öffentlichkeit ging, war es wie ein Donnerschlag.“ Vor allem die Landwirte reagierten erbost auf Becks Äußerungen, sie trafe die Hauptschuld an der Grundwasservergiftung. Der „Badische Landwirtschaftliche



## Beispiel München: Lasten im Herzen der Weltstadt

Die bayerische Hauptstadt begann 1984, ihr Grundwasser auf eingedrungene, bislang unerkannte Schadstoffe zu überprüfen. Inzwischen liegen aus mehreren tausend Bohrungen Ergebnisse vor. Details wurden nicht veröffentlicht. Eines ist jedoch klar: Von 1971 bis Anfang 1980 wurden etwa 50 Millionen Kubikmeter Grundwasser – der Inhalt des bayerischen Schliersees – abgepumpt, um den U-Bahn-Bau zu erleichtern. Das hat den Verlauf der unterirdischen Wasserströme drastisch gestört. Schlimmer noch: Bei solchen Tiefbauarbeiten können unterschiedliche Wasserstockwerke miteinander verbunden werden – mit der Folge, daß belastetes Wasser in tiefere, noch saubere Schichten dringt





Hauptverband“ beschwerte sich, daß Bauern „ungerechtfertigt an den Pranger gestellt“ würden. Den städtischen Gremien warf der Verband unsachliche Meinungsmache vor. Inzwischen haben sich die Wogen wieder geglättet. „Daß ich als Wasserwerkschef ein paar Schrammen abbekommen würde, war mir klar“, verrät Beck. „Aber ich habe das getan, was ich als verantwortlicher Wasserwerksleiter tun mußte.“

Im November 1987 reichte er den Antrag auf Erweiterung des Wasserschutzgebiets Hausen von 778 auf 3544 Hektar beim Regierungspräsidenten in Freiburg ein. Der gab dem Antrag per „Sofortvollzug“ drei Monate später statt. Das umstrittene „Wasserpfenniggesetz“, seit Anfang 1988 in Baden-Württemberg in Kraft, machte die Erweiterung möglich. Jeder, der dem Naturhaushalt Wasser entnimmt, muß nun „Wasserentnahmemeingelt“ bezahlen. Die öffentliche Wasserversorgung wird mit zehn Pfennig pro Kubikmeter zur Kasse gebeten. Die Landesregierung schätzt, daß durch die Abgaben von Wärme- und Wasserkraft- sowie von Industrie und Gewerbe pro Jahr insgesamt 160 Millionen Mark zusammenkommen.

Parallel zum „Wasserpfenniggesetz“ traten neue Bestimmungen für die Landwirtschaft in Wasserschutzgebieten in Kraft. Zwar sind die Maßnahmen aus juristischen Gründen nicht miteinander gekoppelt, doch in der Praxis soll der Wasserpfennig dazu dienen, Landwirte für ihre Ertragseinbußen zu entschädigen. Pro Hektar und Jahr erhalten sie pauschal 310 Mark, in begründeten Fällen auch mehr.

Die Wasserwirtschaft, die den Wasserpfennig lieber „Wassergroschen“ nennt, sieht das Verursacherprinzip auf den

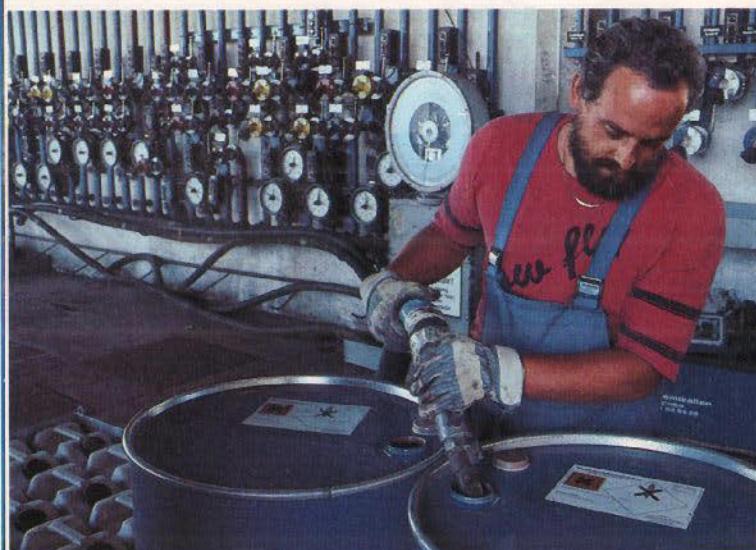
Kopf gestellt. Das sei, argumentiert der Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, so absurd, als müßten die Fußgänger Entschädigung dafür zahlen, daß aggressive Autofahrer sich an die Verkehrsregeln halten. Zur Bekämpfung der Überdüngung schlägt der Verband eine Abgabe auf mineralische Stickstoffdünger vor, die auch der Sachverständigenrat für Umweltfragen fordert.

So problematisch der Wasserpfennig auch ist: Die Landesregierung in Stuttgart spielt damit eine Art Vorreiterrolle in puncto Grundwasserschutz. Durch das neue Gesetz wird nicht nur das Grundwasser im Freiburger Raum entlastet. In allen baden-württembergischen Wasserschutzgebieten sollen die Bauern fortan 20 Prozent weniger Stickstoff ausbringen, als nach den Regeln der „ordnungsgemäßen Dungung“ erlaubt wäre. Außerdem dürfen sie nur die Pflanzenschutzmittel verwenden, deren Wirkstoffe in einem „Positivkatalog“ verzeichnet sind. Das für das Grundwasser so gefährliche, weil krebsverdächtige Atrazin ist nicht dabei.

Wilhelm Beck wäre es am liebsten, im Wasserschutzgebiet würde der Maisanbau vollkommen verboten, der nach seiner Ansicht die Grundwasserverschmutzung hauptsächlich verursacht. Am Hausener Wasserwerk wird seine Forderung verständlich: Maisfelder, so weit das Auge reicht, nur ein schmaler Streifen Grünland liegt zwischen Brunnenhäuschen und Maisäckern.

## **Wann erreichen die Gifte auch den letzten sauberen Brunnen?**

Eine Flut von Chemikalien, die niemand mehr überblickt, gefährdet das Grundwasser allerorten. Manche Lösungsmittel, die lange Zeit als unbedenklich galten, zählen heute zu den gefährlichen Stoffen. Oft sind es nur Tröpfchen, die beim Abfüllen danebengehen: Sie durchdringen sogar Beton und sickern in tiefere Schichten



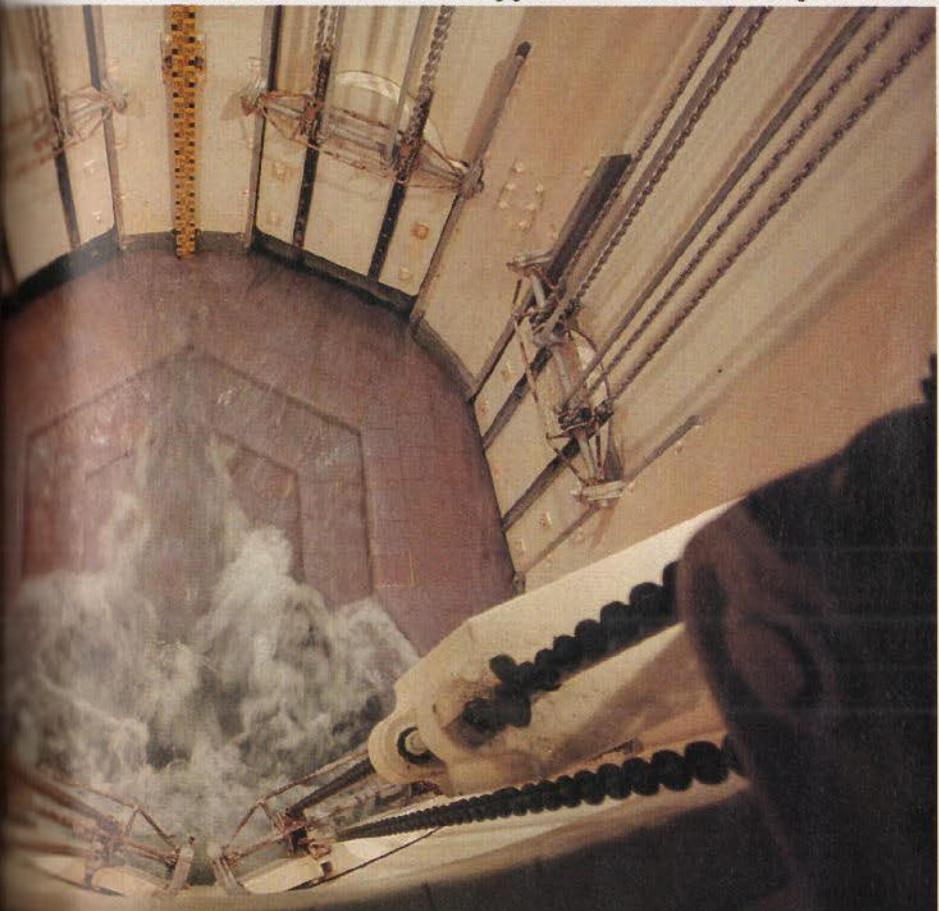
Ein „Kühlschiff“ für gekochte Bierwürze: Die



Das Wasser aus dem Reisach-Brunnen, einem



meisten Brauereien sind von Grundwasser abhängig. Sie fördern ihr Wasser aus eigenen Brunnen



der ältesten der Münchner Stadtwerke, ist noch so rein, daß es nicht aufbereitet werden muß

Nicht ohne Grund hat der Mais bei Naturschützern und Wasserwerkern einen schlechten Ruf. Denn besonders bei der Düngung von Maisfeldern verfahren die Bauern getreu der Regel: viel hilft viel. Außerdem sind Unkrautvernichtungsmittel – Herbizide, wie vor allem Atrazin – unverzichtbar, weil konkurrierende Pflanzen die Maistriebe überwuchern würden. Dennoch nehmen bundesdeutsche Bauern heute doppelt so große Maisanbauflächen unter den Pflug als noch vor 10 Jahren – rund 1,1 Millionen Hektar oder 15 Prozent des Ackerlandes.

Konrad Müller, Landwirtschaftsdirektor am Regierungspräsidium Freiburg, hat im erweiterten Wasserschutzgebiet Hausen in diesem Jahr das Pilotprojekt „Umweltschonender Maisanbau“ gestartet. Finanziell unterstützt vom Land versuchen 122 Bauern, Dünger und Herbizide in ihren Maisäckern zu reduzieren. Den Dünger bringen sie – durch „Unterfußdüngung“ – nur im engen Wurzelbereich aus, statt ihn über das ganze Feld zu verteilen. Zusätzlich sollen Gräser zwischen den Maisreihen die Nitratauswaschung eindämmen. Unkräuter bekämpfen die Bauern vor allem mit der Hacke, gespritzt wird nur noch in unmittelbarer Nähe der Pflanze.

Für die Obmänner dieses Projekts, die im Feuerwehrheim Biengen beisammensitzen, ist die Mehrarbeit das größte Problem. „Wir leisten immer mehr Arbeit für immer weniger Verkaufserlös“, sagt einer. Noch können die Bauern zwar mit den Zuschüssen aus dem Etat des Pilotprojekts rechnen. „Doch was wird, wenn wir den umweltschonenden Maisanbau später selbst finanzieren müssen?“ fragt ein anderer.

„Was wird?“ fragt sich auch der Freiburger Wasserwerkschef Wilhelm Beck. Er bleibt pessimistisch: „Alle diese gutgemeinten Maßnahmen greifen – wenn überhaupt – erst, wenn der Grenzwert längst überschritten ist.“ Zu groß sei die Altlast, die schon im Boden und im Grundwasser ruhe. Nur der Verzicht auf intensive landwirtschaftliche Nutzung in Wassereinzugsgebieten könne noch Besserung bringen. Pestizide müßten dort generell verboten werden: „Substanzen, die nicht ins Trinkwasser gehören, sollten auch in Wassereinzugsgebieten nicht zugelassen sein“, fordert er.

Also doch Rückkehr zur traditionellen Dreifelderwirtschaft? „Ja. Ich würde auch 1500 Mark Ausgleich pro Hektar bezahlen. Davon kann der Bauer gut leben, wir hätten keine Probleme mit der Überproduktion und vor allem sauberes Grundwasser.“ □

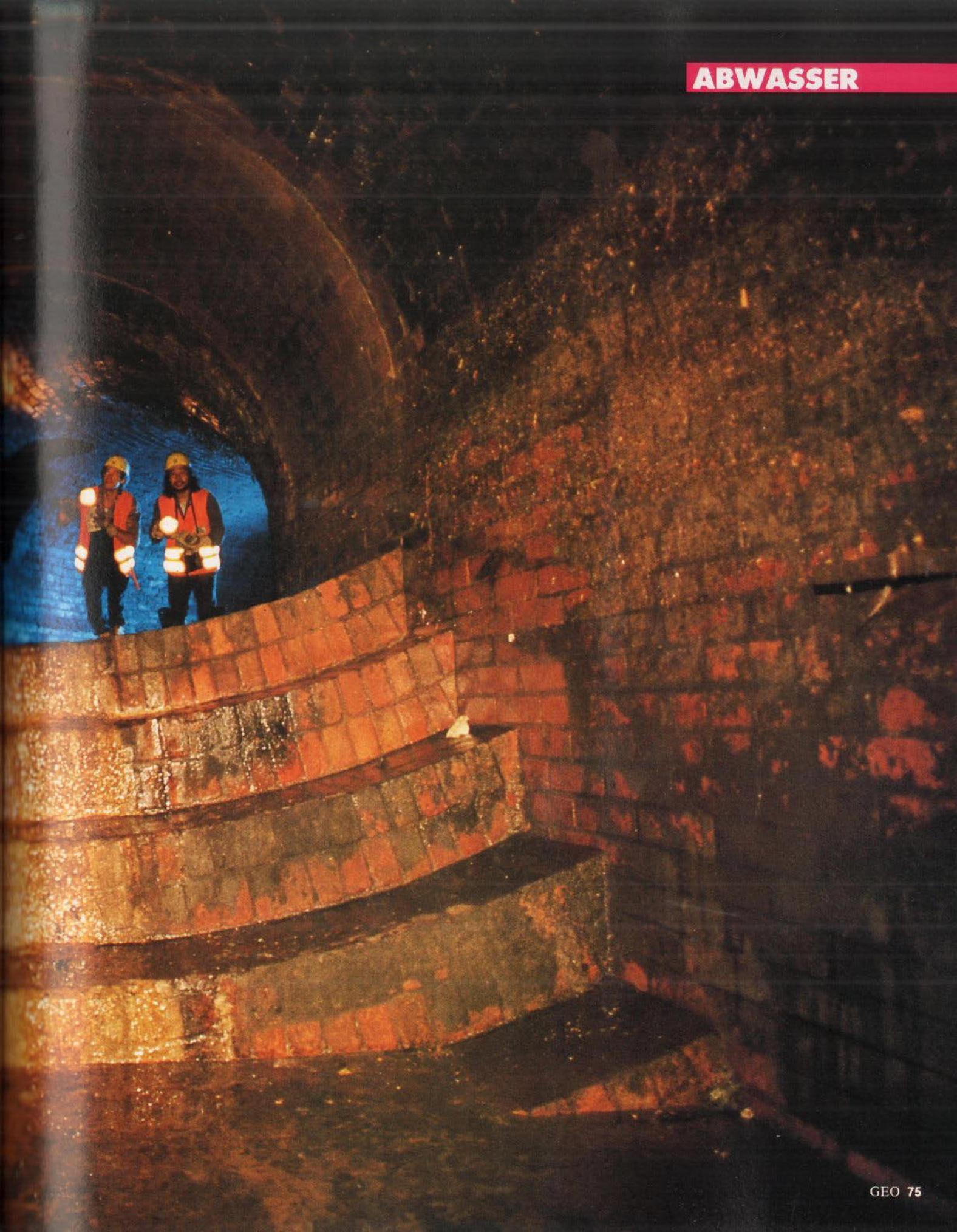
**Christine Broll**, 30, arbeitet als freie Wissenschaftsjournalistin in Tutzing am Starnberger See. Die Biologin und Spezialistin für Süßwasserökologie schreibt regelmäßig für GEO.



Vergraben, vergessen und verdrängt: Unter unseren Städten fließen die Abwässer zu mächtigen Strömen zusammen. In den unterirdischen Kanälen zeigt sich das wahre Ausmaß heimlicher Müll-Entsorgung: Unmengen gefährlicher Chemikalien machen unsere Gewässer krank. Immer aufwendigere Klärtechniken sollen das verhindern. Ätzende Gase zerfressen die Gemäuer und belasten die Lungen der Männer, die in den Röhren schufteten. In Hamburg halten die Arbeiter die ältesten Abwasserkanäle des Kontinents, die Siele, in Ordnung. Eine Reportage aus den Gedärmen der Metropole im Norden

# Eine Stadt entleert sich

**ABWASSER**



**D**IE REGELN der Unterwelt lernst du schnell. Wenn du gebückt im „Querschnitt“ stehst und neun Liter Klosett-Spülwasser auf dich zuschießen, dann gibt es kein Entweichen mehr. Fortan wirst du Hausanschlüsse meiden. Oder wenn sie sagen: „Die Schieber hängen zehn Zentimeter aus dem Scheitel.“ Dann weißt du, daß sie „Bükken!“ meinten, wenn das Hindernis deinen Schutzhelm in die Brühe schlägt.

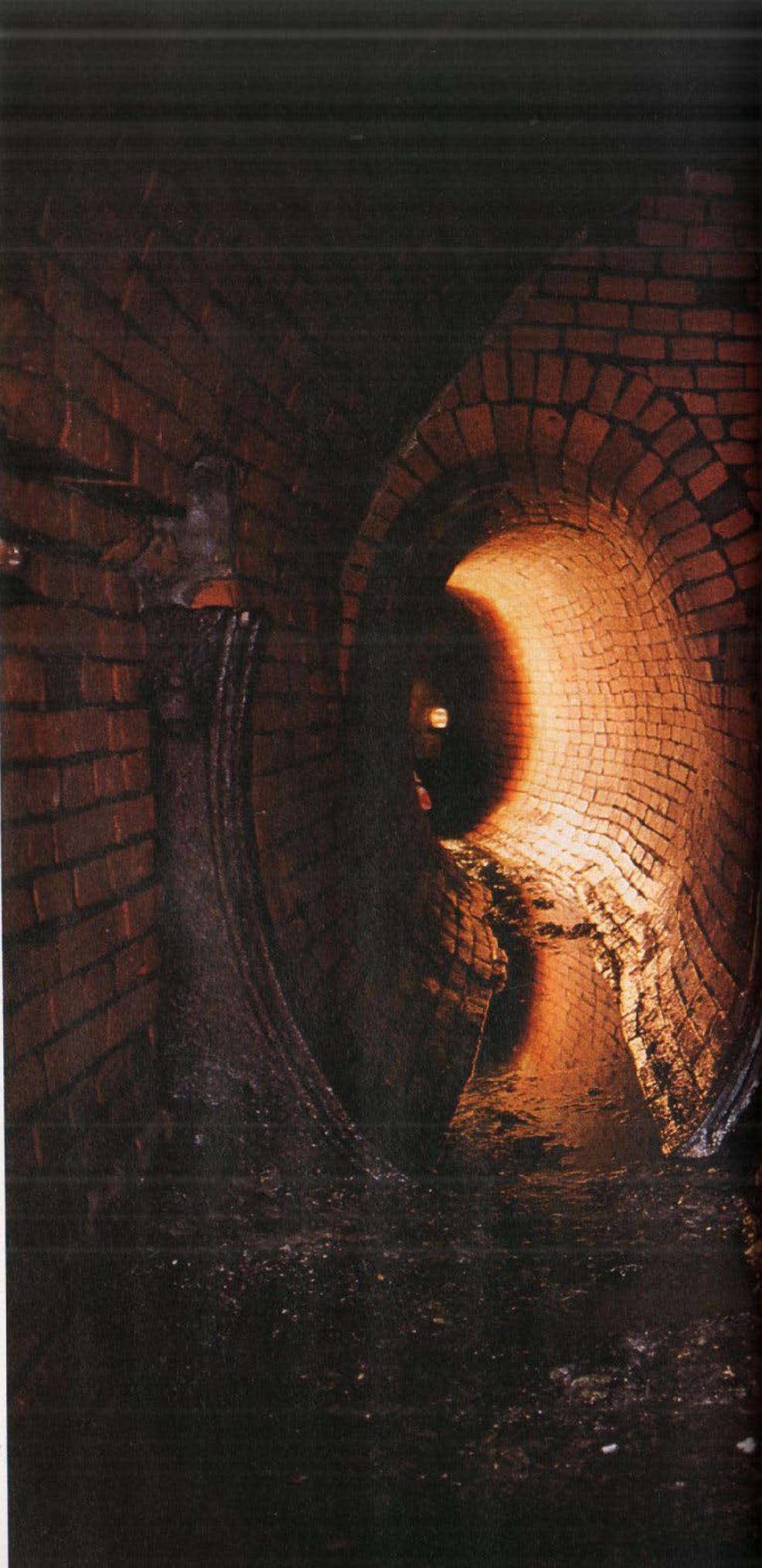
Großstadtgedärm. Einmal wird mir schwarz vor Augen: Als uns unter der Heilwigstraße in Hamburg-Winterhude das Abwasser bis zum Bauchnabel steht und die morgendlichen Hinterlassenschaften der feineren Gesellschaft um die Stiefelhosen schwappen. „Nee“, sagt der dicke Hugo drunter im „Siel“, wie die Hamburger ihre Abwasserkanäle nennen, „die Sahne is das nech“, und läßt den graubraunen Schmant durch die Finger seiner roten Gummihandschuhe rinnen.

Oben stauen sich die Autos vor den weiß-roten Hütchen, und eine Passantin mit frisch frisiertem Pudelschimpft: „Muß dieser widerwärtige Geruch denn sein?“ Sie könnte nicht verstehen, daß ausgerechnet hier der Kanal abgemauert werden muß, weil zwei Kilometer sielab im Stammsiel unter der Fontenay-Allee akute Einsturzgefahr besteht.

Da muß Sielmeister Ewald Stomber wieder einmal ganz weit ausholen, um „die Lage auseinanderzusetzen“. Geduldig erklärt er der Dame, daß das Hamburger Sielsystem rund 5000 Kilometer umfasse. Daß mit dem Bau schon vor über 140 Jahren begonnen wurde und es somit die älteste Kanalisation auf dem Kontinent sei. Daß über 700 Siel-Kilometer erheblich älter seien als die rechnerische Lebensdauer von 77 Jahren und daß es folglich ständig Reparaturbedarf gebe.

Wenn sich die Anwohnerin das Ganze nun noch als ein großes Spinnennetz vorstellen möge, ein Labyrinth mit vielen Querverbindungen, dann würde sie vielleicht verstehen, warum Herr Stomber hier „das Wasser über das Isebek-Stammsiel wegführen muß“, damit die Arbeiter unter der Fontenay-Allee „nech in Schiet stehn“.

Nein, leicht haben sie es nicht, die 1375 Mitarbeiter der Hamburger Stadtentwässerung. Immer wieder müssen sie sich verteidigen, als ob es an ihnen läge, daß das nicht ständig so reibungslos klappt mit dem Prinzip der Schwemmkanalisation. Danach werden die jährlich 210 Millionen Kubikmeter Abwasser – soviel wie aus einer Milliarde Badewannen – „üblicherweise im freien Gefälle abgeleitet“, wie es





**Auf allen  
vierzen im Bauch  
der City**

Rund 5000 Kilometer lang ist das Hamburger Sielnetz, ein Labyrinth aus gemauerten Röhren, teilweise über 140 Jahre alt. Bei der Inspektion müssen die Sielarbeiter in 86 Zentimeter niedrige »Eiprofile« kriechen. Gestützt auf ein kleines Eisenrohr, arbeiten sie sich vorwärts

im „Abwasserbeseitigungsplan“ der Hansestadt heißt.

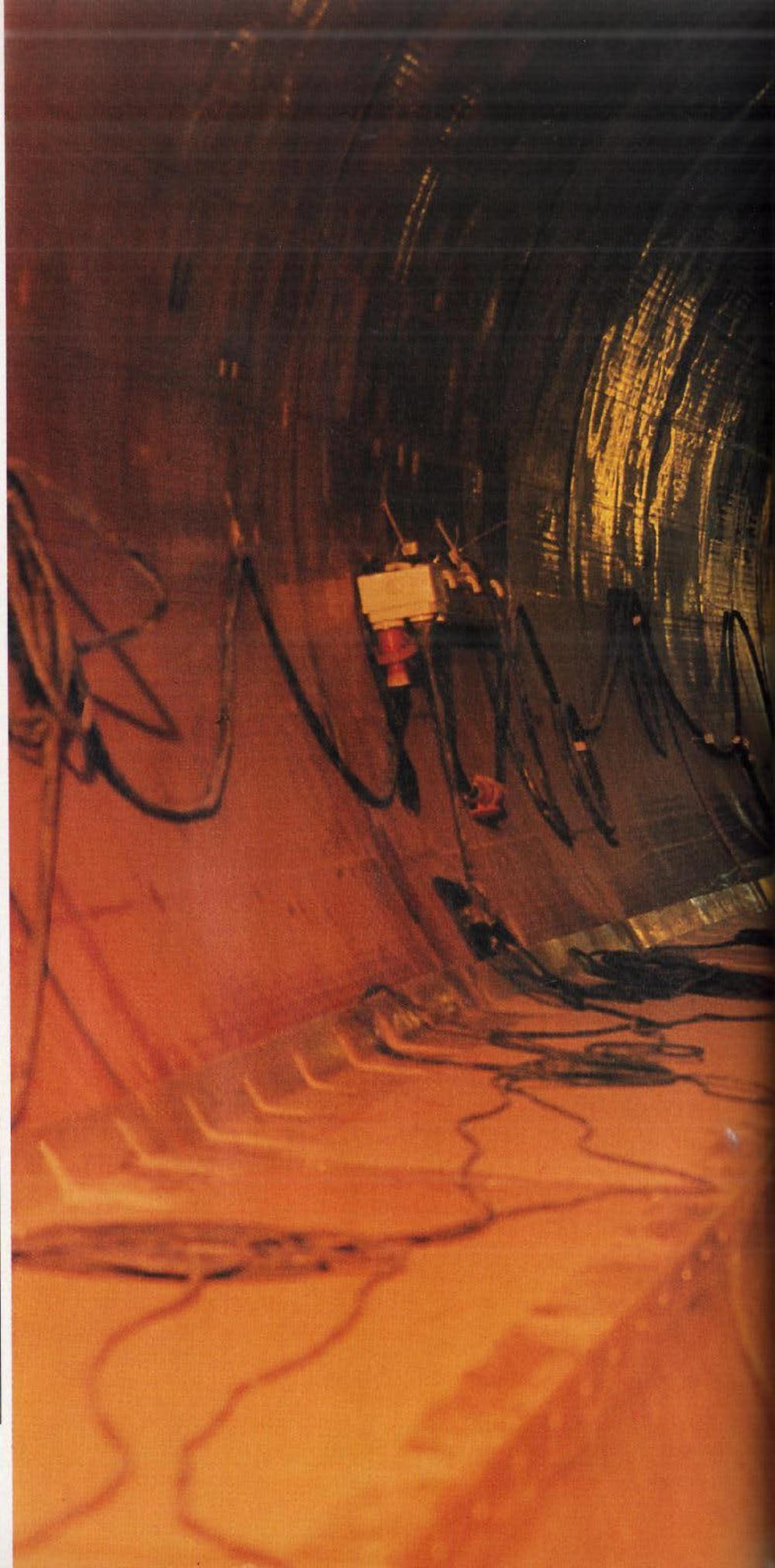
EINE STADT entleert sich. Wäschereien und Wohngemeinschaften, Altenheime und Autowerkstätten, Krankenhäuser und Chemiefabriken hängen am selben Netz: ein verstecktes Geflecht aus Röhren unter der Bühne des Lebens. Das selbstverständlich hingenommene Anhängsel der Architektur wurde in europäischen Großstädten typischerweise im letzten Jahrhundert angelegt, ist zum Teil altersschwach, renovierungsbedürftig und oft überfordert in einer Zeit, da Umwelt- und Gewässerschutz zu zentralen gesellschaftlichen Problemen geworden sind.

Hamburg, Anlieger des zweitgrößten deutschen Flusses, der Elbe, ist exemplarisch für den Kampf um die Verbesserung des Wassers. Da werden Milliarden investiert, um Bäche, Seen und Flüsse wieder von dem zu entlasten, was sie jahrzehntelang schlucken mußten. Ein Lehrstück in Sachen Umwelt, dessen Protagonisten Politiker sind und Ingenieure, Planer mit Zukunftsentwürfen, die teilweise erst im nächsten Jahrhundert verwirklicht sein werden. Hier und heute aber kämpft eine Schar von Arbeitern mit den alltäglichen Ausnahmen von der Selbstverständlichkeit verborgener Entleerung.

Fünf Meter unter der Heilwigstraße kriegst du eine Ahnung davon, was es heißt, eine „Entwässerungsanlage einer Reparatur zuzuführen“ – im Vollbetrieb, versteht sich, denn die Abwässer versiegen nie. Da stehen Thomas Wall und André Schlegel in der mannhohen Röhre knietief im Schlick und schichten kleine Sandsäcke aufeinander. Nasse Klinkergewölbe spiegeln das Licht der Handlampen. Der Sackdamm, mit dem das Siel für die Maurer trockengelegt wird, wächst und verwandelt den ruhigen Fluß zunächst in einen reißenden Strom. „Säggée, los, los!“, schreit André um Nachschub, der dann auch prompt durch den Schacht fällt und in der Soße landet. Als der Damm schließlich steht, stauen sich davor Hunderte von Slipeinlagen und Zigarettenkippen zwischen Klopapierfetzen, vermengt mit aufgeschwemmten braunen Ballen.

„Als wär's ein Stück von mir“, geht's dir durch den Kopf, während André flucht und ausspuckt, was ihm in den Mund gespritzt ist. Und riechst Schweiß und Rasierwasser: Die Nase hat den anfangs alles verdrängenden Moder schnell ignoriert. Beim Ausstieg lernst du die nächste Regel: Warte immer, bis der Vordermann den Schacht verlassen hat. Sonst tropft dir ins Gesicht, was aus dem Profil seiner Stiefe läuft.

NICHT NUR WASSER mit den Stoffwechsel-Endprodukten von knapp 1,6 Millionen Menschen wälzt sich durch die Siele. Das wird spätestens an deren Mün-





**Sammler  
zur Entlastung  
der Siele**

Bei schwerem Regen ist das Hamburger Sielnetz oft überfordert. Dann ergießt sich das Abwasser vor allem in die Nebenkanäle der Alster. Riesige Beton-Röhren, ausgekleidet mit Kunststoff-Platten, sollen Abhilfe schaffen: Bis zu 20 Meter unter den Sielen graben Schildvortriebs-maschinen Tunnel für die Sammler und Transportsiele, die das Abwasser übernehmen sollen

dung deutlich, im „Pumpwerk Hafenstraße“. Dort harken riesige Rechen das Gröbste aus dem schwarzen Brei, bevor bis zu vier Pumpen das Schmutzwasser durch eine Druckrohrleitung unter der Elbe hindurch ins Klärwerk auf der anderen Seite des Stromes drücken.

Das „Rechengut“ – pro Jahr rund 5500 Kubikmeter – enthüllt die eigentliche Rolle der Stadtentwässerung: eine zweite Müllabfuhr, die ihren Job im Dunkeln verrichtet. Die Kunden bezahlen Sielgebühren nach Höhe ihres Wasserverbrauches, in Hamburg durchschnittlich 150 Liter pro Kopf und Tag. Nur drei bis sechs Liter des Trinkwassers werden tatsächlich getrunken oder zum Kochen verwandt – der Rest fließt fürs Baden, Waschen, Putzen und für die Klopülung. Dabei dient das Wasser auch als Transportvehikel für so manches, was in den Mülleimer gehört, oder gar als Suspensionsmedium für Stoffe der Kategorie „Sondermüll“. Nachdem sich die Relikte von Bequemlichkeit oder Achtlosigkeit in der Finsternis der Siele innig vermengt haben, kommen die Spezialisten von der Behörde ins Spiel: Sie sollen das Gemisch möglichst weit wieder auseinandersetzen.

#### **Die Abgründe der Metropole verschlagen auch Hartgesottenen den Atem**

Am Rechen gestatten auch die Sielarbeiter, die sich über die „Schmutzfracht“ an ihrem Arbeitsplatz sonst meist taktvoll ausschweigen, Einblicke in ihr Seelenleben. Da malen sie sich die alltäglichen Tragödien hinter den Brillengestellen und Zahnpfosten, Babypuppen, Perücken und Geldbörsen aus. Da zwingt sie das Fundgut bisweilen zu kleinen Anzüglichkeiten, wenn sich etwa Reizwäsche, Stöckelschuhe oder ein vornehmer Herrenbademantel in den Gittern verfangen haben: „Der muß es aber eilig gehabt haben.“

Manchmal allerdings, wenn die ins Klo gespülten Heimlichkeiten als gespenstische Funde wieder auftauchen, dann verschlägt der Blick in die Abgründe der Metropole auch den Hartgesotterten den Atem. Dann eilen sie zum Telefon, um der Polizei zu melden, daß der Rechen einen aufgedunsenen Babyleichnam aus dem Schlamm gezogen hat. Dann wollen sie nicht wahrhaben, was alles mit Hilfe der Klopülung durch die 100 Millimeter große WC-Öffnung in den Untergrund versenkt wird.

Und wie kam die Schubkarre ins Siel? Oder das kopflose Kalb?

BEI DER BEWEISAUFNAHME in weniger gravierenden Fällen erweist sich das „kleine Kanalfernauge“ als nützlich – eine Art Endoskop zur Inspektion der Nebenläufe des städtischen Gedärms. In einer Reihenhausiedlung in Wandsbek

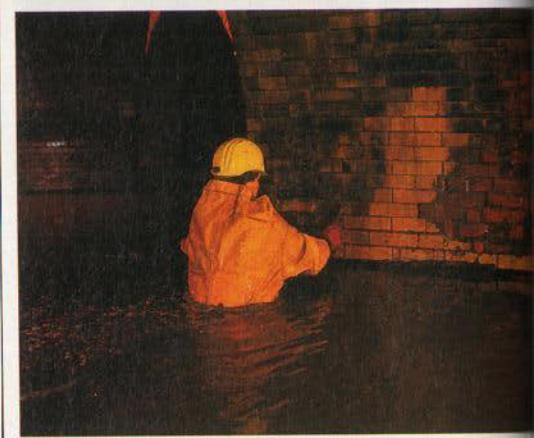
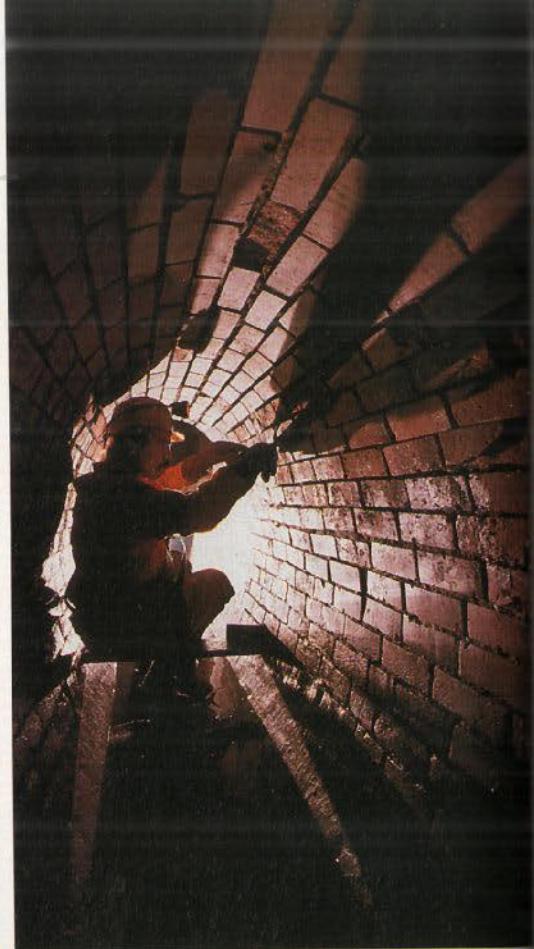
steht das Abwasser im Kellerschacht. Eine helle Masse hat den Hausanschluß verstopft, und nach der Begutachtung streiten die Hausbewohner, wer von ihnen immer sein Frittierfett über die Toilette entsorgt. In anderen Verstopfungsfällen ist der Schuldige leichter zu ermitteln – bei Katzenstreu etwa oder Vogelsand oder Babywindeln.

Eindeutig scheint der Fall in der Herbertstraße, jenem für Besucherinnen gesperrten Straßenzug auf St. Pauli, wo Kanalwart Erhard Pedall „mal eben mit dem kleinen Darm durch das Zweihunderterrohr fahren“ muß. Dieser Hochdruckspüler schwemmt die Beweislast in den Hinterhofschacht: lippenspitze Zigarettenstummel und ganze Bündel blaß-feuchter Kondome. Doch nicht die wasserfesten Aids-Verhüter haben die Verstopfung verursacht. Der Blick durch das kleine Kanalfernauge enthüllt einen „Bruch im Scheitel“, einen Einbruch im Oberdrittel des Rohres.

Ein Teil der 740 „gewerblichen Mitarbeiter“, der Männer mit Helm und Drillanzug, ist damit befaßt, die begehbarsten Sielabschnitte Meter für Meter zu inspizieren. Weil bei Undichtigkeiten je nach Lage der Röhre Schmutzwasser ins Grundwasser versickert oder Grundwasser ins Siel strömt, registrieren sie Brüche und Risse, Verwerfungen und Fugenaußenspülungen. Die Männer sind mit Grubenlampe, „Lebensretter“ – einem Sauerstoffgerät – und dem Gasmeßgerät „Kombiwarn“ ausgerüstet. Tag für Tag waten sie durch die düsteren Siele, um den „Reparaturbedarf festzustellen“ – vor allem im „innerstädtischen Bereich“ mit seiner weit über 100 Jahre alten Kanalisation. Da aber stinkt es, wie ein erfahrener Sielinspekteur sagt, „manchmal bis zum Abwinken“.

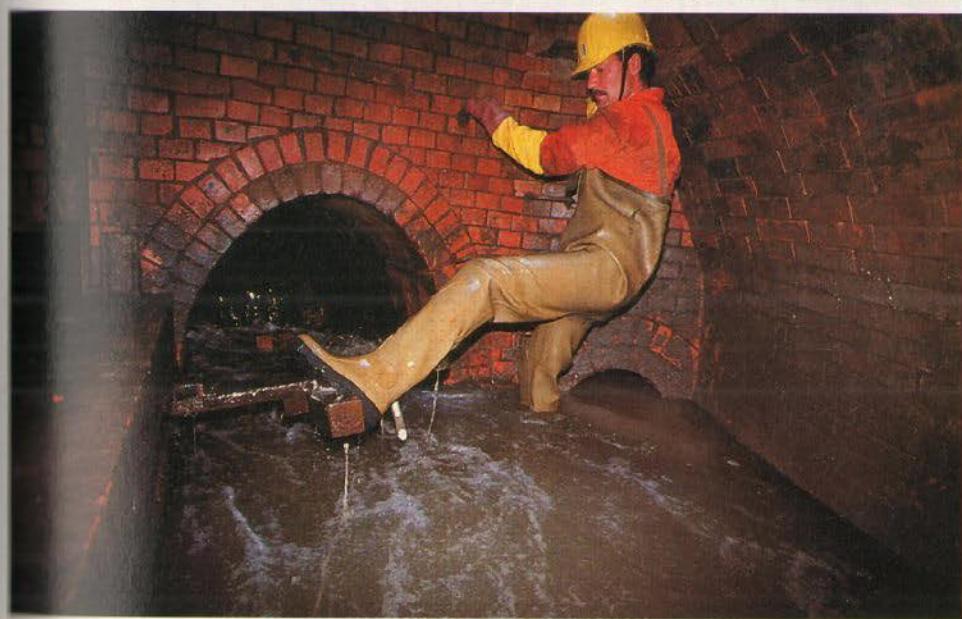
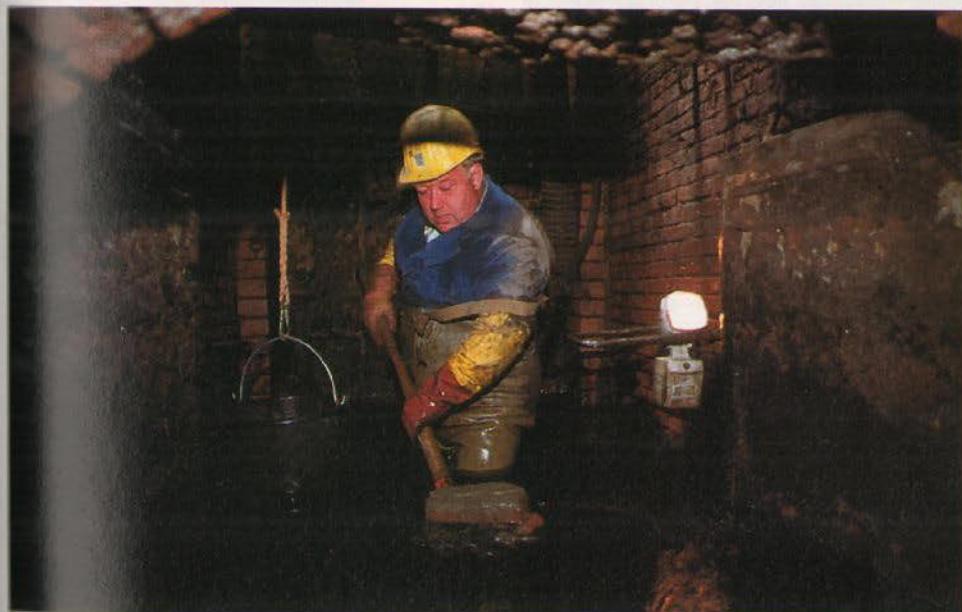
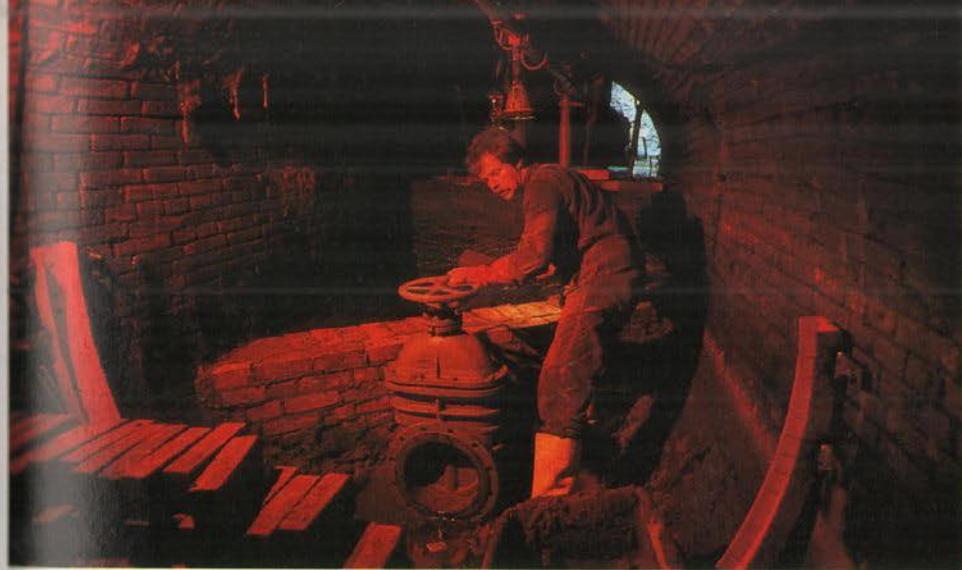
DAS HATTE DER KONSTRUKTEUR des Sielsystems, der englische Ingenieur William Lindley, schon 1842 in seiner Planung berücksichtigt. Zu jener Zeit entledigte sich, wer an einem Kanal oder Fleet – einem mit den Gezeiten an- und abschwellenden Wasserlauf – wohnte, des Flüssigen und Festen unmittelbar in die Gewässer. Dazu setzte man sich in erkertartige Vorbauten, die Lauben. Die übrigen Bewohner, auch Pferde, Schweine, Hühner und Ziegen, entleerten sich auf Gassen und Boulevards – ein Privileg, das den Hunden bis heute erhalten blieb. Die Pflasterstraßen fielen zur Mitte leicht ab, Exkremente von Menschen und Tieren flossen mit Regen- und Spülwasser durch Rinnen in die Fleete. Tiefere Rinnen waren mit Holzbohlen abgedeckt – die Vorausläufer der Siele, mit deren Hilfe die Modernen später ihre anale Phase überwand.

In seinen „Erläuterungen an eine Hochlöbliche Rath- und Bürger-Deputation“ schrieb Lindley: „Es ist erklärlich, daß das Innere der Siele nicht ganz ohne Geruch



#### **Arbeitsplatz Unterwelt: Enge, Nässe, Gestank**

Reinigung und Instandhaltung zählen zu den Haupttätigkeiten der Sielarbeiter. Wo das ätzend-saure Gasgemisch den Mörtel zerfressen hat, verfügen sie das Mauerwerk neu. Manchmal müssen sie ein Siel »abmauern«, damit sie im Trockenen arbeiten können. Woanders rücken sie noch mit Schippe und Eimer an – oder mit dem Spülwagen, einem archaischen Holzgestell, das an einem Drahtseil durch die Röhre gezogen wird.



sein kann. Führen sie doch gerade Materie ab, die Jeder gern, um ihres übeln Geruches willen, so rasch als möglich aus seinem Hause entfernt haben möchte und die in den Sielen nicht ihre Natur verläugnen können.“

**SIELINSPEKTION** muß allerdings nicht zum Angriff auf die Riechnerven werden. Der Techniker Wolfgang Pantze etwa hält sich die Fäkalien mit High-Tech vom Leibe. Er schickt einen vollbeweglichen Roboter mit Allradkettenantrieb, vier Quarz-Jod-Lampen und Zoom-Objektiv unters Pflaster. Dieser große Bruder des kleinen Kanalfernaußes sendet über ein Kabel brillante Farbbilder der Unterwelt auf den Monitor im mahagoni-getäfelten Kleinlaster.

„Ganz erhabene Sachen“ schneidet Herr Pantze per Magnetaufzeichnung mit: Da gibt es „Tropfsteinhöhlen“ durch Ausblühungen von Wasserstein und „verengte Querschnitte“ durch feste Ablagerungen aus Urinstein, Fett und Seifenrückständen. Schwärme von Mücken, hier aus dem Schlamm geschlüpft, suchen den Weg ins Freie. Kartoffel-, Gurken- und Möhrenstücke fließen an der Kamera vorbei, und gleich dahinter kündigen Kratzspuren an der Seitenwand die Nutznießer der über Bord gegangenen Mahlzeit an: wohlgenährte Ratten, die ihre Wasserscheu zu einem eigenartigen Schräggang zwingt. Wie viele dieser Nagetiere sich von den Speiseresten der Hamburger über Wasser halten können, weiß niemand genau. Als sicher gilt, daß sie sich durch nichts ausrotten lassen.

#### **In den Straßen der Unterwelt haben die Ratten Vorfahrt**

„Wo ich sie aber nicht abkann“, verrät Thomas Wall, „ist in Klasse VI.“ Deshalb hat er auch laut gesungen, als er auf allen vieren im Siel der Klasse VI – einem 86 Zentimeter hohen Eiprofil – unter der Hallerstraße verschwand. Später erklärte er die wichtigste Verkehrsregel im Umgang mit den vierbeinigen Sielbewohnern. Wenn die Ratte nicht weicht, dann gibt es nur eins: Arme und Beine auseinander, damit sie unter dir durchschlüpfen kann.

Wenngleich mit unterschiedlichsten Giften bekämpft, genießen die Mitesser in der Unterwelt einen gewissen Respekt bei den Arbeitern, wegen „ihrer Intelligenz“ und weil sie „unsere Siele ja auch sauber halten“. Freilich verzehren die Ratten nur einen kleinen Teil des „eingeschwemmten Guts“. Das meiste treibt fort, wandert in „Dünen“ über die Sohle oder setzt sich endgültig ab – manchmal in Bündeln von „Spinnstoffen“, grotesken Knoten aus Haaren, Fäden und Nylonstrümpfen.

Der undefinierbare Schlick füllt manche Querschnitte bis zur Hälfte. Noch et-

wa fünf Jahre wird die „Grundreinigung“ dauern, bei der dieser Bodensatz – schätzungsweise 25 000 Kubikmeter – allmählich abgetragen wird. Das „Rohmaterial“, bis zu 50 Tonnen täglich, trennt eine eigens entwickelte Anlage weiter auf, unter anderem in maximal 30 Tonnen wiederwertbaren Grobsand pro Tag. Obwohl es dort stinkt wie in einer bestreikten Fischauktionshalle, gab es nie Schwierigkeiten, Arbeiter für die Sandwaschversuche zu finden. Die wußten nämlich um die Schätze im Strandgut der Siele. Sie fanden nicht nur Patronenhülsen, Handgranaten oder NS-Parteiaabzeichen. Manche Sielarbeitergattin geriet auch unerwartet in den Besitz von Schmuck aus „fossilen“ Lagen.

**VON DER „GOLDWÄSCHE“**, die sich besonders unter den sündigen Straßen St. Paulis lohnen soll, wissen die Arbeiter allerdings auch, daß nicht alles Hartgeld ist, was glänzt. Manch einer hat beim Fischen im Trüben schon in eine Rasierklinge gegriffen. Oder eine der unzähligen Injektionsnadeln im Schlamm bohrte sich durch den Stiefelgummi in ein Bein.

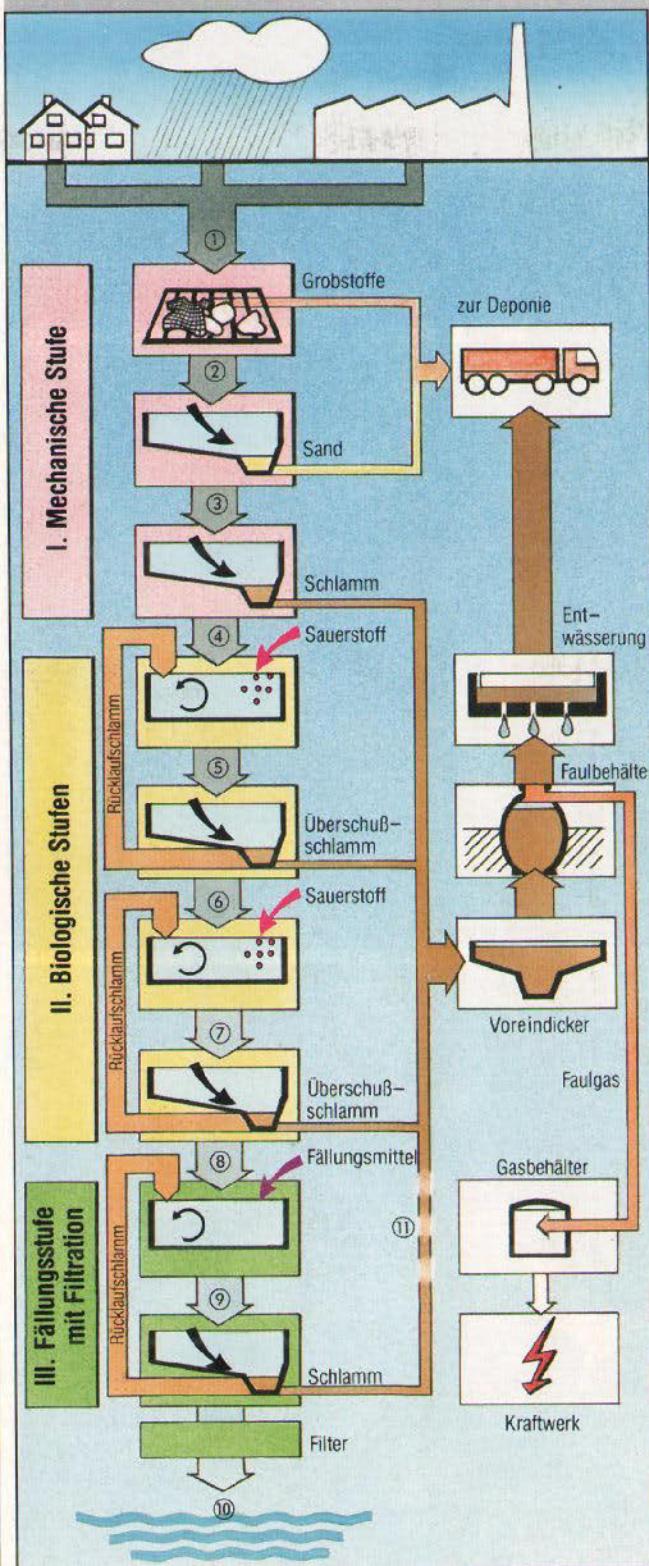
„Alles, was es an Keimen Übles gibt, ist da drin“, weiß Klärwerksleiter Peter Hutzler aus wiederholten Analysen. Die Erreger sind zwar hoch verdünnt. Bei den Arbeitern besonders gefürchtet ist aber nach wie vor die Weil'sche Krankheit, die durch Ratten-Urin übertragen wird. Allerdings hat es seit 1975 in Hamburg keinen Todesfall mehr gegeben.

Zwischen Erkrankungen und Keimbefestigungen sei in den meisten Fällen jedoch „kein Zusammenhang nachweisbar“, erklärt Personalrat Manfred Silberbach seinen Kollegen bei einer Sicherheitsbelehrung. Da meldet sich einer zu Wort: „Wir lassen uns doch nicht verscheißen.“ Und nennt die jährliche Untersuchung beim Amtsarzt „Larifari“. Kürzlich ist ein Kollege plötzlich an Krebs gestorben. „Kann man denn da wirklich sicher sein?“ Herr Silberbach wisse doch selbst von den Ekzemen und Allergien, von Rheuma und Rückenschmerzen, von den „Intervallen mit Durchfall“. Und daß 58 Prozent vorzeitig in Rente gehen.

„Die Sicherheit hat sich seit 1982 erheblich verbessert“, erwidert der Gewerkschafter. Damals haben sie mit einem Sitzstreik neue Vorschriften durchgesetzt, nachdem bei einer Gas-Verpuffung zwei Kollegen schwere Verbrennungen erlitten hatten. Niemand steigt heute mehr ins Siel, ohne vorher die Gase sorgfältig auf Giftigkeit und Explosivität gemessen zu haben.

„DIE GASE“, sagt der Kolonnenführer Walter Dülsen, „sind unser größter Feind.“ Ein Feind, der nicht nur Beton in wenigen Jahren zu Brei zerfrißt, Metallteile fast so schnell korrodiert, daß man

## Abwasserreinigung: Klärende Stufen für die trübe Brühe



**Kläranlagen** leisten die Selbstreinigungsarbeit von Flüssen in wenigen Stunden und auf kleinem Raum. Sie entfernen Schmutz- und Schadstoffe aus dem Abwasser, bevor es in die „Vorfluter“ – Flüsse oder Seen – gelangt. So unterschiedlich die Wege und Verfahren der Abwasserreinigung auch sind, das Prinzip ist jeweils gleich.

**Mechanische Stufe:** Ein Rechen (1) fängt grobe Abfallstoffe auf, im Sandfang (2) setzen sich schwere „Sinkstoffe“ ab. Über ein Vorklärbecken (3), das langsam absinkenden Schmutz trennt, geht es in die

**Biologischen Stufen:** In Belebungsbecken (4 und 6) wird Luft oder reiner Sauerstoff zugeführt – lebenswichtig für die Bakterien, die organische Masse zersetzen. In Nachklärbecken (5 und 7) setzt sich „Belebtschlamm“ ab, der zum großen Teil in die Belebungsbecken zurückfließt. Sind zwei biologische Stufen hintereinandergeschaltet, kann die eine dem Abbau kohlenstoffhaltiger, die andere dem stickstoffhaltiger Verbindungen (Ammonium zu Nitrat) dienen.

**Weitergehende Reinigung:** Soll Phosphat weiter vermindert werden, ist eine zusätzliche Klärstufe erforderlich: In einem Reaktionsbecken (8) wird ein chemisches Fällungsmittel zugesetzt. Zur Verminderung des Nitratgehalts wäre eine weitere Klärstufe erforderlich. Ganz selten sind Filter für die Endreinigung, bevor das Abwasser ins Gewässer (10) fließt. Der gesamte überschüssige Schlamm (11) wird in geschlossenen Behältern – unter Sauerstoffabschluß und erhöhten Temperaturen – ausgefault. Mit dem brennbaren Faulgas wird Strom und Fernwärme erzeugt. Der Faulschlamm wiederum landet auf Deponien oder als Dünger auf Äckern.

zuschauen kann, und sogar Goldzähne anlaufen läßt. Tag für Tag atmen die Sielarbeiter diese ätzende Atmosphäre ein, deren Zusammensetzung niemand kennt. Zum Ausgleich gibt's Erschwernis- und Schmutzzulagen, rund 300 Mark brutto im Monat, und „bezahlte Waschzeiten“, mittags zehn und abends 20 Minuten.

Die Arbeiter sind besonders vorsichtig, seit im vergangenen Jahr in Leimen bei Heidelberg drei Berufskollegen im Faulgas erstickten. Den Bauingenieur Axel Mayer, als „troubleshooter“ mit unlösbarer Problemen vertraut, treibt das Gas-Luft-Gemisch manchmal zur Verzweiflung. Zur Zeit sucht er einen Fugenmörtel, der so särureresistent sein muß, daß die Lieferanten von einem „quadratischen Kreis“ sprechen. Die Siele beschreibt Mayer als ein „riesiges Reaktionsgefäß, in dem es alles gibt, was man sich vorstellen kann.“

Weil auch kleinere Unternehmen wie Galvanikbetriebe, Foto- oder Dentallabors ihren Beitrag zum Umwelt-Schmutz leisten, wurde über eine besondere Zulage auf die Sielgebühren nachgedacht. Analysen aber ergaben, daß private Haushalte nicht unbedingt weniger Gifte mit dem Abwasser verschwinden lassen als Industriebetriebe. „Immer deutlicher“, verrät Fritz Vahrenholz, Staatsrat in der Umweltbehörde, „stellt sich heraus, daß weniger die Produktion der chemischen Industrie ein Abwasserproblem ist als vielmehr deren Produkte, besonders die Chemikalien für den Haushalt.“

SO MANCHES DÜRFTE gar nicht in die Hände der – oft arglosen – Verbraucher geraten. Man müsse sich nur die ungefähr 20 Millionen Packungen chlorhaltiger Kloreiniger – wie etwa „Domestos“ oder „00“ – vor Augen halten, die pro Jahr in der Bundesrepublik verbraucht werden: „Hochreaktives Chlor, das sich mit allem verbindet“, sagt der studierte Chemiker Fritz Vahrenholz, und: „Wir verdrängen ja unheimlich in unserer Gesellschaft.“

Die Arsenale gegen Schmutz und Grauscheiße haben mittlerweile erschreckende Ausmaße angenommen: Einen halben Zentner Wasch-, Putz- und Reinigungsmittel verbraucht der Durchschnitts-Bundesbürger pro Jahr. Auf der Schattenseite der Hochglanzküchen aber, in den Grauzonen des „Weißen geht's nicht“, herrscht das Nach-mir-die-Sintflut-Prinzip von Ausguß und Klopfpülung.

„Die Schizophrenie“, erregt sich Dieter Zander, Planungschef in der Baubehörde, „wird deutlich, wenn es beim Anblick sterbender Robben gleich heißt, die Stadt leiste nicht genug für die Reinigung des Wassers. Aber kaum einer kommt etwa auf die Idee, weniger zu waschen.“

Wie die Stadtentwässerer, die ja eigentlich Wasserentschmutzer sind, entschul-

digt er sich beinahe für die Dreckfrachten, mit denen sie es in den Klärwerken zu tun haben (siehe Kasten). Welcher Hamburger wisse denn schon, daß er im Durchschnitt drei Liter „Rohschlamm“ am Tag produziert? Daß nach mechanischer und biologischer Klärung, nach Zersetzung im Faulturm, Entwässerung, Eindickung und Kalkzugabe 120 000 Tonnen Schlamm pro Jahr übrigbleiben, die auf die Deponie Schönberg in der DDR gefahren werden? „Ist das denn nichts?“ muß sich Herr Zander dann fragen. „Irgendwo braucht auch ein Stadtentwässerer mal Lob.“

Aber wer interessiert sich schon dafür, daß sich nach der Klärwerksprozedur die Abflüsse aus Toiletten und Badewannen, Krankenhäusern und Industriebetrieben, Regenrinnen und Gullys als zweitgrößter bundesdeutscher Nebenfluß der Elbe durch ein Dreimeterrohr in den Strom ergießen?

Das allerdings, was durch dieses Rohr in die Elbe geht, erregt die Gemüter – zumindest die von Umweltbewegten. Nachdem, so Fritz Vahrenholz, „Hamburg 100 Jahre im Prinzip geschlafen und bis in die siebziger Jahre nur von der Elbe gelebt“ hat, begann vor gut 15 Jahren eine „Auf-

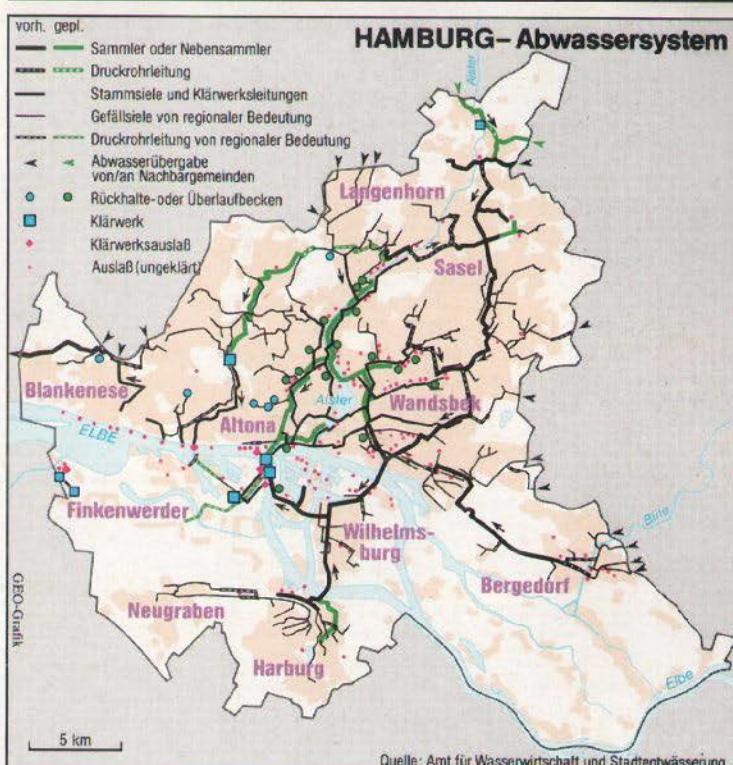
## Ein Rechen fürs Größte

Bevor das Abwasser aus den Hamburger Sielen unter der Elbe hindurch ins Klärwerk gepumpt wird, ziehen Rechen den groben Müll aus der dunklen Brühe: Schuhe und Gebisse, Rattenkadaver und vereindete Haustiere zeugen von Unglücken oder dem Mißbrauch der Toilettenspülung



Die Zukunft der Stadtentwässerung hat bereits begonnen:

Im Osten Hamburgs übernimmt der »Sammel Ost« Abwasser, die – unter der Elbe hindurch – ins Klärwerk gepumpt werden. Zur weiteren Entlastung der Alster und ihrer Nebenkanäle sind noch Milliarden von Mark nötig: Auch im Westen soll ein Entwässerungssystem für das alte Sielnetz entstehen. Um Regenwasser zu „parken“, sind riesige Rückhaltebecken vorgesehen



Quelle: Amt für Wasserwirtschaft und Stadtentwässerung

holjagd“ für den Gewässerschutz. Obwohl rund zwei Milliarden Mark bereits investiert wurden, verrät ein Blick auf die Liste der „Jahresschmutzfrachten“, daß der Beitrag Hamburgs zur Rettung der Elbe kaum ins Gewicht fallen kann: Die Millionenstadt und ihre „direkt einleitenden“ Industriebetriebe – sie leiten jährlich 30 Millionen Kubikmeter Schmutzwasser nach Behandlung in eigenen Kläranlagen direkt in den Strom – erhöhen zwar die Phosphatmenge um gut ein Zehntel. Ansonsten liegen die hanseatischen Beiträge zur Verseuchung der Elbe nur zwischen 0,3 und drei Prozent der Vorbelastung, also dessen, was in Hamburg – hauptsächlich aus der DDR – ankommt. Über das Schicksal des deutsch-deutschen Wasserlaufs wird also eher in Bonn und Ostberlin entschieden. Um den Zustand der innerstädtischen Gewässer aber, der Kanäle und Fleeten und vor allem der Alster, muß sich der Stadtstaat selber kümmern.

### **Abwasserautobahnen sollen die Fische in der Alster retten**

Wenn schwere Regen niedergehen, dann holt die Hamburger bisweilen ein, was sie längst hinter sich glaubten. Dünne Fäulnisschwaden stoßen sie mit der Nase auf ein Problem, das im Expertenjargon „Überlaufereignis“ heißt. Männer mit Stiefeln flüchten aus den Schächten der Kanalisation, wo „Land unter“ angesagt ist. Und in der Baubehörde laufen die Telefone heiß, weil auf den Alsterkanälen Fische bauchoben zwischen Kotballen treiben.

Die Ursache dieser „tragischen Ereignisse“ hat Baudirektor Zander rasch erklärt: Die ganze Innenstadt wird über Mischwassersiele entwässert, in denen Schmutz- und Regenwasser zusammenfließen. Von Dachflächen, Straßen und Plätzen – etwa die Hälfte der Innenstadtfläche ist versiegelt – läuft das Wasser in die Kanalisation, bis das Sielnetz den Kanal voll hat. Folge: Ein Teil der Schmutzfrachten ergießt sich in die Elbe statt ins Klärwerk oder steigt über „Entlastungsanlagen“ in die Alster und ihre Seitenkanäle – bis zu 25mal im Jahr. Die Fische verenden, weil „sauerstoffzehrende Substanzen“ ihnen den Atem rauben.

Mächtige Betontunnel bis zu 20 Meter unter den alten Sielen sollen nun dafür sorgen, daß die Hamburger wieder auf und die Alsterfische durchatmen können. So wie Autobahnen den regionalen Verkehr übernehmen diese „Sammel“ und „Transportziele“ Abwasser aus der Kanalisation. Seit ein Teil dieses Entwässerungssystems für das Entwässerungssystem in Betrieb ist, konnten im Ostteil der Innenstadt die „Überlaufmengen“ fast halbiert werden.

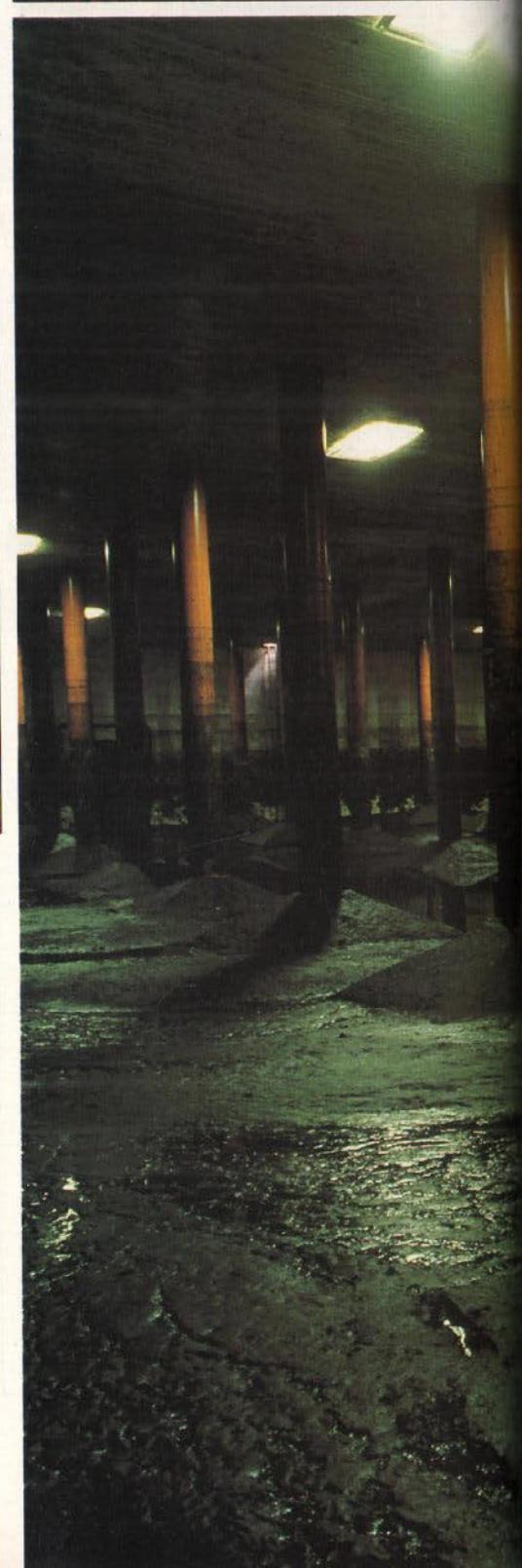
Um noch bis zum Jahre 2000 die Gewässer auf Gütekasse II (wenig verschmutzt) zu heben, denkt der finanzschwache Stadtstaat auch über einen „Alsterpfennig“ auf die Sielgebühren nach. Eine weitere Milliarde Mark wird allein die erste „Ausbauweise des Alsterentlastungskonzeptes“ verschlingen: Dazu gehören auch 15 „Mischwasserrückhaltebecken“, die wie riesige Regentonnen in der Erde stehen. In dieser unterirdischen Speicherstadt wollen die Stadtentwässerer möglichst viel der 60 Millionen Kubikmeter Niederschläge „parken“, vor allem aber die „erste Welle“ auffangen – besonders stark verschmutztes Abflußwasser nach Regenbeginn.

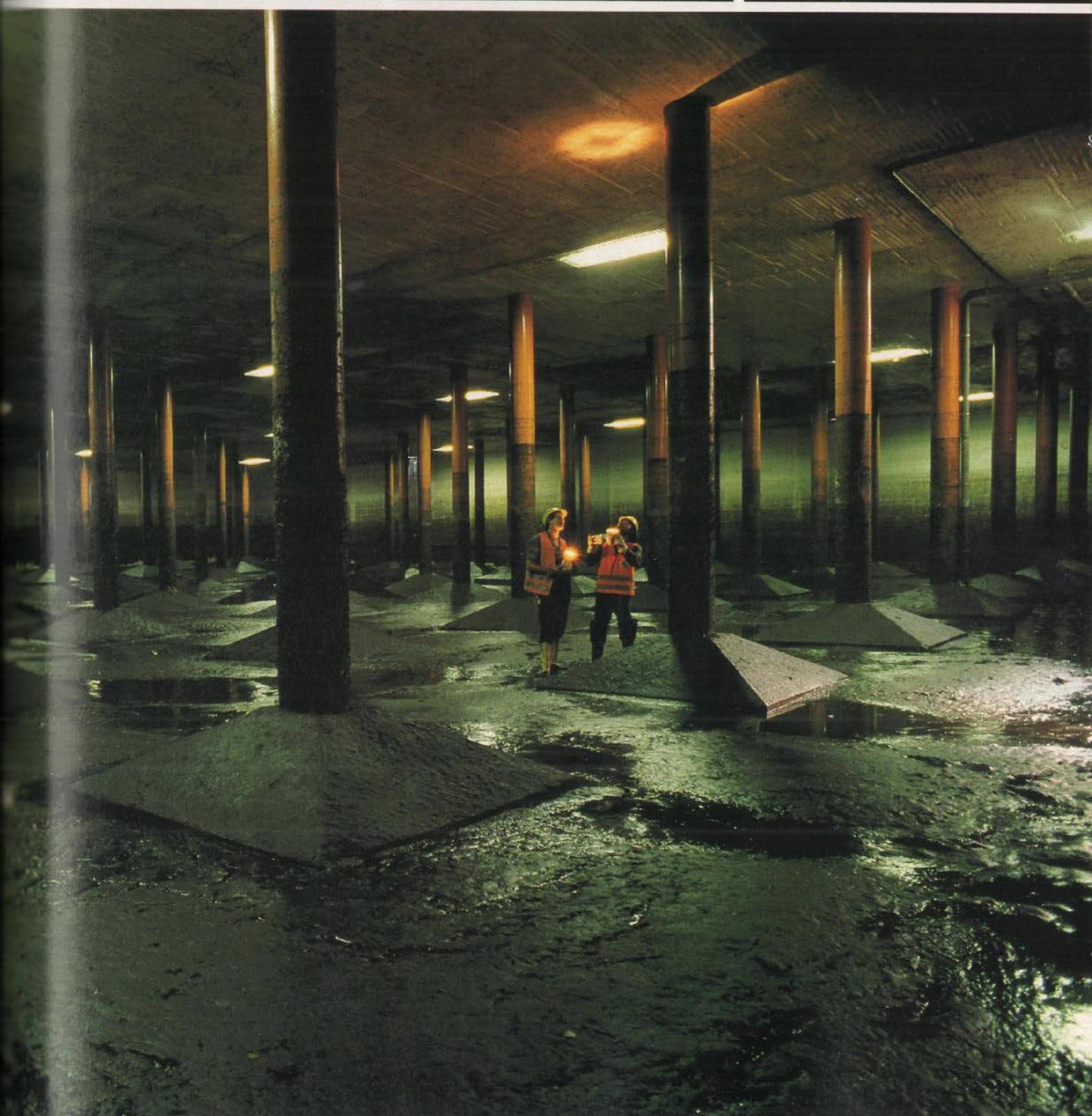
Das zukünftige System aus Zu-, Ab- und Überläufen wird sich freilich nicht mehr so betreiben lassen wie das heutige, wo bei heftigem Regen noch Arbeiter ausrücken, um nach einem Alarmplan die Schieber von Hand zu betätigen. Das soll eine „Abflußsteuerung“ übernehmen, bei deren Beschreibung Dieter Zander sich vom Prügelknaben in einen Visionär verwandelt. Dann schwärmt er vom „Abwassermanagement“, von der „kontinuierlichen Erfassung der Abflußverhältnisse“ und von der „Optimierung des Netzausnutzungsgrades“ durch die „Fernwirkzentrale“. Dann verspricht er eine „Jahrhundertsäur“ wo nichts mehr dem freien Spiel von Abfluß und Gefälle überlassen wird. Dann vergißt er sogar die „Anfeindungen“, nennt die Stadtentwässerung einen „Technologieanschiebereich“ und einen „richtungweisenden Sielbetrieb in der Bundesrepublik“, dem andere Städte nicht das Wasser reichen könnten. Und schließt den enthusiastischen Vortrag mit seiner Vision: „Das ist Abwasser 2000, verstehen Sie?“

**VERSTEHEN.** Ich hätte nicht gedacht, daß es an der Physiologie städtischer Ausscheidungen etwas nicht zu verstehen

## **Kathedralen für verregnete Zeiten**

Fällt viel Niederschlag, sind nicht nur die Siele schnell überlastet. Auch die Bakterien im Klärwerk kommen nicht mehr mit. Wird das Abwasser unterirdisch zwischengelagert, haben sie Zeit sich zu vermehren. Regnet es mal nicht in Hamburg, dann wird das große »Kanalfernauge« (oben) auf Sielinspektionstour geschickt. Dem Techniker liefert es Bilder von eindringendem Grundwasser oder spazierenden Ratten





gibt. Aber als mir Holger Pries, der Leiter des Sammlerbetriebes, am Modell, „mit dem man Laien kaputt machen kann“, den „Nebensammler Kuhmühle“ erklärt und es „mal eben regnen“ lässt, als sich Kunststoff-Schieber öffnen und schließen, bis der Modell-Sammler das Wasser vom Modell-Siel übernimmt und wieder zurückschickt, als ich schließlich höre: „Wer in diese Strömung gerät, der ist verloren“, da wünsche ich mich in die Klinkergewölbe zurück. Und denke an die Reisen im Bauch der Stadt, wo die Nase durch Abwassерhöhlen spaziert, von Faulschlamm zu Lenor, von Fichtennadel zu Urin.

Erinnere mich an die Fahrt im kleinen schwarzen Schlauchboot, mit Walter Dülken, den ein Kollege „Sielratte“ nannte. Walter saß vorn, als wir uns von der Christuskirche zur Hafenstraße treiben ließen: Nach sieben Jahren sollte das Isebek-Stammsiel wieder inspiziert werden – vier von 35 „schiffbaren“ Kilometern.

Die Lichtkegel der Helmlampen verloren sich im Nebel, aus dem sich bedrohlich das Rauschen eines Wasserfalls näherte. Als wir an diesem „Absturz“ vorbeischippten, verriet fetter Wurstgeruch den Schlachthof. Und Walter verriet: „Dienstags früh, wenn sie Schwallschlüpfen haben, dann kommt fast nur noch Blut.“

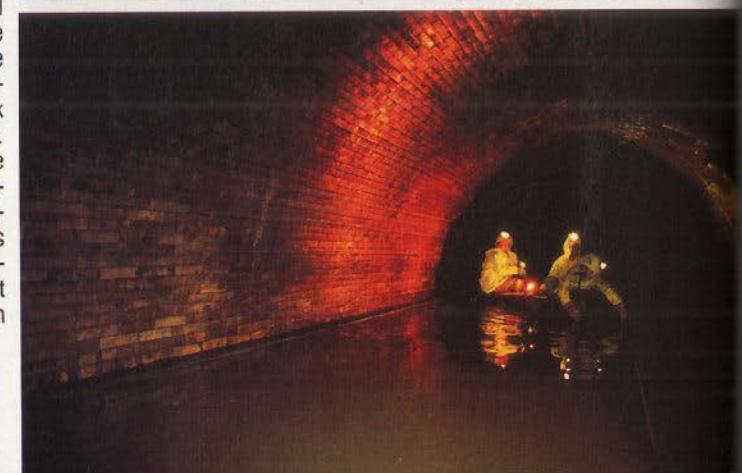
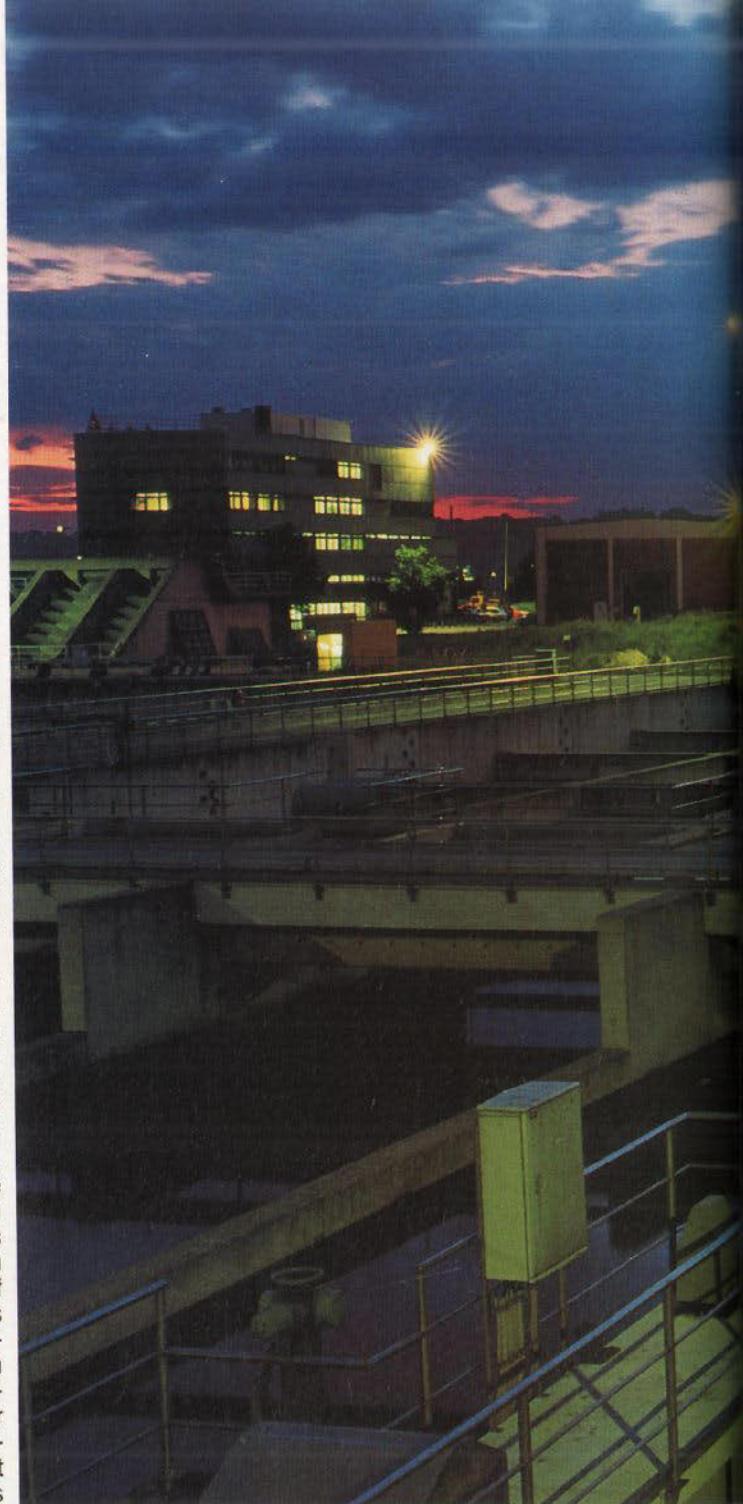
Walter, der ist buchstäblich mit allen Wassern gewaschen. Der hat auch schon die totale „Sieltaufe“ hinter sich, mit Kopf unter. „Man muß sich eben wohl fühlen hier unten“, zerrredete er meinen Anflug von Angst und ließ das Boot ein wenig schaukeln. Weiter ging es in drückender Stille und Waschküchenduft, dann wieder warme Schwaden von Malz: die Brauerei.

Dazwischen Rufe, die fast endlos widerhallten: „Haaallooo.“ An jedem Schacht standen zur Sicherheit Kollegen und warteten auf Antwort. Ferne Gesichter, 20 Meter über uns, ein Punkt von Tagessicht huschte vorbei. Wenn sie den Kanaldeckel wieder auf den Schacht schnoben, klang es, als fielte in einer mächtigen Kathedrale das Portal ins Schloß. Als schließlich das Boot an Fahrt gewann und sogar der erfahrene Steuermann mit seinem Eisenhaken kratzend bremste, suchten meine Hände unwillkürlich Halt an der glitschigen Wand – bis wir abbogen in das ruhigere Kuhmühlen-Stammsiel, das sie „Canale Grande“ nennen. Da wusch ich erstmals wie Walter meine Handschuhe in der dunklen Brühe und erinnerte mich an Milan Kunderas „Unerträgliche Leichtigkeit des Seins“:

„Obwohl die Röhren der Kanalisation mit ihren Fangarmen bis in unsere Wohnungen reichen, sind sie sorgfältig vor unseren Blicken verborgen, und wir wissen nichts vom unsichtbaren Venedig der Scheiße, über dem unsere Badezimmer, unsere Schlafzimmer, unsere Tanzsäle und unsere Parlamente gebaut sind.“ □

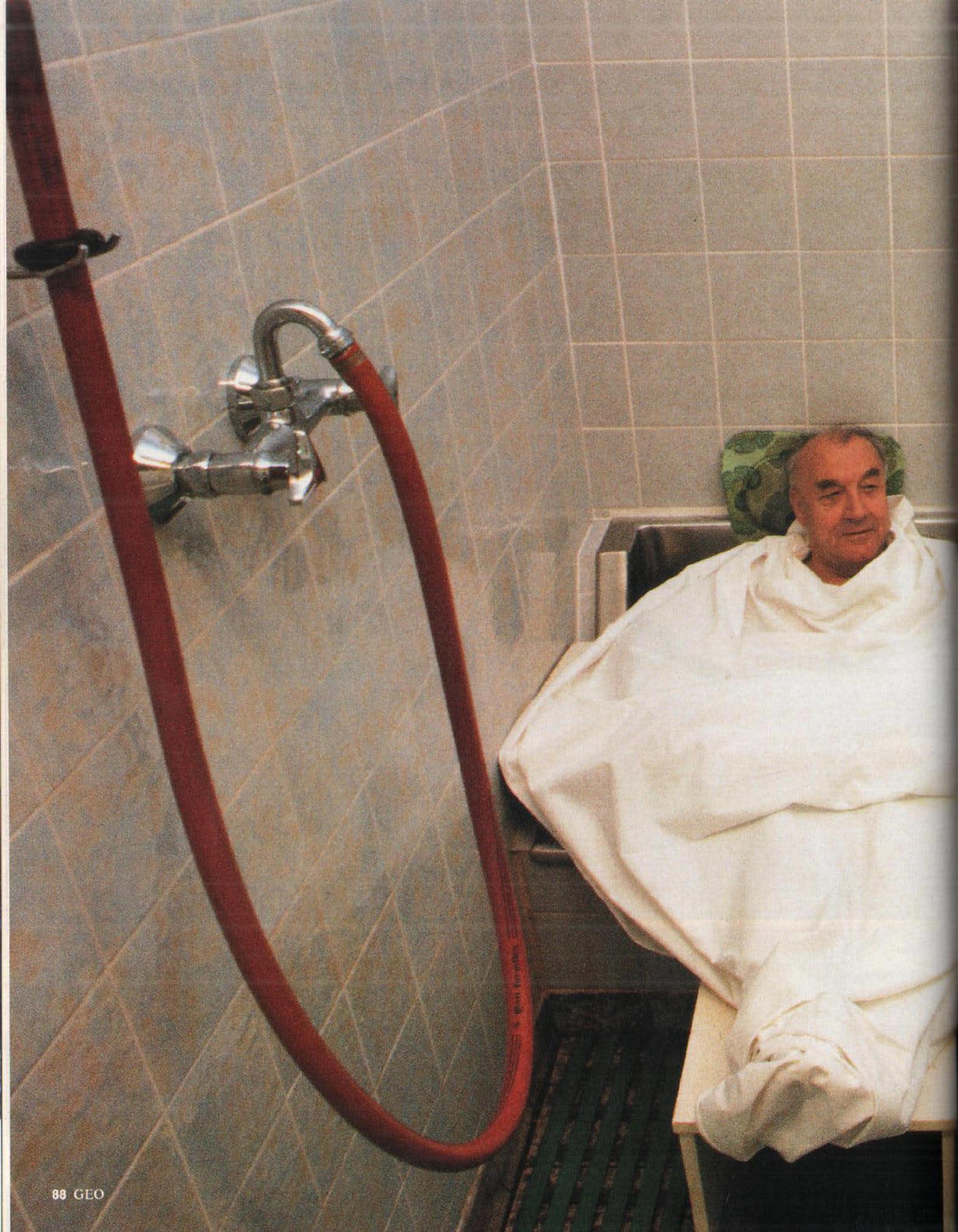
## Vom »Canale Grande« zu den Faul- eiern: Die Scheiße hat Zukunft

Im Hamburger Großklärwerk Köhlbrandhöft fließen die Abwässer der Millionenstadt zusammen. In Belebungs-, Vor- und Nachklärbecken entsteht der Klärschlamm, den spezialisierte Bakterien in Fauleiern weiter zersetzen. Das Wasser durchläuft ein weiteres Klärwerk auf der Dradenau, bevor es als zweitgrößter bundesdeutscher Nebenfluss in die Elbe fließt. Insgesamt 35 Siel-Kilometer können vom Schlauchboot aus inspiziert werden – wie etwa das Kuhmühlen-Stammsiel am Hafen. »Canale Grande« nennen die Arbeiter den Abwasserfluss, der zum Pumpwerk Hafenstraße führt. Dort wird gerade eine computergesteuerte Leitzentrale installiert, von der aus bald die Wasserabflüsse zentral gesteuert werden sollen





GEO-Redakteur Dr. Jürgen Neffe und Wolfgang Volz von der Hamburger Fotografenvereinigung Bilderberg recherchierten wochenlang in den Sielen der Hansestadt. Zwei Probleme machten ihnen vor allem zu schaffen: Im Dämmerlicht ist das Notizbuch kaum zu erkennen, für Fotos muß die Szene besonders ausgeleuchtet werden. Die ätzenden Nebel beschlugen Volz' Kameraobjektive und Neffes Kontaktlinsen.



## HEILWASSER

»Zwar mag wohl das Wasser die Hessischen nicht schön machen«, schrieb 1738 der schlesische „Wasserdoktor“ Johann Siegmund Hahn, »doch ist es vermögend, die noch gegenwärtige Schönheit ziemlich zu erhalten.« Erhalten blieb immerhin bis heute das Geschäft mit den Wasserkuren

# Ein Bad für alle Fälle



**M**it einem sportlichen „Guten Morgen“ reißt mich die Bademeisterin des Hotels in aller Frühe aus dem schönsten Tiefschlaf. Ich muß aufstehen und mich entkleiden. Und derweil wir dies und das plaudern, wäscht sie mich zügig und mit System – kalt! – von oben bis unten, dann muß ich – naß! – ins Bett zurück. Licht aus, Tür zu.

Feucht und mit Herzklopfen liege ich wieder unter der Decke. Schnell noch ihren Satz „Gschaamig, dös Wort kenn i seit zeh Joar nimmer!“ aufgeschrieben. Der drückt so schön den Gegensatz unserer sittenlosen Zeiten zu denen des „Vaters“ Kneipp aus: Der Pfarrer behandelte einst mit seiner Gießkanne selber nur die Männer, hier in Wörishofen im bayerischen Schwaben. „Und für das andere Bad hab ich meine zwei Nichten Rosina und Theresia abgerichtet.“

Erstaunlich schnell wird mir wohlig warm, mein Kreislauf beruhigt sich, mein Körper dehnt sich aus, verschwimmt mit der Dunkelheit, und die Träume haben mich wieder.

Seit Tagen schon ausführlichst begossen und gewässert, nach allen Regeln der Kunst wechselgeduscht und unterwassermassiert, versuche ich in Deutschlands „Heilbädern“ den Heilkräften des Wassers nachzuspüren. Stundenlang sitze ich bei liebenswerten alten Badeärzten, die von der unnachahmlichen Mineralkomposition, der so heilsamen „Erdwärme“ gerade „ihrer“ Quelle schwärmen – und Minutenlang bei hektischen Klinikchefs, die über solche „Quellgeistmythen“ lachen. Ich besuche Bürgermeister, in deren Kassen es nur so klingelt, und andere, deren Badeorte nach Erlaß des Kostendämpfungsgesetzes auf die Pleite zusteuern. Ich trinke Kaffee mit der rückenkranken Frau Wellner, die nach 30 Jahren Stanzmaschine erstmals von der Rentenversicherung zur Kur „verschickt“ wurde, um die Frühberentung zu verhindern, und plaudere mit Herrn Peters, Chemieprofessor und Kunstmäzen, der sich so gern in der Atmosphäre alter Bäderherrlichkeit entspannt. Ich betrachte Statistiken, die immer wieder – „das soll der Blüm doch mal zur Kenntnis nehmen!“ – plausibel machen, daß eine Kur jahrelang nachwirkt, und lasse mir von Professoren erzählen, weshalb es so schwer ist, den Anteil des Wassers am Erfolg einer Kur auf Punkt und Komma zu beweisen oder zu widerlegen.

Der Schreck heute morgen, der in eine so angenehme Beruhigung ausklang, war, so lese ich in einem Kneippkur-Büchlein,

„die kleine aber wichtige sehr frühe Anwendung der Kaltwaschung, die etwa um sechs Uhr vorgenommen wird und so segensreiche Wirkungen auf das Vegetativum z. B. bei Schlafstörungen hat“. Robert Bachmann, Arzt in Wörishofen, belehrt mich: „Schlichtes kaltes Wasser ist nicht nur wirksamer, sondern auch gesünder als alle Aufputschkaffees und Beruhigungstees.“ Ob er mir meinen täglichen „Genußgift“-Konsum angemerkt hat? Vielleicht gelingt mir ja die Besserung, die ich im stillen gelobe, mit seinen Tips. „Wer sich am Morgen ein bißchen bewegt und dann den Oberkörper kalt wäscht, kommt auf natürliche Weise in Schwung, während eine kalte Unterkörperwaschung oder gar ein kurzes kaltes Halbbad am Abend sehr beruhigen kann. Und wer sich nachmittags, in der schlappen Phase, mit einem kalten Armguß oder Armbad innerhalb von zwanzig Sekunden frischzumachen weiß, der braucht sein Leben lang keinen Kaffee mehr.“

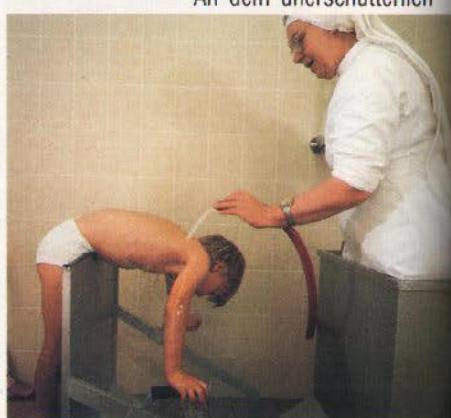
Doch so gesund ist das kühle Wasser nur, wenn der Körper vorher aufgewärmt ist: durch hartes Holzhacken, weiches Bett oder warmes Wasser. Kälte auf kalte Haut bringt nichts als Frieren. Wenn die Haut schön warm ist, dann ziehen sich ihre feinen Blutgefäße im Kälteschock zunächst kräftig zusammen, doch anschließend erweitern sie sich mehr als vorher und werden deshalb stärker vom wärmenden Blut durchströmt. Ein kalter Guß kann aber auch helfen, Wärme länger im Körperinneren zu halten. Wer etwa in kühlem Wasser schwimmen möchte, der nimmt am besten vorher eine „Wechseldusche“: erst ein paar Minuten richtig heiß, dann etwa zehn Sekunden kalt, so daß sich die „Poren“ in der Haut schließen, und dann ins Wasser.

Ein kurzer Reiz der Kälterezeptoren aktiviert und trainiert allerdings nicht nur den Kreislauf. Er „stört“ auch die Regelkreise des vegetativen Nervensystems, die daraufhin zu schwingen beginnen, um sich in leichter Bewegung oder entspannter Ruhe neu und besser einzupendeln – wie eine Uhr, die nach einem Stoß plötzlich wieder besser geht.

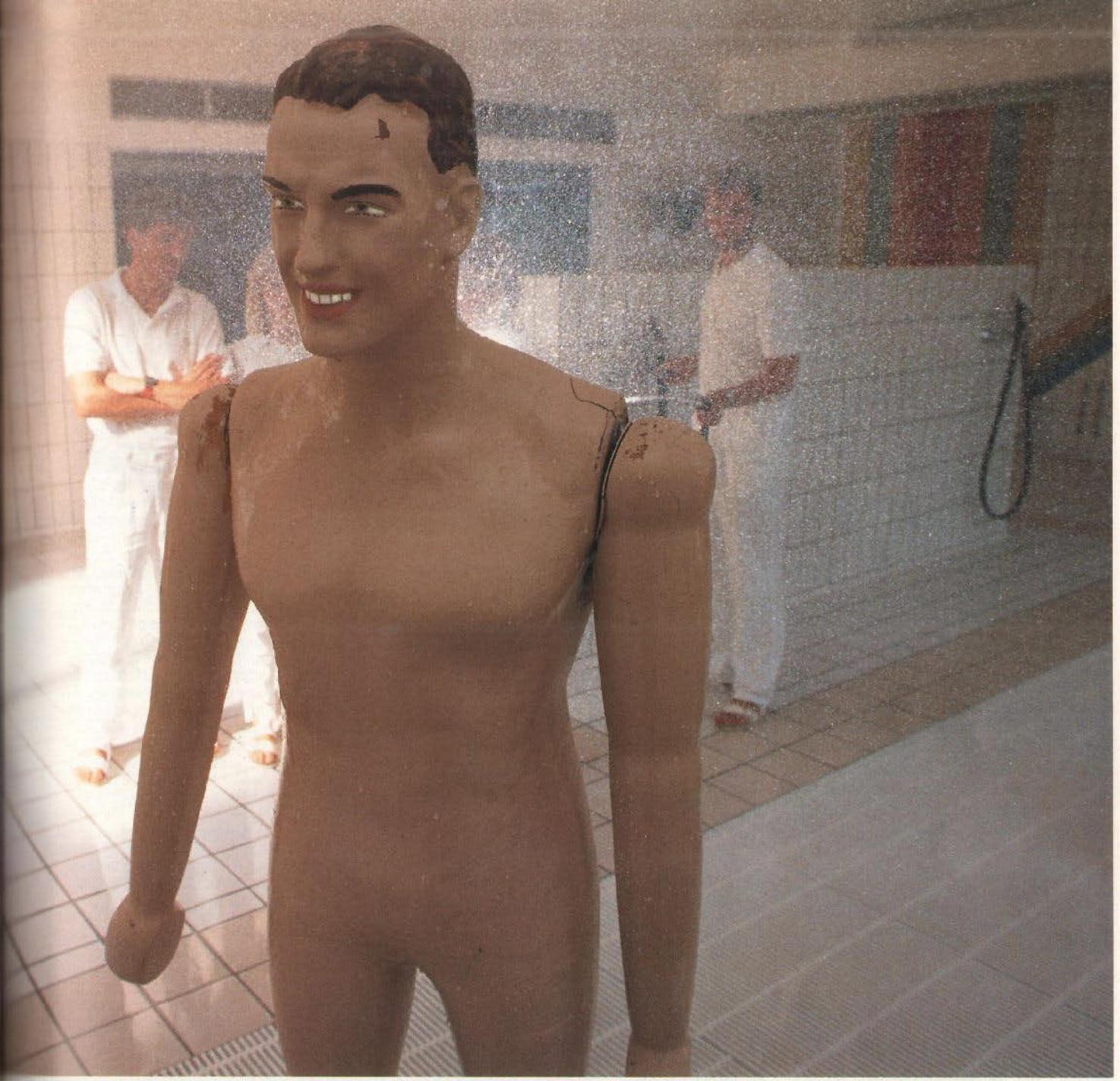
Abwechslungsreich wiederholt, regen die Gesundheitsreize einer Kneippkur, aber auch jeder anderen guten Kur das vegetative Nervensystem mit wachsender Intensität an, bis hoch zum Hypothalamus und zum limbischen System. Dort im Gehirn, wo sich gewissermaßen Wade und Darm begegnen, stoßen die Schwingungen des Vegetativums wiederum auch



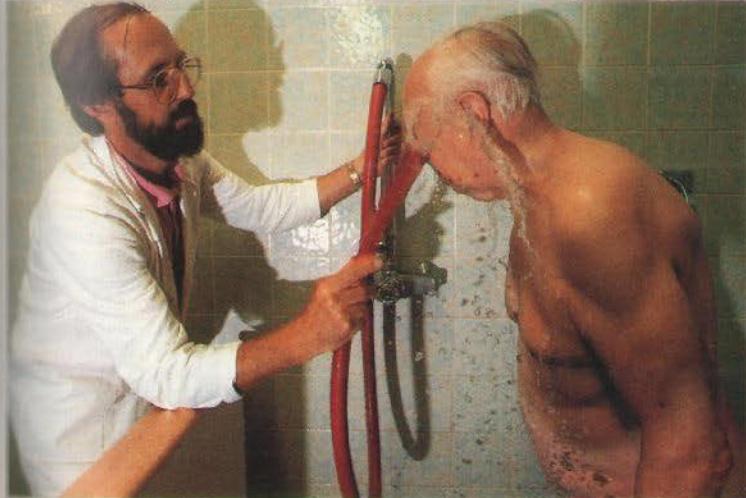
An dem unerschütterlich



Belebend: kneippscher Armguß



lächelnden Dummy üben angehende Bademeister in der Kneippschule von Bad Wörishofen den kräftig massierenden »Blitzguß«



frischend und erweckend: kneippscher Gesichtsguß



Anregend: Unterwassermassage

**Die Jünger von  
Pfarrer Kneipp gießen nicht  
nur mit der Kanne**

die hormonellen Regelkreise an und harmonisieren so durch „Kreuzadaptation“ nach und nach in immer tieferer Erholung das Zusammenspiel der Organe.

„Den Unterschied zwischen einer medikamentösen oder chirurgischen Therapie und einem Naturheilverfahren, das die Selbstheilungs Kräfte des Organismus aktiviert, kann man sich vielleicht an der unterschiedlichen Bluthochdruckbehandlung klarmachen,“ sagt Robert Bachmann. „Während ein Medikament gegen Hypertonie den Blutdruck immer senkt, egal, ob er zu hoch oder zu niedrig ist, verschiebt eine Regulationstherapie ihn stets in Richtung des normalen Wertes, also hoch oder runter, je nach den Umständen.“

Die moderne Kneippkur mit ihrem Arsenal von ungefähr 120 verschiedenen Wasserreizen – „Damit spiele ich auf Ihrem Vegetativum Klavier!“ – können durchaus einzelne Organe ganz gezielt beeinflussen, oft, indem sie die „Fernwirkungen“ der Güsse, Wickel und Bäder ausnützt: So werden bei einem warmen Armbad auch die Füße „konsensual“ stärker durchblutet – eine Reaktion, die etwa bei unterkühlten Füßen hilft. Warme Fußbäder wiederum erweitern die Blutgefäße in der Nasenschleimhaut und verbessern so die Immunreaktion bei Erkältungen. Güsse und Wickel auf bestimmte Hautbezirke beeinflussen zwar innere Organe, machen diese aber vor allem deshalb gesünder, weil die Kneippkur den ganzen Menschen gesünder macht.

Dabei sind die gekonnt zusammengestellten milden und starken Teil- und Vollbäder, die heißen und kalten Güsse, Wickel und Waschungen noch keineswegs die ganze Kur: Kneipp, der sich als bettelarmer Student einst selbst mit einer Roßkur in der kalten Donau von seiner Tuberkulose geheilt hatte, verlangte auch von seinen Patienten vor allem Eigenaktivität und leitete sie – die Armen stets kostenlos – an, die schlichten Gesundheitsregeln zu beachten: „Viel Bewegung in Licht und Luft, vernünftige Ernährung und Kleidung, möglichst naturgemäße Lebensgestaltung.“

Bei akuten, schweren Krankheiten können Kneipp-Anwendungen nur heilloses Beiwerk sein, doch wer chronisch krank, erschöpft oder gestreift ist, dem kann mit den Methoden des genialen Pfarrers oft erstaunlich geholfen werden.

Wegen „Gefahr der Verweichung“ warnte Kneipp allerdings vor zu häufigem Gebrauch der angenehmsten Wasserbehandlung, des warmen Vollbads. Schon hundert Jahre vor Kneipp war in Europa der Ruf „Kälte stärkt, Wärme schlafft ab“ erklingen – in Frankreich mit deutlicher Spitzte gegen den „verweichlichten“ Adel,

## KUREN Auf die Langzeitwirkung kommt es an

**S**echs bis acht Millionen Gäste bringen Jahr für Jahr etwa 12 Milliarden Mark in die Kassen der 260 staatlich anerkannten bundesdeutschen Heilbäder und Kurorte, 100 Mark pro Person und Tag. Drei Viertel dieser Gäste zahlen privat, ein Viertel erhält Zuschüsse von Krankenkassen und Rentenversicherungen. Aber: Sind die Milliarden sinnvoll angelegt?

Jürgen Kleinschmidt vom Balneologischen – badekundlichen – Institut der Universität München betont, daß es methodisch sehr schwer ist, die Effekte einer Kur – und gar spezielle Wirkungen einzelner Kurmaßnahmen – von einer schlichten Erholung abzugrenzen. Dazu müssen Vergleichsgruppen gefunden werden, die sich bei gleichen Beschwerden zwar erholen, aber keine Kur gemacht haben. Auch sind die Besserungen oft nicht spektakulär: Der eine Kurgast schafft ein paar Treppenstufen mehr als vorher, der andere hat etwas weniger Schmerzen. Effektiv aber sind die Aufenthalte in den Kurorten allemal: Der Augsburger Sozialmediziner Eugen Wannenwetsch verweist auf ausgedehnte Untersuchungen unter anderem der Landesversicherungsanstalten, wonach Rentenantragsteller und Frührentner mit 50prozentiger Wahrscheinlichkeit rehabilitiert werden, daß nach einer Kur häufige und länger dauernde Krankmeldungen um 40 bis 60 Prozent sinken, daß die Arztkosten im Jahr danach um 62 Prozent geringer sind als im Jahr vor der Kur. Besonders Herz-Kreislauf-Kranke profitieren demnach von einer Kur. Wannenwetsch zufolge senkt eine Kur die volkswirtschaftlichen Kosten einer Krankheit durchschnittlich um zwei Drittel – das höhere Steueraufkommen durch wiedergewonnene Arbeitsfähigkeit nicht eingerechnet.

Johannes Zwick, ein Mitarbeiter Wannenwetschs, hatte die seltsame Glück, eine Vergleichsgruppe untersuchen zu können. Resultat:



Bandscheiben-Patienten mit Anschlußheilbehandlung nach einer Operation hatten eine um fast 70 Prozent kürzere Arbeitsunfähigkeitsdauer als Patienten ohne Kur. Die Heilbehandlung sollte, wie Zwicks Ergebnisse nahelegen, möglichst innerhalb von vier Wochen nach der Operation beginnen: Patienten, die ihre Kur später antraten, waren danach 60 Prozent häufiger krank als die rechtzeitig Kurenden.

Aber auch allgemein verbessert sich die Gesundheit nachweislich: Schlaf, Blutdruck, Herz- und Atemfrequenz normalisieren sich, der Kreislauf wird leistungsfähiger, die Reflexe funktionieren besser, die Infektionsanfälligkeit sinkt – und die Stimmung steigt. Kneippkuren erhöhen unspezifische Faktoren der körpereigenen Abwehr wie Immunglobulin M, Alpha-2-Makroglobulin und Komplement C3, wenn auch nicht die Zahl spezifischer Abwehrzellen. Zu Beginn einer Kneippkur steigt nach jedem kalten Rückenguß der Blutspiegel des „Stresshormons“ Cortisol, im Verlauf einer Behandlungsserie nicht mehr.

Auch die speziellen Leiden, derer wegen die Kur begonnen wurde, bessern sich meist. Rheumakranke haben weniger Schmerzen und sind beweglicher, Herz-Kreislauf-Störungen werden gebessert. Unregelmäßigkeiten im Menstruationszyklus werden besonders durch Moorkuren erstaunlich günstig beeinflußt, bestimmte Formen weiblicher Sterilität gar in fast 50 Prozent der Fälle geheilt. „Eine Hormonspritztherapie erzeugt eine Blutung, eine Badekur eine Menstruation“, sagt Claus Goecke, Chefarzt des Luisenhospitals in

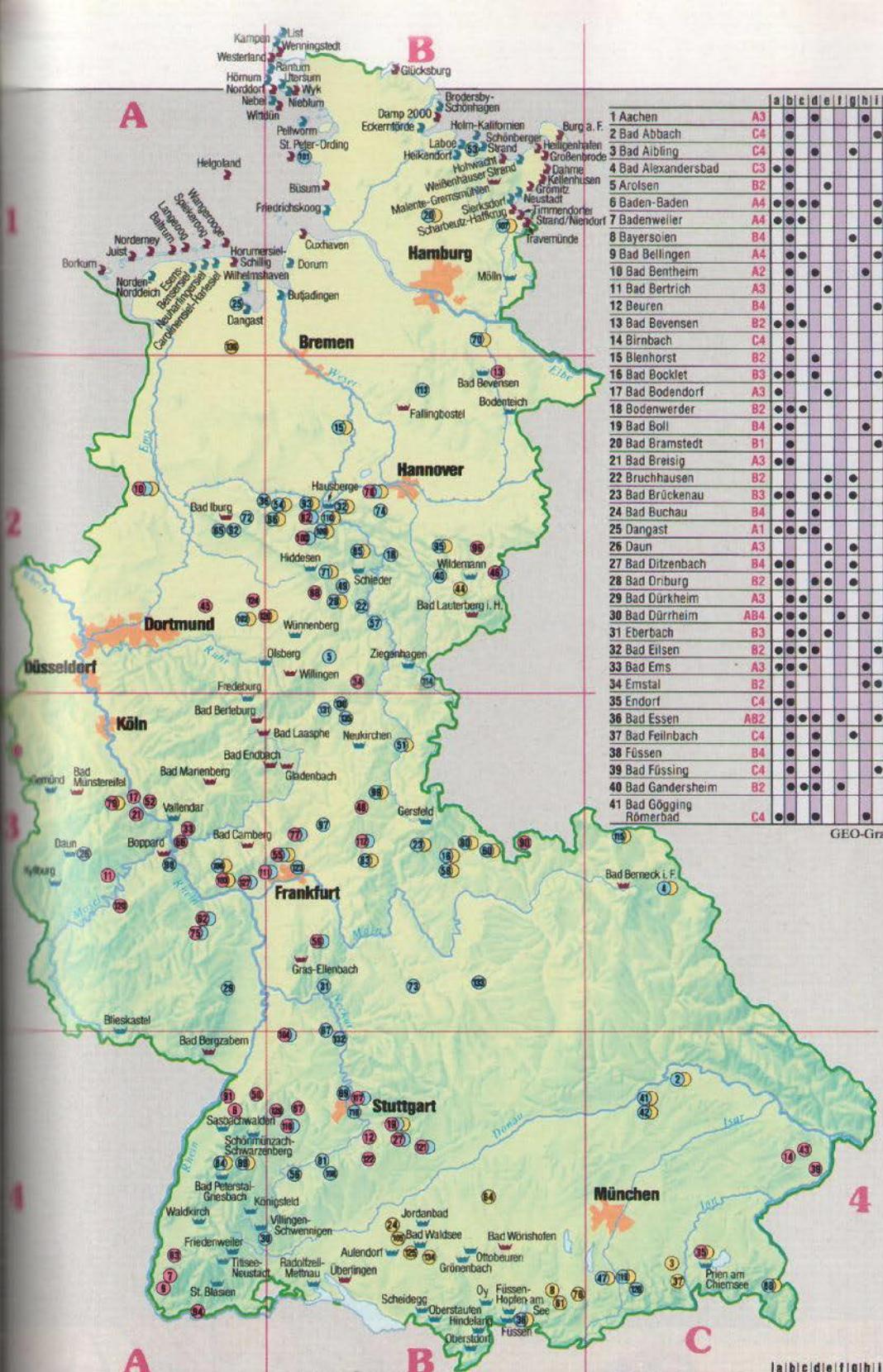


Aachen. „Auch um Sterilität zu behandeln ist eine Moorkur meist besser als eine Hormontherapie: Sie erzeugt keine Mehrlingsgeburt.“

Auf welche Weise einzelne Kurmaßnahmen wirken, ist wissenschaftlich sehr schwer aufzudröhren. Badeorte werben oft mit den speziellen Inhaltsstoffen ihrer Quellen wie Jod, Schwefel, Kalzium, Radon, Kohlendioxid oder Kochsalz („Sole“). Das Wasser löst – manchmal in der Tiefe erhitzt – viele dieser Mineralien auf seiner mehrjährigen unterirdischen Reise um so besser aus dem Gestein heraus, je mehr Kohlendioxid es – meist aus ersterbenden Vulkanen – aufgenommen hat. Auch verändern komplexe chemische Prozesse das Wasser – etwa die Reduktion von Sulfat zu Sulfid durch Schwefelbakterien. Jede Quelle besitzt eine von ortsspezifischen Badeärzten als heilsam gepräsene „Individualität“. Die Inhaltsstoffe – inklusive der Gase Radon und Schwefelwasserstoff – gelangen freilich bei Badekuren nicht oder nur in so geringen Mengen in den Organismus, daß eine ins Gewicht fallende Wirkung mehr als zweifelhaft ist, zumindest aber nur sehr schwer objektiv beurteilt werden kann. Allerdings sind bei Kuranwendungen – anders als bei normalen Medikamenten – nicht die unmittelbaren Wirkungen entscheidend. Maßgeblich ist jedoch die Langzeitwirkung, die – wenn sie denn eintrifft – oft nicht eindeutig auf einen bestimmten Faktor der komplexen Kurbehandlung zurückzuführen ist.

Manche Ärzte glauben sogar, daß viele Anwendungen im Prinzip untereinander austauschbar seien, wichtig sei nur die individuell dosierte, wiederholte Anregung, Übung und Entspannung in erholsamen Kurorten mit leichtem Reizklima: Daheim ist Kur mit den jeweiligen Quellwässern oder Moorbädern nachgewiesenermaßen weniger wirksam. Eine aktivierende Kur wird erst nach vier bis acht Wochen voll wirksam. Dies ist ein Hinweis darauf, daß es vom Geschick des Kurpersonals – und der Patienten – abhängt, langfristige Erholungs- und Anregungsprozesse in Gang zu bringen.

Um Kuren jedoch individuell und dem jeweiligen Leiden angepaßt zu gestalten, muß die Wirkung der Einzelreize trotz aller Schwierigkeiten möglichst exakt erforscht werden. Das könnte auch den Kurorten helfen, sich zugunsten ihrer Kurgäste weiter zu spezialisieren – und ihre oft über Gebühr ausgeweiteten Indikationen (siehe Tabelle rechts) einzuschränken.



	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
1 Aachen	A3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	53 Holm	B1	●	●	●	●	●	●	●	●
2 Bad Abbach	C4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	54 Holzhausen	B2	●	●	●	●	●	●	●	●
3 Bad Aibling	C4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	55 Bad Homburg v.d. Höhe	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
4 Bad Alexandersbad	C3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	56 Bad Immenau	B4	●	●	●	●	●	●	●	●
5 Arcesen	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	57 Bad Karlsbad	B2	●	●	●	●	●	●	●	●
6 Baden-Baden	A4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	58 Bad Kissingen	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
7 Badenweiler	A4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	59 Bad König	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
8 Bayreuth	B4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	60 Bad Königshofen	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
9 Bad Bellingen	A4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	61 Bad Kohlgrub	B4	●	●	●	●	●	●	●	●
10 Bad Bentheim	A2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	62 Bad Kreuznach	A3	●	●	●	●	●	●	●	●
11 Bad Bertrich	A3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	63 Bad Krozingen	A4	●	●	●	●	●	●	●	●
12 Beuren	B4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	64 Krumbad	B4	●	●	●	●	●	●	●	●
13 Bad Bevensen	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	65 Bad Laer	A2	●	●	●	●	●	●	●	●
14 Birnbach	C4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	66 Lahnstein	A3	●	●	●	●	●	●	●	●
15 Blenhorst	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	67 Bad Liebenzell	B4	●	●	●	●	●	●	●	●
16 Bad Bocklet	B3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	68 Bad Lippspringe	B2	●	●	●	●	●	●	●	●
17 Bad Bodendorf	A3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	69 Ludwigsburg-Hohenegg	B4	●	●	●	●	●	●	●	●
18 Bodenwerder	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	70 Lüneburg	B1	●	●	●	●	●	●	●	●
19 Bad Boll	B4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	71 Bad Meinberg	B2	●	●	●	●	●	●	●	●
20 Bad Bramstedt	B1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	72 Melle	A2	●	●	●	●	●	●	●	●
21 Bad Breisig	A3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	73 Bad Mergentheim	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
22 Bruchhausen	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	74 Bad Münder	B2	●	●	●	●	●	●	●	●
23 Bad Brückenau	B3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	75 Bad Münster am Stein	A3	●	●	●	●	●	●	●	●
24 Bad Buchau	B4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	76 Murnau	B4	●	●	●	●	●	●	●	●
25 Dangast	A1	●	●	●	●	●	●	●	●	●	77 Bad Nauheim	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
26 Daun	A3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	78 Bad Nenndorf	B2	●	●	●	●	●	●	●	●
27 Ditzelnbach	B4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	79 Bad Neuenahr	A3	●	●	●	●	●	●	●	●
28 Bad Dürburg	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	80 Bad Neustadt/Saale	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
29 Bad Dürkheim	A3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	81 Bad Niedernau	B4	●	●	●	●	●	●	●	●
30 Bad Dürrenheim	A84	●	●	●	●	●	●	●	●	●	82 Bad Oeynhausen	B2	●	●	●	●	●	●	●	●
31 Eberbach	B3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	83 Bad Orb	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
32 Bad Eilsen	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	84 Bad Peterstal-Griesbach	A4	●	●	●	●	●	●	●	●
33 Bad Ems	A3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	85 Bad Pyrmont	B2	●	●	●	●	●	●	●	●
34 Emstal	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	86 Randinghausen	B2	●	●	●	●	●	●	●	●
35 Endorf	C4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	87 Bad Rappenau	B3-4	●	●	●	●	●	●	●	●
36 Bad Essen	A82	●	●	●	●	●	●	●	●	●	88 Bad Reichenhall	C4	●	●	●	●	●	●	●	●
37 Bad Feilnbach	C4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	89 Bad Rippoldsau	A4	●	●	●	●	●	●	●	●
38 Füssen	B4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	90 Bad Rodach b. Coburg	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
39 Bad Füssing	C4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	91 Bad Rotenfels	A4	●	●	●	●	●	●	●	●
40 Bad Gandersheim	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	92 Bad Rothenfelde	A2	●	●	●	●	●	●	●	●
41 Bad Gögging	C4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	93 Rothenfels	B2	●	●	●	●	●	●	●	●
42 Bad Gögging Trajansbad	C4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	94 Bad Säckingen	A4	●	●	●	●	●	●	●	●
43 Bad Griesbach i. Rottal	C4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	95 Bad Salzdetfurth	B2	●	●	●	●	●	●	●	●
44 Bad Grund	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	96 Bad Salzgitter-Bad	B2	●	●	●	●	●	●	●	●
45 Hamm	A2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	97 Bad Salzhausen	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
46 Bad Harzburg	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	98 Bad Salzig	A3	●	●	●	●	●	●	●	●
47 Bad Heilbrunn	C4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	99 Bad Salzschlirf	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
48 Herxheim	B3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	100 Bad Salzuflen	B2	●	●	●	●	●	●	●	●
49 Bad Hermannsbörr	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	101 St. Peter-Ording	B1	●	●	●	●	●	●	●	●
50 Bad Herrenalb	A4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	102 Bad Sassenhof	A2	●	●	●	●	●	●	●	●
51 Bad Hersfeld	B3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	103 Schlangenbad	A3	●	●	●	●	●	●	●	●
52 Bad Hönnigen	A3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	104 Bad Schönborn	B3-4	●	●	●	●	●	●	●	●

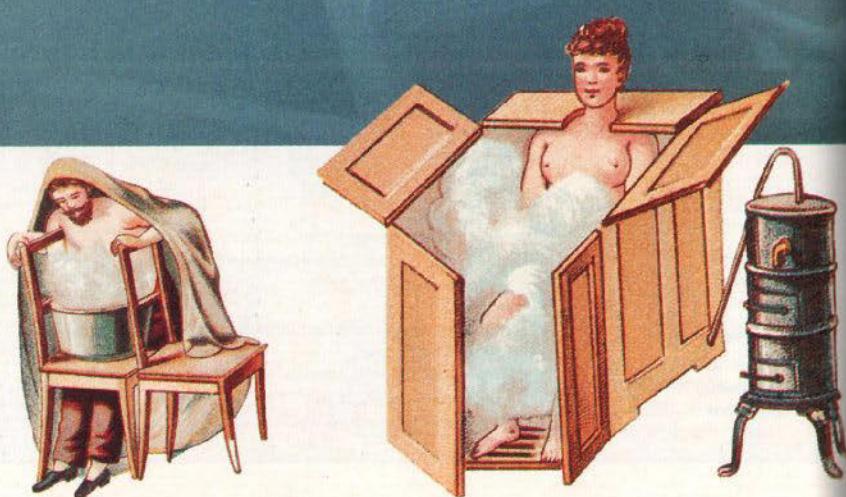
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
42 Bad Gögging Trajansbad	C4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	127 Wiesbaden	A3	●	●	●	●	●	●	●	●
43 Bad Griesbach i. Rottal	C4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	128 Bad Wiessee	C4	●	●	●	●	●	●	●	●
44 Bad Grund	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	129 Wildbad	B4	●	●	●	●	●	●	●	●
45 Hamm	A2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	130 Bad Wildungen	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
46 Bad Harzburg	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	131 Bad Wildungen-Reinhardshausen	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
47 Bad Heilbrunn	C4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	132 Bad Wimpfen	B4	●	●	●	●	●	●	●	●
48 Herxheim	B3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	133 Bad Windsheim	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
49 Bad Hermannsbörr	B2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	134 Bad Wurzach	B4	●	●	●	●	●	●	●	●
50 Bad Herrenalb	A4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	135 Zwischenahn	B3	●	●	●	●	●	●	●	●
51 Bad Hersfeld	B3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	136 Bad Zwischenahn	A1	●	●	●	●	●	●	●	●

der sich, so vermutete man jedenfalls, in warmen, duftenden Bädern den wohltätigsten Empfindungen hingab. Daß ein warmes Bad nicht nur angenehm oder heilsam ist, sondern auch den Schmutz abwäscht, dieser Aspekt des Badens war lange Zeit zweitrangig. Das öffentliche Baden im Mittelalter war neben der Reinigung vor allem Badelust: „Außen Wasser, innen Wein, läßt uns alle fröhlich sein!“ Es gab Badebordelle, in denen recht ungeniert so allerlei passierte. Als sie in sittenstrenger Zeiten geschlossen wurden, war dies keineswegs das Aus für das öffentliche Baden. Das kam erst, nachdem Pest und Syphilis die Menschen dahinzuraffen begannen: Man fürchtete, daß warme Bäder die „Hautporen“ öffnen, durch die dann Krankheiten leichter eindringen können.

Heilquellen und Gesundbrunnen hatten allerdings als „lebendiges Wasser“ stets regen Zulauf. Es mag auch sein, daß das normale Volk immer wieder badete, während der Adel, von Krankheitsängsten besessen, bis weit in die Neuzeit hinein nur äußerst selten oder gar nicht ins Wasser stieg – trotz aufwendiger Toilettenrituale: Den „Ziegengestank“ unter den Achseln und sonstwo beseitigte das „reinigende und belebende“ Parfüm. Neue Sauberkeitsvorstellungen, aber auch eine neue Badelust brachten im 18. und 19. Jahrhundert die Badewanne wieder in Mode. Und mehr und mehr galt die ausgedehnte Kur in einem Luxusbad als gesund und chic.

Heute werden auch die mindestens ebenso kurbedürftigen niederen Stände in zahlreichen edlen und weniger edlen Badeorten an Leib und Seele umsorgt, etwa in Bad Füssing. Der niederbayerische Kurort enttäuscht die vom Kurprospekt geweckten Erwartungen nicht: Neubayerische Hotelkästen verstecken sich hinter heiterem, vogeldurchzwischertem Grün, Blumen blühen und duften in Reih und Glied. Und über all der reinlichen rasen-gemähten Heiterkeit strahlt der Himmel, daß es eine weißblaue Freude ist.

Bad Füssing, vor wenigen Jahrzehnten noch ein bäuerlicher Weiler mit vielleicht 600 Einwohnern, verdankt seine explosionsartige Entwicklung zum Reißbrett-paradies mit heute fast 13 000 Gästebetten der Entdeckung einer Thermalquelle: Im Jahre 1938 ließen die autarkiebestrebten Nazis hier nach Öl bohren. Doch als die Bohrung etwa 1000 Meter tief gekommen war, stieg plötzlich anstelle des erhofften Kraftstoffes 56 Grad heißes Wasser auf, 3000 Liter in der Minute. Nach dem Krieg wurde der „schwefelhaltigen Natrium-Hydrogenkarbonat-Chlorid-Therme“ Heilwirkung vor allem gegen rheumatische Krankheiten bescheinigt. Mit den Gästen kamen die Grundstücksspe-





Seit Jahrhunderten populär – das Dampfbad: Verhüllt wie Mönche inhalieren Kurgäste in Bad Soden die heilsamen Nebel

**Schwaden,  
die Beschwerden  
lindern**



kulanten, ein beispielloser Bauboom begann, dazu ein jahrzehntelanger „Thermenkrieg“ um die Rechte an dem flüssigen Mammon, und das Wirtschaftswunder von Bad Füssing nahm seinen Lauf.

Auf dem Kopf das knallgelbe Badekäppi, auch ansonsten in einer Badekleidung, die Anstand und Sitte nicht verletzt, strebe ich jetzt dem „Nabel der Welt“ zu, wie der Kurprospekt bescheiden das große, kreisrunde Badebecken der „Therme I“ nennt. Im Zentrum des Beckens steigt das gepriesene Schwefelwasser auf und klatscht in Kaskaden herunter. Als ich in eines der Becken hineintauche, nimmt mir das immer noch 38 Grad warme Wasser fast den Atem, und wie erschrocken beginnt das Herz gewaltig zu pumpen. Doch schnell beruhigt sich der innere Aufruhr, die Betäubung weicht aus dem Gehirn, und der Blick weitert sich und erfaßt wieder all die heiteren Bademenschen, die sich hier laut Prospekt „dem Liebeswerben des leicht bewegten Wassers hingeben“. Vater Kneipp schaut gewiß mißbilligend vom Himmel, aber ach, Verweichlichung, wie ist sie schön.

Daß mein Herz deutlicher schlug als bei einem normalen Schreck, ist Folge eines physikalischen Effekts: Beim Eintauchen ins Vollbad drückt das Wasser Zwerchfell und Herz nach oben in den Brustraum und quetscht zusätzlich noch ungefähr einen halben Liter Blut aus Beinen und Bauch dorthin. Wenn wir nur bis zur untersten Rippe im Wasser stehen, dann ist der Wasserdruk geringer und das Blut ist im Körper ungefähr wie im Liegen verteilt.

Körper und Geist stellen sich – so angenehm gewärmt – um auf Andante, ja auf Behabigkeit. Dicht an dicht stehen die Menschen im heißen Wasser, manche gehen langsam herum. Schwimmen ist verboten, um den Kreislauf nicht zu sehr zu belasten. Auch darf höchstens eine halbe Stunde pro Tag in diesem flüssigen Ofen zugebracht werden. Am flachen Beckenrand und in Nischen liegt man, von lockenden Nymphen träumend, im sonnen-durchfluteten Wasser und vergißt, träge mit den verquollenen Füßen paddelnd, einen Teil seiner manchmal doch beträchtlichen Erdenschwere. Leider ist in all dem Gewimmel nur eine einzige Nymph zu sehen, die mit abwesendem Gesichtsausdruck und sehr langen, sehr roten Fingernägeln den vom Wasser umspielten Kugelbauch eines melancholisch am Beckenrand liegenden älteren Herrn krault.

Da bandelt sich's doch entspannter mit den mittelalten Herrschaften an. Herr Beierle stellt sich als „waschechter Schwob“ vor, seine Frau hat's mit der Bandscheibe, und er kurt halt mit. Sie ist schon zum viertenmal hier: „Des isch zwar deuer wie im Freudehaus, awwer'm

Rigge dut's gut.“ Da die kostendämpfende Krankenkasse nur noch jedes dritte Jahr Zuschüsse für eine Kur zahlt, müssen die beiden diesmal ganz schön in die Tasche greifen. „Awwer des heiße Schwefelwasser, des isch halt des beschte, wasses giwt fier de Rigge!“

### Trotz aller Mythen, die manche Badeärzte pflegen: Ganz Genaues weiß man nicht

Die Wirkung der Wassertemperatur, die ja auch die Kneipp-Therapie so vielfältig ausnutzt, ist eines der zentralen Themen der Balneologie, der Wissenschaft vom Baden (siehe Kasten Seite 92). Ein Mensch, der sich nicht bewegt, fühlt sich in 36 Grad warmen Wasser wohl. Sein Körper schaltet Regelmechanismen ein, um im „Körperkern“ eine Temperatur von ungefähr 37 Grad zu halten. In der Kälte ziehen sich kleinste Arterien in der Haut zusammen. Wird unsere Haut dagegen in der Hitze stärker durchblutet und schwitzt, strahlen wir mehr Wärme nach außen ab. Der Organismus regelt also Außen- und Innentemperatur gegenläufig: Ist die Haut heiß, versucht er, den Körperkern zu kühlen; wird die Haut gekühlt, erwärmt sich das Körperinnere.

Dieser körpereigene Thermostat stößt im Bad jedoch schnell an seine Grenzen. Da im Wasser die Abkühlung durch Schwitzen entfällt, kann ein längeres Bad von mehr als 37 Grad den Organismus überwärmen. Und die Regelmechanismen, die weiterfunktionieren wie an der Luft, beschleunigen das sogar: Das Herz pumpt im Überwärmungsbad – übrigens auch in der Sauna – immer noch soviel Blut wie möglich durch die maximal erweiterten Hautgefäße, doch die wilde Kreislaufarbeit transportiert jetzt die Wärme nicht hinaus, sondern hinein.

Im Bad Füssinger Thermalwasser suchen vor allem chronische Rheuma-Patienten, Wirbelsäulen- und Gelenkkrank-Linderung. Wärme und Schwerelosigkeit entspannen die Muskeln, die oft in einem Teufelskreis von Gelenkschmerz und Verkrampfung extrem verhärtet sind. Dadurch werden die Gelenke entlastet und schmerzen weniger. Die Glieder können jetzt vorsichtig im Wasser geübt und so nach und nach wieder beweglicher gemacht werden, während die verstärkte Durchblutung schädliche Stoffwechselprodukte besser abtransportiert. Bandscheiben- und Gelenkoperationen können hinausgeschoben, manchmal auch vermieden werden. Aber auch nach Unfällen und Operationen aller Art ist sinnende Gymnastik in warmem Wasser oft der sinnvollste Beginn der Rehabilitation. Entzündliches Rheuma, vermutlich ein Angriff des Immunsystems auf den ei-

genen Körper, muß übrigens im akuten Stadium gekühlt, nicht gewärmt werden, andernfalls spielt die Entzündung leicht „verrückt“.

Und der Schwefel, der als Wohltat für alle Rheumatiker gepriesene Sulfid-schwefel? Trotz aller Mythen, die manche Badeärzte pflegen: Niemand weiß Genaueres; vielleicht wirkt er – wahrscheinlich wirkt er nicht, jedenfalls nicht direkt auf die Gelenke. Die Schwefelmengen, die ein Badender aufnimmt, sind minimal, bestenfalls ein paar Promille des Schwefels, den er sowieso täglich mit dem Essen zu sich nimmt.

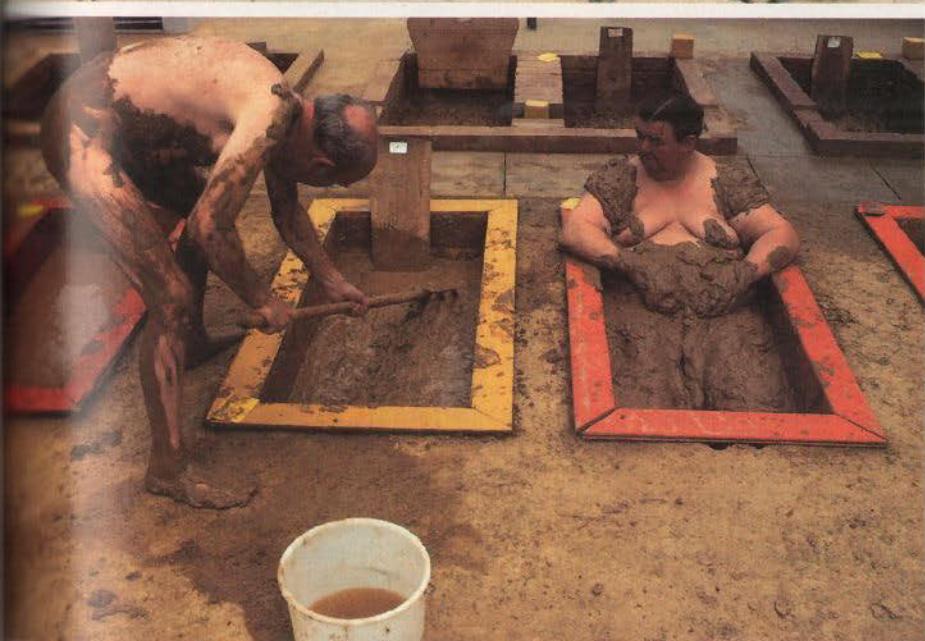
Indirekte Wirkungen über die Haut sind denkbar: Beispielsweise ist nachgewiesen, daß Schwefelbäder die Hautdurchblutung steigern und dadurch Stoffwechsel sowie Immunreaktionen beeinflussen können. Doch auf welche Weise solche Effekte schließlich auf die Gelenke wirken, ist nicht bekannt. Eines jedoch wissen die Bad Füssinger, obwohl sie es am liebsten verschweigen: Der Sulfid-schwefel in Therme I reagiert – wie ein Gutachten zeigte – sehr schnell mit Luftsauerstoff und Desinfektionsmitteln zu garantierter unwirksamem Sulfat.

Überhaupt sind die Ströme von Professoren-schweiß, die vergossen wurden, um die angeblichen Heilwirkungen der „Bäderinhaltstoffe“ zu ergründen, bisher meist vergebens geflossen. Die balneologischen Fachzeitschriften sind voll von Berichten über unzählige, meist winzige Effekte solcher Stoffe, deren heilsame Wirkung mehr als zweifelhaft ist.

Therapeutisch gut ausnutzbar ist allerdings die Wirkung von Kohlensäurebädern: Gelöstes Kohlendioxid dämpft die Empfindlichkeit der Kälterezeptoren in der Haut, so daß das Wasser sich wärmer anfühlt, als es ist. Patienten, die wegen ih-



**Die alte  
Herrlichkeit ging  
baden**



In vergangenen Jahrhunderten verordneten Kurärzte ihren Patienten oft tagelanges Sitzen im Bad. Heute setzen sie eher auf die Regelmäßigkeit der »Anwendungen«. Für Moor- und Schlammbäder, aber auch bei Trink-Kuren werden genaue Zeitpläne vorgeschrieben

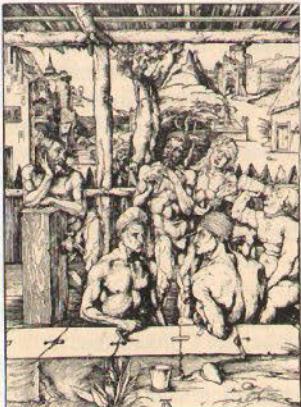
res schwachen Kreislaufs nicht ins heiße Wasser dürfen, können so in kühlem, subjektiv aber warmem Wasser baden. Eine Serie von Kohlensäurebädern senkt, wie Hans-Dieter Hentschel in Wörishofen zeigte, den Blutdruck so stark wie wesentlich wärmere Süßwasserbäder. Bluthochdruck kann so schonender behandelt werden. Und die Stuttgarter schwimmen – unterbrochen von Aufwärmduchen – in ihren 20 Grad kalten Canstatter Mineralquellen wie andere Stadtbewohner in geheizter Chlorbrühe.

Eine gute Balneotherapie ist wahrscheinlich weniger von den Stoffen abhängig, die in den Organismus eindringen oder auch nicht, sondern vom Geschick, mit dem Auftriebs- und Temperatureffekte des Wassers ausgenutzt werden. Oft ist schon schlichtes Sitzen in einem richtig temperierten Bad heilsam. So beschleunigen Überwärmungsbäder als „künstliches Fieber“ die Heilung mancher Infektionskrankheiten. Wärme oder Kälte helfen auch bei vielen Frauenleiden, heilen sogar gewisse Formen von Sterilität.

#### Bäder und Packungen können je nach den Umständen ganz gegenteilig wirken

„Doch gerade bei der Behandlung von Frauenkrankheiten“, sagt Robert Kovarik, Arzt am Luisenhospital in Aachen, „zeigt sich, daß ein guter Balneotherapeut weit mehr machen kann als die Patientin einfach ins Wasser oder Moor zu setzen. Oder darauf zu vertrauen, daß der Organismus sich aus vielen verschiedenen, unspezifischen Reizen schon die richtigen aussuchen wird.“ Wer gezielt arbeiten wolle, der müsse beispielsweise wissen, daß die Wirkung von Beruhigungsbädern vom Biorhythmus abhängt und ihn auch beeinflussen kann, daß Stressdämpfung etwas anderes ist als Erholungsvertiefung, daß manche Bäder und Packungen auch je nach den Umständen ganz gegenteilig wirken können. Der gebürtige Tscheche hat eine ausgeklügelte Tabelle zusammengestellt, die zeigt, wie man mit den unterschiedlichsten Moorbehandlungen die Durchblutung und den – temperaturabhängigen – Stoffwechsel in den Geschlechtsorganen sehr fein beeinflussen kann.

„Manche Ärzte vergessen bei ihren Behandlungen, sich die genauen Wirkungen des hydrostatischen Druckes und der Thermoregulationsprozesse im Körper klarzumachen“, vermutet Kovarik. Ein Beispiel: Unfruchtbarkeit durch verklebte Eileiter läßt sich durch möglichst intensive Wärme und Durchblutung heilen. Ein heißes Moorbad wärmt und durchblutet das Genital zwar durchaus, drückt aber durch sein Gewicht auch Blut her-



»Das Männerbad« von Albrecht Dürer (1499)

aus, wodurch der gewünschte Effekt teilweise aufgehoben wird. Hinderlicher und lästig für die Badende ist, daß der Organismus sich gegen die Hitze von außen wehrt und alles anstellt, die inneren Organe kühlt zu halten – ein Effekt, der auch bei heißen Packungen nicht aufgehoben ist. Der Arzt wundert sich, daß in Deutschland die weiblichen Organe immer noch ausschließlich mit Moorböden geheizt werden: „Dabei benutzen wir tschechischen und anderen ausländischen Ärzte schon lange eine angenehmere Methode, die das klassische Moorbad ergänzt: Wir geben heißes Moor in die Vagina. Das wärmt wesentlich stärker, dazu gezielt an der richtigen Stelle, ohne daß der Körper verrückt spielt.“

Kovarik hat eine Einführungsapparatur entwickelt: Eine „Moorwurst“ wird mit einem Perlonsäckchen umkleidet. Die Patientin kann sich entspannt hinsetzen und nach Abklingen der Hitze das Moor selbst herausziehen, ohne daß Schmutz zurückbleibt. „Anders als manche meinen, ist also Badearzt wahrlich



Gellérthbad in Budapest: Entspannung für jedermann in prachtvollem Ambiente

### An ihren Bädern könnt ihr sie erkennen

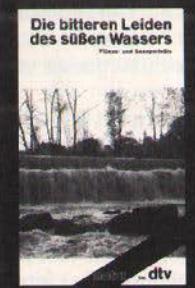
kein Job für müde Vorpensionäre, sondern ein anspruchsvolles Geschäft, wenn man wirklich etwas erreichen will.“

Von einem deutschen Kurort haben sie alle, alle geschwärmt, die Dichter und Schriftsteller, haben liebevolle Charakterisierungen versucht wie Hebbel das Wort vom „Paradieslein und Mustergärtlein der alten, mittleren und neuen Zeit“, oder Kerner vom „Stück Italien auf deutschem Grund“.

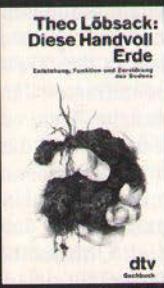
„Im südlichen Schwarzwald“, schrieb René Schickele, „liegt ein kleiner Kurort, Badenweiler. Er trägt ein adlig-stilles Gepräge. Er verhält sich zu Baden-Baden wie Kammerspiele zu großen Theatern.“ Zum letztenmal thermalgebadet spaziere ich nach goldenem Sonnenuntergang in der warmen Luft dieses entzückenden Arkadien für Betuchte, lasse mich trotz der häßlichen klassizistischen Fassade des Markgrafenbades verzaubern von der Abendstille, vom alles weichzeichnenden Aroma beschaulichen Gebadetseins, von den Düften des alten Kurparks mit seiner unglaublichen Baumlandschaft.

Das Gespräch mit dem Münchener Balneologen Jürgen Kleinschmidt kommt

## dtv-Taschenbücher zum Thema Umweltzerstörung



10486 / DM 12,80



10620 / DM 9,80



10914 / DM 13,80



10751 / DM 16,80



10589 / DM 14,80



10371 / DM 12,80



10600 / DM 12,80



Während Deutsche um 1935 Wasser treten . . .



. . . amüsieren Franzosen sich noch im »Lido«

mir in den Sinn: Wenn jemand sich nach einer Badekur wohler fühle als vorher, vielleicht etwas weniger Schmerzen habe, ein paar Treppenstufen mehr steigen könne, dann gelte das wenig in den Augen von Leuten, die sich unter medizinischen Erfolgen gelungene Herzoperationen und Ähnliches vorstellen. „Aber ist es nicht vielleicht ein größeres Verdienst, Herzoperationen zu verhindern? Für einen chronisch Kranken bedeutet Linderung schon eine ganze Menge.“ Kurmediziner, so Kleinschmidt weiter, würden oft angegriffen, weil sie ihre Erfolge so schlecht beweisen könnten. Dabei werde manchmal nicht bedacht, daß die sanften Effekte einer Kur oft äußerlich geringfügig erscheinen, Erfolgskriterien sehr schwer zu definieren seien und „Vergleichsgruppen“, die zum Beispiel in der pharmakologischen Forschung unumgänglich sind und eine Objektivierung des Erfolges erst ermöglichen würden, meistens nicht gefunden werden könnten.

Vor dem wasserblauen Himmel glüht jetzt ein feiner rotvioletter Schleier auf. Dunkel aufgetürmt, immer wuchtiger erscheinen die Riesenpflanzen vor den erleuchteten Speisesälen der noblen Jahrhundertwendehotels, in denen vornehm gekleidet Menschen tafeln.

Ich schaue ihnen zu und freue mich, daß Pfarrer Kneipps Methoden mir schon manchen ungesunden Schluck erspart haben. □



Schon immer gern geplanscht hat der Biologe und Journalist **Franz Mechsner**, 34. Der regelmäßige GEO-Mitarbeiter erhielt kürzlich den Publizistik-Preis der Smith Kline Dauelsberg Stiftung.



## KLO LA LA! FROSCH INS WC HÄLT DIE UMWELT O.K.

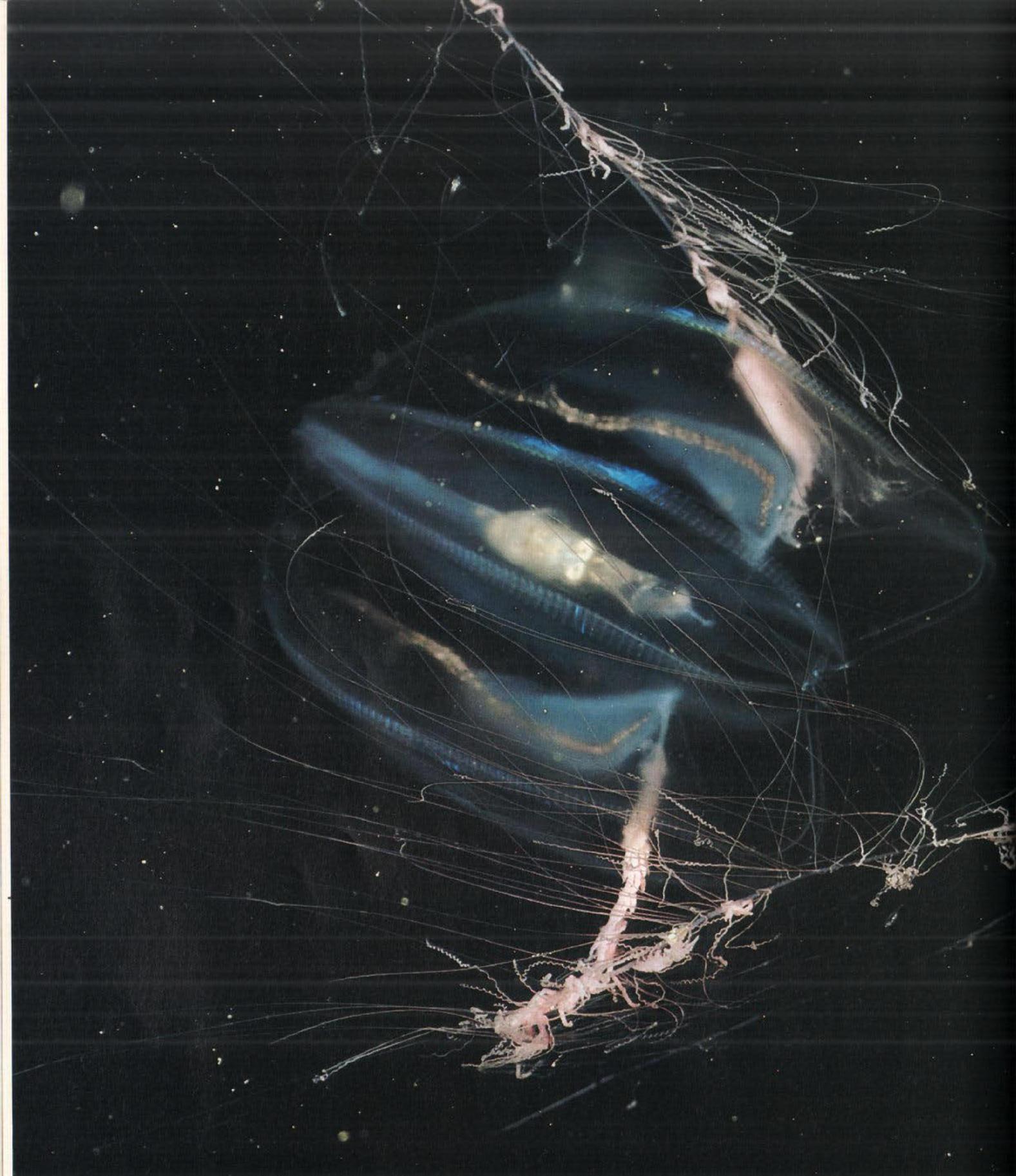
Machen auch Sie das stille Örtchen jetzt zum umweltbewußten Örtchen. Mit dem neuen Frosch WC-Essig-Reiniger. Er löst schwierige Kalk- und Schmutz-Probleme auf der Basis von Essig und mit Hilfe waschaktiver Substanzen, die zu 98% biologisch abbaubar sind.\*

Der Frosch WC-Essig-Reiniger ist phosphatfrei, beseitigt unangenehme Gerüche und reinigt durch die praktische Knickhalsflasche bis unter den Rand. Durch seine Dickflüssigkeit und Ergiebigkeit brauchen Sie weniger und schonen damit zusätzlich die Umwelt.

\* nach OECD-Testmethode



**Das kleine grüne Wunder**

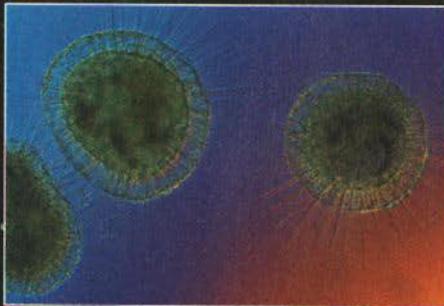


Rippenqualle aus dem Plankton des arktischen Ozeans

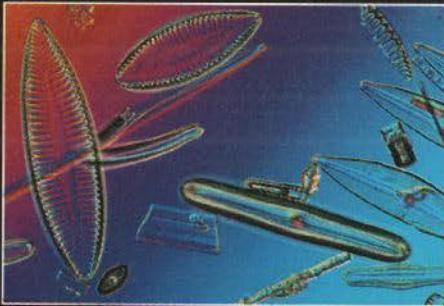
# Die blaue Eminenz



Pflanzliches Plankton ...



... Sonnen-tierchen und ...



... Kieselalgen von bizarrer Gestalt

Ohne Wasser läuft nichts bei Mensch und Tier. Alle Lebensvorgänge benötigen das nasse Element. Es bindet uns an das Erbe unserer tierischen Vorfahren, die einst aus dem Meer kamen. Dort begann vor Milliarden Jahren das Leben. Und die heutigen Bewohner der Ozeane haben sich mit phantastischen Anpassungen ihren Lebensraum erobert

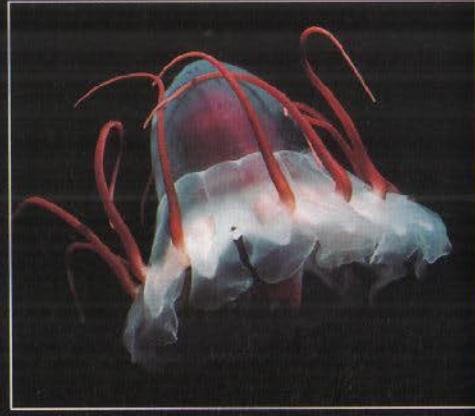
Rippенquelle der Gattung Hormiphora



Die Kompaßqualle Chrysaora hyoscella

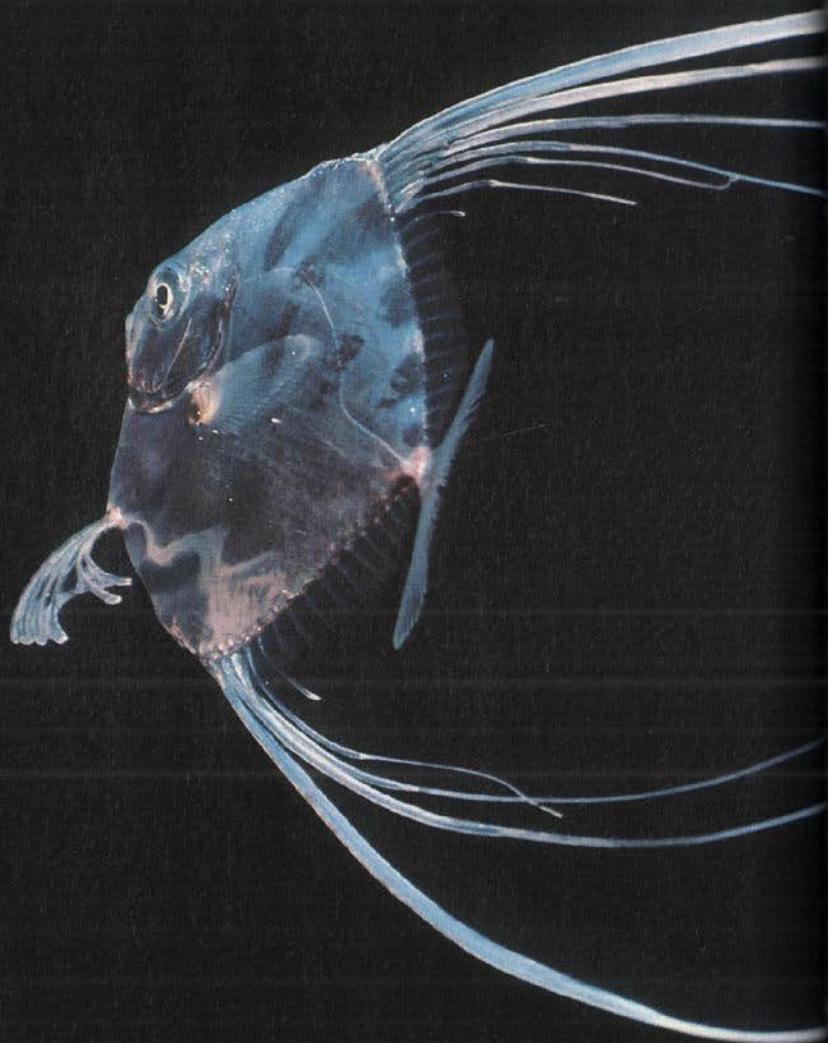


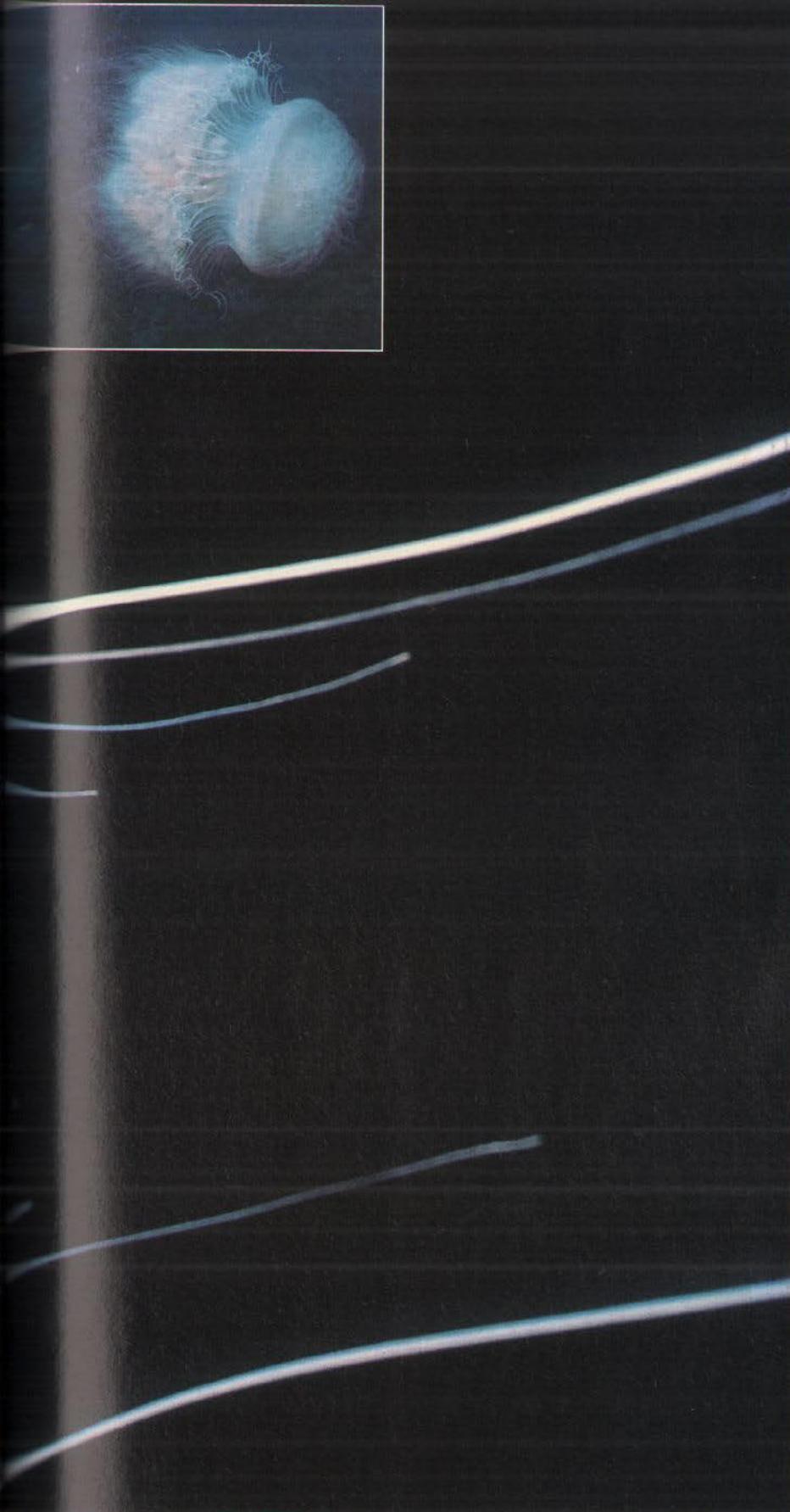
Die Kronenquelle Periphylla periphylla



Wie Fallschirme treiben Qualen in der Strömung. Weil sie selbst zu 99 Prozent aus Wasser bestehen, sind sie kaum schwerer als das Medium, das sie trägt. Der hohe Strömungswiderstand ihres Körpers und ein gelegentlicher Rückstoß reichen aus, um ein Absinken zu verhindern. Fische stabilisieren ihre Lage zum Teil durch lange Flossenanhänge. Die meisten hält zudem eine gasgefüllte Schwimmblase in Schweben

**Ein bißchen Auftrieb ist schon nötig**





Die Filamente der Fadenmakrele *Alectis ciliaris* sind 40 Zentimeter lang

VON MANFRED PIETSCHMANN

**A**uf einmal stieß das Ungetüm, während wir ohne Laut ihm nachjagten, den Schwanz vierzig Fuß hoch senkrecht in die Luft und versank dann vor unseren Augen wie ein Turm, den die Erde verschlingt. „Er taucht!“ schrie es von allen Seiten.“

Noch einmal war der Pottwal den Harpunen von Kapitän Ahabs Männern entkommen, war hinabgestoßen in unlotbare Tiefen – 200, 300 Meter, vielleicht mehr. Wie tief die Riesen des Meeres tauchen können, wußte – obschon selbst zeitweilig Waljäger – auch Herman Melville nicht, als er 1851 seinen Roman „Moby Dick“ veröffentlichte. Erst 100 Jahre später belegten Kadaver ertrunkener Pottwale, in welchen Abgründen diese lufttambenden Säugetiere nach Tintenfischen jagen: Die Wale hatten sich in über 1000 Meter Tiefe in Seekabeln verfangen.

In Meerestiefen von mehr als 500 Metern sei mangels Sauerstoff und wegen des großen hydrostatischen Drucks kein Leben möglich, hatte der britische Forscher Edward Forbes – ein berühmter Zeitgenosse Melvilles – noch behauptet. Heute besteht kein Zweifel mehr daran, daß Mikroorganismen und Tiere die Ozeane bis hinab auf den Grund der Tiefseegräben besiedelt haben – trotz des dort herrschenden unvorstellbaren hydrostatischen Drucks von über 1000 bar.

Im Schoß des großen Weltozeans nahm wahrscheinlich vor rund vier Milliarden Jahren das Leben seinen Anfang. Die noch primitiven einzelligen Wesen meisterten zunächst mit speziell entwickelten Molekülen und eigenen biochemischen Reaktionswegen die elementaren Herausforderungen ihres flüssigen Lebensraums – seine hohe Dichte, seine Wärme- und elektrische Leitfähigkeit, seinen wechselnden Gehalt an gelösten Salzen und Gasen, vor allem Sauerstoff.

Nach gut drei Milliarden Jahren – drei Viertel der gesamten Erdgeschichte – brachte das Leben im Meer dann vielzellige Organismen hervor – hochspezialisierte Tiere und Pflanzen, denen weitere Jahrhundertmillionen später, nach ungezählten Anpassungsschritten, die Eroberung des Festlandes gelang. Vor allem der Schritt der Tiere aus dem angestammten Element offenbart, wie innig Wasser und Leben verbunden sind: Zunächst mühsam, dann aber mit wachsendem Erfolg lernten Tiere, mit dem nicht mehr allgegenwärtigen Lebenselixier Wasser hauszuhalten.

Heute rekonstruieren Naturwissenschaftler mit wachsender Hochachtung die zum Teil bizarren Anpassungen der Tiere an das Leben im Wasser und an der Luft – Lebensräume, die bei aller Unter-

schiedlichkeit auch Gemeinsames haben: Auch wir leben am Grunde eines Ozeans, eines Luftmeeres, dessen Masse mit dem Druck einer Atmosphäre – etwa eines Kiloponds pro Quadratzentimeter – auf uns lastet. Wie in der Luft sorgen Strömungen im Wasser für ein wechselhaftes „Wetter“ und „Klima“ der Meere – wenn auch, im Vergleich zur Atmosphäre, gleichsam im Zeitlupentempo.

Indes prägen die physikalischen Unterschiede zwischen Atmosphäre und Hydrosphäre Form und Funktion der Tiere zu Lande und zu Wasser:

- Der Luftdruck über dem Meeresspiegel – ein bar – hat sich bereits in zehn Meter Wassertiefe verdoppelt. In 50 Meter Tiefe muß die luftgefüllte Schwimmblase eines Fisches schon einem Druck von sechs bar standhalten – dem Dreifachen des Drucks, der einen Autoreifen prall füllt. Dabei wird die Schwimmblase maximal auf ein Sechstel ihres Volumens zusammengepreßt. Hoher Wasserdruck verändert auch die räumliche Struktur der Zellproteine und damit deren biochemisches Verhalten.
- Die rund 3000fach größere Wärmekapazität des Wassers sorgt für annähernd stabile Temperaturen in den Weltmeeren. Die hohe Wärmekapazität und die 25fach höhere Wärmeleitfähigkeit bedrohen warmblütige Wasserbewohner wie Wale mit Energieverlust.
- Weil die Dichte ihres Lebensmilieus etwa 800mal und dessen Zähigkeit 50mal größer ist als die der Luft, wird den Wasserwesen auch die aktive Bewegung erschwert – vor allem auch bei der Atmung mit den Kiemen.
- Zudem müssen aquatische Tiere mit einem viel geringeren Sauerstoffangebot auskommen: Ein Liter Luft enthält 209, ein Liter Wasser dagegen nur etwa 7 Milliliter Sauerstoff.

#### **Exzellent meistern Wasserbewohner die Fährnisse des aquatischen Daseins**

Die Wasserbewohner haben die physikalischen Herausforderungen ihres Lebensraums glänzend bewältigt: Selbst schnellschwimmende Räuber mit intensivem Stoffwechsel wie etwa Thunfische können ihren riesigen Körper ausreichend mit Sauerstoff versorgen; Seefische können trotz ständigen Trinkens ihr relativ salzarmes „inneres Milieu“ gegen den ständigen Einstrom des salzhaltigeren Meerwassers verteidigen; manche Fische haben sogar Mittel gefunden, in den kalten Polarmeeren dem Frosttod zu trotzen. Noch faszinierender sind für uns Menschen die exzellenten Schwimm- und Tauchleistungen der Meeressäuger, die ja erst nach einem langen entwicklungs geschichtlichen Ausflug aufs Land ins Meer zurückkehrten.

Ein sinnliches Gespür fürs aquatische Dasein erfährt jeder Mensch schon in sei-

ner frühesten Lebensphase – beim schwebelosen Schweben in der flüssigkeitsgefüllten Fruchtblase, und später beim Bad in einer bis zum Rand gefüllten Wanne: Die hohe Dichte und Viskosität des Wassers hält die eigene Last in der Schwebete. Schon einige der ersten einzelligen Tiere, Vorfahren der heutigen Räder tierchen, profitierten von dieser Eigenschaft des nassen Elements: Mit einem bizarren Kieselgerüst um ihren Zellkörper, das wie ein Fallschirm wirkte, erhöhten die winzigen Organismen ihren Strömungswiderstand und erleichterten somit ihr passives Dahinschweben im Ozean. Heute verwenden die meisten ein- und mehrzelligen Lebewesen des Süßwasser- und Meeresplanktons dieses erfolgreiche Prinzip: Ausladend faden-, stern- oder bandförmige Gestalten, aber auch dornige, stachelige Fortsätze halten sie in der Schwebete.

#### **Je aktiver ein Fisch, desto größer seine Kiemenoberfläche**

Schwimmenden Jägern wären solche eingebauten Bremsen freilich hinderlich. Ungezählte Selektionsschritte glätteten im Laufe der Evolution von Hai oder Hecht deren Körperformen so weit, daß sie wie im Windkanal konstruiert erscheinen. In der Tat können die schnittigen Fische – gemessen an ihren Widerstandsbe- oder „cW“-Werten – mit modernen Autos konkurrieren.

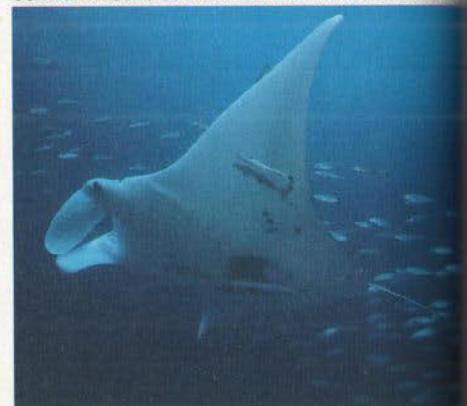
Äußere Anpassung allein wäre freilich nicht genug, um Raubfische in schnelle Jäger zu verwandeln. Nötig ist auch die Entwicklung effektiver Atmungsorgane mit einer großen Oberfläche, die ständig von Wasser umströmt wird – von Kiemen. Aktive Fische, die viel Sauerstoff verbrauchen, haben eine große Kiemenoberfläche: Bei der schnell schwimmenden Makrele ist sie 50mal größer als beim Anglerfisch, der ruhig am Meeresboden lebt. Die meisten Fische pumpen das Wasser mit der Bewegung ihrer Kiendedeckel langsam an den zahlreichen, von vielen Blutkapillaren durchzogenen Kiemenblättchen vorbei. Weniger effektiv sind die Büschelkiemen der Insekten- und Amphibienlarven, Muscheln, Krebse und Wasserschnecken; sie werden von vielen Tieren ins vorbeiströmende Wasser gehalten.

Kiemen dienen jedoch nicht nur der Atmung. Sie regulieren auch die chemische Balance des „inneren Milieus“, indem sie Kochsalz – Natriumchlorid (NaCl) – aufnehmen oder ausscheiden, je nachdem, ob ein Fisch in Süßwasser oder im Meer lebt (siehe Grafik Seite 106/107).

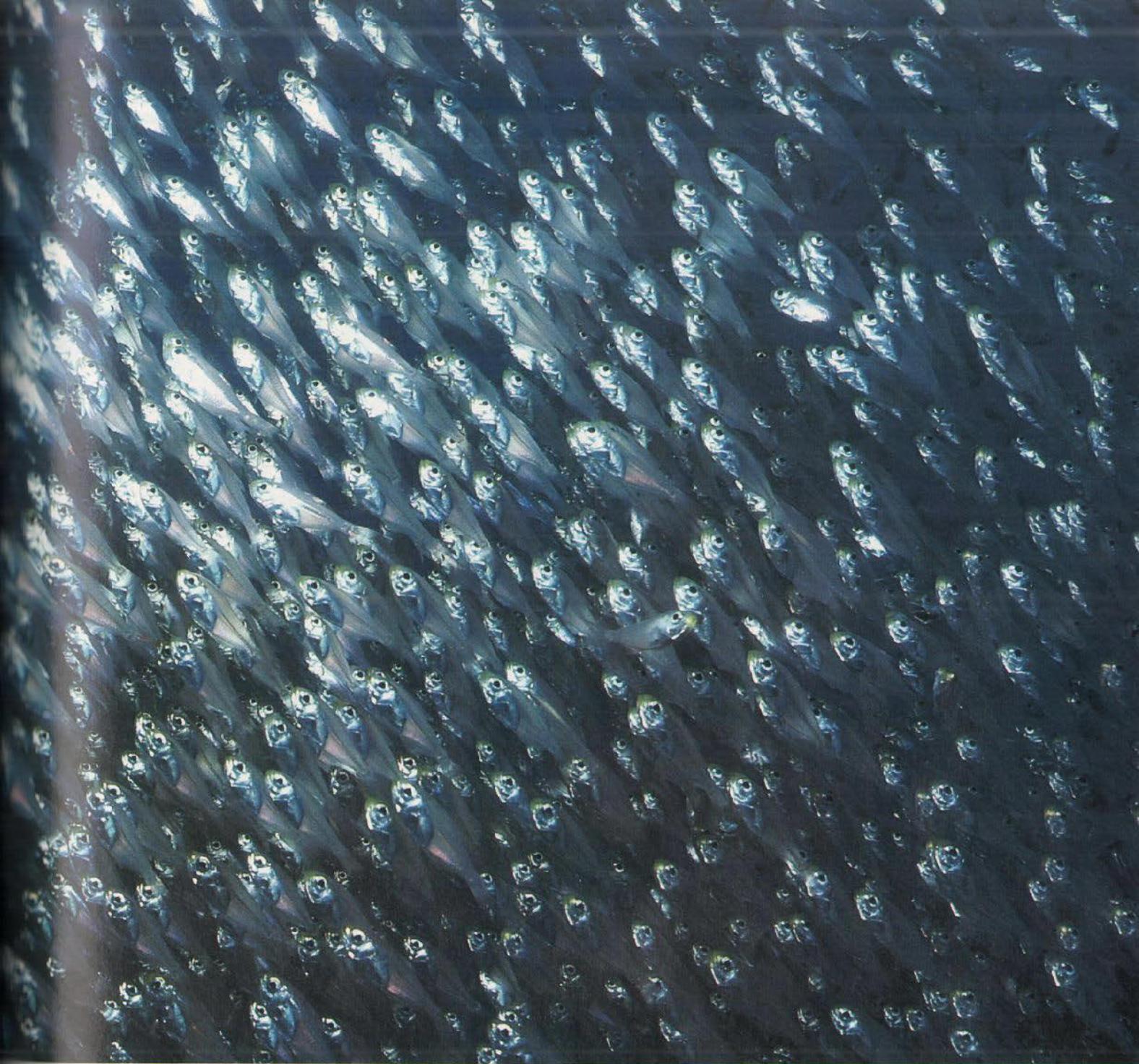
Je aktiver Fische im Laufe der Evolution die Konzentration der gelösten Teilchen in ihrem Blut regulierten, um so eher entkamen die Kaltblüter in polaren Gewässern auch dem Frosttod. Denn der Gefrierpunkt des Meerwassers liegt we-



*Schwarmfische schwimmen mit Abstand besser*



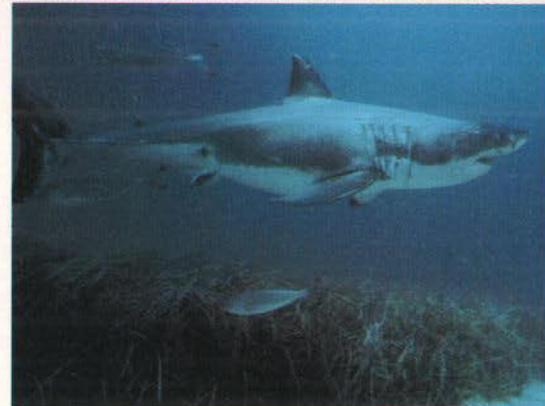
*Ein atlantischer Manta-Rochen*



Mit den Augen und ihrem strömungsempfindlichen Seitenlinien-Organ bestimmen sie ihre Position zum Nachbarn



Pfeilschnelle Barracudas



Der weiße Hai

Langsame Schwimmer, die ihren Jägern nicht entkommen können, vermindern durch Schwarmbildung das Risiko, gefressen zu werden. Den Körper der aquatischen Räuber hat die Evolution im Laufe der Zeit geglättet und dessen Strömungswiderstand reduziert. Die Schnellsten unter ihnen erscheinen wie im Windkanal konstruiert

**Eine Welt von Jägern und Gejagten**

gen des hohen Salzgehalts bei minus 1,8 Grad, am Rande des antarktischen Schelfeises sogar unter minus zwei Grad. Im Blut der Meeresfische aber ist weniger als halbsoviel Salz wie im Meerwasser gelöst. Sie müssen daher Natriumchlorid „einsammeln“, um nicht zu Eisklumpen zu gefrieren.

Im Blut einiger antarktischer Fischarten wurde tatsächlich doppelt soviel NaCl gefunden wie in dem ihrer Verwandten in temperierten Meeren. Der hohe Salzkonsum bescherte den südpolaren Schuppenfischen freilich ein neues Problem: Je mehr Natriumchlorid im Blut gelöst ist, desto höher wird das Konzentrationsgefälle zwischen Blut- und Zellflüssigkeit. Dadurch wird per Osmose (siehe Glossar) Wasser aus den Körperzellen gezogen. Frostschutzmittel mit geringeren osmotischen Nebenwirkungen als Kochsalz mindern das Problem: Viele antarktische Fischarten produzieren Zuckereiweißstoffe, sogenannte Glykoproteine, die den Gefrierpunkt des Blutes unter minus zwei Grad senken. Arktische Fische verhindern die Eisbildung mit Hilfe spezieller Eiweißsubstanzen.

Alle diese biologischen Frostschutzmittel scheinen nach dem gleichen Prinzip zu wirken: Sie besitzen je eine fettähnliche, wasserabweisende und eine polare, wasserähnliche Seite. Letztere passt exakt in das molekulare Gitter eines Eiskristalls. Die nach außen gerichtete, wasserabweisende Seite hindert den Kristall daran, mit anderen Eiskeimen zu einem Eisblock zusammenzuwachsen.

Mit weitaus härterem Frost haben Muscheln und Schnecken in der Gezeitengezone zu kämpfen. Selbst in unseren gemäßigten Breiten müssen sie, wenn sie an einem strengen Wintertag vorübergehend trockenfallen, eisige Winde von minus 20 Grad und darunter überstehen. Deshalb schützen sie sich durch einen anderen Mechanismus als die Fische: Sie selbst leiten schon bei geringem Frost die Vereisung ihrer blutähnlichen Hämolymphe ein, indem sie Eiskeime bilden. In der verbleibenden Flüssigkeit erhöht sich die Konzentration der gelösten Substanzen und damit auch der osmotische Druck. Dadurch tritt Wasser aus den Körperzellen aus. Das Zellinnere verwandelt sich in einen zähflüssigen Brei, der selbst hartem Frost so lange widersteht, bis die Tiere bei der nächsten Flut wieder von Wasser bedeckt sind. Die mit dem Wasserentzug verbundene Zellschrumpfung überstehen die wirbellosen Bewohner der Gezeitengezone vermutlich dank besonders elastischer Zellmembranen. Einige Strandschnecken ertragen sogar das Ausfrieren von drei Vierteln ihres Gewebewassers ohne Frostschaden.

Wirbellose Tiere und Fische sind im allgemeinen nicht fähig, ihre Körpertemperatur zu regulieren. Einige schnell schwimmende Thunfische und Haie aber können Wärme erzeugen und in begrenzt-

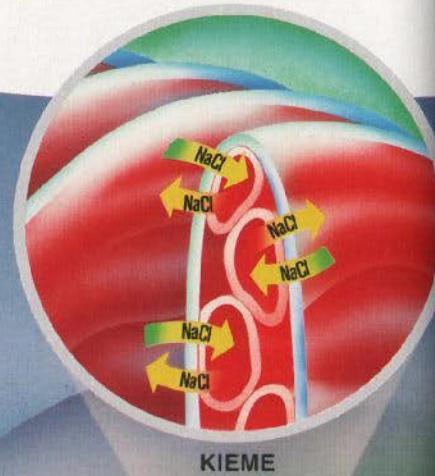
## Das Ringen um den inneren Wert

**M**ensch und Tier bestehen – grob vereinfacht – aus einer Salzlösung, die von einer undichten Hülle umgeben ist. Durch sie kann Wasser osmotisch ein- oder austreten, je nachdem, in welchem Medium ein Organismus lebt. Im

ATMUNGSSORGANE

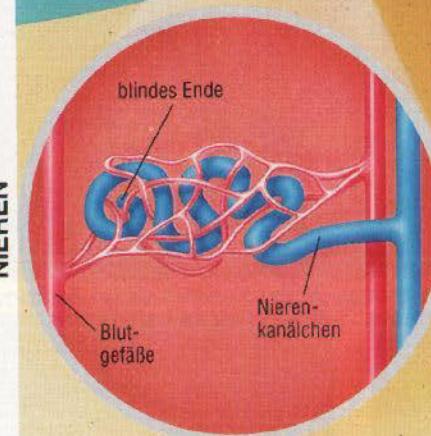


KIEME

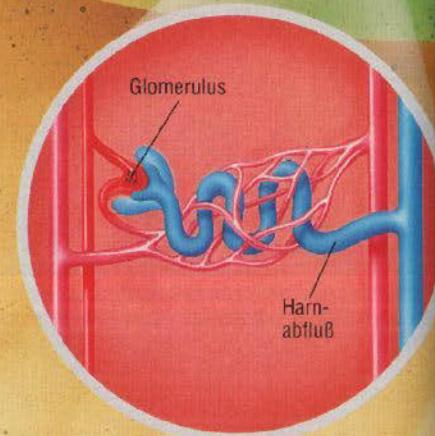


KIEME

NIEREN



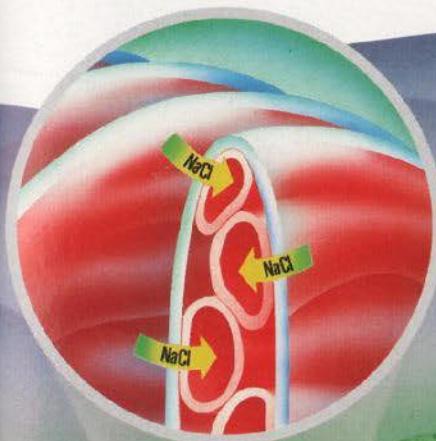
Meerwasser hat eine dreimal so hohe Osmolalität wie das Blut mariner Knochenfische. Eingedrungenes Kochsalz ( $\text{NaCl}$ ) scheidet die Tiere über die Kiemen wieder aus. Bei vielen Meeresfischen enden die Nierenkanälchen blind. Ihnen fehlen Glomeruli – wasserentziehende Filterorgane. So bleibt ihr Wasserverlust in Grenzen



Aale, die aus Flüssen ins Meer wandern, können sogar die Richtung des Salztransports in den Kiemen wechseln und die Größe der Glomeruli variieren: Im Süßwasser nehmen sie Salz auf und scheiden über große Glomeruli verdünnten Harn aus. Im Meer hingegen sondern die Kiemen Salz ab, und verkleinerte Glomeruli produzieren konzentrierten Harn

Meerwasser ist der Salzgehalt und deswegen auch die osmotische Aktivität – gemessen in der Einheit Osmol – besonders hoch. Süßwasser hat eine hundertfach geringere Salzkonzentration und »Osmolalität«. Tolerieren oder regulieren heißt es daher für die Be-

wohner beider Lebensräume: Wirbellose Tiere wie Muscheln und Krebse haben annähernd den gleichen Salzgehalt wie ihr Lebensmedium. Wirbeltiere dagegen verteidigen ihr »inneres Milieu« gegen die Umwelt – hauptsächlich mit Nieren und Kiemen



KIEME



Lungenbläschen,  
umgeben von  
Blutgefäßen



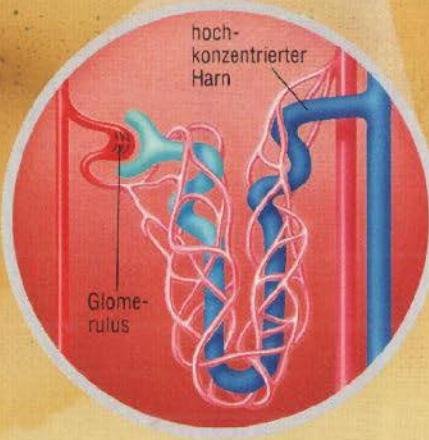
10 Milliosmol

270 Milliosmol

LUNGE



*Das Blut von Süßwasserfischen hat eine rund 30mal höhere Osmolalität als das Medium, in dem diese leben. Der Wassereinstrom würde das Blut der Tiere verdünnen, wenn ihre großen Glomeruli das überschüssige Wasser nicht ausscheiden würden. Zudem sammeln ihre Kiemen Kochsalz aus dem umgebenden Wasser*



*Landsäuger verlieren mit jedem Ausatmen Wasserdampf. Die Nieren gleichen dies reichlich aus, indem sie trotz großer Glomeruli wenig Wasser ausscheiden: In der Schleife des Nierenkanälchens und im Sammelrohr passiert der Harn das osmotisch hochkonzentrierte Nierenmark zweimal. Dort wird ihm bis zu 99 Prozent des Wassers entzogen*

## Wenn Tiere auf dem Trocknen sitzen

**W**armblüter regulieren ihre Temperatur mit einer aufwendigen »Klimaanlage«. In der Hitze verdunsten sie Wasser an der Körperoberfläche – bei 50 Grad Celsius verliert ein Mensch stündlich über einen Liter Schweiß.

Wüstentiere müssen mit der knappen Ressource Wasser sparsamer umgehen: Kamele etwa ertragen selbst in glühender Hitze zweiwöchige Durstperioden. Das verdanken sie nicht etwa einem inneren Wasserspeicher, wie lange Zeit angenommen wurde. Vielmehr tolerieren sie ein beträchtliches Auf und Ab ihrer Körpertemperatur, um Wasser zu sparen. Tagsüber können sie sich auf 41 Grad aufheizen, ohne daß sie nennenswert ins Schwitzen kommen. Nachts strahlen die Tiere die Wärme wieder ab; ihre Körpertemperatur kann dann auf 34 Grad fallen. Auf diese Weise sparen sie täglich bis zu fünf Liter Wasser. Zudem können Kamele in ihren Atemschleimhäuten einen Teil des Wassers zurückgewinnen, der gewöhnlich beim Ausatmen verlorengeht. Darüberhinaus scheiden sie mit ihrem Harn relativ wenig Wasser aus – er ist stärker konzentriert als bei den meisten anderen Säugetieren.

Noch effektiver arbeiten die Nieren der Wüsten springmäuse. Ihnen kommt vor allem der hohe osmotische Druck ihres Nierenmarks zugute: Bei der Passage des Harns durch die extrem lange Schleife des Nierenkanälchens und das Sammelrohr wird das Wasser nahezu vollständig resorbiert. Dadurch brauchen die Tiere im Extremfall gar nicht zu trinken. Ihnen reicht die geringe Flüssigkeit, die sie beim Abbau fester Nahrung gewinnen

tem Umfang speichern. Die Blutgefäße ihrer Schwimmuskeln gleichen in ihrer Anordnung einem technischen Wärmeaustauscher. Dadurch vermögen diese Tiere die Temperatur ihrer Muskeln bis zu 14 Grad über der des Wassers zu halten. Schwerfische erwärmen sogar mit einem spezialisierten Augenmuskel ihr Gehirn um die gleiche Temperatur – gewiß ein Vorteil bei der schnellen Beutejagd durch kalte Wasserschichten, da – vereinfacht gesagt – ein wärmeres Gehirn auch schneller arbeitet.

Warmblütigen Tieren wie Walen und Robben droht in ihrem aquatischen Lebensraum wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit und -kapazität des Wassers massiver Wärmeverlust. Die Meeressäuger isolieren daher ihren Körper mit einer dicken Fettschicht unter der Haut. Die Fettlebigkeit hat indes nicht nur Vorteile: Bei hoher Stoffwechselaktivität müssen sie – wie ihre landlebenden Verwandten – überschüssige Wärme abgeben, und zwar über ihre flossenförmigen Gliedmaßen. Dort verlaufen Blutgefäße, die – nach dem Gegenstromprinzip angeordnet – als Wärmetauscher fungieren.

Von allen Meeressäugern haben sich die Wale am besten an das Wassermilieu angepaßt: Blauwale können sich im auftriebstarken Medium Wasser eine Körpermasse von 130 Tonnen erlauben – ein Gewicht, das an Land nicht zu (er-)tragen wäre. Mit einer Leistung von mehreren hundert PS sind die Meeresriesen auch die größten „Verbrennungsmaschinen“ des Tierreichs. Einige Walarten eilen unter Wasser jedem dieselgetriebenen U-Boot davon.

Der Evolutionserfolg der Meeressäuger ist keineswegs selbstverständlich. Im Gegenteil: Die fürs Land „konstruierten“ Vorfahren der Wale, Seekühe und Robben ließen sich auf ein ziemliches Abenteuer ein, als sie vor Jahrtausenden ins Meer gingen. Denn sie waren schon mit allen physiologischen Finessen „moderner“ Lardsäuger ausgestattet.

Das weitaus größte Problem bei der Eroberung der Meere war der hohe Stoffwechsel dieser Säugetiere. Wie alle Warmblüter verbrauchten sie entsprechend viel Sauerstoff – mehr, als eine Kiemen-Atmung im Wasser erbringen konnte. Den Wal- und Robben-Ahnen blieb also keine Wahl, als die eigentlich für's Landleben entwickelte Luftatmung per Lunge beizubehalten.

Dabei sind Lungen keineswegs eine Errungenschaft der Landbewohner: Urtümliche Fische hatten sie schon vor dem Landgang des Lebens vor rund 300 Millionen Jahren gebildet – als zweiten Prototyp eines Atmungsorgans. Im Wasser sind Lungen freilich den Kiemen unterlegen: Im Gegensatz zur Durchfahrtstraße Kieme ist die Lunge eine Sackgasse, die Ein- und Ausatmen erfordert – einen im zähen Medium Wasser nachteiligen, weil kraftaufwendigen Mechanismus. Nur we-



## **Vorstoß in drückende Tiefen**

Der alte Menschheitstraum vom Tauchen

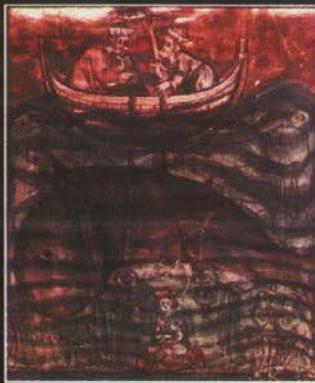
**D**er Mensch muß Wasser atmen können, schließlich kamen seine Vorfahren aus dem Wasser! Diese Überzeugung brachte 1961 den amerikanisch-niederländischen Forscher J. A. Kylstra dazu, Mäuse in ein luftfreies Aquarium mit Salzwasser zu setzen. Zuvor hatte er unter hohem Druck Sauerstoff in die Lösung gepreßt, bis sie soviel davon enthielt wie Luft. Und tatsächlich: Die Mäuse atmeten Wasser. Gleichwohl währe der Taucherfolg der Nager nur kurze Zeit: Nach 18 Stunden waren alle ertrunken – gestorben an Erschöpfung. Zu schwer war die Atemarbeit für die kleinen Tiere gewesen, denn Wasser ist 800mal dichter als Luft. Auch ein Sporttaucher, der 200 Liter Luft pro

Minute aus- und einatmet, könnte in derselben Zeit nur fünf Liter Wasser durch seine Lunge pumpen. Deshalb müssen sich Taucher bislang damit begnügen, ihren lebenserhaltenden Sauerstoffvorrat gasförmig mit auf ihren Unterwasser-Spaziergang zu nehmen.

Tauchen, solange der Atem reicht, ist die älteste Form des Tauchens. Perlmutt-Einlegearbeiten aus dem Zweistromland bezeugen, daß Menschen bereits vor mehr als 6500 Jahren am Grunde flacher Gewässer nach Brauchbarem oder gar Edlem suchten. Seit Jahrhunderten tauchen Perlischer bis 50 Meter tief hinab, um Muscheln mit den begehrten Kalkgebilden vom Meeresboden zu klauben. Nicht immer kommen sie dabei unbeschadet wieder an die Oberfläche: „Wegen ausbleibender Respiration soll ihnen oft das Blut aus Nasen und Ohren dringen und also diesen armen Leuten beschwerlich genug seyn“, dokumentierte ein Naturkundebuch schon 1704. Was der Autor damals nicht wissen konnte: Es ist der hohe Wasserdruk, der die Flüssigkeit aus den Blutgefäßen in die Lunge und andere Körperhöhlungen treibt und die Gewebe gefährlich anschwellen läßt.

Uralte Versuche, mit technischen Hilfsmitteln die Tauchzeit auszudehnen. Schon zu Aristoteles' Zeiten verlängerten Taucher ihren Hals mit schnorchelähnlichen Atemröhren. Dieser Methode sind jedoch Grenzen gesetzt: Dem österreichischen Physiologen Robert Stigler, der sich 1911 mit einem zwei Meter langen Rohr auf den Grund eines Schwimmbeckens sinken ließ, blieb schon nach 18 Sekunden die Puste weg. Die Druckdifferenz von 0,2 bar zwischen Lunge und Brustkorb war zu groß. Der maximale Druck auf den Brustkorb, den die Einatmungsmuskulatur überwinden kann, liegt bei 0,1 bar. Zudem war durch den langen Schnorchel der „Totraum“ vergrößert: Der Taucher atmet so mehr verbrauchte Luft als sonst wieder ein und erhält zu wenig Sauerstoff.

Vor der Erfindung moderner Tauchgeräte haben sich Menschen schon mit Taucherglocken für mehr als einen Atemzug unter Wasser gewagt. Wie bei einem Becher, der mit der Öffnung nach unten ins Wasser gedrückt wird, kann die Luftblase aus der an ihrem unteren Rand beschwerten Glocke nicht entweichen. Doch die Luft in den frühen Taucherglocken war rasch verbraucht. Erst nachdem der Engländer Edmund Halley 1690 auf die – heute bizarren – Idee gekommen war, frische Luft in Eimern nach unten zu schaffen, hielten es die Taucher länger unter der Glocke aus.



Aus gläsernen Tonnen wollten Menschen im 13. Jahrhundert die geheimnisvolle Wasserwelt betrachten. 600 Jahre später wurde in gefüllten Taucher-glocken gearbeitet

Bevor der bewegliche Druckanzug die Taucherglocke ersetzte, feierte das Unterwasser-Baugewerbe mit sogenannten Caissons technische Triumphe. In solchen Metallkästen, kopfüber ins Wasser gestülpt und abgesenkt, errichteten Arbeiter schon 1859 in mehr als 20 Meter Tiefe die Pfeiler der Rheinbrücke bei Kehl. Mit Preßluft, die von oben in die Caissons geleitet wurde, verhinderten Ingenieure dabei das Eindringen von Wasser in die riesige Taucherglocke. Es schien, als wäre ein ideales Hilfsmittel für Arbeiten unter Wasser gefunden worden. Doch die Arbeiter wurden von einer geheimnisvollen Taucherkrankheit befallen: Kaum hatten sie die Caissons verlassen, fielen „Taucherflöhe“ über sie her. Ihre Haut juckte unerträglich, in den Gelenken pochte der Schmerz. Nicht selten führte die Rückkehr an die Wasseroberfläche zu Luftembolien und Tod.

Erst 1878 erkannte der französische Physiologe Paul Bert die Ursache dieses Phänomens. Unter dem großen Druck der Tiefe löst sich mehr Atemgas im Blut als an der Luft. Beim raschen Auftauchen verhalten sich die Körperflüssigkeiten dann wie der Inhalt einer frisch geöffneten Mineralwasserflasche: Der jäh nachlassende Druck läßt Stickstoff aus Blut und Gewebswasser perlen, und Millionen mikroskopisch kleiner Gasblasen verstopfen oder schädigen die Membranen von Gefäß- und Organzellen.

Gegen die Taucherkrankheit hilft einzige das langsame Auftauchen. Nach 14 Minuten Tauchzeit in 90 Meter Wassertiefe dauert die Dekompression fast 80 Minuten. Für extreme Tauchtiefen bis 600 Meter muß man mit Dekompressionszeiten von bis zu vier Wochen rechnen. Bei länger währenden Arbeiten in tiefem Wasser – etwa an den Stützen von Bohrinseln – werden deshalb Taucherteams nach ihrem Einsatz in Überdruckkammern nach oben gehievt, in denen sie allmählich wieder an Normaldruck gewöhnt werden.

„Sturmglas“ aus dem 17. Jahrhundert



Moderne Sporttaucher nehmen ihren Sauerstoffvorrat huckepack in Preßluftflaschen mit, deren Ventile den Druck der Atemluft automatisch an den umgebenden Wasserdruk anpassen. Doch diese Technik birgt neben der Taucherkrankheit noch eine weitere Gefahr: „Der Taucher fühlt sich wie ein junger Gott“, schrieb Frédéric Dumas, ein Tauchgefährte Jacques Cousteaus, „wenn er glaubt, ein vorbeischwimmender Fisch brauche dringend Luft, ist er . . . imstande, sich die Luftlei-

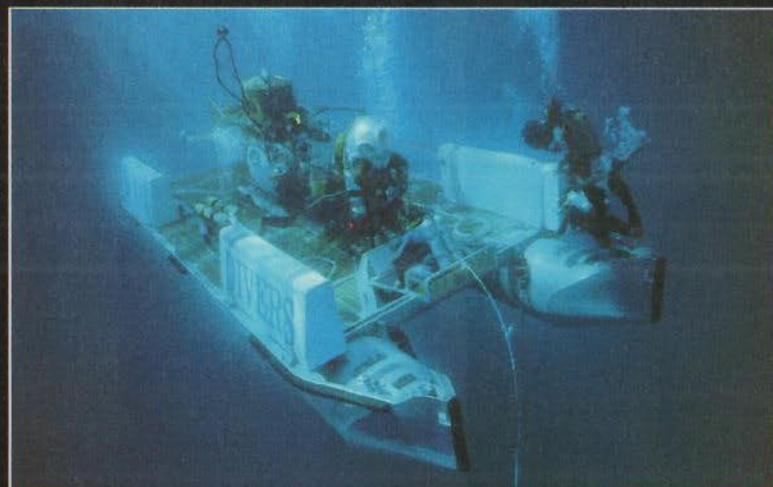
tung aus dem Mund zu reißen und sie dem Tier großmütig anzubieten.“

Die Ursache dieses Tiefenrausches: Normale Luft, vor allem der darin enthaltene Stickstoff, kann bereits in 30 Meter Tiefe – bei einem Druck von 4 bar – narkotisierend auf die Membranen von Nervenzellen wirken. Manch nüchternen Taucher verwandelte der Tiefenrausch in einen Phantasten ohne Willenskraft. Weil niemand mit Preßluft schadlos tiefer als 90 Meter hinab kam, tauschten Tauchtaucher den Stickstoff in dem Atemgasgemisch ihrer Druckflaschen gegen das weniger narkotisierende Helium – ein sehr reaktionsträges, aber teures Edelgas\*. Seit kurzem erprobt die Forschungsabteilung der französischen Firma „Comex“ ein neuartiges Gemisch, das neben Sauerstoff die Gase Helium und Wasserstoff zu gleichen Teilen enthält. Mit diesem „Hydrox“-Gemisch, so hoffen Fachleute, könnten Taucher bis in 700 Meter Tiefe vordringen. Andere Wissenschaftler hängen indes immer noch an dem Traum, den Homo aquatius der Zukunft mit einer sauerstoffbeladenen, synthetischen Flüssigkeit zu beatmen. Eine mögliche Lösung wäre die Substanz Fluorocarbon, die weniger dicht ist als Wasser und dabei 30mal mehr Sauerstoff annimmt.

Albert Bühlmann, Tauchexperte und Mediziner aus Zürich, ist all diesen Bemühungen gegenüber skeptisch: „Der Arbeitseinsatz von Menschen in großen Wassertiefen ist passé. Die Zukunft gehört den U-Booten und den Unter-Wasser-Robotern!“

Beatrix Stoepel

\* Ein Atemzug des Tauchers in 450 Meter Tiefe kostet etwa 3 Mark allein an Helium.

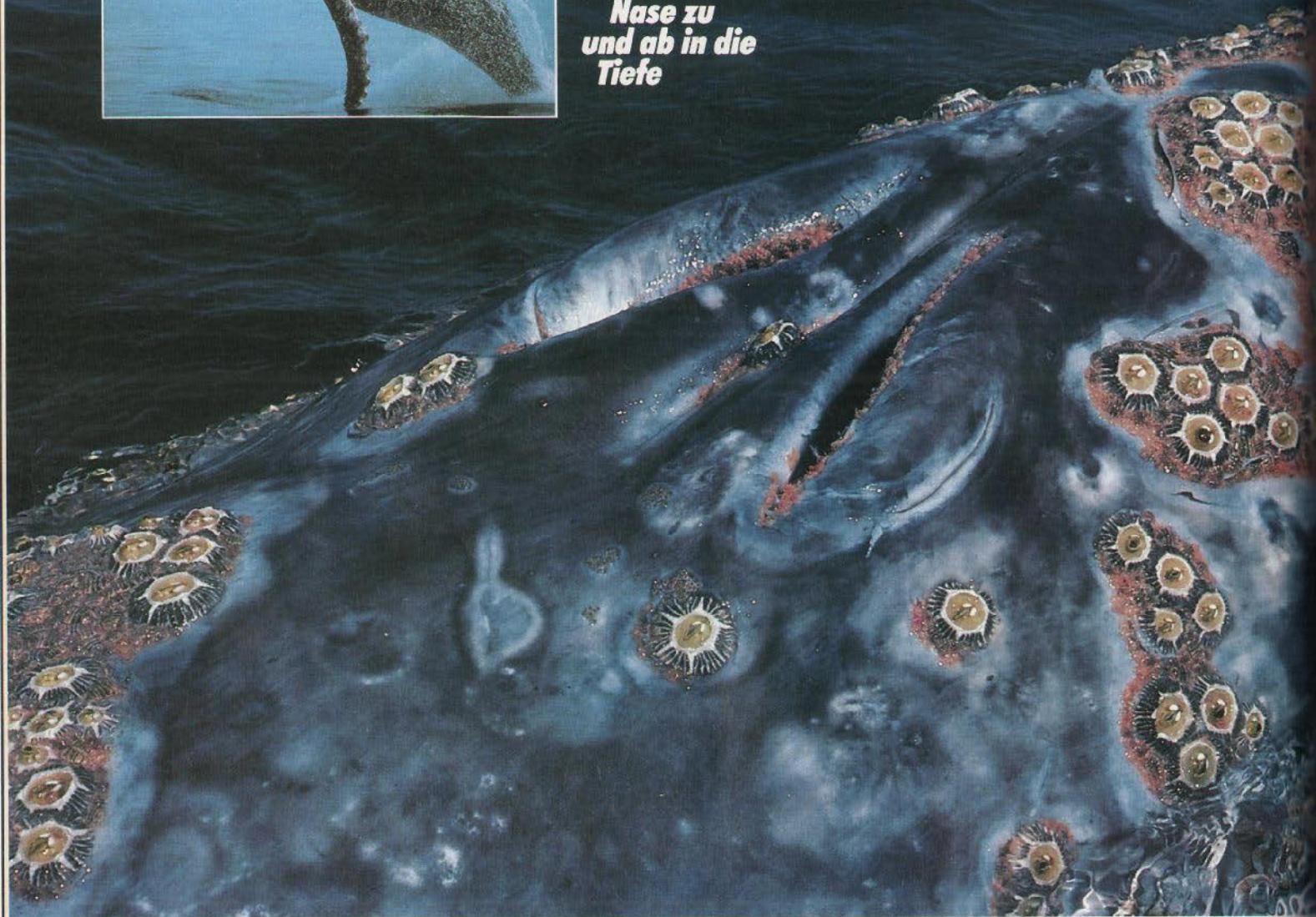


Gleich einer Raumstation gleitet das Tauchboot durch den flüssigen Kosmos

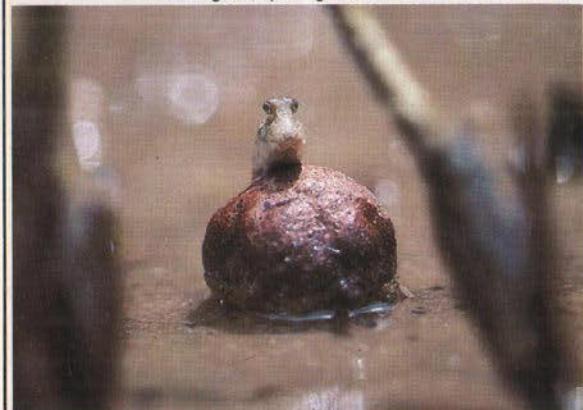


Obwohl sie Lungen haben wie der Mensch, sind Wale und Robben exzellente Taucher. Sie atmen aus und verschließen ihre Nasenöffnungen, bevor es oft Hunderte von Metern hinab geht. Auch Meeresreptilien und sogar einige Fische müssen von Zeit zu Zeit oben Luft schnappen

**Nase zu  
und ab in die  
Tiefe**



Mit mächtigem Sprung schießt der Buckelwal aus dem Wasser. Seepocken verwandeln den Rücken eines Grauwals in eine wilde Landschaft



Schlamspringer auf Java



Seekuh in Florida



Kalifornischer Seelöwe



Tropische Lederschildkröte

nige Süßwasserfische, die ein Austrocknen ihres Gewässers im Schlamm überdauern, besitzen heute noch Lungen. Andere Wirbeltiere aber – den Vorfahren der heutigen Lurche – hat jenes zweite Atmungsorgan den Übergang zum Landleben ermöglicht; damit war auch der Weg frei für die Evolution der Reptilien, Vögel und Säuger. Denn in wasserarmer Umgebung schützen die inwendigen, sackartigen Lungen besser vor Austrocknung als Kiemen, die der Luft schutzlos preisgegeben wären.

Die Luftatmung hat freilich – wie jeder Schwimmer erfahren muß – einen großen Nachteil: das Luftholen. Pott- und Entenwale schaffen es, 90 Minuten lang zu tauchen. Antarktische Wedell-Robben bleiben eine Dreiviertelstunde und bis zu 600 Meter tief unter Wasser. See-Elefanten erreichen bei Tauchgängen von durchschnittlich 20 Minuten sogar Rekordtiefen von über 800 Metern. Wir Menschen, denen nach einer guten Minute die Luft ausgeht, können uns kaum vorstellen, wie ein Luftatmter es derart lange und tief unter Wasser aushält.

### **Robben und Delphine kennen keine Taucherkrankheit**

Erst in den letzten Jahren sind Forscher dahintergekommen, was die Tiere beim raschen Auftauchen – oft mit über 100 Meter pro Minute – vor der Stickstoff-Narkose und der „Taucherkrankheit“ bewahrt (siehe Kasten Seite 108/109): Anders als menschliche Aquanauten atmen Meeressäuger vor dem Tauchen aus. Auf dem Weg in die Tiefe schrumpfen die Lungenbläschen – die Alveolen – und kollabieren in einer Tiefe von etwa 40 Metern. Damit die Luft aus der weniger komprimierbaren Luftröhre nicht in die Alveolen zurückströmen kann, besitzen zum Beispiel Delphine kleine Klappen in dem Gewirr ihrer winzigen Luftkanäle. Deren Vorteil: Je weniger Luft die Lunge noch enthält, um so weniger Stickstoff kann sich im Blut lösen und beim Auftauchen ausperlen. Im Lungengewebe von Wedell-Robben entdeckte der Münchner Biologe und Mediziner Ulrich Welsch vor kurzem ein kompliziertes System aus Muskelfasern, Nervenenden und Hormon-produzierenden Zellen. Es könnte, so glaubt der Forscher, einem Mechanismus zum Schließen und Wiederöffnen der Alveolen dienen. Damit ließe sich erklären, wieso Wedell-Robben auch tiefste Tauchgänge ohne Schwierigkeiten überstehen.

Während Menschen die Hälfte ihres Sauerstoffvorrats als Gas in der Lunge mit unter Wasser nehmen, speichern Robben das lebensnotwendige Element überwiegend biochemisch: Mehr als die Hälfte binden sie an das Hämoglobin des Blutes, ein weiteres Drittel ans Myoglobin der Muskulatur. Auf diese Weise

kann eine 70 Kilogramm schwere Robbe etwa vier Liter Sauerstoff speichern, fast dreimal soviel wie ein gleichschwerer Mensch. Doch auch dieser Vorrat würde bei normalem Stoffwechsel nur für eine Viertelstunde ausreichen, hätten die Tiere nicht noch einen weiteren Trick entwickelt: Sie verordnen beim Tauchen einem Großteil ihres Körpers Kurzarbeit. Wedell-Robben können nämlich die Blutversorgung von Leber, Nieren und Muskeln, ja selbst des Herzens drastisch kürzen; nur Lunge und Gehirn bleiben so gut versorgt wie an der Oberfläche. Bei längeren Tauchzeiten sinkt daher die Herzfrequenz von etwa 50 Schlägen auf 20 Schläge pro Minute. Die Muskeln müssen mit dem ans Myoglobin gebundenen Sauerstoff auskommen. Sie können sogar begrenzte Zeit weiterarbeiten, wenn der Sauerstoff verbraucht ist. Als Energiequelle dient ihnen dann das Speicherkohlenhydrat Glykogen, das sie zu Milchsäure vergären. Mit Hilfe dieses konsequenten Sparprogramms können die Tiere ihren Sauerstoff-Vorrat um das Dreifache strecken.

Ihren erstaunlichen Erfolg verdanken die Robben vor allem der strengen Auslese im extremen antarktischen Lebensraum. Gerade hier beobachten Meeresbiologen oft außergewöhnliche Anpassungsleistungen. Die antarktischen „Weißblutfische“ etwa erhielten ihren Namen, weil ihr Blut weniger Hämoglobin enthält als das anderer Fische und deshalb nicht rot ist. Diesen Verzicht scheinen sich die Weißblüter leisten zu können, weil sie in mehreren 100 Metern Tiefe in besonders sauerstoffreichem Wasser leben, das durch die Kombination mehrerer Effekte dorthin gelangt: Der minus 20 bis 30 Grad kalte Wind des antarktischen Festlandes braust vom Schelfeisrand auf den Meerespiegel, sättigt das Oberflächenwasser mit Sauerstoff und lässt es teilweise zu „süßem“ Eis ausfrieren. Dadurch erhöhen sich Salzgehalt und Dichte des flüssigbleibenden Meerwassers, das schwerer wird und – beladen mit Sauerstoff – nach unten sinkt. Einige Weißblutfischarten können dadurch fast vollständig auf ihre roten Blutzellen verzichten.

Für Zoologen ist die Antarktis ein evolutionsbiologisches Labor. „Vermutlich erleben wir gerade die Phase, in der dort die Bodenfische den freien Wasserraum erobern“, sagt Gerd Hubold, Biologe am Institut für Polar-Ökologie in Kiel und zeigt auf zwei Fotos an der Wand seines Arbeitszimmers. Die beiden stromlinienförmigen Fische – der antarktische Silberfisch *Pleuragramma antarkticum* und der altbekannte Hering – gleichen sich wie Zwillinge. Kaum zu glauben, daß sich *Pleuragramma* aus einem krötenhaften, am Meeresboden lebenden Barsch entwickelt hat. Der Biologe sieht das ganz pragmatisch: „Ein Barsch, der leben will wie ein Hering, der muß halt auch aussiehen wie ein Hering.“ □

# Nach dem Regen - fertig, los...

VON BEATRIX STOEPEL

**S**o ein Dreck!" Wütend haut der Jungbauer Roland den ersten Gang in seinen Trecker und gibt Gas. Ein Sommerregen hat den Waldweg in ein Schlammbett verwandelt. Mühsam wühlt sich der Traktor durch den glitschigen Brei. Eilig fahren wir ins Dorf und denken nicht darüber nach, daß wir soeben ein kleines Biotopt in den Boden gepflügt haben.

Schon nach wenigen Minuten stellen sich in den inzwischen wassergefüllten Reifenspuren die ersten Bewohner ein – Bakterien. Eingekapselt in eine feste Hülle, werden sie als Sporen aus den Erdritzen geschwemmt, vom Wind herbeigeweht oder gleich von den Regentropfen mitgebracht. Die Feuchtigkeit erweckt die Mikroben nach langen Wochen der Ruhe und entläßt sie nachgerade in ein Schlaraffenland. Was von Tier- und Pflanzenkadavern übrigblieb, schwebt jetzt im Wasser und wird einverlebt. Jeder Windhauch, der die Oberfläche der Pfütze krauselt, sorgt für Nachschub an Sauerstoff, den die kleinen Eroberer für ihr Zersetzungswerk benötigen. Und die Sonnenstrahlen, die solche flachen Gewässer als bald durchwärmten, bringen den Stoffwechsel und die Vermehrung der Bakterien auf Hochtouren. Schon nach zwei Tagen hat sich das klare Regenwasser in eine trübe Brühe verwandelt.

Doch die Gnade der frühen Geburt währt nicht lang. Denn schon machen sich am Grund der Pfütze zahlreiche Bakterienräuber bereit, kräf-

tig unter den Mikroben aufzuräumen. Eingekapselt in Schlamm- und Sekretzysten oder als Larven in hartschaligen Dauereiern haben sie Wochen und Monate auf den erlösenden nächsten Regen warten müssen.

In der ohnedies dicken Bakteriensuppe drängen sich nun auch Gold- und Grünalgen. Für sie, die ihre Lebensenergie mit Hilfe ihres grünen Zellfarbstoffs Chlorophyll durch Photosynthese aus dem Sonnenlicht beziehen, ist die Lage günstig: In dem flachen Wasser dringt diffuses Licht bis auf den Grund.

Kleine Wanzen gleiten wie Schlittschuhläufer über die Wasseroberfläche und suchen nach Insekten. Diese Wasseraufwärter tragen eingefettete Haarbüschele an den Beinen, die das Einsinken verhindern. Von unten halten sich zahlreiche Stechmückenlarven an der gespannten Grenzschicht zwischen Wasser und Luft fest. Aufgehängt mit einem feinen Haarkranz ihres Hinterleibes, baumeln sie kopfunter von der Pfützendecke und ernähren sich – im Gegensatz zu ihren blutsaugenden Müttern – von abgestorbenen Pflanzenteilen und Algen. Bis zu einem Liter Wasser filtern sie täglich durch ihre mit Haarkämmen besetzte Mundöffnung. Die kleinen Schlammschnecken, ebenfalls kopfunter auf einer Schleimschicht an der Pfützendecke entlangkriechend, kommen ihnen dabei nicht ins Gehege. Diese ein bis zwei Zentimeter großen Weichtiere weiden gern die Bakterien von der Trennschicht.

Wenige Tage später kann ich der Pfütze wieder auf den Grund schauen: Die Bakterienräuber sind aus ihren Refugien gekommen und haben

einen großen Teil der Bakterien- und Algensuspe ausgekaut. Ein Tropfen unter dem Mikroskop enthüllt, wie Geißel- und Wimpertierchen auf der Jagd nach Mikroben durch das Wasser sausen. Gemütlicher strecken und recken sich die Amöben. Sie umfließen ihre Nahrung mit ihrem formlosen Körper, denn anders als andere einzellige Lebewesen besitzen sie keine feste Membran.

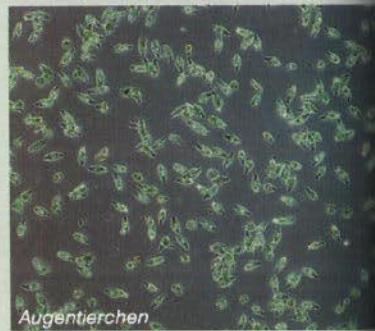
Das Mikroskop entlarvt auch jene Spätaufsteher, die erst jetzt aus ihren Trockenhüllen ausgebrochen sind: Glockentierchen, die zu den Wimpertierchen zählen, haf-ten an kleinen Grashalmen oder Steinchen und strudeln sich Bakterien in den weiten Trichtermund. Stachelige Räder- tierchen fächeln sich die Wimperlinge mit ihrem „Räderrorgan“ zu. Auch winzige Gliederwürmchen, Verwandte des Regenwurms, schlängeln sich durch das Wasser.

Am Grund der Pfütze sitzen stecknadelkopfgroße „Muscheln“, die alte Blätter skelettiert und an Grashalmen fressen. Erst beim zweiten Hinschauen entpuppen sie sich als Krebse, die ihren Körper mit zwei Schalenklappen ummanteln. Leise flötende Rufe verraten mir, daß auch schon einige Gelbauchunken Einzug gehalten haben. Ihren hübschen gelbschwarzen Bauch, ihr Warnsignal an Land, halten sie verborgen, weshalb sie kaum von grauen Steinen unterscheiden kann. Sie sind die einzigen Amphibien in unseren Breiten, die sich mit so kleinen Laichgewässern zufriedengeben. Ob ihre Quappen allerdings – drei Wochen nach dem letzten Guß – den Wettkampf mit der Sonne gewinnen, ist zweifelhaft: Die Pfütze schrumpft bedenklich.

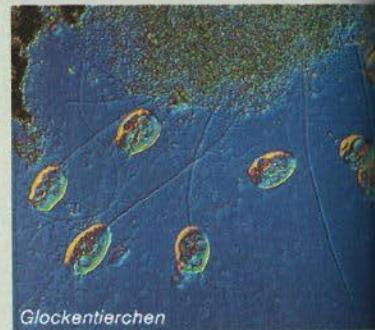
Im Wasser geht es nun zu wie in einer Autoscooter-Arena: Alles rast um und aufeinander, muß fressen, wachsen und Nachkommen produzieren. Manche Arten brauchen weniger als zwei Wochen, um sich vom Ei zum fertigen Tier zu entwickeln.



Wasserloch



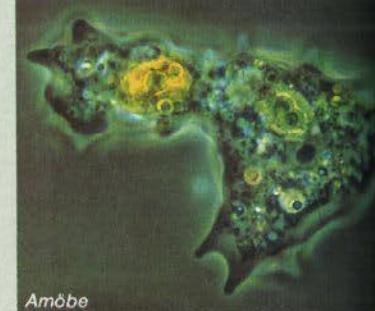
Augentierchen



Glockentierchen



Pantoffeltierchen



Amöbe



Weil sich langes Leben nicht lohnt in diesem vorübergehenden Domizil, verzichten die meisten auf zeitraubende Paarungsspiele, einige sogar auf Männchen. Denn die fressen nur, legen aber keine Eier. Die Würmchen besorgen als Zwitter ihre Befruchtung selbst. Aus den Eiern von Räder-tierchen und Muschelkrebschen schlüpfen nur Weibchen. Erst wenn viele Räder-tierchen das Wasser bevöl-kern, leisten sich einige Arten unter ihnen wieder den Luxus einer männlichen Generation.

Nach fünf Wochen hat in der Pfütze das große Sterben begonnen. Nicht nur Wasser wird knapp. Die warme Brühe enthält auch kaum noch Sau-erstoff. Unter den Bakterien gewinnen solche Arten die Oberhand, die ohne Sau-erstoff auskommen.

Was an Tieren noch lebt, organisiert den Rückzug: die Unken in den Wald, die Schlammschnecken in den Boden. Auch die Stechmük-kenlarven haben sich ver-puppt und werden mit etwas Glück die Pfütze noch rechtzeitig als sirrende Quälgeister verlassen. Die Muschelkrebs dagegen ballen sich zu großen schwarzen Klumpen zusam-men. Bald wird nur noch ein vermodernder Brei aus Bak-te-rienschlamm und Tierleichen von dem einstigen kleinen See-Idyll zeugen. Fliegen wer-den über den Kadavern schwirren. Der Rest an Leben wird endgültig unter den Rä-dern des Traktors zermalmt werden. Tief darunter aber, in den Erdspalten, sitzen dann wieder die kleinen Räder-tierchen, Muschelkrebschen, Gliederwürmchen, Wimper- und Geißeltierchen. Ver-schanzt in ihren Rüstungen warten sie auf den nächsten Regen. Roland, der Jungbau-er, wartet dagegen auf etwas ganz anderes: „Es wird wirk-lich langsam Zeit, daß hier ein gescheiter Asphaltweg gebaut wird!“ □

Die Zoologin und Wissenschafts-journalistin Dr. Beatrix Stoepel, 33, lebt auf dem Land in der Nähe von Tübingen.

## **Grüne Tricks für harte Zeiten**

Als sich die Pflanzen aus dem Meer aufs Festland vorwagten, hatten sie eine Vielzahl von Hindernissen zu überwinden: Sie mußten Stützgewebe gegen die Schwerkraft entwickeln, Wasser aus dem Boden aufnehmen können und sich vor allem vor Verlusten durch Verdunstung schützen. Sie haben die Herausforderung glänzend bestanden: Mit oft bizarren Anpassungen eroberten sie sogar die Wüsten

# **Ein saftiger Erfolg**

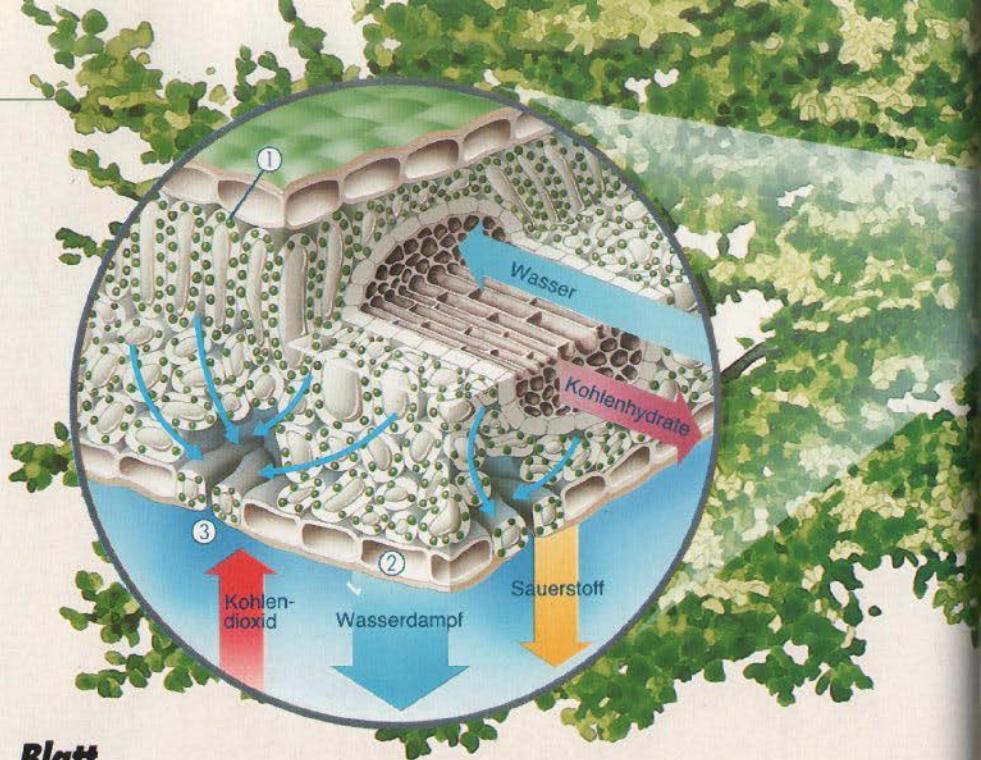


Mit baumförmigen Wachs-Ausscheidungen schützt eine chinesische Primel ihre Blütenblätter vor Nässe und Kälte. Die runde Spaltöffnung regelt, einem Ventil gleich, den Gas austausch und verhindert Wasserverluste durch Verdunsten

## Beispiel Buche: Der Durst sitzt in der Krone

Der Mai ist gekommen: Aus braunen Knospen brechen bei einer 100jährigen Buche über 100 000 hellgrüne Blättchen hervor, und alle brauchen Wasser. Damit der Nachschub nicht versiegt, bohren sich die Wurzelspitzen des Baumes Tag für Tag weiter in den Boden. Das Wasser, das sie aufnehmen, steigt im Stamm jede Stunde einen Meter höher. Bis zum Herbst wird der Baum etwa 50 000 Liter verbraucht haben. Wurzeln können zwar aktiv Wassermoleküle aufnehmen. Der „Wurzeldruck“ reicht jedoch bei weitem nicht aus, Wasser gegen Schwerkraft und Reibung in die Krone zu pumpen. Treibende Kraft für die enorme Hubleistung ist die Transpiration – die Verdunstung – aus den Blättern. Wenn deren Spaltöffnungen offenstehen, verlieren die Zellen ständig Wasser an die Luft, wobei neue Flüssigkeit aus Nachbarzellen nachströmt. So entsteht ein Sog, der sich den ganzen Stamm hinunter bis in die Wurzel fortsetzt.

Aber auch die Kombination aus „Saugdruck“ der Blätter plus Wurzeldruck ist zu schwach, um das Wasser in die 40 Meter hohe Krone der Buche zu befördern. Eine befriedigende Lösung des Problems bietet die „Kohäsionstheorie“: Wasser haftet durch Adhäsion an den Wänden der Gefäße. Außerdem überträgt die Kohäsion die osmotische Kraft, die das Nass emporzieht, zwischen den Wassermolekülen bis hinunter in die Wurzeln. Folge: Das Wasser wird wie ein stählerner Faden aus der Wurzel ins Blatt gezogen. Der Sog ist so stark, daß sich im Laufe des Tages die Gefäße zusammenziehen. Wenn der Baum kräftig transpiriert, wird er daher schlanker. Reißt ein Wasserfaden allerdings – etwa durch ein Staubteilchen –, so daß Luft in die Leitungsbahn gerät, dann ist der Transport für immer unterbrochen. Der Faden fügt sich nicht wieder zusammen. In den Himmel können Bäume trotz dieses raffinierten Systems nicht wachsen: Alle bekannten Faktoren lassen, im theoretischen Idealfall kombiniert, allenfalls Höhen von 150 Meter zu. Kalifornische Mammutbäume, die höchsten Gewächse auf der Erde, kommen diesem Grenzwert sehr nahe: Ihre Wipfel recken sich über 100 Meter hoch.



### Blatt

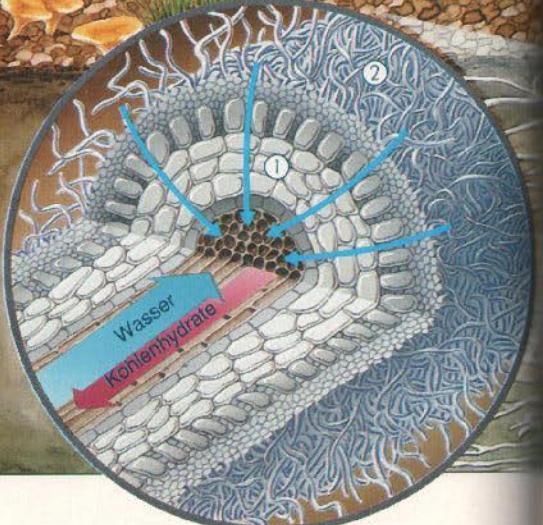
Kraftwerke der Pflanzen sind die Chloroplasten (1) in den Blättern. In ihnen läuft die Photosynthese ab, bei der mit Hilfe des Sonnenlichtes aus Kohlendioxid und Wasser Kohlenhydrate – also Nährstoffe – entstehen. Dabei werden Wassermoleküle gespalten; Sauerstoff entweicht. Wasser strömt durch Gefäße nach. Siebröhren transportieren die für Stoffwechsel und Wachstum des

Baumes wichtigen Kohlenhydrate ab. Da wachsbeschichtete Epidermiszellen (2) das Blatt fast vollständig abdichten, entweicht Wasserdampf fast ausschließlich durch die Spaltöffnungen (3). Diese Ventile übersäen die Blattunterseite zu Hunderttausenden. Sie werden tagsüber, wenn die Photosynthese Kohlendioxid aus der Luft verbraucht, von jeweils zwei Schließzellen geöffnet



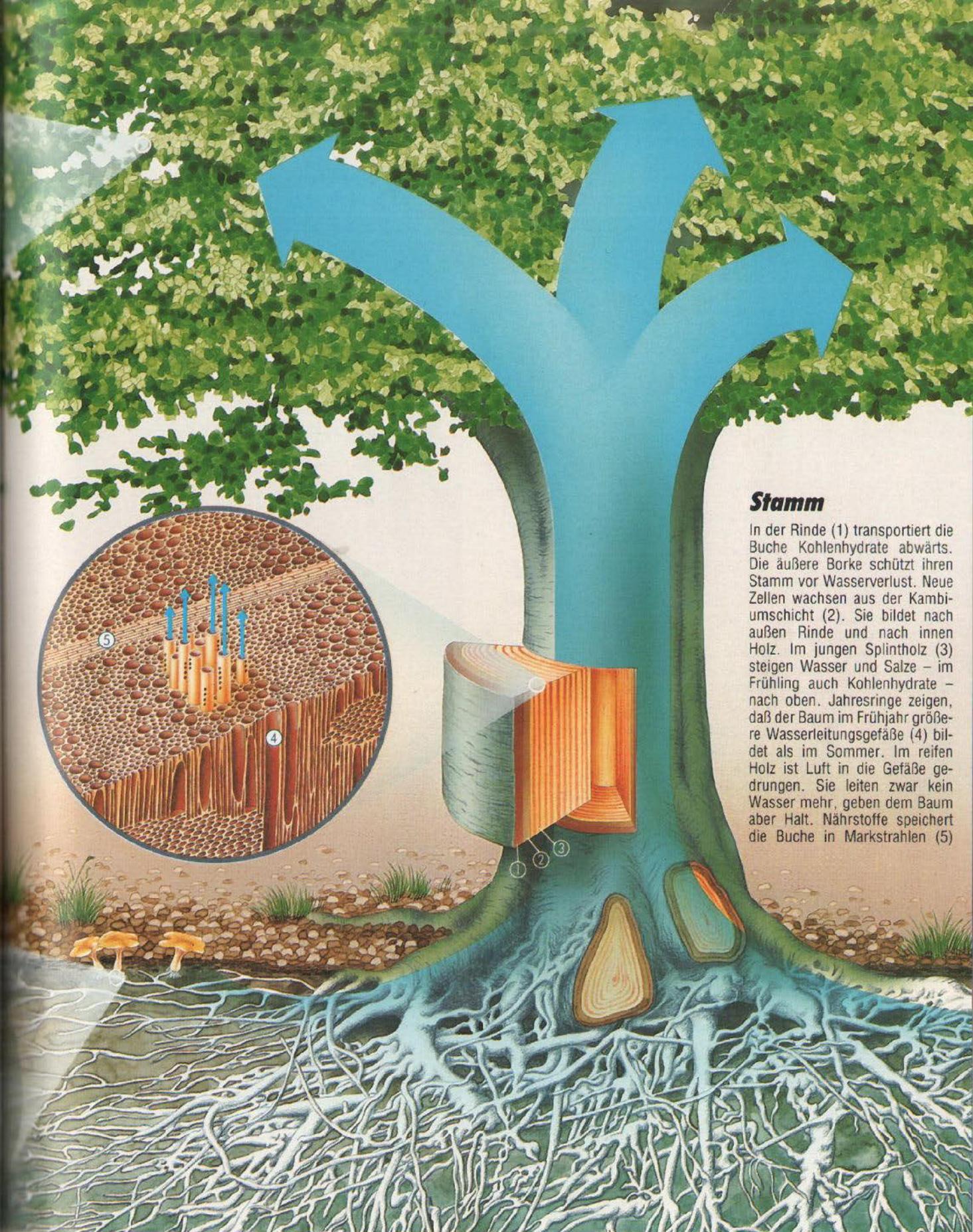
### Wurzel

Wasser und Nährsalze werden von Wurzelzellen (1) aufgenommen und steigen in Gefäßen nach oben. Pilze wie zum Beispiel Pfifferling oder Grüner Knollenblätterpilz helfen der Buche bei der Wassergewinnung. Die Pilzgeflechte (2) dringen in winzige Erdspalten und vergrößern so indirekt die Oberfläche der Wurzel. Der Baum versorgt sie im Gegenzug mit nötigen Kohlenhydraten



## Stamm

In der Rinde (1) transportiert die Buche Kohlenhydrate abwärts. Die äußere Borke schützt ihren Stamm vor Wasserverlust. Neue Zellen wachsen aus der Kambiumschicht (2). Sie bildet nach außen Rinde und nach innen Holz. Im jungen Splintholz (3) steigen Wasser und Salze – im Frühling auch Kohlenhydrate – nach oben. Jahresringe zeigen, daß der Baum im Frühjahr größere Wasserleitungsgefäße (4) bildet als im Sommer. Im reifen Holz ist Luft in die Gefäße gedrungen. Sie leiten zwar kein Wasser mehr, geben dem Baum aber Halt. Nährstoffe speichert die Buche in Markstrahlen (5)



**L**eblos steht die vertrocknete Fruchtkapsel in der Wüste. Ein Tropfen fällt auf ihre verstaubte Oberfläche – und plötzlich beginnt das scheinbar tote Gewächs sich zu regen. Lautlos und langsam bewegen sich 18 gelbbraune Dreiecke nach außen und enthüllen das kreisförmige Innere: Eine strahlende Sonne geht auf.

Das Geheimnis des Blütenwunders ist – noch – ein rein physikochemischer Vorgang, wie das Quellen einer Nudel: Sobald das Gewebe Wasser aufnimmt, dehnt es sich aus, so daß die Dreiecke sich bewegen. Dann prasseln weitere Tropfen auf die geöffnete Frucht und erwecken die Samen der südafrikanischen Mittagsblume endgültig aus ihrem botanischen Dornrösenschlaf. Auf einmal spritzen winzige braune Körnchen aus den Kammern, und auf dem nun feuchten Boden beginnen die seltsamen Gewächse zu wuchern.

Bis zu solch raffinierten Überlebenstricks in trockenheißen Wüsten war es ein weiter Weg für die saftvollen Gewächse, die einst dem nassen Schoß der Ozeane entwachsen sind. Ungezählte, mitunter bizarre Anpassungen waren nötig, bevor Grünes das Festland überwuchern konnte.

Sorgsamer Umgang mit Wasser war vom ersten Schritt ins Leben an nötig: Schon die Urzelle hatte – vor wahrscheinlich vier Milliarden Jahren – das essentielle Naß mit einer Zellmembran kontrolliert ausgrenzen müssen.

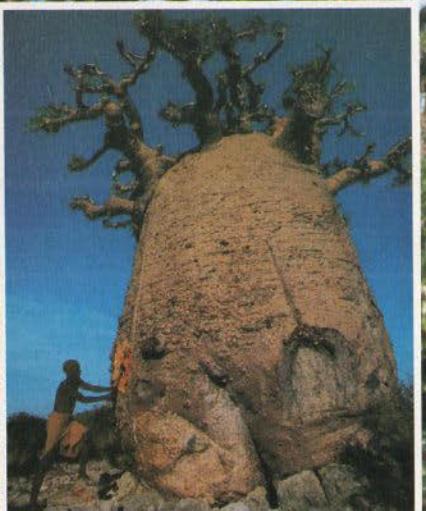
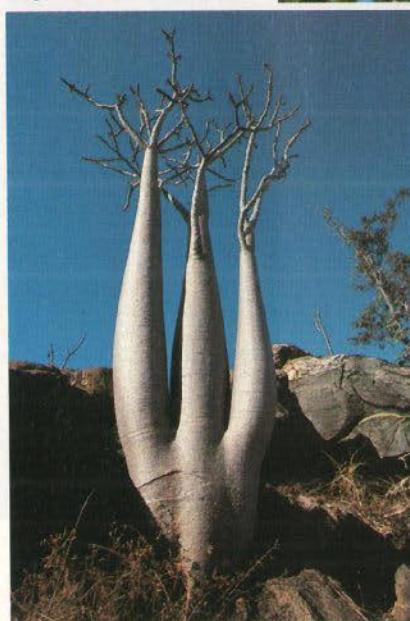
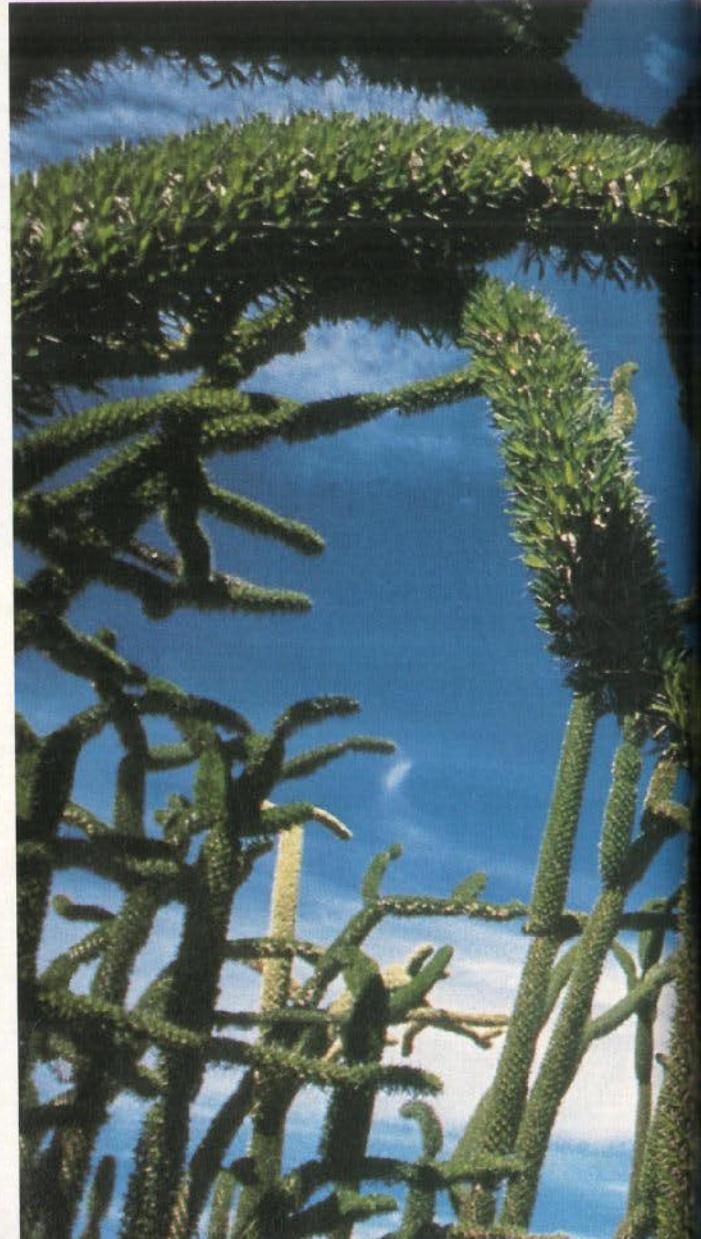
Zellmembranen sind Merkmale eigenständiger Organismen: Sie schützen deren komplexe Moleküle und die in ihnen ablaufenden biochemischen Vorgänge davor, verwässert zu werden, und erlauben gleichwohl den Zutritt lebenswichtiger Rohstoffe – inklusive Wasser. Später entwickelten sich Zellwände, die Membranen wie Stützgerüste umgeben und verhindern, daß sich Zellen bei hohem osmotischen Druck vollsaugen und platzen.

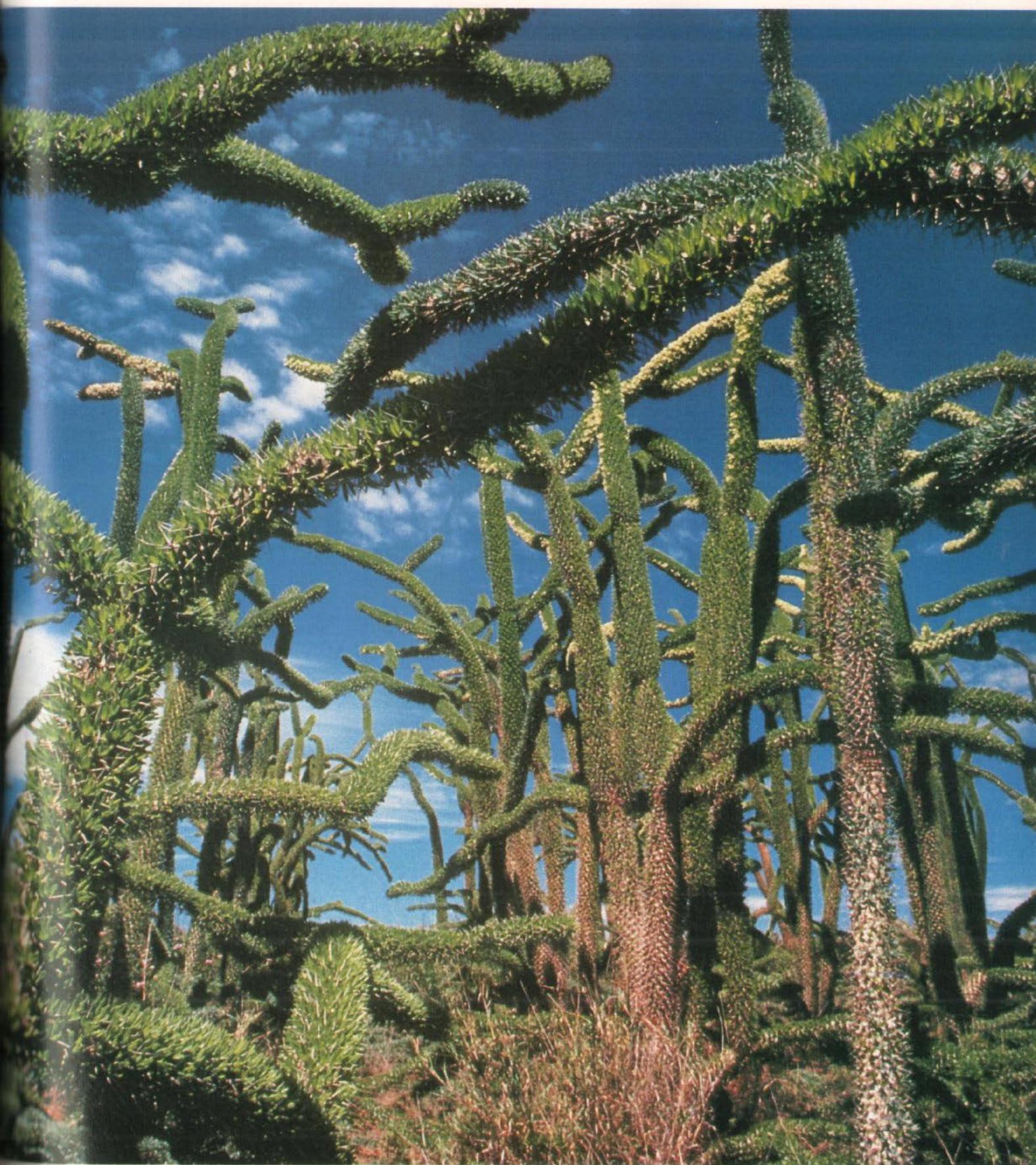
Nachdem das Leben auf der Erde Fuß gefaßt hatte, zehrte es – wie Wissenschaftler vermuten – zunächst von der „Ursuppe“. Diese organische Mischsubstanz war durch nichtbiologische Prozesse auf dem jungen Planeten entstanden und hatte sich in den Ur-Ozeanen angesammelt. Doch die Nährstoffe wurden von den ersten Organismen – den Proto-Bakterien – schneller verzehrt, als sie neu entstehen konnten. Schließlich brachte globaler Nahrungsangebot das uralte Leben fast zum Verschwinden – bis bestimmte Proto-Bakterien einen Ausweg fanden: die Photosynthese.

Deren Prinzip hat sich bis heute bewährt: Eine Substanz wird energetisch abgewertet, eine andere aufgewertet – „oxidiert“ und „reduziert“, wie Chemiker sa-

## Sie dürsten auf Madagaskar

In den Trockengebieten Madagaskars leben wahre Wasserspar-Künstler. Haine aus Octopus-Bäumen (rechts) sind selbst vor durstigsten Tieren sicher. Ebenso wie die Kakteen in Nordamerika, mit denen sie nicht verwandt sind, verteidigen sie ihren Saft mit Dornen. Flaschen- und Affenbrotbäume (unten) speichern in ihren bauchigen Stämmen Flüssigkeit für lange Dürreperioden





gen. Die Photosynthese nutzt die physikalischen Eigenschaften der Elektronenhüllen um Atome und Moleküle. Sie hebt dort schwirrende Elektronen mit Hilfe des Sonnenlichts auf ein höheres Energieniveau. „Fallen“ die Teilchen wieder herunter, wird Energie frei, die zum Teil genutzt werden kann – wie bei einem Wagen, der, auf einen Hügel geschoben, zur mühelosen Fahrt ins Tal bereit ist.

Die ersten Organismen, die auf diese Weise in Fahrt kamen, oxidierten Schwefelwasserstoff und reduzierten Kohlendioxid – zwei im Urmeer vermutlich reichlich vorhandene simple Moleküle. Dabei entstanden Kohlenhydrate, biologische Energiespeicher für magere Zeiten. Einige noch heute lebende Purpurbakterien existieren nach wie vor mit Hilfe dieser Methode. Allerdings konnten die Photosynthese-Pioniere die in den Kohlenhydraten steckende Energie nur zu geringem Teil für sich nutzen. Denn der damals einzige verfügbare Abbauprozess – die Gärung – ist wenig effektiv: Verglichen mit der heute üblichen Sauerstoffatmung werden nur gut fünf Prozent der gespeicherten Energie gewonnen. Der zum Atmen nötige freie Sauerstoff ( $O_2$ ) reicherte sich jedoch erst Jahrtausenden später in Ozean und Lufthülle an – als Abfallprodukt der „modernen“ Photosynthese.

Die aufs Licht angewiesene Avantgarde des Lebens stand indes aus heutiger Sicht vor einem Dilemma: Es hatte sich mangels Sauerstoff noch kein Ozon ( $O_3$ ) und damit in der Stratosphäre auch keine schützende Ozonschicht bilden können. Deshalb drang damals die harte ultraviolette Strahlung der Sonne nahezu ungefiltert bis zur Erdoberfläche und sogar metertief ins Wasser vor – ein Strahlengewitter, das die Erbsubstanz DNA zerstörte und damit jedes Leben gefährdete. Die frühen photosynthetisch aktiven Bakterien müssen daher in einer schmalen, dämmerigen Zone zwischen Tiefseenacht und Strahlenhölle dahinvegetiert haben.

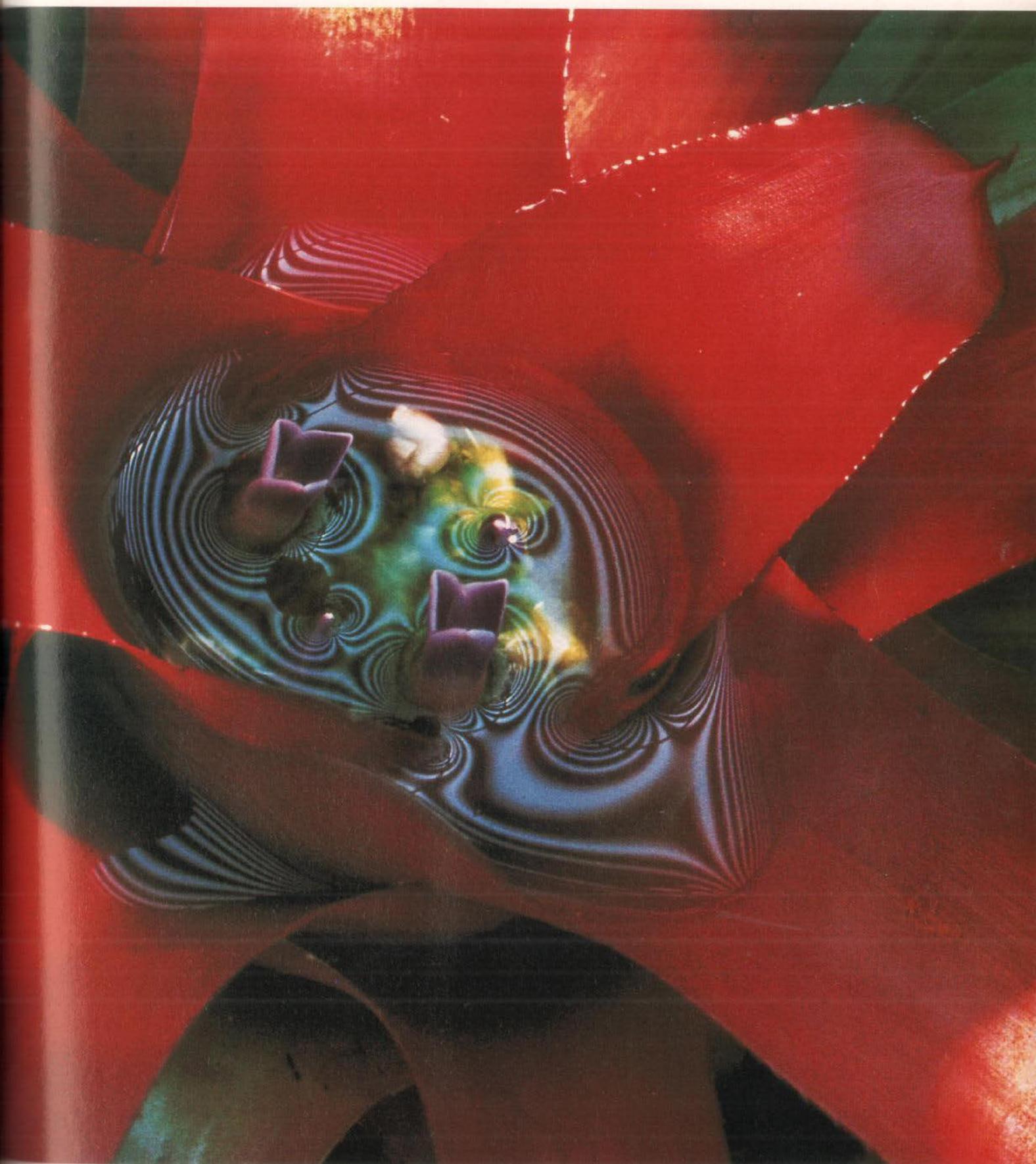
Überdies gerieten auch sie in Gefahr, ihre Existenzgrundlage aufzufressen: Ihr Vorrat an Schwefelwasserstoff und anderen für die  $CO_2$ -Reduktion geeigneten Substanzen – im Fachjargon „Elektronenspender“ genannt – ging zur Neige.

Doch dann gelang den Urahnen der Pflanzen – vermutlich nahen Verwandten der heutigen Blaulalgen – der Durchbruch: Die Einzeller schafften es, auch Wassermoleküle zu spalten. Zwar reicht die Energie eines Photons – der elementaren Einheit des Lichtes – aus, um ein Elektron in der Hülle des Schwefelwasserstoff-Moleküls auf ein so hohes Energieniveau zu heben, daß damit Kohlendioxid reduziert werden kann. Aber die energetischen Hürden zur Spaltung des Wassermoleküls sind für einzelne „Photosysteme“ – sie wandeln die Lichtenergie des Photons in chemische Energie um – zu hoch. Werden freilich

## Schöpfen aus dem vollen Dunst

Allein aus der dampfgesättigten Luft können sich manche Pflanzen in tropischen Regenwäldern mit Feuchtigkeit versorgen. Bromelien (rechts) sammeln das Nass in Blattzisternen. Sie sitzen wie Geweihfarne auf Bäumen (Mitte). Von den Ästen hängende Flechten holen sich Wasser und Nährstoffe direkt aus dem Dunst





zwei dieser Systeme hintereinander geschaltet, wird der Weg zur Wasserspaltung frei.

Das photosynthetische Tandem erschloß den Blaualgen – und später den Pflanzen – ein unbegrenztes Reservoir an Elektronenspendern, nämlich Wassermoleküle. Sie werden beim Oxidieren gespalten, wobei der Sauerstoff als Abfall entweicht, während die Wasserstoffatome – quasi als „Energieträger“ – sich in Kohlenhydratmolekülen einbauen. Nach diesem Prinzip setzen bis heute alle höheren Pflanzen Energie um.

Die modernisierte Photosynthese löste freilich eine globale „Umweltkrise“ aus: Weil nun mehr Lebewesen mehr Kohlenstoff in organische Verbindungen eingingen, nahm der Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre allmählich ab, während der Anteil des Sauerstoffs zunahm. Die Lufthülle veränderte sich, wie Chemiker sagen, von einer reduzierenden in eine oxidiereende.

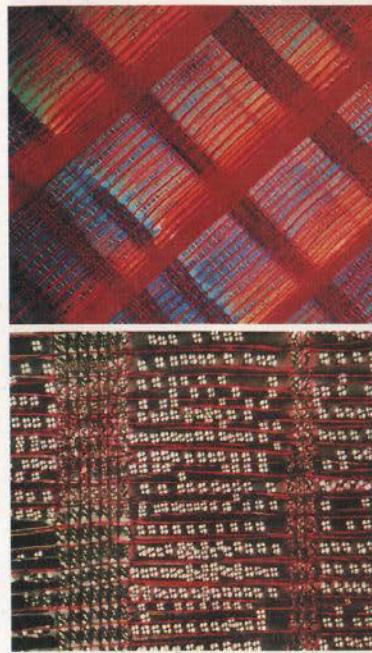
Zunächst hatte der Sauerstoff vor allem eisenhaltige Verbindungen oxidiert: Aus jener Zeit stammen viele große Eisenerzvorkommen. Dann erhöhte sich die O<sub>2</sub>-Konzentration im Meerwasser und schließlich auch in der Atmosphäre. Für die meisten damaligen Organismen war Sauerstoff ein tödliches Gift. Einige davon überlebten in sauerstofffreien Zonen, wie etwa Faulbakterien im Schlamm von Tümpeln. Anderen aber gelang es, das aggressive Gas physiologisch vorteilhaft einzuspannen – für die Atmung. Damit schloß sich ein höchst eleganter ökologischer Kreislauf: Aus Wasser und CO<sub>2</sub> plus Sonnenlicht fertigt ein Organismus mittels Photosynthese Kohlenhydrate, die mit dem eingatmeten Sauerstoff unter Freisetzung nutzbarer Energie wieder in Wasser und CO<sub>2</sub> zerlegt werden.

So ging das Leben gestärkt aus der großen Krise hervor, fähig zu größerer Spezialisierung: Seitdem

- erzeugen Primärproduzenten – Blaualgen und Pflanzen – Nahrung mit Hilfe des Sonnenlichts;
- ernähren Sekundärproduzenten, also Tiere, sich von den ersteren;
- zerlegen Destruenten – vor allem Bakterien und Pilze – abgestorbene Biomasse.

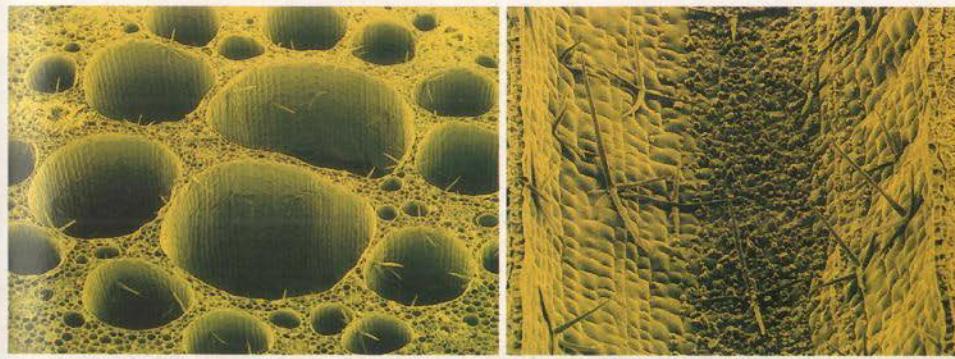
Fressen und Gefressenwerden sind wahrscheinlich fast so alt wie das Leben selbst. Die primitivste Form des Fressens ist die „Phagozytose“: Ein Lebewesen umschließt ein anderes und verleiht es sich ein. Urtümliche Bakterien könnten einst – der „Endosymbionten-Theorie“ zufolge – lichtnutzende Mikroorganismen zwar verschluckt, nicht aber verdaut haben. Die unverdaute Beute hätte dann eine Art Sklavendasein als Zellorganelle führen und ihre Photosynthese-Produkte mit der „Meister-Zelle“ teilen können – so wie heute die Chloroplasten, die Photosynthe-

## Feine Röhrchen für Riesen und Schwimmer



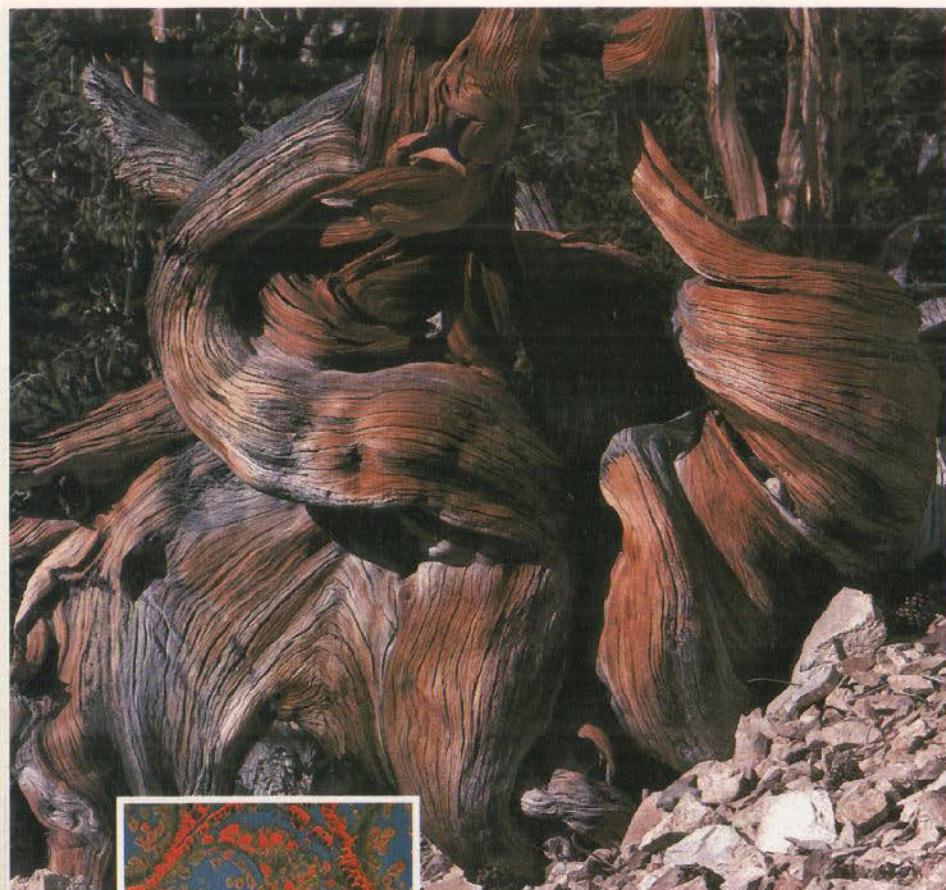
Kalifornische Mammutbäume sind die höchsten Gewächse auf Erden. Sie müssen Wasser über hundert Meter hoch in ihre Wipfel transportieren. Dabei lastet ein Druck von mehr als zehn Atmosphären auf den feinen Zellulose-Wänden ihrer Versorgungsrohrchen, der »Leitbündel« (unteres kleines Bild). Wenn nach der Winterruhe im Frühjahr das Grün austreibt und viel Saft gefördert werden muß, sind die Leitbündel dick. Zum Herbst hin werden die Röhrchen wieder dünner – wie auch in der kanadischen Schierlings-tanne (oben). Dieser Wechsel dokumentiert sich als Jahresringe





Schwimmplatten wie die großblättrige *Victoria regia* haben zwar keine Probleme mit dem Wassertransport. Dafür müssen sie aber ihre Wurzeln mit Luft versorgen. Die Wasserlilie *Nymphaea alba* leitet das Gas durch Kanäle in ihren Blattstengeln abwärts. Einige der Röhren mit feinen Härrchen (links) enthalten Kristalle aus Kalziumoxalat (rechts) – ein Gift, das womöglich vor eindringenden Tieren schützt





## Blaugrüne Ahnen einer uralten Kiefer

Die älteste Pflanze der Erde ist eine knorrige Borstenkiefer in Nevada: Sie lebt seit 4914 Jahren. Im Schnittbild durch ihre Zapfen sind Pollen als rote Körnchen zu erkennen. Pollen und Samen machten Pflanzen bei der sexuellen Vermehrung unabhängig vom flüssigen Milieu – nach einer Jahrtausendenlangen Evolution im Meer: Dort waren es vermutlich Vorfahren der Blaualgen (rechts), die als erste per Photosynthese Wasser spalteten



se-Maschinen in den Zellen aller höherentwickelten Pflanzen.

Während im Wasser die evolutionären Weichen für eine vielfältigere Welt des Lebens gestellt wurden, entstand in der Stratosphäre aus dem Sauerstoff der Luft die Ozonschicht. Unter diesem UV-Schutzhelm konnten Organismen an die Meeressoberfläche vordringen und schließlich auch darüber hinaus.

Die Eroberung des Festlandes – im Silur vor mehr als 300 Millionen Jahren – erforderte weitere komplizierte Anpassungen. Oberhalb der Flutgrenze waren Pflanzen völlig auf Wasser aus dem Boden angewiesen. Sie durchzogen das Erdreich vermutlich mit haarigen Auswüchsen – heutigen Moosen ähnlich, die nur an sehr feuchten Standorten leben können. Aus den Härchen entwickelten sich Wurzeln, die außer Wasser auch lebensnotwendige Mineralien wie Phosphat und Nitrat aufnehmen konnten: eine weitere Voraussetzung für die Emanzipation der Pflanzen vom nassen Milieu.

Noch war die geschlechtliche Fortpflanzung nur im Wasser möglich – wie heute noch beim Tang, einer primitiven Meerespflanze, die ihre schwimmenden Spermien zur Suche nach Eizellen einfach ins Wasser entlässt. Mehr als hundert Millionen Jahre vergingen, bevor Landpflanzen das ererbte Hemmnis überwinden und trockene Regionen besiedeln konnten.

Farne und echte Moose können sich sogar heute noch nur im Wasser sexuell vermehren. An Land nutzen sie allerdings die ungeschlechtliche Fortpflanzung, indem sie ihre Sporen vom Wind verwehen lassen. Dank dieses Tricks konnten Sporenpflanzen im Karbon riesige Wälder bilden, deren Überreste unsere Steinkohlenlager geformt haben.

Moderne Pflanzen verdrängten die einst dominierenden Sporenpflanzen fast vollständig. Bei Blütenpflanzen – den höchst entwickelten Gewächsen – ersetzen Pollen die schwimmenden Spermazellen. Sobald sie die weiblichen Blüten bestäubt haben, bilden sich Samenkörper, in denen der Embryo bereits angelegt und mit Nährstoffen für das Auskeimen versorgt ist. Blütenpflanzen dominieren seit gut 100 Millionen Jahren. Sie konnten sogar in Wüsten vordringen, da ihre Vorfahren alle anderen wesentlichen Hemmisse für das Gedeihen auf dem Festland überwunden hatten.

Ein Preis des Lebens auf dem Trockenen ist der Verlust des Auftriebs im Wasser. Kleinere Gewächse können sich dank des Wasserdrucks in ihren Zellen und Gefäßen aufrecht halten; fällt dieser hydrostatische Druck weg, welken Blatt und Stengel. Beim Wuchern hinauf ans Licht gaben schon Sporenpflanzen sich nicht mehr mit dem Wasserdruk als alleinige Stütze zufrieden: Sie stärkten sich mit Fasern und Holz. Bevor Bäume andere Gewächse überschatten konnten, mußten allerdings erst aufwendi-

An meine Haut  
lässe ich nur Wasser und CD

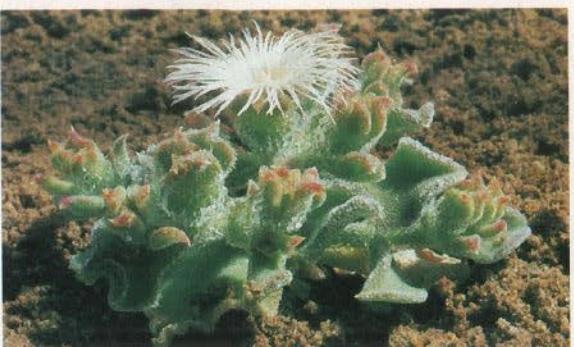
JWT HH



CD Deodorant ist die bewußte Entscheidung  
für sanfte Sicherheit. Es wirkt natürlich – ohne Treibgas.  
Und ist auch für empfindliche Haut geeignet.

## Gewächse, die der Dürre trotzen

Ob Alte oder Neue Welt: Pflanzen in Trocken-gebieten schützen sich mit besonderen Tricks ge-gen das Verdurstsen – zum Beispiel mit der »Sukkulenz«: Amerikanische Kakteen (unten) speichern das Naß in verdickten Stämmen, während süd-afrikanische Mittags-blumengewächse (oben) zum Teil aus prall mit Wasser gefüllten Speicher-blättern bestehen. »Geophyten« (Mitte) können kürzeste Feucht-phasen nutzen, um zu blühen und reichlich Früchte zu tragen



ge Wasserleitungssysteme entwickelt wer-den (siehe Grafik Seite 116/117).

Die größte Gefahr für Landpflanzen ist der unvermeidliche Wasserverlust durch die Transpiration. Um Kohlendioxid aus der Luft – unabdingbarer Rohstoff der Photosynthese – aufnehmen zu können, gehen die Gewächse einen riskanten Handel ein. Denn CO<sub>2</sub> kann die Zellmembran nur pas-sieren, wenn es in Wasser gelöst ist. Deshalb muß die feuchte Zelloberfläche mit der Luft in Kontakt kommen, wobei unvermeidlich Wasser verdunstet: Bis zu tausend Moleküle H<sub>2</sub>O tauscht eine Pflanze im Extremfall für ein einziges fixiertes Molekül CO<sub>2</sub> ein.

Bei einem so schlechten Wechselkurs kann es kaum verwundern, daß schon die „Urlandpflanze“ Rhynia – ein fossiler Nacktfarn ohne Wurzeln und Blätter – sich mit probaten Mitteln schützte: Eine Wachsschicht dichtete die außen liegenden Zellen hermetisch ab, während der Gasaustausch – CO<sub>2</sub> nach innen, O<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O nach außen – mit Hilfe von Spaltöffnungen, den „Stoma-ta“, reguliert wurde.

Alle modernen Pflanzen besitzen solche Gasventile. Sind spezielle „Schließzellen“ mit Wasser gefüllt, öffnen sich die Stomata; geht der Wasserdruk zurück, schließen sie sich wieder. Gewöhnlich öffnen die Spalten sich bei Tag und verschließen sich im Dunkeln. Denn nachts, wenn die Photosynthese ruht, wird kein Kohlendioxid gebraucht. Bei längerer Trockenheit bleiben die Öffnungen allerdings auch tagsüber verschlos-sen, so daß die Pflanze sich selbst vom CO<sub>2</sub>-Nachschub abschneidet: Ernteverluste nach Dürren gehen somit eher auf „Ver-hungern“ als auf Wassermangel zurück.

Fürs Überleben in Wüsten sind freilich noch raffiniertere Wasserspar-Tricks nötig. So speichern die südafrikanischen Mittags-blumengewächse – wie andere Sukkulanten auch – Wasser für Dürrezeiten in Blütenbö-den, Blättern und Blasenzellen; sobald es im Winter regnet, wachsen ihnen flache Wurzeln, die möglichst viel der Nieder-schläge aufsaugen.

Um das kostbare Naß nicht sogleich wieder auszudünsten, öffnen Wüstenpflanzen – Kakteen in Amerika, Sukkulanten in der Alten Welt – ihre Stomata nur nachts und binden das eingefangene Kohlendioxid bio-chemisch in Form von Apfelsäure. Wenn die Sonne brennt, halten sie ihre Luken dicht und schöpfen das CO<sub>2</sub> für die Photo-synthese aus dem Eingemachten. So kön-nen sie monatlang in sengender Hitze oh-ne einen Tropfen Wasser überleben.

Mittagsblumen lassen auch bei der Fort-pflanzung nichts anbrennen. Morgennebel reicht bereits aus, um ihre vertrocknete Fruchtkapsel zu öffnen. Die darin warten-den Samen reagieren aber erst, wenn es kräftig gießt. Der Nachwuchs wird somit wo-hldosiert auf den Lebensweg geschickt: Je stärker es regnet, um so mehr Samen werden hinausgeschleudert. □

**Aufbruch zu neuen Ufern...**

# Neuseeland

**... am schönsten Ende der Welt.**



**September – Dezember: Frühjahr in Neuseeland!** Trekkingtouren in einer exotischen Vegetation oder Segelcamping im Südpazifik. Unvergessliche Erlebnisse aktiv gestalten. Der Urlaub fürs Leben ab **DM 4.200,-**



**Dezember – März: Sommer in Neuseeland!** Fast menschenleere Sandstrände und tiefblaues Wasser. Baden, tauchen, surfen und die Weite des Meeres genießen. Der Urlaub fürs Leben ab **DM 4.500,-**



**März – Juni: Herbst in Neuseeland!** Erlebnisreiche Aktivitäten – Rafting und Jetboat-Fahrten im Wildwasser. Lachs- und Forellenfang in den weiten Urstromtälern. Der Urlaub fürs Leben ab **DM 3.900,-**

**NZTO**  
New Zealand Tourist and Publicity Office

**Südpazifik-  
Info-Coupon**

Name \_\_\_\_\_

Schicken Sie mir bitte  
Informationsmaterial  
über Neuseeland.

Strasse \_\_\_\_\_

PLZ/Ort \_\_\_\_\_

NZ-GEO-W

**Fremdenverkehrsamt von Neuseeland,**  
Kaiserhofstraße 7, D-6000 Frankfurt/Main, Tel. 069/288189, Telex 4-189331.



## EROSION

# ...und alles geht den Bach hinab

Die filigranen Furchen in einer Flanke der »Flammenden Berge« im nordwestchinesischen Xinjiang sind ein vergängliches Werk. Wasser, die wichtigste Kraft der Erosion, zerstört und zersetzt auch das härteste Ge-stein, schwemmt die Trümmer zu Tal und lagert sie in den Senken der Erdkruste ab. Als Teil des geologischen Kreislaufs verhindert dieser sanfte, aber stete Zwang, daß auf unserem Planeten die Berge in den Himmel wachsen. Die Ablagerun- gen aber werden von Kräften aus dem Innern der Erde irgend-wann zu neuen Gebirgen aufge-worfen – und damit wieder-um der Erosion ausgesetzt

**D**er Fußweg endet an einem niedrigen Geländer. Doch die meisten Wanderer stoppen ihre Schritte schon vor der Barriere: Wenn sich jäh ein atemberaubendes Panorama vor ihnen ausbreitet – der Grand Canyon des Colorado.

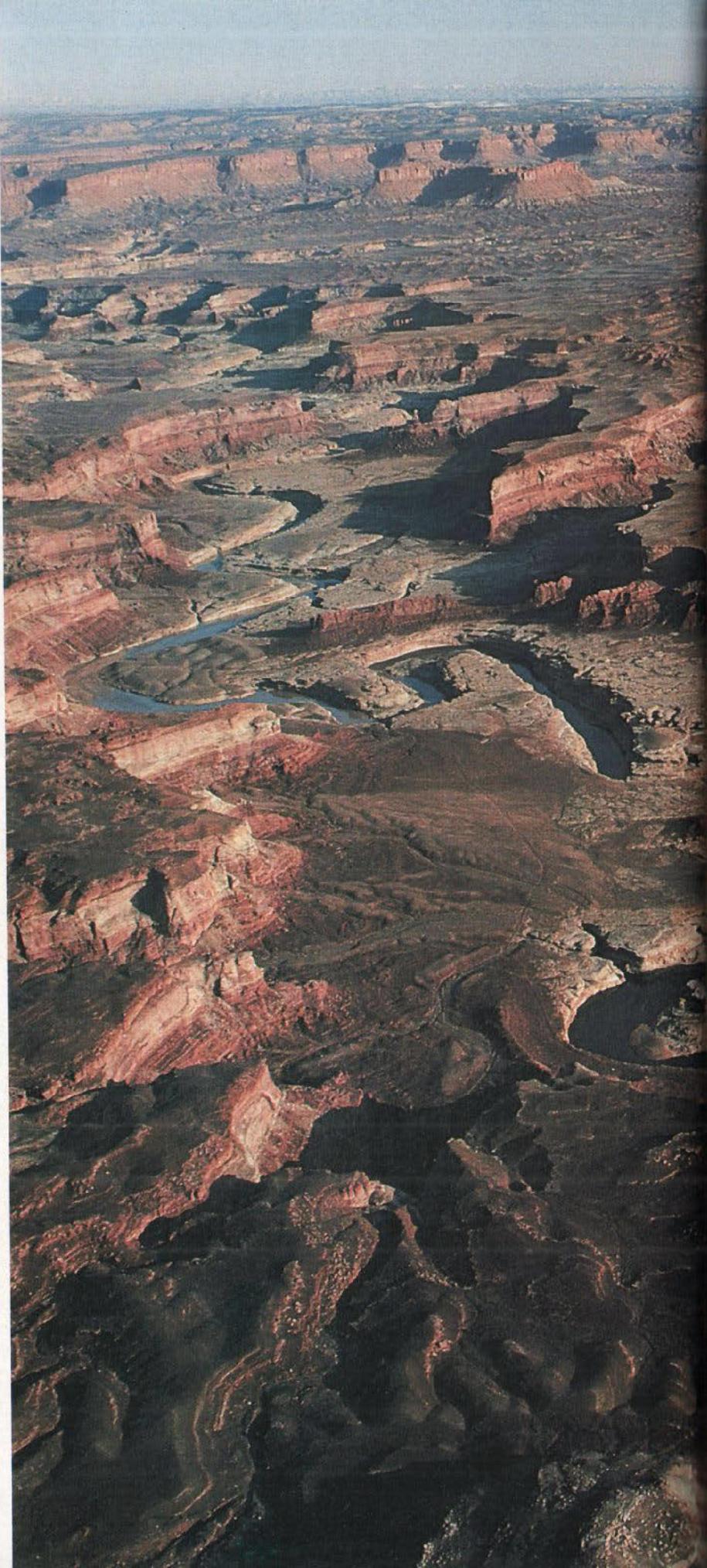
Dicht hinter dem Geländer geht es fast senkrecht in den Abgrund. Der Blick schweift über unwirklich bunte Felswände, bleibt hängen an bizarren Türmen, Pyramiden oder Kegeln, lotet scharf gekerbte Schluchten und sanft geformte Mulden aus, rutscht riesige Geröllhalden hinab, bis er weit unten – gut anderthalb Kilometer tiefer – auf das schmale Band des Flusses in der steingewordenen Erdgeschichte fällt.

Anfang und Ende der labyrinthischen Landschaft verlieren sich irgendwo am Horizont. Nur aus einem hochfliegenden Jet – oder aus dem All – läßt sich die volle Ausdehnung des Naturwunders auf einen Blick erfassen: Der Grand Canyon ist bis zu 30 Kilometer breit und zieht sich über 350 Kilometer hin. Dennoch ist er nur ein Teil des ungeheuren Schluchtensystems, das die Hochflächen des amerikanischen Südwestens zernarbt.

Der Schöpfer des kolossalen Reliefs – das Wasser des Colorado und seiner Nebenläufe – vertieft auch heute noch unentwegt sein Werk. Seine Fluten waschen so viel des bunten, oft leuchtend roten Gesteins der Region aus, daß den spanischen Entdeckern nur ein Name einfallen konnte für den großen Fluß, der seine Fracht in den Golf von Kalifornien entleert: Colorado, der „Rotgefärbe“.

Die zerstörerische und zugleich formende Kraft der Erosion – so nennen Geologen das Abtragen von Boden- oder Gesteinspartikeln vor allem durch Wasser, aber auch Eis und Wind – läßt sich freilich auch an kleineren Rinnen als dem Grand Canyon studieren. Jede Ackerfurche im Regen, jeder Bach bezeugt, daß Wasser alles davonschwemmt, was locker und leicht genug ist. Ohne die unermüdliche Arbeit des nassen Elements besäße die Oberfläche der Erde weniger Profil: keine scharfen Konturen, statt dessen fade gerundete Landschaften.

Wasser schafft – als wichtigstes Werkzeug der Verwitterung – zunächst die Voraussetzungen für die Erosion, deren Hauptlast es dann trägt. Auch als Eis zerfurcht es das Gesicht der Erde. Im Hochgebirge und in den Polargebieten hobeln Gletscher Berggrücken zu scharfen Graten und erweitern Täler zu breiten, U-förmigen Trögen. Doch weltweit gesehen tragen Gletscher – verglichen mit fließendem Wasser – relativ wenig zur Erosion bei. Ähnlich bescheiden sind, prozentual gese-





Schon weit oberhalb des Grand Canyon, in den »Canyonlands« von Utah, haben sich die Wasser des Colorado und seiner Nebenflüsse tief in das südlich geschichtete Gestein eingefressen – so wie der Dirty Devil River, der sich hier der Colorado-Schlucht im Hintergrund entgegen schlängelt. Vor wenigen Millionen Jahren war das Colorado-Plateau eine weite, aus Flußablagerungen aufgeschüttete Ebene, durch die sich der Ur-Colorado wälzte. Als das Land sich hob, verstärkte sich auch das Gefälle des Flusses und seiner Nebenläufe und damit die Erosionskraft des Wassers

**Der Fluß  
ist älter als der  
Canyon**

hen, die Anteile der Brandung und des Windes.

Fließendes Wasser aber sorgt als „Schmiermittel“ der Schwerkraft dafür, daß auf der Erde die Berge nicht in den Himmel wachsen: Unermüdlich schleift es auch die höchsten Gebirge und schleppt den Schutt der Kontinente in die Senken der Erdkruste. Dort schichten sich im Lauf von Jahrtausenden kilometerdicke Ablagerungen – Sedimente – auf. Werden sie von Kräften aus dem Inneren der Erde emporgehoben, entstehen neue Gebirge, die abermals verwittern und der Erosion anheimfallen.

Die Verwitterung greift – unter maßgeblichem Einfluß des Wetters – das Gestein an, zerteilt und zersetzt es, laugt Lösliches aus, zerreißt den Fels und spaltet große Brocken in kleine. Geowissenschaftler unterscheiden physikalische und chemische Effekte, die oft gleichzeitig wirken und letztlich auch Grundlage der biologischen Verwitterung sind – jener unscheinbaren, aber wirkungsvollen Zersetzungskampagnen von Flechten, Moosen und Pflanzenwurzeln.

---

**Das wirksamste  
Sprengmittel ist Wasser  
unter Null**

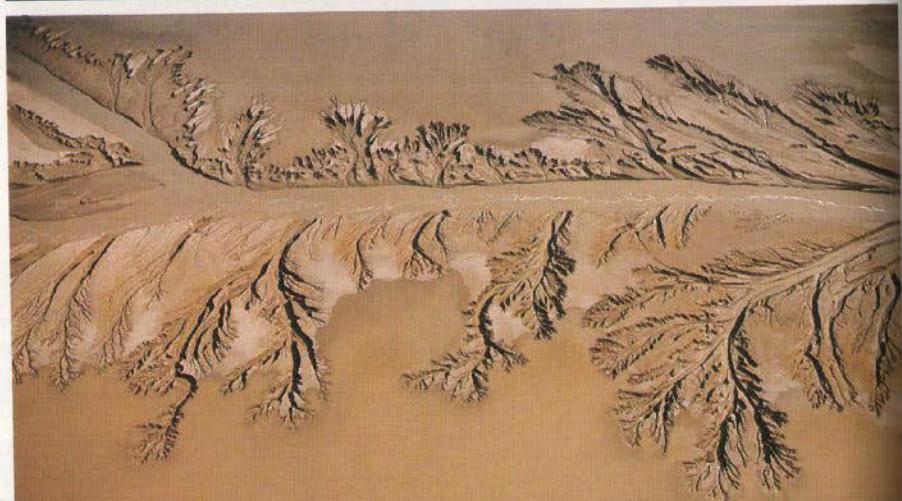
---

Auf Spannungen, die durch Veränderungen des Volumens verursacht werden, gehen alle Vorgänge der physikalischen Verwitterung zurück. So dehnt sich am Tage die Oberfläche eines von der Sonne erhitzen Felsens aus und schrumpft in der Kühle der Nacht. Besonders in Wüsten mit großen Temperaturunterschieden zerfällt der Spannungswechsel rasch das äußere Gefüge des Gesteins, das dann schalenförmig abplatzt oder gar in große Blöcke zerspringt.

Solche trockenen Verwitterungsprozesse sind jedoch die Ausnahme. Meist ist Wasser beim Sprengen beteiligt – zum Beispiel wenn es

- Ton quellen läßt;
- von Salzen aufgenommen wird und dabei deren Volumen vergrößert;
- in feine Poren und Haarrisse eindringt und dort, übersättigt mit mineralischer Fracht, Salze abscheidet, die beim Kristallisieren erheblichen Druck auf das umgebende Gestein ausüben;
- dem Zellgewebe von Wurzeln, die in enge Hohlräume eindringen, pralle Festigkeit verleiht.

Das wirksamste Sprengmittel der Verwitterung aber ist Wasser, dessen Temperatur unter null Grad sinkt. Wenn Wasser zu Eis erstarrt, nimmt es fast acht Prozent mehr Platz ein als in flüssiger Form. Die Volumenänderung hat in ganz oder fast geschlossenen Hohlräumen – in Flaschen wie in Felsspalten – dramatische Folgen. Weil dort der Platz zur Ausdehnung fehlt, kann das Wasser nicht gefrieren. Es preßt gegen seinen Panzer, wobei der Druck um

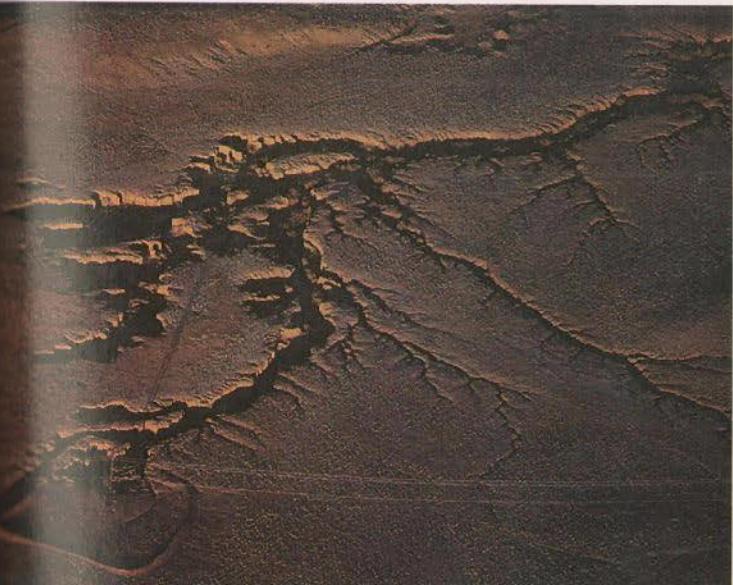




## Bäume, die das Wasser schuf

Aus anmutig wirkenden Verästelungen sammelt sich Wasser zu immer breiteren Bahnen, in denen es je nach Gefälle und Strömungsgeschwindigkeit erodiert, transportiert und sedimentiert – am Lake Natron in Tansania ebenso wie am Unterlauf des Colorado oder in New Mexico (unten links und Mitte). Doch manchmal entsteht die Veräste-

lung auch am Ende eines Wasserlaufs (unten rechts): Der Kuiseb-Fluß in Namibia teilt sich, nachdem er unterirdisch die Wüste durchquert hat, vor seiner Mündung in den Atlantischen Ozean in zahlreiche Arme



so höher steigt, je tiefer die Temperatur fällt: Bei minus 10 Grad Celsius drückt das Gewicht von rund 1150 Kilogramm auf jeden Quadratzentimeter, bei minus 20 Grad sind es bereits 2000 Kilo. Da platzen nicht nur Flaschen.

Derartiger Druck zertrümmert Fels schneller, wenn Frost und Tauwetter häufig wechseln, und das Gestein reißt um so eher, je mehr Poren es hat, in die Wasser eindringen kann. In Sandstein mit 25 Prozent Porenvolumen zeigen sich erste Risse nach dreimaligem Gefrieren, mit fünf Prozent erst nach etwa 50maligem Frost.

Auch bei der chemischen Verwitterung spielt Wasser die Hauptrolle. Das harmlos erscheinende Naß ist ein vielseitiges Lösungsmittel, das mit der Zeit selbst Granitblöcke zersetzt. Wasser löst heraus, was löslich ist, und macht das Gestein somit anfälliger für die physikalische Verwitterung; umgekehrt eröffnet deren Sprengarbeit der chemischen Verwitterung neue Angriffsflächen.

Welch leistungsfähiges Lösungsmittel  $H_2O$  ist, erfahren Badende im Toten Meer auf angenehme Weise: Jeder Liter dieser fast gesättigten Lake birgt 290 Gramm Salz – so viel, daß Menschen korkenleicht auf dem See dümpeln. Andere Substanzen nimmt Wasser allerdings nur in wesentlich geringeren Mengen auf. So kann ein Liter reines Wasser bei 20 Grad Celsius zum Beispiel gerade 14 Milligramm Kalk lösen.

In der Natur enthält Wasser jedoch stets Zutaten, die das Lösungsvermögen erhöhen. Regen ist auch ohne Zutun des Menschen etwas sauer, vor allem durch das Kohlendioxid ( $CO_2$ ), einen natürlichen Bestandteil der Luft, der bei jedem Atemzug und auch bei Feuer anfällt. Das Gas – als wichtigste Ursache des Treibhauseffekts ins Gerede gekommen – hilft besonders kräftig mit, Kalk zu lösen, und das um so wirkungsvoller, je kühler das Wasser ist: Bei 20 Grad Celsius kann ein Liter kohlendioxihaltiges Wasser viermal soviel Kalk lösen wie  $CO_2$ -freies Wasser, bei 10 Grad sogar fünffach soviel.

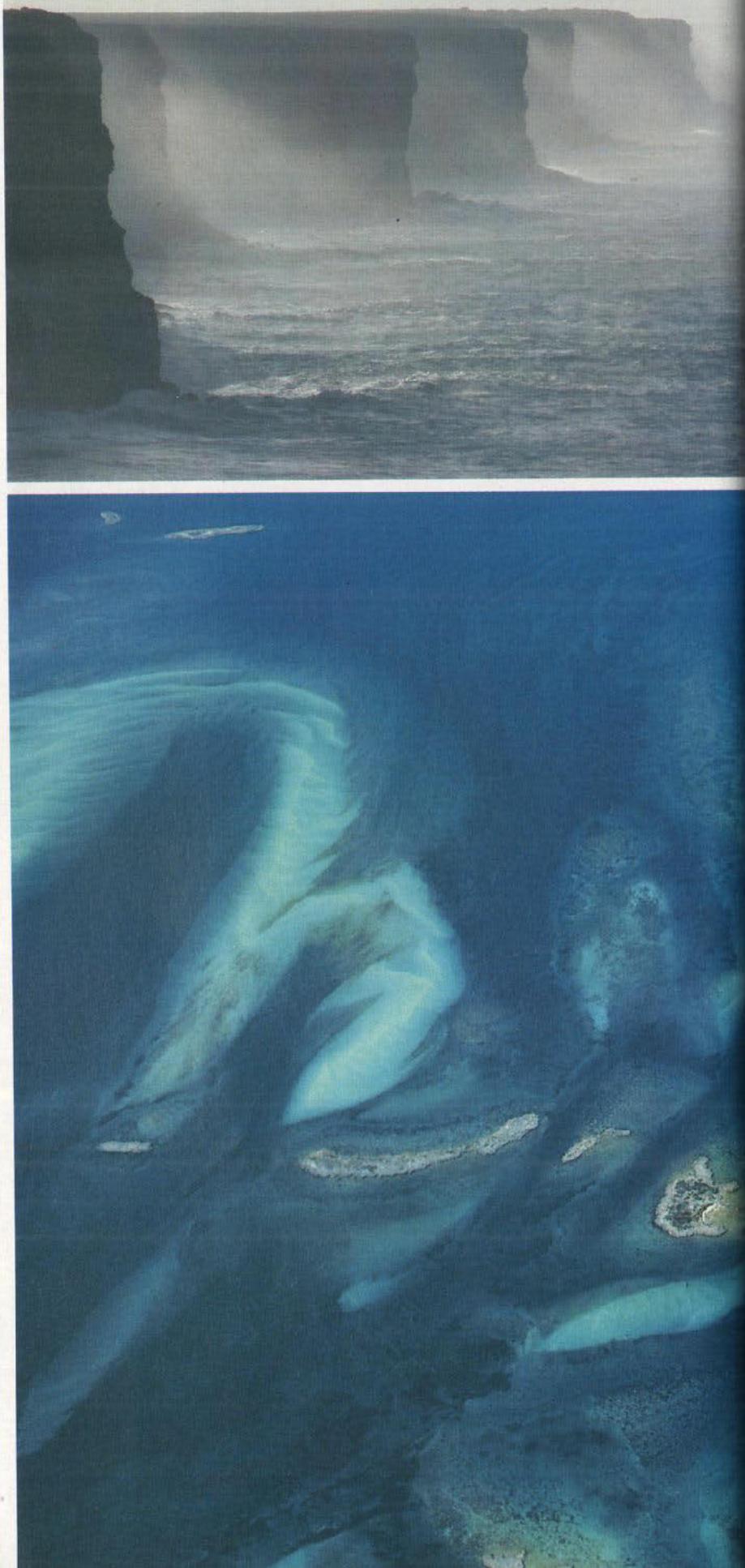
---

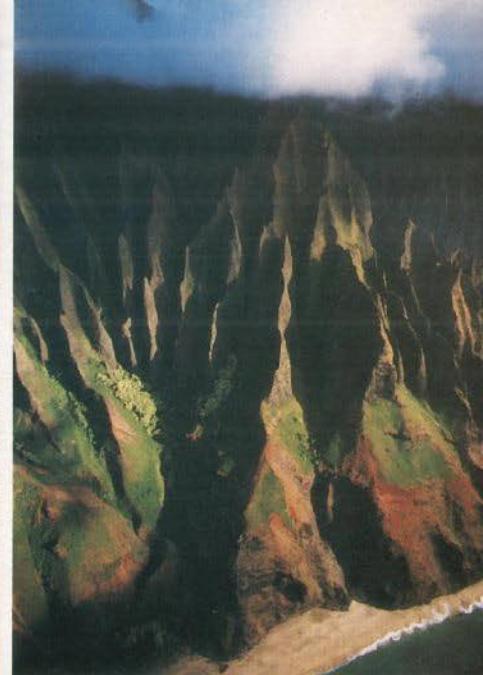
#### **Wenn Kalkgebirge Molekül für Molekül im Untergrund versickern**

---

Derart munitioniert, trägt Wasser ganze Kalkgebirge ab – Molekül für Molekül. Ist der Prozeß erst einmal in Gang gekommen, versickern Niederschläge rasch in den Spalten und fließen durch Höhlen ab. So entstehen bei dem unaufhaltsamen Niedergang oft schroffe, trockene Karst-Landschaften. Auf dem Weg durch die Unterwelt kann ein Teil des Kalks wieder ausgefällt werden, wenn nicht mehr so viel  $CO_2$  im Wasser ist, daß es die ganze Fracht in Lösung halten kann. Dabei entstehen oft phantastische Tropfsteingebilde.

Ganz ohne Chemie, nur durch die schiefe Kraft seiner Bewegung verändert Wasser als Lastesel der Erosion schon in klein-





## **Wo Land der Macht der Wellen weicht**

Zwischen Inseln der Bahamas treiben Gezeiten und Strömungen ihr Spiel mit losem Sand. Die Brandung nagt schäumend an den Kontinenten, rollt unentwegt etwa gegen die australische Südküste, von der sie auch Felseninseln abspalten. Doch so dramatisch die Brecher gegen Klippen donnern – das Meer reißt an

Gesteinstrümmer weltweit weniger als ein Hundertstel dessen ab, was die Flüsse anliefern. Am Strand der Hawaii-Insel Kauai räumen die Wellen lediglich weg, was der Regen von den steilen vulkanischen Hängen abgeschwemmt hat



sten Mengen die Oberfläche der Erde. Große Regentropfen fallen mit mehr als 30 Kilometer pro Stunde aus den Wolken und schlagen kleine Krater in trockene Erde. Beim Zerplatzen spritzen sie mit gut 60 Stundenkilometern auseinander und schleudern mitgerissene Partikel bis zu anderthalb Meter weit. Wenn der Boden kein Wasser aufnehmen kann oder bereits mit Feuchtigkeit gesättigt ist, fließen die Niederschläge an der Oberfläche ab und reißen loses Erdmaterial mit – um so größere Brocken, je schneller das Wasser strömt. Bei 50 Zentimeter pro Sekunde werden bereits drei Millimeter große Sandkörnchen weggeschwemmt.

---

**Allein die USA verlieren jährlich 1,7 Milliarden Tonnen Ackerboden**

---

Ein einziger Schauer kann auf einem frisch geegerten Feld die jahrelange Wühl- und Zersetzungarbeit von Regenwürmern und anderen Lebewesen im Boden vernichten. Im Schnitt nur etwa 0,1 Millimeter fruchtbare Krume pro Jahr produzieren Bodenorganismen in Mitteleuropa, aber bis zu acht Millimeter Boden können jährlich etwa von Mais- oder Zuckerrübenfeldern davongeschwemmt werden – das entspricht einem Verlust von rund 80 Tonnen pro Hektar. Wälder und Wiesen dagegen halten die Erosion in Zaum.

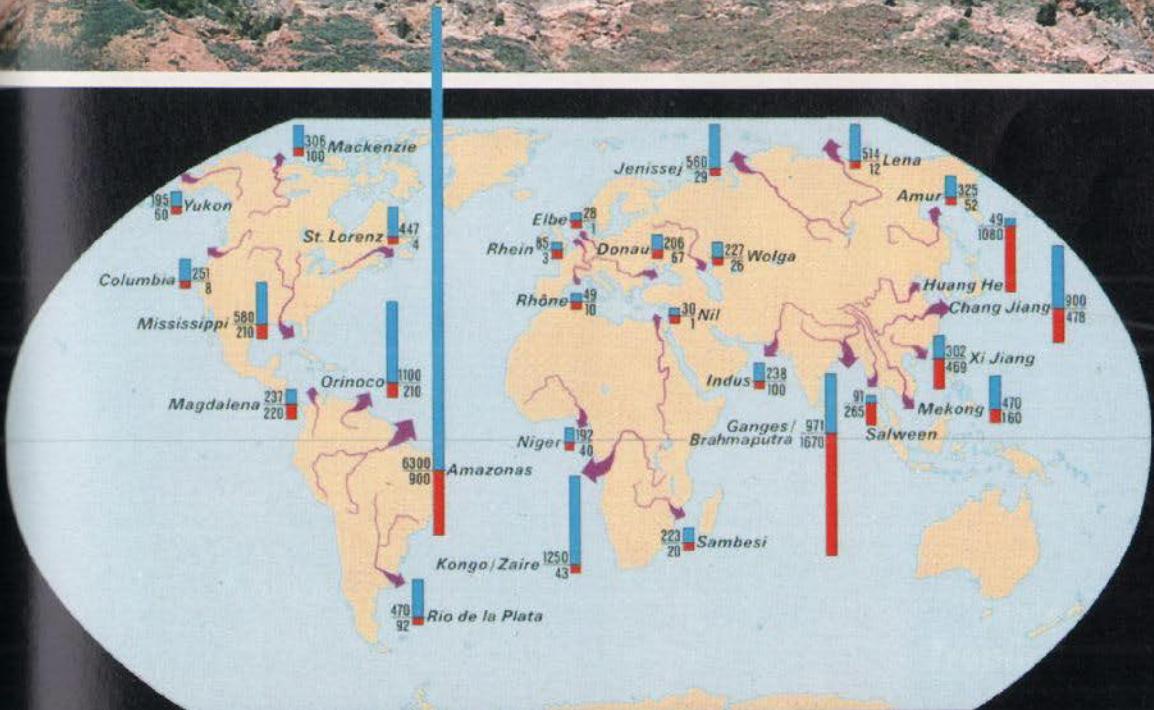
Die Folgen der Bodenerosion sind nicht nur verringerte Fruchtbarkeit und höhere Düngekosten. Wasserwirtschaftler registrieren den Verlust der Bauern als unerwünschten Zugewinn in Form höherer Schwebstoff- und Geröllfrachten: Bäche verschlammen, schiffbare Flüsse müssen häufiger ausgebaggert werden, Seen werden durch die nährstoffreichen Einschwemmungen überdüngt.

Gravierender als im relativ sanft gewellten, kleinräumigen Mitteleuropa mit seinen eher milden Regenfällen wirkt sich die Erosion in klimatisch extremeren Regionen wie dem amerikanischen Mittelwesten aus: Auf die gigantische Summe von 1,7 Milliarden Tonnen schätzen Fachleute den jährlichen Verlust an fruchtbarem Ackerboden in den USA.

Noch schlimmer wütet fließendes Wasser in überbevölkerten, gebirgigen und niederschlagsreichen Gebieten der Dritten Welt, wo Bergwälder abgeholt und steile Hanglagen oft aus schierer Not unter Hacke oder Pflug genommen werden. Vor allem an den Südhängen des Himalaya, in Hinterindien und China hat die Bodenerosion verheerende Ausmaße angenommen: Ackerboden ist für das Gros der Menschheit nach wie vor die Grundlage der Existenz – und von dieser Grundlage werden weltweit jährlich schätzungsweise 25 Milliarden Tonnen davongeschwemmt oder weggeblasen.

Wie sehr besonders die Menschen im Südosten Asiens gefährdet sind, den Bo-





## Erde auf dem Weg ins Meer

Das blaue Wasser des Little Colorado enthält weniger Schwebstoffe als die grünliche Flut des Colorado, in den der kleine Fluß mündet. Mit den lehmtrüben Fluten des Amazonas mischt sich das dunkle Wasser des Xingu, wobei sich kilometerweite Wirbel bilden. Wo an steilen Hängen Tropenwälder abgeholt werden wie in Madagaskar, reißen Bäche und Flüsse rasch tiefe Narben ins Erdreich. Die Karte zeigt, was die stärksten Ströme pro Jahr ins Meer transportieren

Obere Zahl: Wasser pro Jahr in Kubikkilometer (= Milliarden Tonnen);  
untere Zahl: Schwebfracht pro Jahr in Millionen Tonnen

den unter ihren Füßen zu verlieren, dokumentiert die Tabelle der Flüsse mit der höchsten Fracht an Schwebstoffen, „Detritus“ genannt. Rekordhalter nach dieser Hitliste der Erosion sind – weit vor dem viel wasserreicherem Amazonas – die gemeinsam mündenden Himalaya-Abflüsse Ganges und Brahmaputra mit zusammen 1670 Millionen Tonnen pro Jahr (siehe Karte auf Seite 137).

### In Wildbächen kommen selbst Felsbrocken ins Schwimmen

Die Transportkapazität großer Ströme stellt die Leistung menschlicher Verkehrsadern weit in den Schatten. Schon ein kleiner Fluß wie der Neckar transportiert jährlich 1,5 Millionen Tonnen allein an „Lösungstracht“, durch chemische Verwitterung herausgelöste Substanzen. Der mächtige Mississippi, Nr. 7 der globalen Flußfracht-Tabelle, schafft pro Jahr 131 Millionen Tonnen gelöste Substanzen sowie 210 Millionen Tonnen Detritus in den Golf von Mexiko – davongeschwemmt mit 580 000 Millionen Tonnen H<sub>2</sub>O.

Wasser räumt dort am meisten ab, wo die Verwitterung gut vorgearbeitet hat und die Auswaschung nicht von einer Pflanzendecke gebremst wird – auf vegetationslosen Ackerflächen, Sanddünen und Geröllhalden. Härtere Gesteine modelliert fließendes Wasser aus dem benachbarten weicheren Material regelrecht heraus. Zurück bleiben freistehende „Zeugenberg“ oder wildromantische Felsgruppen. Wie mit scharfen Messern fräsen Bergbäche dort, wo Klüfte dem talwärts rasenden Wildwasser Wege durch Gebirgsriegel erlauben, enge Schluchten ins Gestein – die „Via Mala“ beispielsweise, die Klamms des Hinterrheins, deren Wände einander fast berühren.

Hat strömendes Wasser erst einmal Sandkörner oder Kieselsteinchen angehoben, genügt eine wesentlich geringere Fließgeschwindigkeit, um die Fracht beim Transport in Bewegung zu halten – nur zwei Zentimeter pro Sekunde für Teilchen von 0,2 Millimeter Durchmesser. Bei katastrophalen Flutn, etwa nach Gewittern in engen Alpentälern, reißen Wassermassen allerdings auch tonnenschwere Felsbrocken mit sich.

Ein Bach oder Fluß ist kein gleichmäßig dahinströmendes Transportband. Er führt mal mehr, mal weniger Wasser, plätschert über Strecken unterschiedlichen Gefälles, zwängt sich mitunter durch Engstellen und erweitert sein Bett, wo es das Gelände zuläßt. Untiefen erzeugen Wirbel, und in engen Schlingen strömt das Wasser außen stärker als innen. Das hat zur Folge, daß in den ruhigen Zonen Schwebfracht nach unten sinkt und sich absetzt, um bei Hochwasser mit stärkerer Strömung wieder emporgerissen und weitertransportiert zu werden. Neues Mate-





**Steter  
Tropfen nimmt  
und gibt**

Im Kalkstein wäscht Wasser tiefe und weitverzweigte Höhlensysteme aus, die Forscher zu abenteuerlichen Expeditionen in die Unterwelt locken – etwa hinab in die 155 Meter lotrecht abfallende »Fantastic Pit« in Georgia. Ein Teil des gelösten Kalks setzt sich in den Höhlen wieder ab. Dabei entstehen steinerne Vorhänge wie in der »Fairy Cave« im US-Staat Montana oder die Tropfstein-Märchenwelten der Lotus-Höhle in der südchinesischen Landschaft Guilin.

rial wird auch von den Ufern losgerissen, vor allem vom „Prallhang“ in den Außenkurven der Flusswindungen.

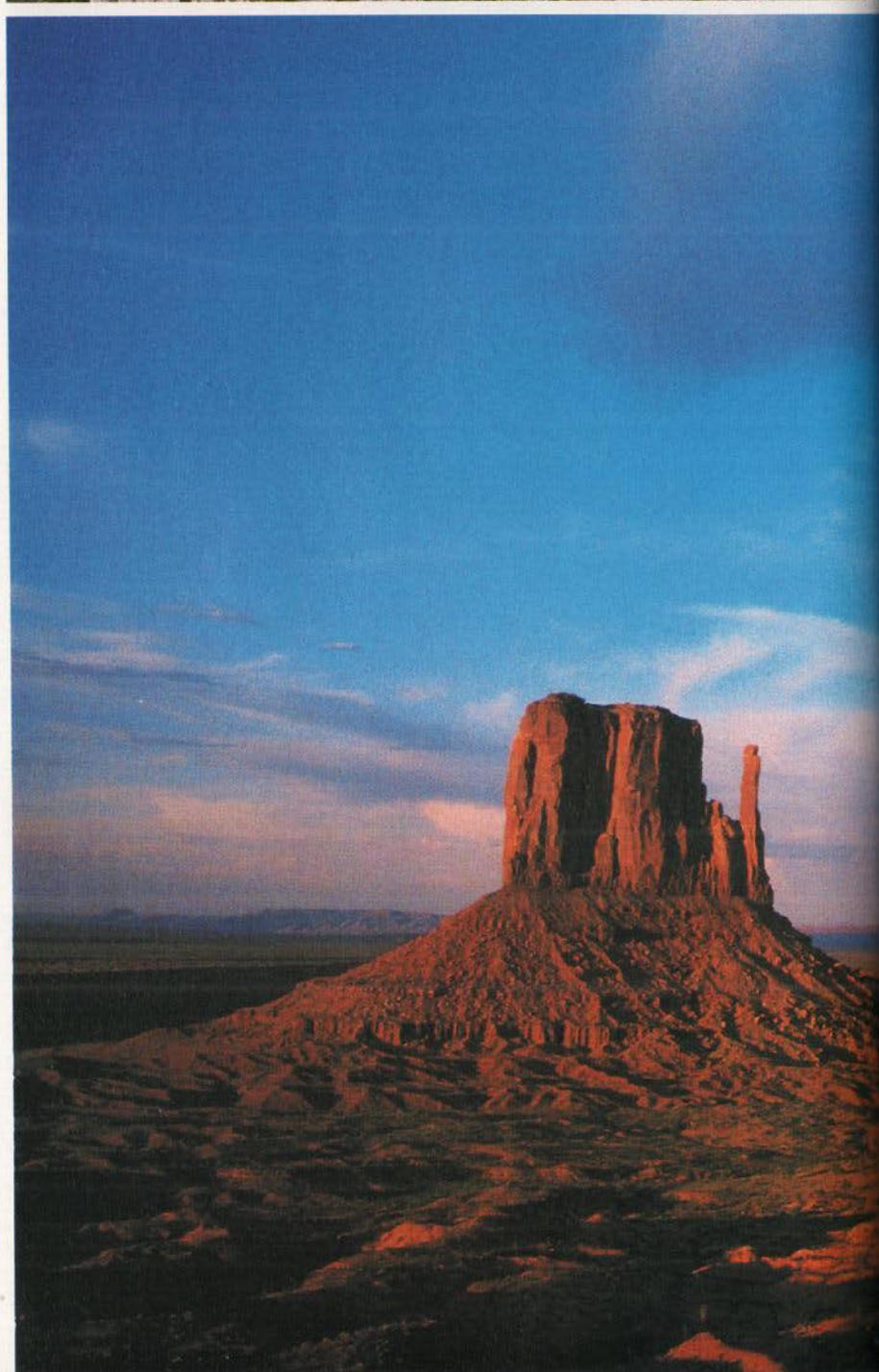
Beim Transport reibt Stein an Stein, werden Felsbrocken geglättet, zu Kieseln gerundet und allmählich zu Sand oder feinerem Schluff zerrieben. Deshalb trübt sich das Wasser der großen Flüsse auf dem Weg zum Meer immer mehr. Schließlich enden die Teilchen dort, wo sie meistens schon einmal waren: im Meer. Denn die Kontinente bestehen – nach ungezählten Zyklen, in denen Land gehoben und wieder abgetragen wurde – heute größtenteils aus Sedimentgesteinen, die vor Jahrtausenden in einem Meer abgelagert und später zu Festland wurden.

Wasser formt das Gesicht unseres Planeten, und der schnelle, von der Sonnenenergie angetriebene hydrologische Kreislauf beeinflusst sogar den gemächlichen, viele Jahrtausende währenden Zyklus der Gesteine, den radioaktive Zerfallswärme aus dem Erdmantel in Gang hält. Wo die mächtigen Platten aus Erdkruste und Teilen des Oberen Erdmantels, welche die äußere Hülle der Erde bilden, miteinander kollidieren, wo sich eine Platte unter die andere schiebt, werden gewaltige Gebirge aufgetürmt.

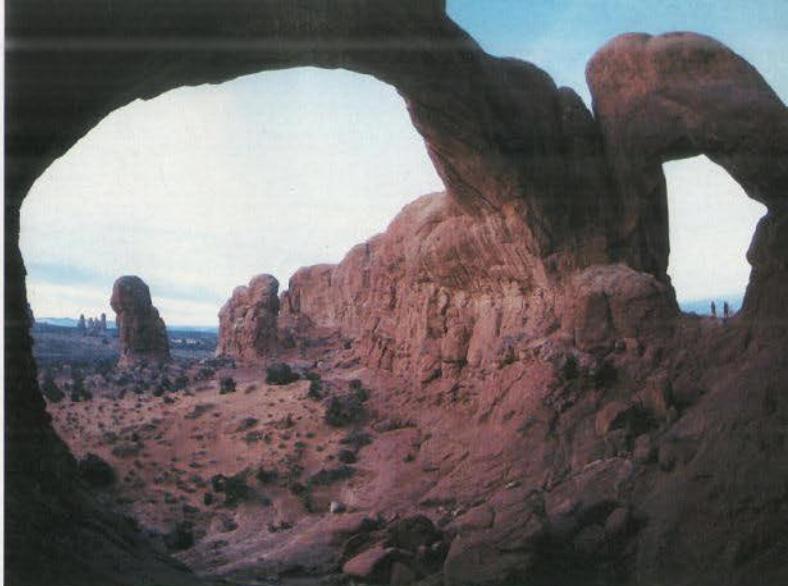
Ohne die Kräfte aus dem Inneren des Planeten, die unentwegt für neue Höhenunterschiede sorgen, hätte das Wasser bald nichts mehr einzuebnen: Alles Festland läge in gleichförmiger Ödnis am Grund eines globalen Ozeans.

Ohne den Schub aus der Tiefe gäbe es auch keinen Grand Canyon: Wo sich der Colorado so tief eingeschnitten hat, wird die Erdkruste seit Millionen Jahren besonders stark angehoben. Die Hebung erfaßte auch einen Ur-Colorado, dessen Fluten sich damals träge durch eine Ebene gewälzt hatten. Als das Land emporgedrückt wurde, nahm das Gefälle des Flusses und damit auch die Erosionskraft seines Wassers zu: Der Colorado fand ein neues Bett und grub sich dann immer tiefer ein. Und da der geologische Aufwärts-trend anhält, Gefälle und Erosion also weiterhin stark sind, vertieft der Strom den Grand Canyon auch heute noch.

Erlahmt freilich irgendwann der Schub aus der Tiefe, naht auch das Ende des Grand Canyon: Die Erosion wird sich nicht mehr in die Tiefe, sondern in die Breite vorarbeiten, bis das Hochplateau allmählich abgetragen ist. Dann wird der Colorado abermals durch eine weite Ebene fließen, in der nur noch vereinzelte Bergstümpfe von einer grandiosen geologischen Vergangenheit zeugen werden. Aber selbst solche Felsruinen können ihren touristischen Reiz haben, wie eine Landschaft wenige Autostunden nordöstlich des Grand Canyon bezeugt: das Monument Valley. □



Dr. Erwin Lausch, 59, ist GEO-Redakteur.



## Harte Zeiten für weiches Gestein

Wo unterschiedlich harte Gesteine aufeinanderfolgen, modelliert die Erosion oft bizarre Felsformationen. So schuf sie aus den Ablagerungen eines Alpengletschers in der Finsterbachschlucht bei Bozen »Erdpyramiden«, die einem Stein an der Spitze die Verlängerung ihrer Existenz verdanken. Ähnlich schützt im Canyonlands National Park in Utah ein harter Felsblock den dünnen Stiel aus weicherem Material vor raschem Zerfall. Bei

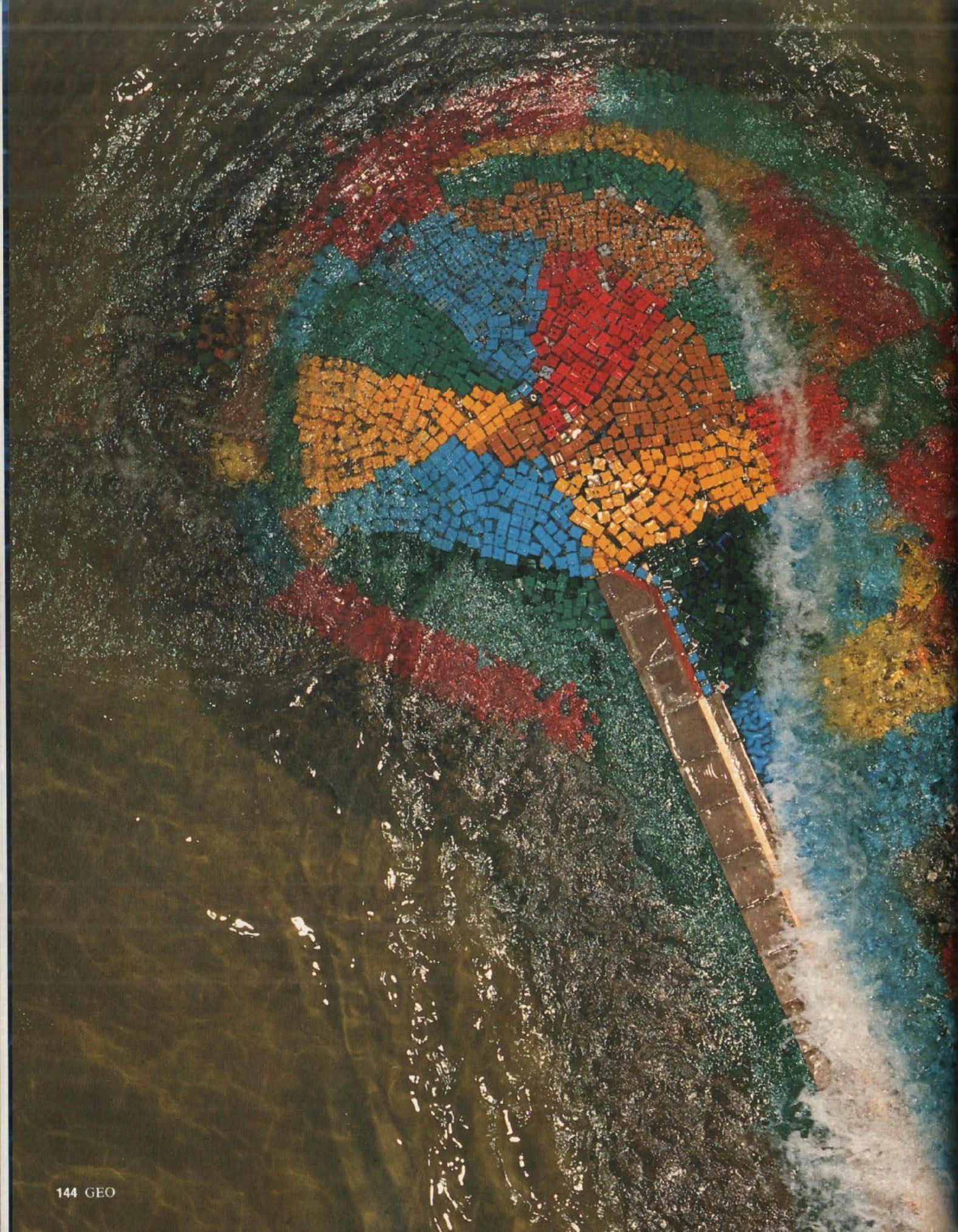
günstigen Bedingungen bilden sich natürliche Brücken wie im Arches National Park, ebenfalls in Utah. Schließlich zeugen – im Monument Valley im Grenzgebiet von Utah und Arizona – nur noch Stümpfe von einer einst mal durchgehenden harten Gesteinsdecke





# **Fluten auf dem Prüfstand**

An einem Fluß-Modell testen holländische Ingenieure, mit welchen Bedingungen ein geplantes Brückenfundament am Jamuna in Bangladesch fertig werden muß. Was Wassergehalt anrichten kann, wenn sie denn tobt, wissen vor allem die Menschen an den Küsten. Seit alters schützen sie sich und ihre Scholle mit Deichen und Dämmen vor Sturmfluten. Doch weil der Meeresspiegel steigt, wird die Befestigung der Küsten immer aufwendiger



## Forscher, die mit Wogen würfeln

In den Labors der niederländischen Firma »Delft Hydraulics« simulieren Ingenieure in kleinem Maßstab geplante Wasserbauprojekte. Am Modell aus farbigen Steinwürfeln studieren sie einen Wellenbrecher, der vor der algerischen Mittelmeerküste gebaut werden soll. Das Modell lässt Rückschlüsse darauf zu, wie stark das künftige Bauwerk durch die Wucht der Brandung belastet wird



## Viel Wirbel um Wellen

Im «Großen Wellenkanal» von Hannover zeigen die Brecher, was in ihnen steckt. Eine Wellenmaschine schickt Wogen auf den Weg durch den 324 Meter langen Kanal. An dessen Ende prallen sie auf einen Wellenbrecher aus Betonelementen. Eine Videokamera hält deren Verlagerungen fest, gleichzeitig werden Druck und Strömungen gemessen



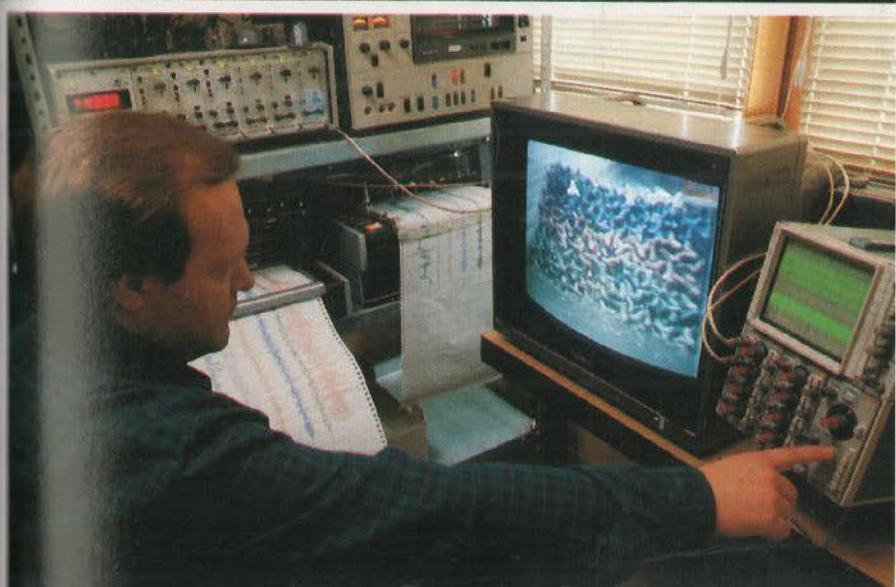
**D**umpf schlagen die Brecher auf die Böschung, zischen ein kurzes Stück hinauf und gurgeln zwischen die Steine. Ein vertrauter Klang, der Bilder wachruft von Meer und Brandung, Szenen aus meiner Kindheit auf Norderney. Nur unerbittliches Gleichmaß stört die akustische Erinnerung: Exakt alle viereinhalb Sekunden rollt eine 90 Zentimeter hohe Welle heran und klatscht auf den kleinen Damm aus Steinblöcken.

Der Anblick dieses fünf Meter breiten „geschütteten Wellenbrechers“ am Ende einer 324 Meter langen Betonrinne holt mich vollends in die Realität zurück. Keine Seeluft, keine Möwen, keine Brise. Hier, in dem Hallenschlauch am Stadtrand von Hannover, rollt die Brandung auf den Prüfstand. Im „Großen Wellenkanal“ wogen maßgeschneiderte Standardwellen – mal einen halben, mal zwei Meter hoch – stundenlang in immergleichem Rhythmus.

„Wir holen uns die Natur ins Labor“, freut sich Hans-Werner Partenscky. Er ist Professor für Wasserbau und Küsteningenieuren am Franzius-Institut und bis 1989 geschäftsführender Direktor des Großlabor für Küstenforscher, das die Universitäten Hannover und Braunschweig gemeinsam betreiben. Seit 1984 dient dieser größte Wellenkanal der Welt als Fenster zur Wirklichkeit. Weil alle Versuche an verkleinerten Modellen diese Realität nicht widerspiegeln können, messen hier Wissenschaftler im Maßstab 1:1 „Orbitalgeschwindigkeiten“ und „dynamische Drucke“ von Wellen. Im Modell studieren sie, wie sich Seegang beim Einlaufen in flaches Wasser verändert. Oder wie Wellenschlag die Böden mechanisch belastet und den Strand abträgt. An „Testböschungen“ probieren sie aus, welch großen Belastungen Deiche und Deckwerke bei starker Brandung ausgesetzt sind. Denn die Energie der Wellen wächst mit dem Quadrat ihrer Höhe. Bei fünf Meter hohem Sturmseegang branden auf jeden Kilometer Strand 240 Megawatt – soviel, wie ein großes Kohlekraftwerk leistet.

Die Ingenieure inszenieren „Zerstörungsversuche“ und beobachten, wie selbst flach auslaufende Böschungen „mit der Neigung eins zu sechs“ auf Dauer vor der Gewalt des Wassers kapitulieren. Ihre wissenschaftlichen Berichte mit komplizierten Formeln für „Deichbruchfunktionen“ und „Sicherheitsfaktoren“ belegen klar: Die Deichprofile müssen noch flacher werden, als sie es nach tausendjähriger Erfahrung schon geworden sind (siehe Grafik Seite 152).

Das technische Kommando im Wellenkanal führt Erhard Tautenhain. Gemeinsam mit seinen sieben Mitarbeitern wacht der promovierte Wasserbauingenieur über die Wasserversorgung, die Steuerung der Wellenmaschine und die Prozeßrechenanlage. In ihr laufen alle Signale zusammen, die Strömungsmesser, Druckaufnehmer und Deh-



nungsmeßstreifen an den Versuchsbauwerken registrierten. Laufen neue Experimente an, möchte Tautenhain am liebsten überall sein: vorn im Kontrollraum der Wellenmaschine, auf der Arbeitsbühne über dem Kanal und ganz hinten am Bauwerk. An solchen Tagen fährt der Betriebsleiter auch schon mal mit dem Fahrrad durch die Halle.

Der Wellenkanal hat 24 Millionen Mark gekostet – gut angelegtes Geld, wie Hans-Werner Partenscky meint. Denn die Versuche im realistischen Maßstab entlarven gravierende Differenzen zwischen Theorie und Praxis: Beispielsweise ist die Belastung durch brechende Wellen sehr viel größer als bislang angenommen. „Druckschläge“ von 1,5-Meter-Wellen, die im Moment des Brechens auf eine Steilwand prallen, erzeugen einen bis zu 20mal höheren Druck als theoretisch berechnet – über 40 Tonnen auf einen Quadratmeter. Als sie das testeten, bekamen Tautenhain und seine Kollegen nasse Füße: „Die Wellen haben geknallt wie Kanonenschläge, und die Brühe spritzte bis unter das Hallendach.“

Welch gewaltige Kraft die Brecher in der Natur entfalten können, mußte ich selbst am 16. Februar 1962 auf Norderney erfahren. Damals wütete der schlimmste Sturm, den meine Heimatinsel seit Menschengedenken erlebt hat. Als ich mittags nach der Schule zum Strand rannte, den die tobende See aus Nordwest überrollte, hatten die schäumenden Wasserwalzen bereits tonnenschwere Sandsteinquader aus der Befestigung gerissen. Gische schoß zehn Meter hoch in die Luft, Wind peitschte sie über die Straße. Später begann das Wasser, die nächstgelegenen Pensionen und Hotels zu unterspülen. Weiter im Osten der Insel drohte die schwere Brandung unterdessen den Randdünengürtel zu durchbrechen. Und die Tide war erst halb aufgelaufen . . .

Wir hatten noch Glück. Die Pegel zeigten in der folgenden Nacht zwar den Rekordwasserstand von drei Metern über dem mittleren Tidehochwasser an, die Strandpromenade glich tags darauf einem Trümmerfeld und in den Fassaden mehrerer strandnaher Pensionen klafften faustbreite Risse – aber auf der Insel waren keine Toten zu beklagen. Anders an der Unterelbe: Dort stiegen in der Nacht zum 17. Februar die Wassermassen vier Meter über die normale Flutmarke. Geschoben vom Windstau des gewaltigen Orkans, gehoben von der auflaufenden Tide und verstärkt von einer ein Meter hohen Fernwelle aus dem Atlantik, wurde die Flutwelle zur höchsten, die seit 1825 in den Hamburger Hafen gedrückt worden war. Die Behörden der Hansestadt zählten 79 Deichbrüche. 315 Menschen starben.

Wer damals glaubte, diese Sturmflut sei ein Jahrhundertereignis, der täuschte sich. Bereits 1967 wütete der „Adolph-Bermpohl-Orkan“. Mit mehr als 134 Kilometer pro Stunde hatte er die höchste jemals auf der Nordsee gemessene mittlere Windgeschwindigkeit. Der Seenot-Rettungskreuzer, nach dem der Orkan später benannt wurde, kenterte bei einem Einsatz vor Helgoland durch, seine Be-

satzung kam in den Wellen um. Die Küste blieb von größeren Schäden nur verschont, weil der Orkan zur Zeit der Ebbe raste. Auch in den siebziger und frühen achtziger Jahren drang die wütende Nordsee – der „Blanke Hans“ – mehrmals in die Unterelbe. Als Mitarbeiter vom Hamburger „Amt für Strom- und Hafenbau“ während der Sturmflut am 3. Januar 1976 den Pegel bei St. Pauli kontrollierten, trauten sie ihren Augen kaum: Der Wasserstand lag 75 Zentimeter über dem der 62er Sturmflut.

„Die Jahrhundertflut kommt an der Nordseeküste jetzt alle paar Jahre“, konstatieren Experten seither lakonisch. Meteorologen führen diese überraschende Häufung auf eine Klimaveränderung zurück: Bedingt durch eine Änderung des Wärmegradienten zwischen Nordpol und Äquator hätten sich die Wege der Sturmfluten nach Süden verlagert. Ob das auf menschliche Eingriffe in die Atmosphäre zurückgeht, ist noch ungewiß. Menschengemacht ist dagegen ein lokaler Effekt: Die Strombaumaßnahmen der letzten 20 Jahre lassen nach einer Untersuchung des Dänischen Hydraulischen Instituts in Kopenhagen die Sturmfluten in der Elbe heute mehr als einen halben Meter höher auflaufen als noch 1962. Ein Sechstel davon geht bei sehr schweren Sturmfluten auf das Konto einer Fahrwasserverteilung in den sechziger Jahren, durch die Tidewellen steiler und höher die Elbe hinauflaufen. Eine weitaus größere Rolle aber spielt ausgerechnet jenes Schutzkonzept, das die Elbanlieger nach der Katastrophe von 1962 entwickelt hatten: Sie bauten ihre Deiche und Flutmauern nicht nur höher und mächtiger, sondern auch dichter an den Strom heran. Acht Nebenflüsse wurden mit Sperrwerken geschlossen, die das Hinterland schützen. Damit fiel jedoch der „Stauraum“, der 1962 noch einen Teil der Flutwelle aufgenommen hatte, dem Zeichenstift der Planer zum Opfer.

Die Achillesferse der Unterelbe liegt in Hamburg: Nach dem Gutachten einer „Unabhängigen Kommission Sturmflut“ leben oder arbeiten in der Hansestadt 320 000 Menschen in den stark flutgefährdeten Gebieten. Deshalb wollen die Hamburger in den nächsten acht Jahren ihre Deiche weiter erhöhen – auf einheitlich acht Meter über Normal Null. Derweil denken Wasserbau-Ingenieure sogar über eine Lösung nach, die den „Blanken Hans“ für lange Zeit bannen könnte – ein Sperrwerk quer durch die Elbe. Doch damit

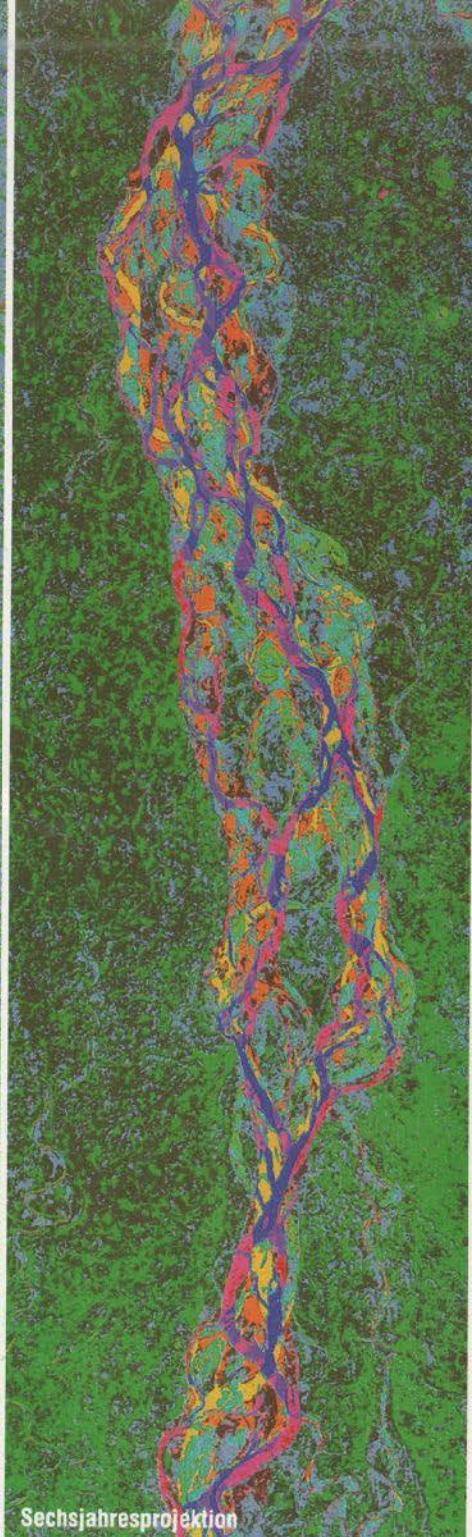
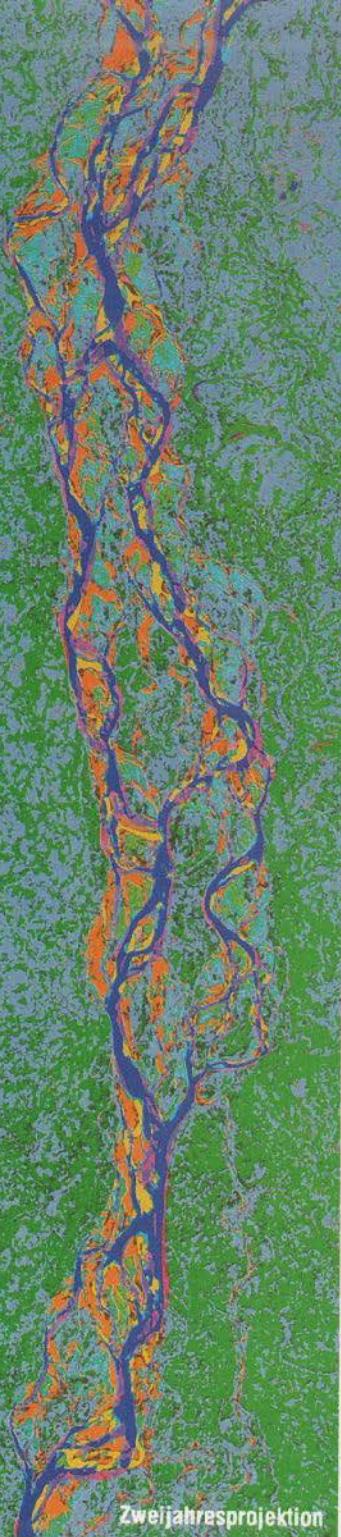
## Daten fluten aus dem All

Wer eine Brücke über einen Fluss bauen will, muß wissen, wo er fließt. Denn manche Flüsse wechseln ständig ihr Bett. Daher analysieren Ingenieure für ein Brückenbauprojekt über den Jamuna in Bangladesch Satelliten-aufnahmen, auf denen Wasser (blau), Vegetation (grün), Sand (orange) und kahles Land (grau) unterschieden sind. Die Übereinanderprojektion solcher Aufnahmen aus mehreren Jahren – je größer der Zeitraum, desto differenzierter – erlaubt Prognosen über den zukünftigen Flussverlauf



Einzelauflnahme





Zweijahresprojektion

Sechsjahresprojektion

## Tausend Hände für den Damm

**Monsunregen fordern am Golf von Bengal jedes Jahr Todesopfer. Weil es an Geld und Maschinen fehlt, bauten 1985 rund 15 000 Menschen per Hand einen Damm zur Bewässerung von Reisfeldern. Er soll auch die Mündung des Feni vor Sturmfluten schützen**



drohen die Planer in einer Flut technischer Probleme zu ertrinken. Zudem würde das Jahrhundertwerk schätzungsweise 1,5 Milliarden Mark verschlingen – sollte es je gebaut werden. Denn noch findet das Projekt kaum Zustimmung.

„Wir müssen Abschied nehmen von diesen eindimensionalen technischen Lösungen“, bewertet Jochen Hanisch vom Hamburger „Planungsinstitut Küstenregion“ den Entwurf der Wasserbauer. Der Landschaftsplaner betrachtet die Unterelb-Region mittlerweile als sanierungsbedürftiges Gebiet, in dem die Fehler der Vergangenheit behutsam beseitigt werden müssen. Hanisch empfiehlt eine Kombination mehrerer Maßnahmen: einen Rückzug der Hauptdeichlinie stromab, die Einrichtung von Poldern und freien Überflutungsfächern, die zusätzlich Wasser aufnehmen können und eine maßvolle Deicherhöhung in Hamburg. „Es ist besser“, argumentiert er, „an mehreren kleinen Schrauben zu drehen als an einem großen Bolzen.“

Daß Wasserbau-Techniker radikalere Lösungen anstreben, hat noch einen anderen Grund: Es scheint, daß die Ozeane mächtiger als bisher aus ihren Becken drängen. Das jedenfalls schloß Alfred Führbörter aus dem Vergleich der Wasserstände an der Nordseeküste. Der Professor für Hydromechanik und Küstenwasserbau an der Technischen Universität Braunschweig errechnete vor drei Jahren, daß allein zwischen 1958 bis 1983 das Mittlere Tidehochwasser um 16 Zentimeter gestiegen war – um fast soviel, wie Wissenschaftler für das gesamte Jahrhundert vorhergesagt hatten. Führbörters Ergebnis ergab hochgerechnet einen Anstieg von 64 Zentimeter in 100 Jahren. Seitdem diskutiert die Fachwelt: Wie lange kann die Erhöhung der Deiche mit dem stetigen Anstieg des Meeresspiegels Schritt halten? Warum hebt sich überhaupt der Meeresspiegel stärker als in früheren Jahrhunderten?

Nach Ende der letzten Kaltzeit vor 10 000 Jahren waren die Ozeane zunächst sehr rasch um rund 100 Meter angestiegen. Von etwa 4000 v. Chr. stagnierte das Meeressniveau bis zum Ende des Mittelalters. Zwischen 1850 und 1950 – über Wasserstandsänderungen wurde inzwischen präzise Buch geführt – betrug dieser sogenannte Säkularanstieg ganze 20 bis 30 Zentimeter.

„Über die Ursachen des neuen Schubs kann man nur mutmaßen“, sagt Alfred Führbörter, der auch im Hannoveraner Wellenkanal forscht. Ebenso darüber, ob die Meere sich im gleichen Tempo weiter ausdehnen werden. Es ist allerdings denkbar, daß die flache Nordsee wie ein empfindliches Meßinstrument die Wirkung des „Treibhauseffekts“ anzeigt – der globalen Erwärmung der Atmosphäre durch Kohlendioxid und andere Spurengase.

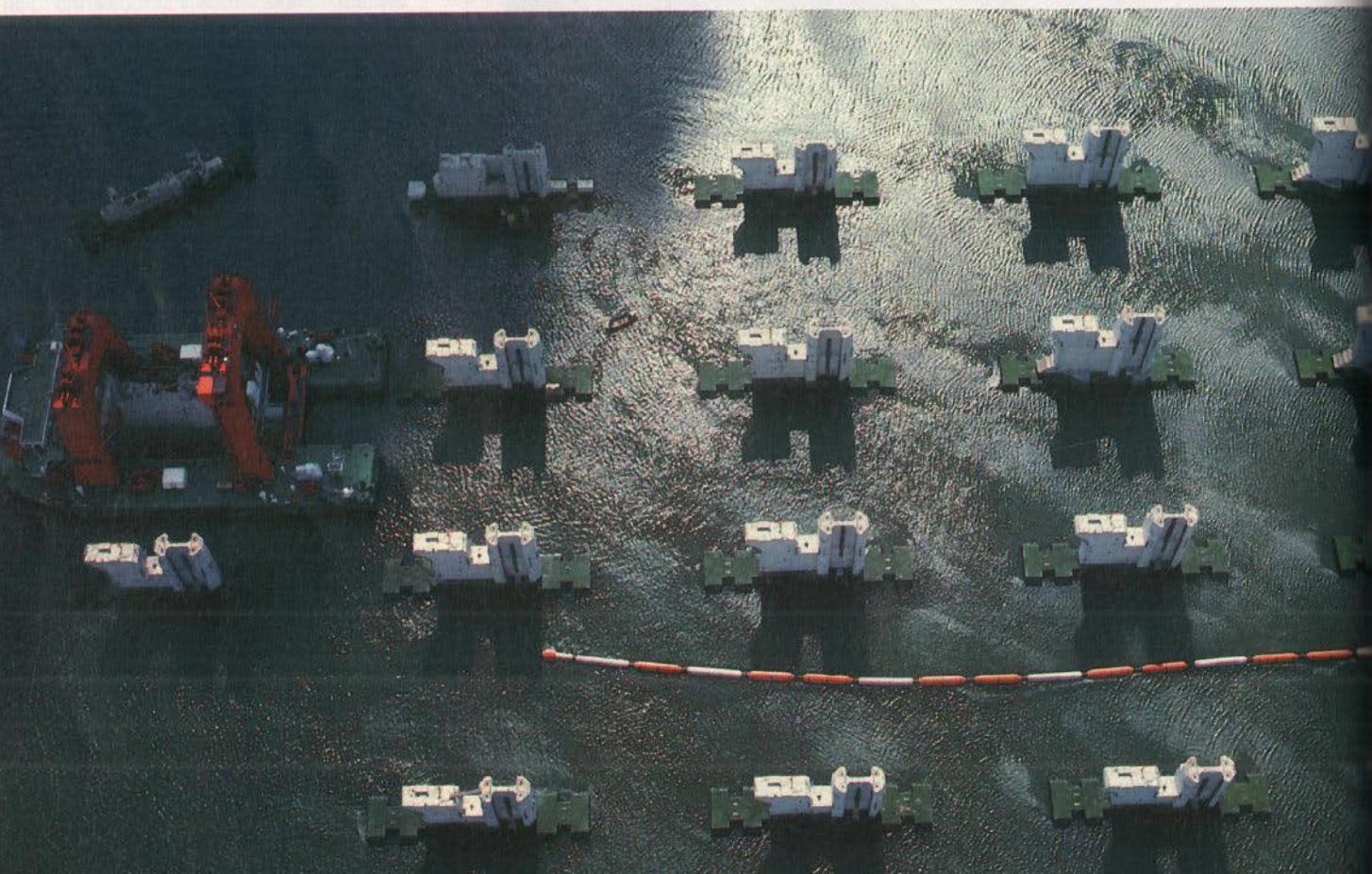
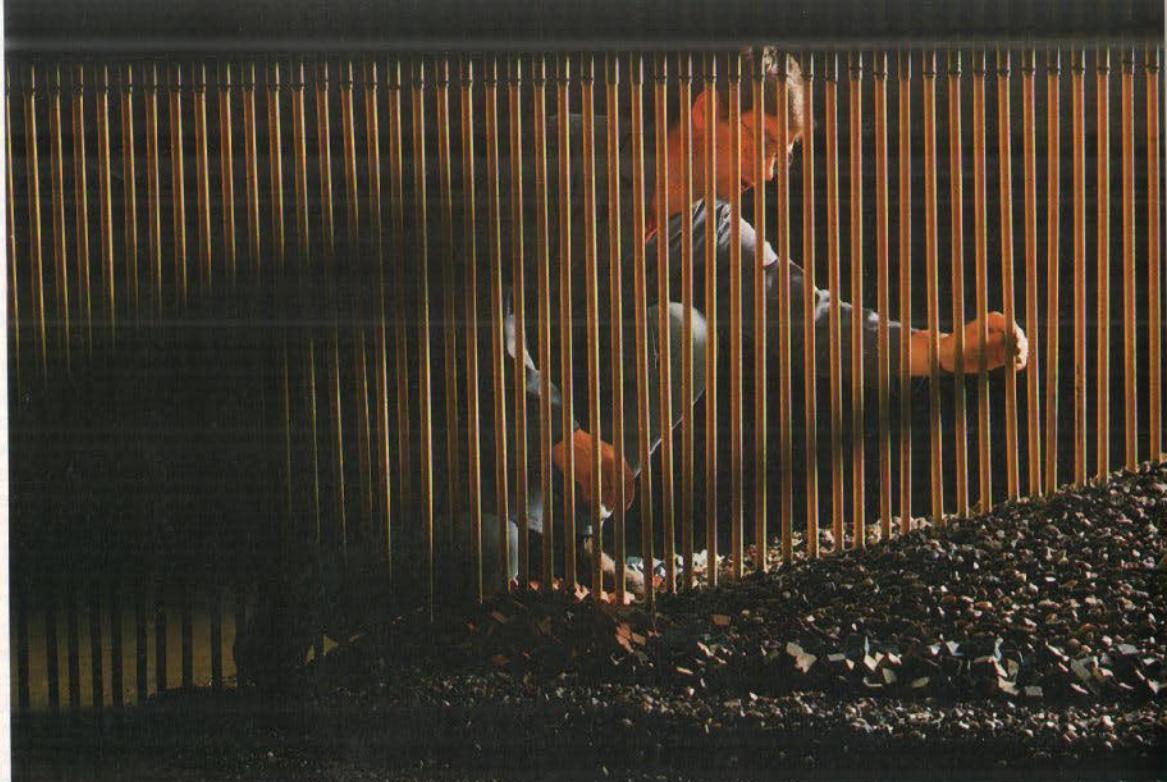
„Sicher werden wir nicht morgen ertrinken“, meint der Holländer Pier Vellinga. „Aber um zukünftige Probleme zu vermeiden, sollten wir jetzt anfangen zu planen.“ Er und sein Kollege Bart Peerbolte sind Vordenker in Sachen „Säkularanstieg“. Als sei es demonstrative Absicht, liegt ihre Firma „Delft

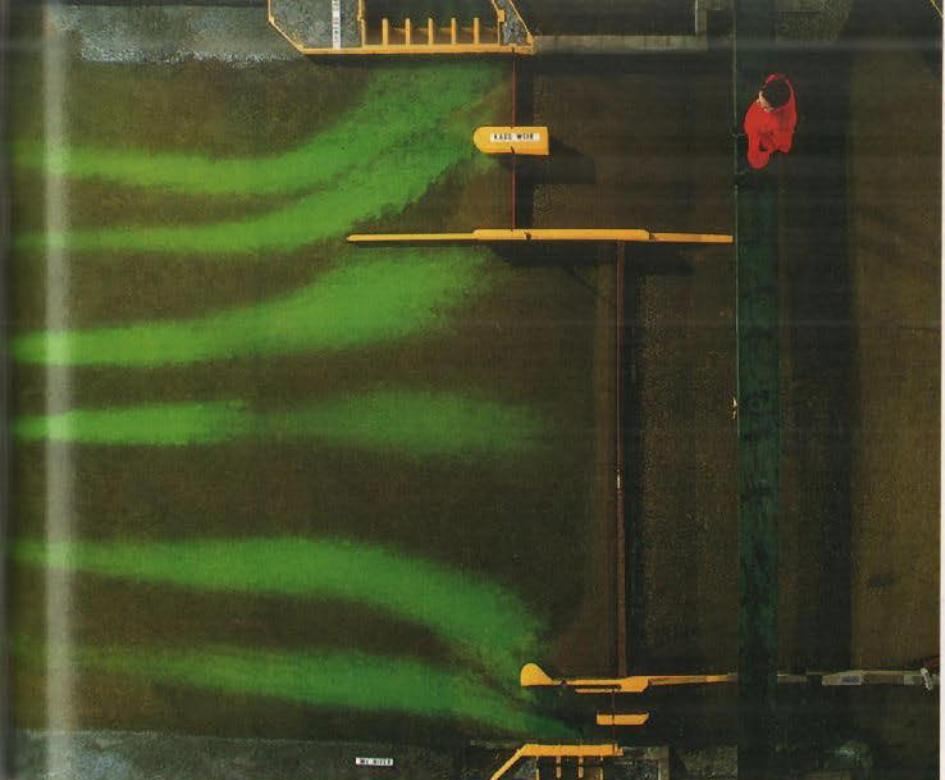
## **Greifbare Maßnahmen gegen den Strom**

Profile auf dem Prüfstand: Im Wasserbau-Labor von »Delft Hydraulics« werden Modelldämme und -wellenbrecher an Meßstäben ausgerichtet. Nach den Test-Flutungen lässt sich ermitteln, ob sich die Profile der Modelle verändert haben.

Im Labor werden auch Versandungsprobleme am birmannischen Mu-River-Damm simuliert, mit dessen Hilfe über 800 Quadratkilometer Land bewässert werden.

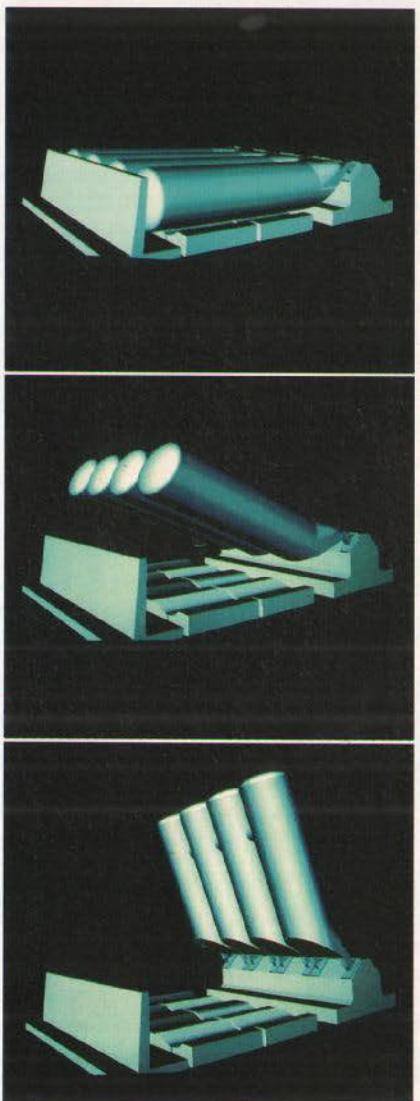
Farbstoff macht sichtbar, wie sich die Strömung am Staudamm auswirkt





## Aufstand gegen die Massen

Nach der verheerenden Flutkatastrophe von 1953 beschlossen die Niederländer, das Mündungsdelta von Rhein und Maas abzuschotten. Zunächst errichteten sie mächtige Deiche. Seit 1986 sichert das größte Flutwehr der Welt die Oosterschelde. Ein Hebeschiff hatte die insgesamt 65 rund 18 000 Tonnen schweren Beton-Pylone in Stellung gebracht, bevor sie durch riesige bewegliche Tore zu einem Damm verbunden wurden. Ein Sperrwerk könnte auch Venedig schützen: Die mächtigen Klappen des »Laguna veneta«-Projektes gibt es allerdings bislang nur im Computer-Bild



Hydraulics“ metertief unter dem Meeresspiegel auf einem Polder am IJsselmeer. Dort, im klassischen Land der Deichbau-Kunst, plant das Unternehmen Wasserbau-Anlagen in aller Welt. In der Eingangshalle läuft eine wassergetriebene Uhr: Wie Symbole für eine ungewisse Zukunft tropfen die Minuten dahin.

Sollte sich die Atmosphäre bis zum Jahr 2030 um 1,5 bis 4 Grad Celsius erwärmen, dann würden nach Berechnungen der Wissenschaftler die Meere um 20 bis 140 Zentimeter ansteigen. Ein beträchtliche Spanne, gesteht Vellinga, aber an irgend etwas müsse er sich schließlich halten. Gemeinsam mit seinem Kollegen hat er begonnen, die Folgen der steigenden Flut im Computer zu simulieren. Die so gewonnenen Szenarien sollen helfen, die Kosten für den Küstenschutz weltweit abzuschätzen. Dabei denken die Ingenieure nicht nur an die Meeresanlieger in Europa, deren Gestade zur Zeit relativ gut gegen Sturmfluten gesichert sind.

Sorgen machen ihnen vor allem ungeschützte Küsten mit großen Flussmündungen. Welche Gefahren vor allem Entwicklungsländern drohen, zeigt die Situation in Bangladesch. Dort, am Golf von Bengalen, leben auf der halben Fläche der Bundesrepublik über 100 Millionen Menschen – der größte Teil im riesigen Mündungsdelta der Ströme Ganges und Brahmaputra. Als im November 1970 ein Taifun die Küstenregion verwüstete, kamen 300 000 Menschen in den Fluten um, 2,5 Millionen verloren ihr Heim.

Flutkatastrophen kosten in dichtbesiedelten Ländern der Dritten Welt nicht nur Land und Leben. Eindringendes Meerwasser versalzt auch die Felder, zerstört wertvolle Süßwasserreserven, Verkehrswege und Industrie-Einrichtungen. Ein Meeresspiegelanstieg bedroht die wirtschaftliche Existenz dieser Länder, denen es ohnehin an Geld und technischem Management zum Bau von Deichen und Sperrwerken mangelt. Unwissenheit und Fatalismus machen oft auch noch den natürlichen Schutz der Küste zunicht: Indonesien, Thailand und die Philippinen verlieren jährlich zwischen 500 und 2000 Quadratkilometer Mangrovenwald durch wirtschaftlichen Raubbau und Umweltverschmutzung.

Auch vielen Koralleninseln wird der Säkularanstieg gefährlich. Der Malediven-Archipel etwa erhebt sich nur einen Meter über die Meeresoberfläche. Er besteht ausschließlich aus von Korallen produziertem porösen Kalk. „Deiche wären da völlig sinnlos“, weiß Bart Peerbolte. „Unter denen würde das Wasser einfach hindurchfließen.“ Nach seiner Meinung können die maledivischen Hauptinseln nur durch Aufschüttung gerettet werden.

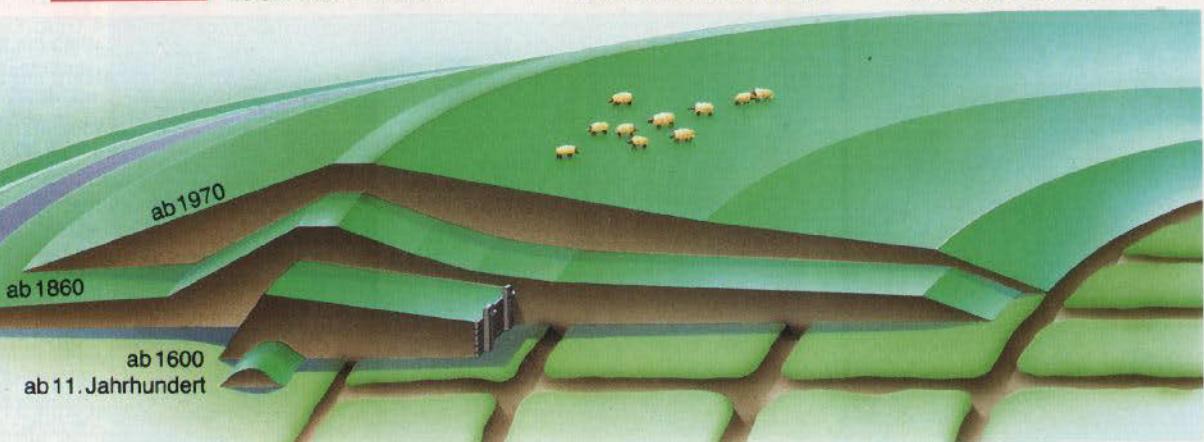
Die Niederländer haben solch gewaltige Landschaftsveränderungen bereits erlebt, als sie dem Meer fruchtbare Marschen abrangen. Sie liegen heute wohlbehütet hinter hohen Deichen, vor Fluten durch gewaltige Sperrwerke gefeit. Ihnen kann auch ein Säkularanstieg von einem Meter nichts anhaben, wenn zusätzliche Schutzmaßnahmen realisiert werden. Kosten: mindestens neun Milliarden

## Die Breiten von der Küste

Deichbau ist ein langer Lernprozeß. Zu Anfang dieses Jahrtausends legten die Küstenbewohner zwei Meter hohe »Sommerdeiche« an, die bei Herbst- und Frühjahrsstürmen keinen Schutz boten. Die im 16. Jahr-

hundert üblichen, vier Meter hohen »Stackdeiche« verhinderten zwar effektiver den »Wellenüberlauf«, doch nach wie vor drohten Dammbrüche durch die Gewalt der »Druckschläge«. Im Laufe der Jahrhunderte setzten

sich flachere Außenböschungen durch. Sie bremsen am besten die zerstörerische Kraft der Wogen. Über acht Meter hohe »Stranddeiche« mit der Neigung natürlicher Strände gelten als die Lösung der Zukunft



Mark. Dabei gibt es nach Auffassung von Pier Vellinga zwei Möglichkeiten: „Entweder wir verstärken die Deiche, oder wir pumpen Sand vor die Deiche, um die Kraft des Seegangs zu mildern.“ Der Holländer hält die zweite Lösung für intelligenter.

Strandaufspülungen spielen seit Jahren auch im Schutzkonzept der deutschen Nordseesinseln eine immer wichtigere Rolle. „Wir passen uns der Dynamik des Systems an“, sagt Hans Kunz, Leiter der „Forschungsstelle Küste“ auf Norderney. Dynamik – dieses Wort kennzeichnet das veränderliche Objekt Norderneyer Forscherfleißes genau. Denn Kunz und seine Mitarbeiter in der Außenstelle des niedersächsischen Landesamtes für Wasserwirtschaft erforschen, wie das Wattenmeer und dessen Inseln sich stetig wandeln: Der Gezeitstrom bewegt riesige Schwebstoffmengen durch die schmalen Lücken zwischen den Inseln – die Seegatten. Das Wasser, das mit jeder Tide hin- und herpendelt, gestaltet die Watten und Riffbögen, deren „Sandplatten“ sich wie eine gekrümmte Perlenkette von Insel zu Insel strecken.

Im ständigen Auf und Ab von Gezeiten, Wind und Wellen ändern sich auch Lage und Form der Seegatten und Eilande. Zwar kann die Erosion die Existenz der Inselkette vor der ostfriesischen Küste nicht gefährden. Doch mancherorts nagt die See an den Gestaden der vom Tourismus lebenden Insulaner. Die Wasserwirtschaftsverwaltung lässt alle paar Jahre Sand auf die gefährdeten Strände spülen, um die Inseln zu schützen. Wenn der Meeresspiegel steigt, werden freilich auch die dafür benötigten Sandmengen größer.

Diese unscheinbarste aller Küstensicherungen stieß zunächst auf Skepsis – auch bei Wasserbau-Meistern vom alten Schlag, die sich früher mit eindrucksvollen Bollwerken weit hin sichtbare Denkmäler setzen konnten.

Norderney beispielsweise panzerte sich Mitte des letzten Jahrhunderts mit seinem „Westwall“ und strömungsabweisenden Buhnen gegen den Dünenabbruch und das sich strandwärts verlagernde Seegatt. Diese Befestigung – unter Fachleuten treffend „Verfelsing“ genannt – sicherte zwar den Inselsockel und die darauf stehenden Häuser. Sie änderte aber nichts an der galoppierenden Schwindssucht des Weststrandes. Erst in den fünfziger Jahren versuchten es die Küsteningenieure mit einer neuen Methode: Mit Hilfe moderner Naßbagertechnik spülten sie das, was die See dem Land genommen hatte, einfach wieder an den alten Platz. Mit der traditionellen Küstenschutz-Philosophie hatte das neue Verfahren so wenig gemein wie ein Heftplaster mit einer Prothese: Anders als die gemauerten Bollwerke halten Aufspülungen nur eine begrenzte Zeit. Trotzdem gehören sie heute zum Alltag der Inselschützer. Denn laut Kunz hat sich die Einsicht durchgesetzt, „daß man in ein dynamisches System möglichst nicht mit statischen Bauten eingreifen sollte“.

### Häuser weg vom Strand – das wäre der beste Inselschutz

Der Hamburger Geograph Jürgen Ehlers geht noch einen Schritt weiter. Er glaubt, daß man die unbewohnten Teile der Inseln getrost sich selbst überlassen könne: „Unter natürlichen Bedingungen passen sich die Barriere-Inseln vor der friesischen Küste sogar einem steigenden Meeresspiegel an.“ Nach zehn Jahren Arbeit hat er seine Erkenntnisse kürzlich in einem Buch über die Morphodynamik des Wattenmeeres vorgestellt. Ehlers hält es langfristig für wünschenswert, wenn die Häuser nicht mehr so dicht an den Strand herangebaut würden. Dadurch ließen sich die Aufwendungen für den Inselschutz erheblich reduzieren.

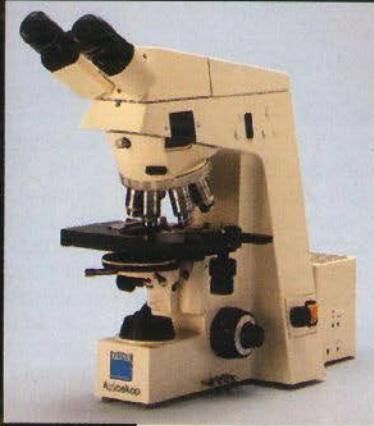
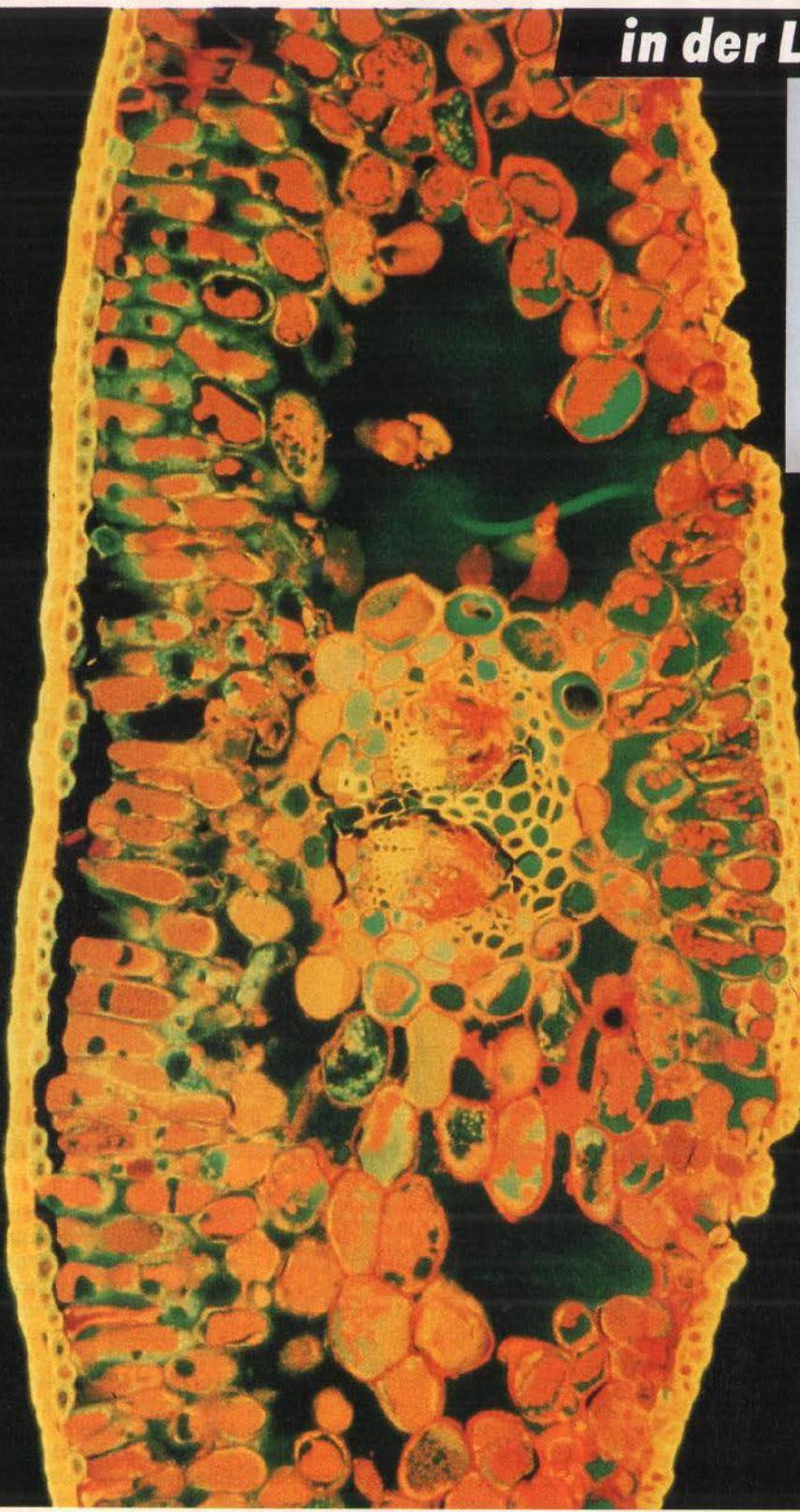
Mit diesem Konzept erntet der Geograph freilich keinen Beifall bei den Inselgemeinden von Borkum bis Sylt. „Wir kämpfen wie die Löwen, daß alles geschützt wird“, versichert Manfred Hübner, Bürgermeister der Gemeinde Hörnum auf Sylt. Doch vor 20 Jahren bewirkte die Sturmflutabwehr das krasse Gegenteil: Es begann damit, daß 1959 in der südlichsten Gemeinde von Sylt eine neue Siedlung gebaut wurde – unmittelbar hinter dem schützenden Randdünengürtel und gegen die ausdrückliche Warnung des Wasserwirtschaftsamtes.

Während der Sturmflutkatastrophe von 1962 versank die Randdüne größtenteils in den Fluten. Um die schutzlos gewordene „Kersig-Siedlung“ vor Schaden zu bewahren, wurde 1967 ein „Längswerk“ aus vierfüßigen Betonkörpern – sogenannten Tetrapoden – auf den Strand gesetzt. Es verhinderte in den siebziger Jahren tatsächlich den weiteren Abbruch der Randdüne. Südlich der Abschlußbuhne aber holte sich die anrollende See, was ihr weiter nördlich verwehrt wurde – 15 Meter Land pro Jahr, knapp achtmal soviel wie vor dem Bau. Bis 1984 wich der Strand an Sylts Südzipfel – der Hörnum-Odde – um 230 Meter zurück.

„Hörnum-Krankheit“ nennt Wasserbau-Experte Alfred Führbörter die Sylter Episode. Unter Fachleuten gilt sie als Lehrbeispiel für verfehlten Küstenschutz: „Wir müssen mit dieser Art plastischer Chirurgie aufhören“, fordert der Professor. Jeder Versuch, die ganze Insel – etwa mit Wänden aus Stahlböhlen – zu sichern, würde den Strand vernichten und die Gegend verschandeln. „Jeder brutale Eingriff zerstört gerade das, was als Naturschönheit geschützt werden soll.“

**Dr. Manfred Pietschmann**, 39, GEO-Redakteur, hat als Junge auf seiner Heimatinsel Norderney die große Sturmflut von 1962 hautnah erlebt.

# Eine neue Dimension in der Lichtmikroskopie



## Zeiss Axioskop

Wann immer Zeiss der Mikroskopie auf den Grund gegangen ist, sorgten die Ergebnisse für Aufsehen.

Ganz besonders gilt das für die Pyramiden von Zeiss, die Generation neuer Lichtmikroskope mit neuer Geometrie und neu gerechneter Optik.

Repräsentatives Beispiel: Axioskop, das Mikroskop für die Lösung anspruchsvoller Routineaufgaben in wissenschaftlichen Laboratorien.

Neue ICS-Optik mit wesentlich gesteigerter Leistung garantiert helle, fehlerfreie Abbildung.

Alle Mikroskopierverfahren mit nur einem Objektivsatz.

Ergonomische SI-Bauweise für die System-Integration aller Zusatzausstattungen. Ohne komplizierte Umbauten, ohne jeden Leistungsverlust.

Axioskop, Axioplan, Axiophot und Axiotron, die »Pyramiden von Zeiss«, eröffnen der Wissenschaft aussichtsreiche Aspekte für die Zukunft.



**Carl Zeiss**  
**Kompetenz und Qualität**

Tannennadel, Querschnitt.

Auflicht-Fluoreszenz.

Zeiss Axioskop mit Plan-Neofluar 10 x / 0,30.

Aufnahme: Carl Zeiss,  
Anwendungstechnik Lichtmikroskopie.

## WASSERKRAFT

### Die stürzende Macht

Wenn reißende Bäche Bäume entwurzeln oder gar Sturmfluten ganze Städte ertränken, dann zeigt das Wasser, was in ihm steckt: titanische Kräfte, denen die „Gebilde von Menschenhand“ nicht mehr sind als den Naturgewalten in Fontanes „Brück‘ am Tay“ – „Tant, Tant“.

Die nasse Wucht wird freilich auch schon lange kanalisiert, nicht nur für die klappernde Mühle am rauschenden Bach. Bereits vor der Industriellen Revolution, die 1765 mit James Watts Dampfmaschine Fahrt aufnahm, gab es regelrechte Produktionszentren auf Wasserkraft-Basis: Schon im Jahr 1492 arbeiteten allein in der Region um Siegen 38 Eisenhütten und Schmieden – mit Wasserkraft betriebene Hammerwerke. Freilich konnte damals die Wasserkraft lediglich vor Ort genutzt werden: Die Rotation der Mühlräder mußte direkt oder über ein Getriebe in die gewünschten Dreh- oder Stoßbewegungen umgesetzt werden.



Opfer der Gewalt ungezähmter Fluten: Ort im Südtiroler Vinschgau

Eine Revolution lösten 1882 amerikanische Ingenieure aus, als sie eine Wasserturbine mit einem elektrischen Generator koppelten: Wasserkraft läßt sich, in Strom umgewandelt, seitdem auch weitab von Flüssen und Stauseen nutzen.

Im Prinzip aber hat die Wasserkraftnutzung sich seit der Antike kaum verändert: Strömendes Wasser treibt ein waagerecht oder senkrecht montiertes Schaufelrad an. Die Leistung eines solchen „Kraftwerks“ hängt vom Gefälle und von der Wassermenge pro Zeiteinheit ab – und natürlich von der Effektivität der Konstruktion. Moderne Turbinen setzen bis zu 91 Prozent der Energie des durch sie fließenden Wassers in elektrischen Strom um.

Die Bundesrepublik deckt nur noch knapp fünf Prozent ihres Strombedarfs aus Wasserkraftwerken. Andere Länder mit besseren natürlichen Voraussetzungen beziehen den Löwenanteil ihrer Elektrizität daraus – Norwegen sogar 99,7 Prozent.

Da Wasserkraft sich durch den natürlichen Wasserkreislauf regeneriert, gilt sie als eine der umweltfreundlichsten Energiequellen. Moderne Wasserkraftwerke können jedoch ebenfalls schlimme Folgen für Mensch und Umwelt

haben. Das gigantische Itaipu-Projekt an der Grenze zwischen Paraguay und Brasilien staut hinter einem 1234 Meter langen und bis zu 196 Meter hohen Damm eine Wassermenge von dem zweieinhalfachen Volumen des Bodensees auf. 42 000 Menschen wurden umgesiedelt, bis zu 146 000 Hektar Land unter Wasser gesetzt, damit im größten Kraftwerk der Welt 660 Kubikmeter Wasser pro Sekunde aus 110 Meter Höhe auf insgesamt 18 Turbinen stürzen können. Das für etwa 15,3 Milliarden Dollar errichtete Bauwerk soll nach seiner endgültigen Fertigstellung 1991 über 12 600 Megawatt Strom liefern – soviel wie zehn Kernkraftwerke vom Typ Biblis.

Itaipu ist kein Einzelfall: Bis 1990 sollen rund um den Globus 113 Staudämme von mindestens 150 Metern Höhe stehen. In der Liste dieser Monumentalbauten sind Länder der Dritten Welt auffällig häufig vertreten: Ghana, die Philippinen, Indonesien, Mosambique, Nigeria und Malaysia lassen oder ließen diese Dämme – meist mit Unterstützung der Weltbank – mit westlichem Know-how von westlichen Ingenieuren errichten. Diese Form der „Entwicklungshilfe“ stößt auf wachsende Kritik. Denn die armen Länder verschulden sich mit Milliarden für überdimensionierte Kraftwerke, deren Leistung oft weit über dem Bedarf liegt.

Schwerwiegend sind auch die ökologischen Folgen. Der Assuan-Staudamm, 1970 fertiggestellt, hat die ägyptische Landwirtschaft nachhaltig geschädigt: Er hält den fruchtbaren Nilschlamm zurück, der jahrtausendelang nach der alljährlichen Überschwemmung die Felder düngte. Der See selbst – rund 480 Kilometer lang – droht durch den Schlamm zu versumpfen, während die Bauern unterhalb des Sperrwerks ihre Felder mit teurem Kunstdünger versalzen. Weil die Überschwemmungen ausblie-



ben, wurden Bewässerungssysteme gebaut, in denen sich nun Wasserschnecken – die Überträger der gefürchteten Bilharziose – ausbreiten.

Die Engländer Edward Goldsmith und Nicholas Hildyard prangerten die Folgen der weltweiten Staudamm-Gigantomanie an:

- Die Seen vernichten riesige Landflächen, meist tropische Regenwälder.
- Durch die Überflutungen werden seltene Tierarten aus-



**Mit elementarer Wucht donnern die Fluten des Rio Paraná über einen Ausfluß am Itaipu-Damm. Das größte Wasserkraftwerk der Erde im Dreiländereck Argentinien-Brasilien-Paraguay nahm 1984 seinen Betrieb auf**

gerottet. Wandernden Fischarten versperren die Staustufen den Weg flußaufwärts in ihre Laichgebiete.

• Da von den riesigen Seoberflächen und den Bewässerungskanälen erheblich mehr Wasser verdunstet als vorher aus Wäldern, können Stauseen ganze Regionen trockenlegen. Wie die künstlichen Binnenmeere das lokale und globale Klima beeinflussen, ist kaum abzuschätzen.

• Pro Jahr brechen auf der Erde im statistischen Mittel fünf Staudämme, häufig mit katastrophalen Folgen, wie im Juli 1985 im Dolomiten-Tal der Stava (220 Tote) oder im Dezember 1959 im französischen Fréjus (480 Tote).

Selbst die Gefahr von Erdbeben – ausgelöst durch das Gewicht des gestauten Wassers – führen Goldsmith und Hildyard in ihrer Streitschrift an. Ihr Fazit: „Indem wir mit dem Wasser spielen, spielen

wir in Wirklichkeit mit dem Feuer.“

In den Industrieländern regt sich inzwischen deutlicher Widerstand gegen Stausee-Großprojekte: Auch Umweltschützer sind nicht für Wasserkraft um jeden Preis. Am Inn wehren sich Österreicher und Bayern dagegen, daß dem Fluß eine sechzehnte Staustufe verpaßt wird. Der Bau der geplanten Donau-Staustufe Hainburg östlich von Wien wurde nach massi-

ven Protesten zurückgestellt. Ungarische Umweltschützer sind besorgt über die Folgen des Donaukraftwerks Nagymaros, und sogar in Lettland wurde im November 1987 der Bau eines Wasserkraftwerks bei Daugavpils (Dünaburg) eingestellt, nicht zuletzt wegen massiver Proteste der Bevölkerung.

Die Bedenken der Ökologen sind indes nicht grundsätzlicher Art. Seit Jahren gibt es Konzepte, mit entsprechend konstruierten Staustufen sogar die negativen Folgen von Flussregulierungen teilweise wieder aufzuheben. In der Bundesrepublik könnten viele der schätzungsweise 35 000 alten Wassermühlen zur Stromerzeugung genutzt werden – sogar mit staatlicher

Unterstützung, aber vermutlich gegen den Widerstand der Energieversorgungsunternehmen, die den privat erzeugten Strom nicht oder zu schlechten Preisen in ihr Netz aufnehmen wollen. Einige Prozent des Strombedarfs könnten so zusätzlich mit Wasserkraft gedeckt werden – mehr erlaubt die Topographie Deutschlands nicht. In anderen Ländern aber, insbesondere in der Dritten Welt, könnten kleine wartungsarme Stromgeneratoren eine wirksame dezentrale Energieversorgung ermöglichen: Kleine Staustufen, die gleichzeitig für Bewässerung und Strom sorgen, würden dort den Bedürfnissen eher entgegenkommen als Imponier-Technik.

Christoph Drösser

#### WERKZEUG WASSER

## Der schneidende Strahl

Der Fels hat keine Chance. Tosend stürzt das Wasser in die Schlucht, messerscharf modelliert es senkrechte Wände aus dem harten Material. Tief unten, wo sich die Energie der Flut verzehrt hat, vereinigen sich unzählige Tröpfchen zu einem gurgelnden Strom, der im Untergrund verschwindet.

Einem Hinterrhein im Miniaturformat gleich fräst der feine Wasserstrahl – Durchmesser: ein halber Millimeter – eine winzige Via Mala in das Werkstück. Zwei Liter Wasser pro Minute genügen, um die Erosion im Zeitraffer zu demonstrieren: Mit der neuen Technik – im Fachjargon „Jet Cutting“ genannt – lässt sich nicht nur Stein, sondern nahezu jedes Material schneiden.

Wenn Holger Blickwedel, Fachgruppenleiter für Jet Cutting am Institut für Werkstoffkunde der Universität Hannover, seine nagelneue Hochdruckpumpe anwirft, dann schluckt das ohrenbetäubende Zischen des Strahls jedes Wort: Mit Überschallgeschwindigkeit prallt das Wasser auf das Werkstück.

Der Jet Cutter zerteilt, was ihm unter die Düse kommt, bohrt Löcher oder fräst Nuten. Denn bei Drücken von mehr als 3000 bar\* werden heute schon mit Hochdruckflüssigkeitsstrahlen die Stahlträger schrottreifer Ölbohrinseln zerteilt, gefrorene Hähnchen portioniert, Papierbahnen zugeschnitten und Krebsgeschwülste aus Menschen herausoperiert.

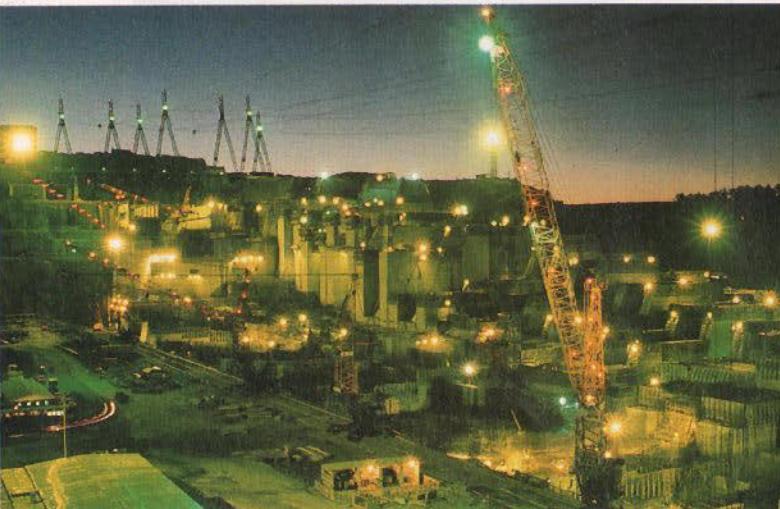
Zwar hatten Wasserstrahlen schon kurz nach der Jahrtausendwende geholfen, Kohle aus russischen Flözen

zu brechen. Aber erst ein Zufall brachte findige Ingenieure auf die richtige Spur: Mitte der sechziger Jahre wurden zur Kontrolle von Hochdruckdampfleitungen an der University of Michigan im amerikanischen Ann Arbor feine Kunstaarpinsel eingesetzt. Leckagen waren dadurch zu erkennen, daß die mit dem Auge nicht wahrnehmbaren Dampfstrahlen die Borsten sauber in zwei Hälften teilten.

Bevor freilich kontrolliertes Schneiden, Bohren und Fräsen per Wasserstrahl möglich wurde, mußten spezielle Druckpumpen entwickelt werden. Drücke von 20 bis 1000 bar genügen schon, um Schiffswände von Muscheln und Farresten zu reinigen, Brücken oder Stahlbleche zu entrosteten.

Mit neu entwickelten Pumpen gelang es dann Anfang der achtziger Jahre, mehr als 4000 bar im Dauerbetrieb aufzubauen – einen Druck, der viermal größer ist als jener, der am Grund des tiefsten Meeresgrabens herrscht. Damit war das Werkzeug Wasser eine ernsthafte Konkurrenz für Bandsägen, Trennscheiben, Messer oder Laserstrahlen geworden.

Die Pumpen bauen den extrem hohen Druck schrittweise auf: In einem ölfüllten Primärkreislauf wächst der Druck zunächst auf maximal 300 bar; ein Kolbensystem steigert ihn dann um das Dreizehnfache auf 4000 bar. Dabei wird das Wasser in der



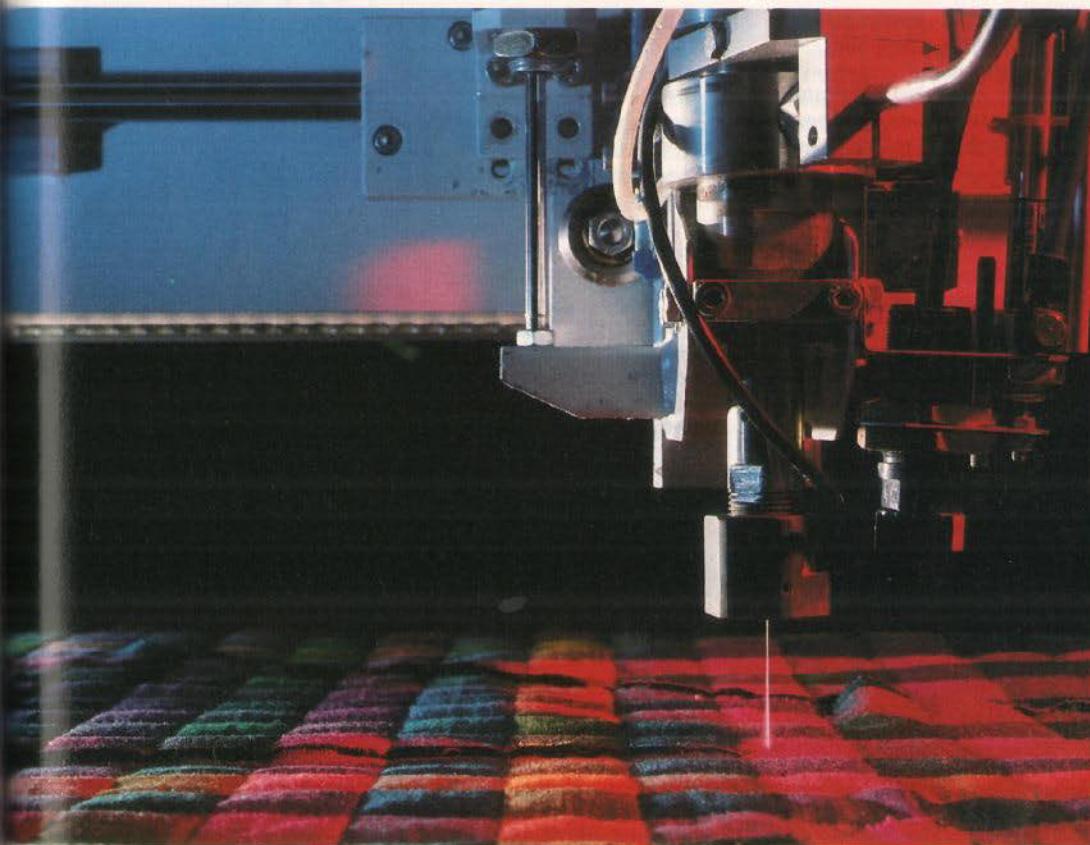
Hinterm Itaipu-Damm ertranken 71 300 Hektar Tropischer Regenwald



Der »Glen Canyon Dam« staut den Colorado zum Lake Powell auf

\* 1 bar = Druck am Fuß einer 10 Meter hohen Wassersäule; nach der neuen Einheit „Pascal“ entspricht 1 bar = 100 000 Pascal





Druckkammer so stark zusammengepreßt, daß sein Volumen sich um 13 Prozent verringert. Sobald es durch ein Ventil entweichen kann, schießt es mit 600 bis 900 Meter pro Sekunde – der zweibis dreifachen Schallgeschwindigkeit – aus der Düse.

Schon nach wenigen Zentimetern fächern Luftwiderstand und Turbulenzen den Strahl auf, wobei Tröpfchen entstehen, die sich im feinen Sprühnebel verlieren. Soweit lassen es die Ingenieure im Normalfall allerdings nicht kommen. Denn „gleich hinter der Düse“, sagt Holger Blickwedel, „bekommt das Wasser Arbeit“ – es hat zum Beispiel ein Stahlblech zu durchbohren oder eine Kunststoffplatte zuzuschneiden. Die Wasserteilchen treffen mit solcher Wucht auf das Werkstück, daß kleinste Brocken aus ihm herausgerissen und mit dem Wasser weggespült werden. Beim Jet Cutting fallen keine

Späne, und es wirbelt auch kein Staub auf – alle Reste fließen mit dem Wasser ab.

Freilich brauchen die Wasertropfen bei metallischen Werkstoffen die Unterstützung sogenannter Abrasive. Deshalb mischen die Ingenieure dem Strahl feinkörnigen Granatsand bei; bewährt haben sich auch teures Siliziumcarbid oder Korund, ein hartes Schleifmittel aus Aluminiumoxid. Gut drei Zentimeter dicke legierte Stahlplatten durchtrennt ein derart präparierter Wasserstrahl haargenaus und mit einer Geschwindigkeit von 15 Zentimeter pro Minute.

Schnelligkeit und Präzision sind für Eckhard Aust die Hauptvorteile des Werkzeugs Wasser. Der Abteilungsleiter für „Robotertechnik“ am GKSS-Forschungszentrum (früher: „Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schiffahrt mbH“) im holsteinischen Geesthacht hat

**Mühelos und ohne zu fresseln schneidet der scharf gebündelte Hochdruck-Wasserstrahl des „Hydro-Cutters“ einer süddeutschen Firma Bezugstoffe für Möbel zu**

Roboter entwickelt, die nächstes Jahr im GKSS-Unterwasserlabor bei simulierten Tauchtiefen von bis zu 1200 Metern getestet werden sollen – Tiefen, in denen Taucher bisher noch nicht arbeiten können. Die ferngelenkten Helfer sollen gerissene Schweißnähte an Off-shore-Bohrtürmen, Unterwasser-pipelines und Spundwänden per Ultraschall-Sensor erkennen und dann mit einem feinen, aber scharfen Wasserstrahl die Schadstelle ausfräsen. Anders als bei herkömmlichen Techniken bleibt das Material während des Jet Cutting frei von thermisch bedingten Spannungen und

kann deshalb vom selben Roboter sofort verschweißt werden.

Auch beim Stanzen von Stoffen, beim Zerteilen elektrischer Leiterplatten oder beim Portionieren gefrorener Hühnchen ist das schneidende Wasser ohne Konkurrenz. Der Schnitt läßt sich an jeder Stelle des Materials ansetzen, seine Bahn ist in allen räumlichen Dimensionen frei zu bewegen. Trotz molekularer Schwerstarbeit bleibt die Schnittstelle nahezu kalt, die Schnittkante ohne Grat und der ganze Bearbeitungsvorgang ohne Gas- oder Geruchsbelästigung. Überdies ist eine Jet-Cutting-Anlage fast verschleißfrei, wenn dem Wasserstrahl keine abrasiven Schleifmittel beigegeben werden müssen: Dann hält die harte Saphirdüse am Ausgang der Druckkammer bis zu 300 Betriebsstunden.

Weltweit arbeiten heute schon mehr als 1000 Wasserschneideanlagen in der Industrie – Tendenz steigend. Auch in der Medizin zeichnet sich der Einsatz der neuen Technik ab. Die hannoversche Gruppe um Holger Blickwedel hat gemeinsam mit Forschern der Universität Frankfurt den scharfen Strahl bereits gegen Gallensteine gerichtet. Eine Trophäensammlung zerschossener Gallensteine auf dem Labortisch zeugt von erfolgreichen Versuchen am Modell. Aber für weitergehende Experimente, die den Einsatz der neuen Technik am Menschen in der Klinik ermöglichen könnten, mangelt es trotz der Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft an Geld. In anderen Ländern wird die Wasserstrahldtechnik schon medizinisch eingesetzt. So entfernen skandinavische und japanische Chirurgen heute schon mit Wasserskalpellen, die nicht größer als ein Kugelschreiber sind, auf vergleichsweise schonend Art Tumore aus der Leber.

Auch das Militär interessiert sich für den Schnitt mit Wasser: Panzerplatten aus

besonders zähen und hochlegierten Stählen zehren die Energie einschlagender Geschosse besser auf als reines Metall. Solche Materialien machen bei der Bearbeitung mit herkömmlichen Schweißverfahren erhebliche Probleme. Jet Cutting dagegen ermöglicht auch hier eine glatte Schneidfläche.

Ein weiterer Einsatz des kalten Schneidens zeichnet sich in extrem explosionsgefährdeten Bereichen ab. Dort – in der „Zone 0“ – ist den Sicherheitsingenieuren etwa von Ölraffinerien selbst der Strahl einer Jet-Cutting-Anlage noch zu gefährlich. Sie fürchten, daß beigemischte Sandkörnchen aus dem Wasserstrahl mit hoher Geschwindigkeit entweichen und dann auf Metall Funken schlagen.

Um auch in der „Zone 0“ gefahrlos schneiden zu können, plant Entwicklungsingenieur Hannes Domann im GKSS-Forschungszentrum bei geringeren Drücken von „nur“ 200 bar, allerdings mit der 50mal höheren Durchflußmenge von 100 Litern pro Minute zu arbeiten. Domann will seine Schleifmittel dem Wasserstrahl nicht erst – wie beim herkömmlichen Verfahren – zwischen Saphir- und einer Fokussierdüse beimischen, sondern früher. Damit wird ein homogenerer Strahl erzeugt: Die geringere Zahl querschlagender Sandkörner verlängert die Betriebszeiten

der teuren Fokussiervorrichtung und vermindert die Explosionsgefahr.

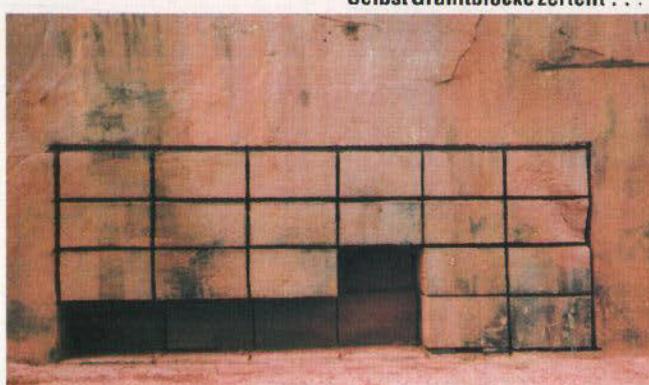
Schon in naher Zukunft werden, so hoffen die Ingenieure, Roboter mit ein und derselben Wasserschneidevorrichtung bohren, schneiden und fräsen. Um die Qualität der Schnittfugen ständig kontrollieren und bei Bedarf sofort korrigieren zu können, arbeiten Ingenieure an akustischen Kontrollsystemen: Sie sollen aus den Schallwellen des schneidendenden Wasserstrahls Ungenauigkeiten an der Fuge „heraushorchen“.

Und nach dem Jet Cutting könnte das „Jet Peening“ einen weiteren Anwendungsbereich des Werkzeugs Wasser eröffnen: Experimente mit pulsierenden Wasserstrahlen zeigen, daß sich damit metallische Oberflächen – etwa von besonders beanspruchten Maschinenteilen – verstetigen lassen.

Martin Boeckh



Selbst Granitblöcke zerteilt . . .



. . . ein »Jet Cutter« mit Abrasivstoffen im Wasserstrahl

## SCHIFFBAU

### Die fließende Form

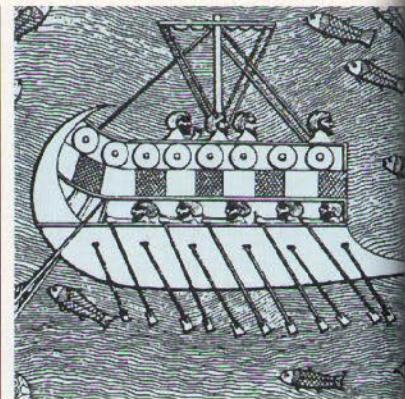
Wie Seemannsgarn, durchtränkt von Rum, nahmen sich Berichte über die beiden Boote aus, die Anfang September 1988 vor der kalifornischen Küste zu Wasser gelassen wurden. Zum Kampf um den „America's Cup“ waren Yachten konstruiert worden, die außer einer Menge High-Tech nur noch das archaische Bestreben ihrer Besatzungen gemein hatten, schneller als die Konkurrenz zu segeln.

Die neuseeländischen Herausforderer hatten mit ihrer 40 Meter langen „New Zealand“ die schnellste Einrumpf-Yacht aller Zeiten aufgebaut. 1394 Quadratmeter Segelfläche am 46-Meter-Mast machten den Dreißigtonner gut 20 Knoten\* schnell – eine Geschwindigkeit, die einst allenfalls dem Fliegenden Holländer vorbehalten war.

Das genügte allerdings nicht, um die amerikanischen Cup-Verteidiger zu schlagen: Sie segelten einen Katamaran, ein radikal auf höchste Geschwindigkeit ausgelegtes, 18 Meter langes und nur 2,7 Tonnen schweres Doppelrumpfboot namens „Stars & Stripes“. Mit seinem Segel in Form eines Jumbo-Jet-Flügels am fast 33 Meter hohen Mast hatte es schon bei Trimmfahrten im Moment des Windeinfalls mit solchem Ruck beschleunigt, daß mehrmals Männer rücklings über Bord fielen. Die „Stars & Stripes“ ließ die „New Zealand“ auf den beiden ersten von drei Wettkämpfen um jeweils rund 20 Minuten hinter sich.

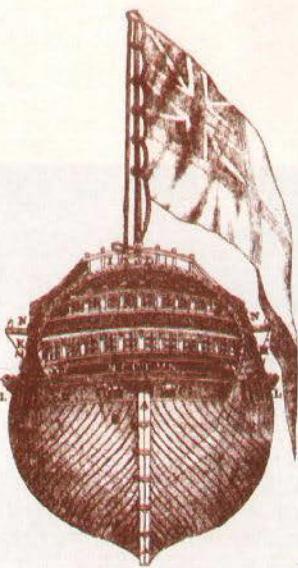
Nüchtern betrachtet, verkörpern die beiden so unterschiedlichen Boote den Höhepunkt einer technischen Entwicklung, die im Nebel mythischer Vergangenheit begon-

\* 1 Knoten = eine Seemeile (1.852 Kilometer) pro Stunde



nen hatte. Beide sind Ausdruck des Strebens ihrer Konstrukteure, die hemmenden Kräfte des Wassers zu überlisten – mit Hilfe von Rumpfformen, die per Computer berechnet und in Strömungslabors erprobt wurden, mit hochfesten Leichtwerkstoffen wie Titan und Kohlefaser verstärktem Kunststoff, mit jeder Menge Elektronik an Bord. Dahinter steckt nicht nur die Sucht nach noch schnelleren Schiffen, sondern auch das kaufmännische Kalkül, Fracht möglichst kostengünstig, sicher und rasch übers Wasser zu bringen.

Einst, in den Epochen der Dreieinigkeit von Krieg, Handel und Piraterie, waren schnelle Schiffe verdächtige Schiffe – Freibeuter oder feindliche Fregatten auf Piratenjagd. 1000 v. Chr. krochen griechische Seefahrer mit einer Reisegeschwindigkeit von einem Knoten von Küste zu Küste; 1000 n. Chr. erreichten die Wikinger gerade drei. Mit dreieinhalb Knoten segelte Kolumbus. Kaum schneller als ein rüstiger Fußgänger waren die Ostasiensfahrer der Holländer zu Zeiten von Zar und Schiffzimmermann. Ein Kauffahrtei-Kapitän hatte es nicht eilig. Er war darauf aus, seine Fracht überhaupt nach Hause zu bringen – am liebsten in der Sicherheit eines Konvois, in dem das langsamste Schiff das Tempo bestimmte. „Time is money“ galt erst für die Klipper, die Mitte des 19. Jahrhunderts in Amerika und



Jahrtausendelange Erfahrungen, die im Schiffbau der Phönizier ihren frühen Höhepunkt hatten, stecken Anfang des 19. Jahrhunderts im Entwurf eines englischen Kriegsschiffes. Die maritime Tradition ist heute Strömungsexperimenten und Computersimulationen gewichen: errechnete Rumpfform einer »America's Cup«-Yacht

bald danach auch in England von Stapel liefen. Die Dauergeschwindigkeit dieser ersten Schnellsegler lag bei sieben Knoten, auf glücklichen Reisen oft erheblich höher. Denn sie waren nach der Erkenntnis „Länge läuft“ gebaut: Klipper hatten ein Länge-zu-Breite-Verhältnis von mehr als 5:1, ältere Frachtschiffe nur von 3:1. Außerdem wurden sie so hoch getakelt, daß oft die oberste Stange am Mast niedergeholt werden mußte, wenn sie die 1869 erbaute Brooklyn-Brücke in New York passierten. Für stehendes Tauwerk wurden Drahtseile verwendet.

Doch sonderlich robust waren die Klipper nicht. Ein Nachruf auf ihre zerbrechliche Eleganz liegt in jenem Reim, der in der letzten großen Zeit der Seefahrt unter Segel den deutschen Schiffbau rühmte: „Kaptein, sei unbesorgt, din Schipp is baut bi Tecklenborg!“ Die Werft an der Wesermündung lieferte Drei-, Vier und Fünfmaster mit Länge-zu-Breite-Verhältnissen bis 7,7:1. Ihr Direktor wurde nach der Jahrhundertwende



von der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg zum Dr.-Ing. e.h. promoviert, eine Ehrung, die den Bund von Wissenschaft und Praxis bekräftigte.

Dessen Anfänge sind in den Schiffbaulehrbüchern des 18. Jahrhunderts dokumentiert, etwa in der „Architectura Navalis Mercatoria“ des Schweden Fredrik Henrik af Chapman, einem Prachtwerk voller Zeichnungen der Schiffsrisse nebst exakten Berechnungen. Als mit den Dampfern der Propellerantrieb völlig neue technische Probleme aufwirbelte

und der Zwang zur Wirtschaftlichkeit auch in der Seefahrt zunahm, wurden wissenschaftliche Erkenntnisse vollends unentbehrlich. Ein Schiff soll, so lautet der kurze Katalog der Anforderungen,

- bei geringem Eigengewicht möglichst viel tragen können und geräumig sein;
- trotz geringem Gewicht genügend fest gebaut sein, um Belastungen auch im schweren Seegang auszuhalten;
- sich aus geneigter Lage wieder aufrichten können;

fers und erleichtern dadurch die Arbeit an Deck; Kenter-Tests mit Modellen helfen Totalverluste zu vermeiden.

Froude erforschte Grundlagen des Schiffswiderstandes in einem 60 Meter langen „Schlepptank“: Eine Dampfmaschine zog einen kleinen Wagen, der die Meßinstrumente trug, und die daran hängenden Rumpfmodelle durch das Wasser des Bassins. So fand Froude heraus, daß der Reibungswiderstand eines Schiffes, erkennbar an der Verwirbelung des Wassers, bei jedem Zugewinn an Geschwindigkeit überproportional vergrößert wird – in hohen

Geschwindigkeitsbereichen über alle ökonomische Verunft hinaus. Die Schnelldampfer waren deshalb in Gefahr, an den Klippen der roten Zahlen in der Betriebsbuchhaltung zu scheitern.

Widerstand kostet Treibstoff und damit Geld: Er kann ein wesentlicher Faktor sein, ob ein Schiff Gewinn erzielt oder in die Pleite steuert. Hydrodynamische Erkenntnisse helfen somit den Reedern, eine Menge Geld zu sparen – eine Ersparnis, die auch der Umwelt zugute kommt.

Antriebsenergie schlucken, abgesehen von der Wirbelbildung, auch die vom Schiff selbst erzeugten Bug- und Heckwellen. Dieser Energieverlust kann durch ein Bugwulst – geformt wie ein Nasenkoblen – um etwa zehn Prozent herabgesetzt werden: Er erzeugt ein eigenes Wellensystem, das die Bugwellen überlagert und dadurch dämpft.

Eine weitere Treibstoffeinsparung von fünf bis acht Prozent hat das „asymmetrische Hinterschiff“ erbracht: Diese Form des Unterwasserhecks begünstigt den Zustrom zum Propeller. So schaufelt die



fünfflügelige Schraube – Durchmesser: 8,40 Meter – eines neuen, 273 Meter langen Containerschiffs bei Marschfahrt von 24 Knoten in 95 Umdrehungen pro Minute 37 000 Tonnen Wasser achteraus.

Ganz ohne Maschinenkraft verbessert das „Grimsche Leitrad“ – benannt nach seinem Erfinder, dem Hamburger Schiffbauer Otto Grim – die Wirtschaftlichkeit durch Senkung der Betriebskosten. Es wurde 1980 auf dem deutschen Forschungsschiff „Gauss“ erstmals erprobt. Dicht hinter dem Propeller angesetzt, dreht sich das Leitrad, das im inneren Teil wie eine Turbine gestaltet ist, in dessen Abstrom, ähnlich der Turbine eines Wasserkraftwerks. Da das Leitrad einen wesentlich größeren Durchmesser als der Propeller des Schiffes hat und im äußeren Teil wie ein Propeller ausgebildet ist, entwickelt es einen zusätzlichen Schub, so daß der eigentliche Propeller entlastet wird.

Zu den wissenschaftlichen Erben des William Froude zählen Institute wie die Ham-

burgische Schiffbau-Versuchsanstalt mit ihrem 300 Meter langen Schlepptank. Dort wird unter anderem ein schwieriges Problem des Propellers laufend erforscht: die „Kavitation“. Insbesondere bei großen, schnellrehenden Propellern können sich im Unterdruck der Saugseite Dampfblaschen bilden, die bei geringer Druckzunahme implodieren. Durch diese heftigen Implosionen werden selbst harte, teure Metalllegierungen im Laufe der Zeit zerstört. Kavitationschäden waren Ursache dafür, daß zum Beispiel die Propeller des legendären Schneldampfers „Bremen“ schon nach wenigen Reisen ausgewechselt werden mußten.

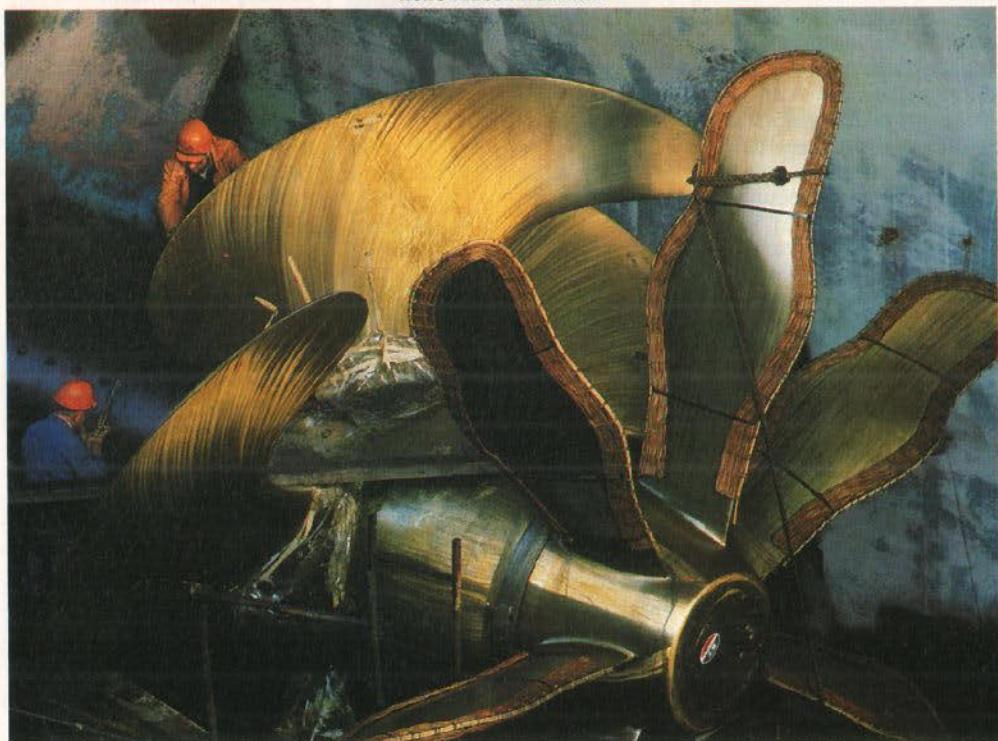
Mit dem Arsenal moderner Technik, mit Lasermessungen

und Computersimulationen führen die Forscher fort, woran das kleine Blockmodell auf Rembrandts Bild „Der Schiffbaumeister und seine Frau“ erinnert: die Suche nach der jeweils idealen Schiffssform. Ein Schiff kann freilich die Fesseln der Wellen, die es selbst schlägt, nur lockern, aber nicht abstreifen. Sollen Schiffe schneller sein, als die Widerstandsgesetze für Verdränger es erlauben, müssen sie ins Gleiten kommen. Dies gelingt nur bei kleinen Schiffen, etwa Motorrennbooten, mit Brachialgewalt. Im Segeln herrscht – fernab der Gedankenwelt pfennigfuchsender Reeder – eine Mischung aus Siegeswillen und modernster Technik: „Stars & Stripes“ oder „New Zealand“ sind zu nichts anderem nutze, als über den Regattakurs zu jagen.

Am schnellsten unter Segel ist übrigens kein Boot, sondern ein Brett: Den Geschwindigkeitsrekord hält mit 38,86 Knoten oder 72 Kilometer pro Stunde der Franzose Pascal Maka – ein Windsurfer.

Peter Pedersen

Hinter den Propeller der „Queen Elizabeth 2“ montierten Bremerhavener Werftarbeiter 1987 ein – hier noch verpacktes – „Grimsches Leitrad“: Es erhöht den Vortrieb ohne zusätzliche Maschinenkraft



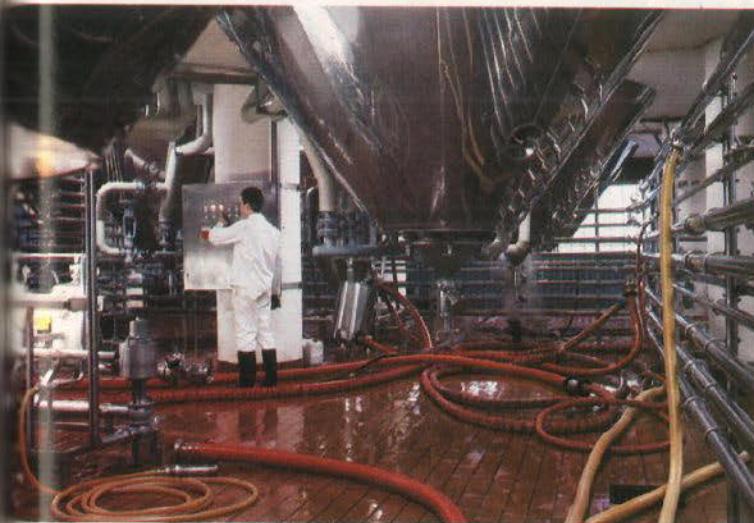
## LEBENSMITTEL

# Die durstigen Brösel

Dick vermummte Gestalten hantieren im fahlen Licht. Der Atem steht in kleinen Wölkchen vor ihren Gesichtern, bevor die Feuchtigkeit im Pelz der Kapuze zu Eiszapfen gefriert. Das Thermometer zeigt minus 45 Grad Celsius – nicht etwa im winterlichen Nowosibirsk, sondern mitten im hochsommerlichen Mainz: Die pelzbewehrten Arbeiter im Kälterraum eines Werks des Nestlé-Konzerns verwandeln kalten Kaffee in lösliche Körnchen.

Das Gefriertrocknungsverfahren macht die verderblichen Bohnen haltbar und zugleich leichter konsumierbar. Es ist das jüngste Beispiel einer Technik, mit der Menschen seit grauer Vorzeit ihre Lebensmittel konservieren: durch den Entzug des Wassers. Trocknen verhindert Fäulnis und Schimmel. Denn wo kein Wasser ist, können sich Pilze und Bakterien nicht ausbreiten. Dörren verhindert auch, daß öhlhaltige Produkte wie Kaffeebohnen ranzig werden. Denn natürlicherweise enthalten alle Lebensmittel zerstreuende Stoffe, bestimmte Enzyme. Auch diese molekularen Abbau-Spezialisten kommen bei ihrer verderblichen Tätigkeit nicht ohne Wasser aus – Wasser, das Nahrungsmittel gewöhnlich in Fülle enthalten: Fleisch besteht zu zwei Dritteln daran, Gemüse wie Spargel sogar zu über 90 Prozent.

Die Rolle des Wassers bei der Herstellung und Zubereitung von Lebensmitteln wird gewöhnlich unterschätzt – selbst beim flüssigen Volksnahrungsmittel Bier. Weshalb von alters her in Dortmund helles und in München dunkles Bier hei-



**Die Rolle des Wassers bei der Produktion von Lebensmitteln wird gewöhnlich unterschätzt – selbst bei der Herstellung des »flüssigen Brotes« Bier, hier beim Löwenbräu in München**

misch ist, liegt eben auch am Wasser: Die Zusammensetzung des Brauwassers, das im Sudhaus zur Herstellung der Würze benutzt wird, ist „von großem Einfluß auf die Qualität und den Charakter des Bieres“, heißt es im „Lehrbuch der Lebensmittelchemie“ der Münchener Professoren Hans-Dieter Belitz und Werner Grosch. Das harte, an Kalzium- und Magnesiumsalzen reiche oberbayerische Wasser eignet sich besonders gut zum Brauen dunkler Biere. Die stark gehopften hellen Biere verlangen dagegen weiches Wasser, wie es eher aus nord- und westdeutschen Brunnen fließt, aber auch aus den Urgesteinquellen im tschechischen Pilsen. Seit gut drei Jahrzehnten kann dank der Ionenaustauscher-Technik jedoch überall aus künstlich aufbereitetem Wasser herbiles Bier gebraut werden.

Auch beim Wurstessen erhält das Naß die Gaumfreude. Münchens Weißwurst besteht zu über zwei Dritteln aus Wasser, wie auch andere Brühwürste. Das Fleischeiweiß quillt durch Wasserzugabe zu einer Art Gelee auf. Dieses Netzwerk aus Eiweißmolekülen ist am quellfähigsten, wenn das Fleisch noch schlachtwarm verarbeitet wird. Zusätzliche Wärme darf jedoch – etwa

beim Zerkleinern – nicht entstehen, weshalb der Metzger Wasser in Form von Eisstückchen zugibt. Anschließendes Erhitzen lässt das Eiweißgelee verklumpen. Dadurch bleibt das Wasser im Netzwerk der Eiweißmoleküle hängen und verursacht den – im Falle der Weißwurst – typisch flauschigen Biß.

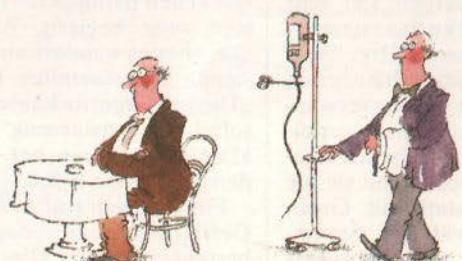
Bei Salami und anderen Rohwürsten dagegen verliert das Fleischgelee das eingeschlossene Wasser durch natürliche Säuerung. Dieser „Entquellungsvorgang“, wie die Fachleute sagen, dauert bei der original ungarischen Salami mehrere Monate. Ähnliches passiert bei der Herstellung von Sauermilch und Joghurt. Durch bakterielle Gärung entsteht aus Milchzucker Milchsäure, die das Milcheiweiß gerinnen lässt. Anfangs schließt das Eiweißgelee die gesamte Molke ein – die Milch ist fest geworden. Dann entquillt es, wird fester und preßt dabei eingeschlossenes Wasser aus – auf altem Joghurt setzt sich Molke ab, aus Sauermilch wird Quark.

Selbst bei der Produktion von Streichfetten ist Wasser unentbehrlich. Margarine und Butter erhalten von ihm ihre Geschmeidigkeit. In beiden sind Wassertröpfchen – rund 20 Teile Wasser – mit 80 Teilen Fett vermengt. Die Fachleute sprechen von einer „Wasser in Öl“-Emulsion. Im Ausgangsprodukt der Butter, im Rahm, schwaben hingegen die Fetttröpfchen im Wasser, bilden also eine „Öl in Wasser“-Emulsion. Beim Buttern zerreißen die Membranen der Fetttröpfchen, so daß ihr Inhalt zu Butterkörnchen zusammenklumpt. Durch Kneten wird dann das überschüssige Wasser entfernt.

Während natürliche Inhaltsstoffe der Butter – sogenannte Phospholipide – die für die Streichfähigkeit notwendigen rund 20 Prozent Wasser im Butterfett festhalten, müssen Margarinehersteller ihren Ölen und Fetten Emulgatoren zusetzen. Bei kalorienärmerer „Diat-Margarine“ zwingen zusätzliche Emulgatoren noch mehr Wasser ins Fett, weshalb solche Produkte nicht zum Braten verwendet werden sollen: Das reichlich zugesetzte Naß kann gefährlich spritzen.

trocknung“: Sie legen die Erdäpfel auf Stroh ins Freie und setzen sie den enormen Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht aus, wie sie in gut 4000 Metern Höhe nahe dem Äquator vorkommen. Sind die Kartoffeln durch das wechselseitige Gefrieren und Auftauen weich und runzlig geworden, drücken Frauen vorsichtig mit den Füßen das Wasser heraus. Der trockene Gebirgswind und die Sonne dören schließlich die Knollen zu holzhartem „Chuño“. Die Trockenkartoffeln aus dem Land der Inka müssen lange eingeweicht werden, wenn sie wieder genießbar werden sollen. Aber die Indios mahlen ihr Chuño allerdings auch zu Mehl, mit dem sie Brot backen.

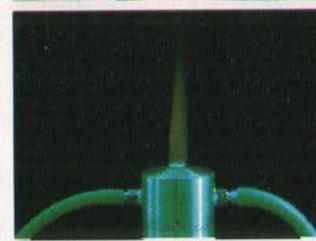
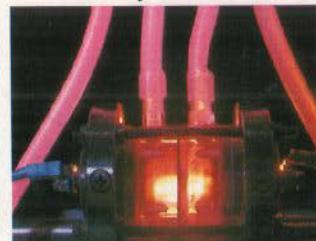
Die Europäer versuchten ebenfalls schon bald nach der Einführung der Kartoffel, die wäßrige Knolle haltbar zu machen. So stellte die „Königliche Societät der Wissenschaften“ zu Göttingen im Jahre 1758 eine Preisfrage: „Kann man ein gesundes und auf etliche Wochen haltbares Brod aus Tartüffeln backen?“ Professor Johann Daniel Titius, der den Preis erhielt, schlug vor, die Kartof-



fein „würfelich“ zu schneiden, in Sieben über dem Ofen „dürre“ zu machen und die gedornten Würfel zu Mehl zu mahlen. Das mußten deutsche Bäcker dann auch in Notzeiten tun – bis in die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg. Die Beliebtheit getrockneter Erdäpfel erhöhte sich damit allerdings nicht.

Attraktiveres schaffen heute die Lebensmittelingenieure: Sie verwandeln die

**Strom aus Solarzellen spaltet in Stuttgart elektrolytisch Wasser**



**Brennendes Wasserstoffgas kann nur im Infrarotfilm sichtbar gemacht werden**

einst geschmähten Dörr-Tartüffeln in bequeme „Fertigprodukte“ – in Puffer, Knödel, Klöße und Püree aus der Tüte. Während der Verzehr an frischen Kartoffeln in der Bundesrepublik zurückgeht, steigen etwa bei den Pfanni-Werken in München die Umsätze steil an: Die Erfinder des Knödels im Kochbeutel verkauften 1987 rund 250 Millionen Kartoffelknödel. Jeder dritte Erdapfel kommt heute industriell vorgefertigt auf den Tisch.

nen Film, der zu kleinen Flocken gebrochen wird.

Für Knödel- und Kloßmehle trocknen Kartoffelscheiben im warmen Luftstrom und werden anschließend zu Granulat oder Mehl gemahlen. „Die Kunst liegt nun darin“, sagt Pfanni-Lebensmittelgenieur Günter Kluge, „den Trocknungsprozeß so zu führen, daß die äußeren Zellschichten nicht zu stark verhornten. Denn das Kartoffelprodukt soll ja später bei der Verwendung in der Küche blitzschnell das verlorene Wasser wieder aufnehmen können.“ Das Dörren gleicht somit einer Gratzwanderung: Zu wenig getrocknetes Kartoffelgranulat ist wegen des verbliebenen Wassers nicht lagerfähig, zu stark getrocknetes quillt später schlecht auf.

Die Verdichtung der Zellen läßt sich mit dem modernsten Verfahren – der Gefriertrocknung – vermeiden. Während eine Kartoffelscheibe in Warmluft auf ein Viertel ihres ursprünglichen Volumens schrumpft, bleibt ihr Rauminhalt bei der Gefriertrocknung zu 95 Prozent gewahrt. Der Haken: Mit dieser kostspieligen Methode getrocknete Kartoffelstückchen nehmen im Kochtopf zwar begierig Wasser auf, aber es wandert nicht an seinen angestammten Platz. „Die gefriergetrocknete Kartoffel ist schwammig“, erklärt Kluge, „sie hat nicht den gewohnten Biß.“

Für löslichen Kaffee ist die Gefriertrocknung dagegen bestens geeignet. Die Kohlenhydratmoleküle des Kaffees formen dabei ein Netzwerk, in dem sich die Aromastoffe verfangen, auf die es beim löslichen Kaffee vor allem ankommt. Damit sie – rund 600 – nicht verloren gehen, werden sie mit Wasser vor der Trocknungsprozedur aus den gemahlenden Bohnen gelaugt, abfiltriert und separat aufbewahrt.

Details des Verfahrens halten die Pulverkaffeemacher streng geheim. Im Mainzer

Werk von Nestlé dürfen Besucher nur aus der Distanz zu sehen, wie grob gemahlener Kaffee in riesigen Kesseln aufgebrüht, zu dickem braunen Sirup eingedickt und schließlich auf Blechen aufgeschäumt wird. Dieser Schaum wird dann gefriergetrocknet. Er wird in den Kältekammern gefroren und zu Granulat gebrochen, das verummerte Arbeiter anschließend in riesige Unterdruckkammern schieben. Dort – im Vakuum – erwärmt sich der „Eiskaffee“ von minus 45 auf minus 8 Grad. Dabei entweicht das gefrorene Wasser direkt – ohne sich zu verflüssigen – als Wasserdampf. Den trockenen Körnchen sprühen die Mainzer Kaffeesieder anschließend das sorgsam gehütete Aroma wieder auf – und fertig ist der lösliche Kaffee.

Wenn heißes Wasser über die trockenen Körnchen gegossen wird, saugen sie das verlorene Naß rasch wieder auf. Derlei Sauglust hat freilich einen Nachteil: Wenn der Behälter mit dem Pulverkaffee nicht fest verschlossen wird, nehmen die begierigen Brösel auch sämtliche Gerüche der Umgebung auf.

Annelies Furthmayr-Schuh



**Auf dem Weg zum Fertigknödel wird Kartoffelbrei auf einer Walze papierdünn getrocknet**

Die ideale Knödel- oder Püreekartoffel muß mehlig sein und stabile Zellwände haben. Zerreissen sie, tritt Kartoffelstärke aus; sie würdeten den lockeren Brei beim Erhitzen im häuslichen Kochtopf in Leim verwandeln. Hobbyköche „verleimen“ manchmal ihr selbstgemachtes Püree, wenn sie die Kartoffeln statt mit Großmutter bewährtem Stampfer im Mixer zerhacken: Das hochtourige Messer zerstört zu viele Zellen. Bei der industriellen Verarbeitung werden die Kartoffeln zunächst gewaschen, geschält und in Scheiben geschnitten, dann vorgekocht, abgeschreckt und erneut gekocht. Nach diesem „Zellwandtraining“ preßt eine Schnecke die Scheiben durch ein Gitter, wobei Kartoffelbrei entsteht. Er läuft über eine dicke, heiße Walze und trocknet dabei zu einem seidenpapierdünn-

#### **WASSERSTOFF**

## **Die sauberste Lösung**

Er treibt seit Jahren Raketen so zuverlässig wie Autos. Er birgt sehr viel Energie, die je nach Bedarf in Wärme oder Strom umgewandelt werden kann. Er ist unerschöpflich und konkurrenzlos sauber. Und er läßt sich „sozialfreundlich“ einführen: Wasserstoff.

Im Prinzip ist die Hoffnung auf den umweltschonenden Energieträger ganz einfach: Man nehme  $H_2O$  und zerlege es mit Hilfe der Sonnenenergie in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff; verbrennt

Wasserstoff mit Sauerstoff, gibt er Energie ab, wobei nur Wasser zurückbleibt.

Warum ist dann die Menschheit nicht schon längst auf dem Weg zur weltweiten Wasserstoff-Wirtschaft? Weshalb verpesten unsere konventionell befeuerten Motoren und Kraftwerke nach wie vor die Luft, verursachen saure Niederschläge und – wegen des Kohlendioxids ( $CO_2$ ) im Abgas – wahrscheinlich ein globales „Treibhausklima“?

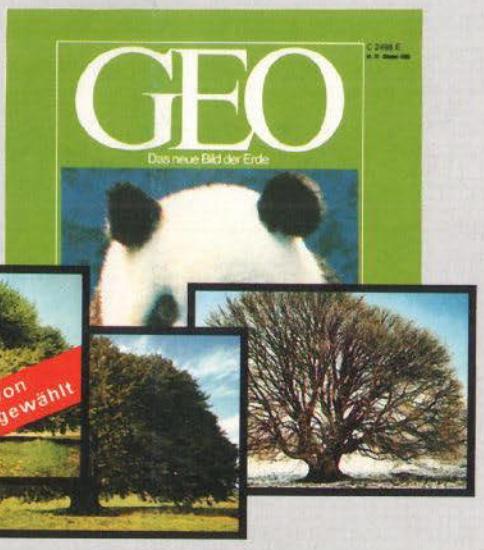
Eine typische Antwort gibt das im April 1988 in Bonn dem Bundesforschungsminister vorgelegte Gutachten „Solarer Wasserstoffenergiemarkt“. Weder Knappeit noch Umweltrisiken noch Preise ließen heute erkennen, daß „ein unmittelbarer energiewirtschaftlicher Handlungszwang“ gegeben wäre. Unter dem „Aspekt der Vorsorge“ halten es die zwölf Autoren „allerdings für eine Pflicht der Forschungspolitik, die technisch-wirtschaftlichen Hemmnisse einer solaren Wasserstoffenergiewirtschaft zu prüfen und Initiativen für den Abbau dieser Hemmnisse einzuleiten“.

Das Haupt-Hemmnis ist – Ironie der Erdgeschichte – der Erfolg der natürlichen Wasserspaltung per Photosynthese in Pflanzen und bestimmten Bakterien: Sie haben riesige Men-

## Angebot mit 3 Vorteilen

- zur Anzeige auf Seite 52/53
- 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



Bitte  
mit 60 Pf  
freimachen,  
falls Marke  
zur Hand

Antwort-Postkarte

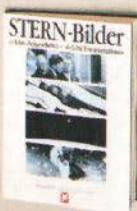
GEO  
Leser-Service  
Postfach 1116 29

2000 Hamburg 11



## Abruf-Karte STERN-Bücher

10 Tage Rückgaberecht. Bitte Rückseite beachten.  
Postkarte noch heute absenden!



DM 54,- (Z 3716)

Das Foto als Zeitdokument. Ein Buch für alle, die sich von der Vergangenheit ein Bild machen wollen oder den Bildern ihres Lebens wieder begegnen möchten. Über 300 Seiten mit 400 ein- und mehrfarbigen Fotos. Format 22x30cm. gebunden.



DM 56,- (Z 3700)

Sichern Sie sich ein Exemplar dieses begehrten Jahrbuches schon jetzt durch Ihre Vorbestellung. Redaktionsschluß ist der 31. Dezember. Etwa 3 Wochen später wird das Buch ausgeliefert. 328 Seiten mit mehrals 300 ein-und mehrfarbigen Fotos und einem tabellarischen Überblick. Format 20,5x28cm, gebunden.



DM 42,- (Z 0757)

Ein Buch, das im Zeitalter von Glasnost jeder lesen sollte: die überraschend vielen Gemeinsamkeiten von Deutschen und Russen. Tausend Jahre gemeinsame Geschichte - von Otto dem Großen bis Gorbatschow. 336 Seiten mit zahlreichen ein- und mehrfarbigen Abbildungen, gebunden.



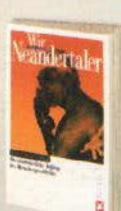
DM 39,80 (Z 7958)

Wer gutes Deutsch liebt, wird von diesem Buch profitieren. Eine vergnügliche Stilkunde für alle, die vorständlich und elegant schreiben wollen. Die neue Stilkunde, 400 Seiten, Lernen.



DM 29,80 (Z 6527)

Bissige und humorvolle Cartoons, mit denen Markus seit über 20 Jahren das Zeitgeschehen begleitet. Cartoons für alle Lebenslagen. Eine fast endgültige Auswahl aus dem Werk des Zeichners. 304 Seiten mit 290 Zeichnungen und einem Vorwort von Henri Nannen. Broschüre.



DM 24,80 (Z 5998)

Wer menschliche Verhaltensweisen besser verstehen will, sollte dieses Buch kennen. Es zeigt, daß wir unter der Tunche unserer guten Erziehung noch immer das Seelenleben eines Raubaffen haben. Der abenteuerliche Aufstieg des Menschengeschlechts. 256 Seiten mit 100 Fotos. Paperback.

## Lassen Sie sich die nächsten GEO-WISSEN reservieren und frei Haus senden

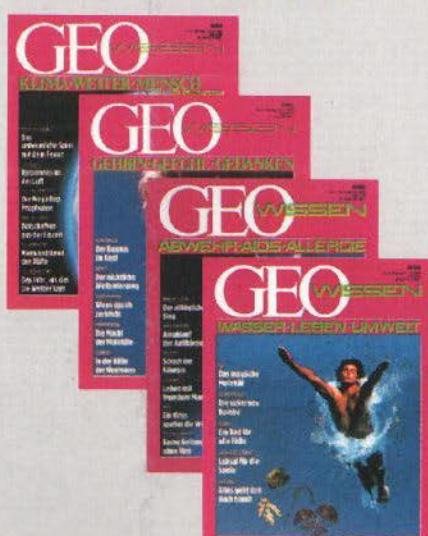
Eine bequeme und vorteilhafte Möglichkeit, keine Ausgabe von GEO-WISSEN zu versäumen, ist, sich alle folgenden Ausgaben frei Haus senden zu lassen - zum gleichen Preis wie am Kiosk (Porto und Verpackung inklusive).

GEO-WISSEN erscheint 2x jährlich, hat mindestens 160 Seiten und alle Bilder in Farbe.

Die demnächst erscheinende Ausgabe 1/89 trägt den Titel: Sex, Geburt, Genetik.

Schicken Sie Ihre Abruf-Karte noch heute ab.

Nachbestellmöglichkeit für alle  
bereits erschienenen Ausgaben  
(siehe Rückseite)!



Bitte  
mit 60 Pfennig  
freimachen,  
falls Marke  
zur Hand

Antwort-Postkarte

GEO-WISSEN  
Leser-Service  
Postfach 1116 29

2000 Hamburg 11



Liebe Leserin, lieber Leser,

wir sind sehr daran interessiert zu erfahren, wie Ihnen die neue Ausgabe von GEO-Wissen gefällt. Deshalb möchten wir Sie um Ihre Mitarbeit bitten.

Wenn Sie uns die folgenden Fragen beantworten, können Sie uns mit Ihren Antworten bei der Erarbeitung der nächsten GEO-Wissen-Hefte eine große Hilfe sein.

Als Dank für Ihre Mühe verlosen wir unter allen Einsendern

### 15 GEO-Kalender 1989

Südsee-Impressionen

im Wert von je DM 98,-.

Ihre Angaben dienen nur der internen Information und werden selbstverständlich anonym ausgewertet.

Bitte schicken Sie Ihren Fragebogen bis zum 19.12.1988 an uns zurück.

Vielen Dank für Ihre Mühe.

Mit freundlichen Grüßen  
Ihre GEO-Wissen-Redaktion

### 2. Und wo haben Sie zum ersten Mal von GEO-Wissen gehört?

- Am Kiosk/Zeitschriften-Verkaufsstelle  1
- Durch Freunde, Bekannte  2
- Durch die Anzeige in einer Zeitschrift  3
- Durch einen Hinweis in GEO  4
- Durch einen Bericht in einer Zeitung, Zeitschrift, im Radio  5
- Anderswo, und zwar: \_\_\_\_\_

### 3. Wie hat Ihnen dieses Heft so alles in allem gefallen?

- Sehr gut  1
- Gut  2
- Durchschnittlich  3
- Weniger gut  4
- Gar nicht  5

### 4. Warum sind Sie dieser Meinung?

---

---

---

---

---

---

### 1. Bitte kreuzen Sie an, warum Sie GEO-Wissen gekauft haben.

- Aus Neugier, weil es eine neue Zeitschrift ist  1
- Weil mir das 1. GEO-Wissen-Heft „Gehirn · Gefühle · Gedanken“ so gut gefallen hat  2
- Weil mir das 2. GEO-Wissen-Heft „Klima · Wetter · Mensch“ so gut gefallen hat  3
- Weil mir das 3. GEO-Wissen-Heft „Abwehr · Aids · Allergie“ so gut gefallen hat  4
- Das Titelbild gefiel mir  5
- Das Inhaltsverzeichnis war vielversprechend  6
- Habe beim Durchblättern der Zeitschrift einen guten Eindruck gehabt  7
- Das Thema des Heftes hat mich interessiert  8
- Ich interessiere mich generell für Themen aus Forschung und Wissenschaft  9
- Ich interessiere mich besonders für Themen aus der Wissenschaft, die eine gesellschaftliche und/oder politische Bedeutung haben (z. B. Umwelt, Technik, Medizin)  0
- Ich bin durch die Werbung aufmerksam geworden  1
- Auf Empfehlung von Freunden, Bekannten  2
- Anderes, und zwar: \_\_\_\_\_

### 5. Bisher sind von GEO-Wissen drei Ausgaben erschienen: „Gehirn · Gefühle · Gedanken“, „Klima · Wetter · Mensch“ und „Abwehr · Aids · Allergie“

Bitte kreuzen Sie an, welche der folgenden Angaben für Sie persönlich zutrifft.

„Gehirn · „Klima · „Abwehr ·  
Gefühle · Wetter · Aids ·  
Gedanken“ Mensch“ Allergie“

- Habe ich für mich selbst gekauft und gelesen  1  1  1
- Jemand anderer hat das Heft gekauft und ich habe es gelesen  2  2  2
- Habe das Heft gekauft und verschenkt  3  3  3
- Habe diese Ausgabe weder gekauft noch gelesen  4  4  4

J  
S  
B  
G  
a  
e  
r  
G  
z  
e  
j  
n  
P  
s  
  
Na  
Str  
Po  
Tel  
Da  
  
A  
Ja  
Rü  
ge  
  
All  
Be:  
per  
Be:  
  
Na  
Str  
Po  
Da  
  
Ja  
be  
Se  
ne  
Di  
Na  
Wi  
  
Nar  
Stra  
Pos  
Dat  
Das  
sch  
  
N  
Ge  
zuz  
St

6. Welche der folgenden Aussagen treffen Ihrer Meinung nach ganz allgemein auf GEO-Wissen zu?

	trifft genau zu 1	trifft etwas zu 2	trifft gar nicht zu 3
- Hat meine Erwartungen voll und ganz erfüllt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Enthält Informationen, die ich in dieser Form woanders nicht finde	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Werde ich noch oft zur Hand nehmen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Gibt nützliche Tips und Hinweise	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Ist den Preis wert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Das Verhältnis von Bild und Text ist so richtig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Enthält faszinierende Fotos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Die Fotos sind sehr informativ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Enthält faszinierende, informative Grafiken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Die Bildtexte geben zusätzliche Informationen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Enthält viele neue Informationen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Ich finde es gut, daß ein einziges Thema umfassend behandelt wird	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Ist spannend, unterhaltend zu lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Ist verständlich geschrieben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Gibt mir einen Überblick über den neuesten Stand der Erkenntnisse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Was hat Ihnen an diesem Heft von GEO-Wissen besonders gut gefallen?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

8. Und was hat Ihnen nicht so gut gefallen?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

9. Wenn Sie einmal allgemein an den Umfang von GEO-Wissen denken: Würden Sie sagen...

- GEO-Wissen könnte mehr Seiten haben  1
- GEO-Wissen hat zu viele Seiten  2
- Der Umfang von GEO-Wissen ist so richtig  3

10. Und wenn Sie an die Zahl der Beiträge in GEO-Wissen denken: Ist die Zahl der Beiträge in GEO-Wissen...

- zu hoch  1
- zu niedrig  2
- gerade richtig  3

11. Wie häufig sollte Ihrer Meinung nach GEO-Wissen erscheinen?

- 1x im Jahr  1
- Halbjährlich  2
- Vierteljährlich  3
- Alle 2 Monate  4
- Jeden Monat  5

11a. Wenn man GEO-Wissen abonnieren könnte, würden Sie GEO-Wissen...

- bestimmt abonnieren  1
- wahrscheinlich abonnieren  2
- wahrscheinlich nicht abonnieren  3
- bestimmt nicht abonnieren  4

12. Wie beurteilen Sie den Preis (DM 13,50) von GEO-Wissen?

- Ist angemessen  1
- Ist zu teuer  2
- GEO-Wissen wäre mir auch mehr wert  3

13. Finden Sie, daß der Name GEO-Wissen gut zu dem Heft paßt?

- Der Name paßt gut zu dem Heft  1
- Der Name paßt etwas zu dem Heft  2
- Der Name paßt nicht zu dem Heft  3

14. Kennen Sie Zeitschriften, die mit GEO-Wissen vergleichbar sind, oder finden Sie, daß GEO-Wissen eher eine Alleinstellung hat?

- GEO-Wissen ist vergleichbar mit: \_\_\_\_\_  1
- GEO-Wissen hat Alleinstellung  1

15. Bitte kreuzen Sie an, welche der folgenden Zeitschriften Sie regelmäßig oder oft kaufen bzw. welche Sie abonniert haben.

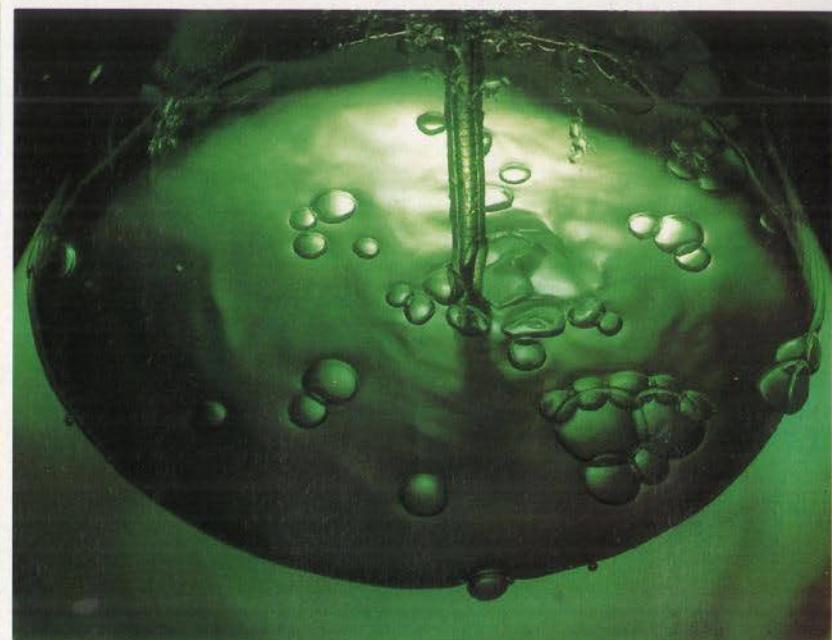
	Kaufe ich regel- mäßig 1	Kaufe ich oft 2	Habe ich abon- niert 3	Weder noch 4
- Bild der Wissenschaft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Chancen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- GEO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- GEO-Special	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Kosmos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Natur	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Stern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Spektrum der Wissenschaft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Hobby	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- PM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Chip	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Der Spiegel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Die Zeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

gen Sonnenenergie in Kohlenwasserstoffen gebunden und damit gewaltige Kohle-, Öl- und Gasvorräte angelegt. Diese fossilen Energieträger sind noch für viele Jahrzehnte konkurrenzlos billig – solange nur ihre Gewinnungskosten zu Buche schlagen. In eine seriöse Kalkulation müßten eigentlich auch die Umweltkosten sowie eine Art Entschädigung für verlorengegangene Ressourcen mit einbezogen werden.

Auf eine solche „Versicherungsprämie“ zu Lasten der Konkurrenz kann die kleine, aber stetig wachsende Gemeinde der Wasserstoffforscher und -nutzer jedoch vorerst kaum hoffen. Sie muß sich wohl auf eine energiepolitische Ochsentour einrichten.

Schon vor der Ölkrisis vom Oktober 1973 hatte das US-Fachblatt „Chemical & Engineering News“ den Wasserstoff als „einzigsten ernsthaften Kandidaten“ zur Lösung der befürchteten Energieknappheit eingestuft. Aber selbst als die OPEC dann die Ölpreise binnen weniger Jahre verzehnfachte, nutzte das den Wasserstoff-Propheten wenig: Ihr Energieträger war noch nicht einsatzreif und zudem viel zu teuer. Und da die Industrieländer nach dem Preisshock endlich Energie effizienter zu nutzen begannen und neue Lagerstätten wie die Nordsee erschlossen, sind die „bestätigten Erdölreserven“ heute größer als vor der Ölkrisis.

Auch das Kernenergie-Desaster von Tschernobyl löste keinen Schub in Richtung Wasserstoffwirtschaft aus. Deren Protagonisten bleibt derzeit nur die Hoffnung auf den Klimaschock: „Im Hinblick auf den Handlungsbedarf zur CO<sub>2</sub>-Eindämmung“, raten die Gutachter dem Forschungsminister, sollte der Vorsorgeaspekt „noch in diesem Jahrhundert“ berücksichtigt werden. Klimaforscher befürchten allerdings, daß die Umstellung auf eine möglichst CO<sub>2</sub>-freie Energieversorgung zu spät kommen wird, wenn der Treibhauseffekt erst eindeutig nachgewiesen werden kann: Die Erwä-



Pflanzen und bestimmte Bakterien zerlegen bei der Photosynthese Wasser, wobei Wasserstoff frei wird. Forscher wollen einzelliges Grün züchten, das große Mengen Wasserstoff billig produziert

mung wäre dann nicht mehr aufzuhalten. Überdies legt die Geschichte der Kohle-, Öl- und Kernkraftnutzung nahe, daß die großtechnische Einführung eines neuen Energieträgers drei bis fünf Jahrzehnte dauert.

Auf dem langen Weg zur solaren Wasserstoff-Wirtschaft mangelt es nicht an kniffligen Problemen, die möglichst rasch gelöst werden sollten. Auf 200 Seiten empfiehlt das Gutachten, welche Vorhaben das Ministerium bis zum Jahr 2000 unterstützen sollte.

Entscheidend ist die Herstellung von Wasserstoff in großem Maßstab zu konkurrenzfähigen Preisen. Schon heute erzeugen Raffinerien und chemische Werke beträchtliche Mengen des flüchtigen Gases als Rohstoff für Veredelungspro-

zesse – allerdings recht teuer und meist noch mit Hilfe von Energie aus Öl, Kohle oder Erdgas. Die am weitesten entwickelte Alternative ist die elektrolytische Wasserspaltung: Fließt Strom durch Wasser, zerlegt er H<sub>2</sub>O in seine Bestandteile, wobei das Wasserstoffgas – „H<sub>2</sub>“ – am negativen Pol ausperlt und abgesaugt wird.

Bessere Materialien und andere Verfahren könnten die Effizienz der Elektrolyse weiter erhöhen. Wichtigster Kostenfaktor bleibt auf jeden Fall der benötigte Strom, weshalb Elektrizität aus solaren Heizkraftwerken oder „photovoltaischen“ Zellen wesentlich billiger werden muß. Bei Solarzellen konnten 1988 spektakuläre Leistungssteigerungen und zu-

gleich dramatische Kostensenkungen erzielt werden. US-Fachleute rechnen damit, Anfang des nächsten Jahrhunderts etwa ein Prozent des Elektrizitätsbedarfs der USA mit Sonnenenergie decken zu können – Strom für immerhin drei Millionen Amerikaner. Ob freilich einiges der Elektrolyseverfahren die kostengünstigste Lösung bietet, ist noch offen. Ein erster größerer Test mit Solarzellen ist das 1987 begonnene deutsch-saudiarabische Forschungsprojekt „Hysolar“.

Kaum Chancen geben Fachleute der „thermischen“, mit großer Hitze arbeitenden Wasserspaltung. Dagegen erwacht eine ursprünglich als Spielerei belächelte Option wachsendes Interesse: Sogenannte photobiologische Systeme – die H<sub>2</sub>-Erzeugung mit Hilfe geeigneter Algen oder Bakterien – schneiden bei Vergleichsstudien kostengünstiger ab als die bislang favorisierten photovoltaischen Systeme. Der grüne Weg zum Wasserstoff werde, so ist aus dem Bonner Forschungsministerium zu hören, derzeit sehr wohlwollender erogen. Was Wunder: Die einzelligen H<sub>2</sub>-Produzenten sind ja auch schon seit Jahrtausenden im Geschäft. *Günter Haaf*

**Schubkraft aus der Verbrennung von Wasserstoff: Triebwerk HM 7 der Europa-Rakete Ariane auf dem Prüfstand der Firma MBB in Ottobrunn bei München**



16. Kreuzen Sie bitte für jedes der aufgeführten Themen an, ob Sie ganz allgemein an Informationen darüber sehr, etwas, weniger oder gar nicht interessiert sind.

	Informationen darüber interessieren mich...			
	sehr 1	etwas 2	weniger 3	gar nicht 4
Aids	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anatomie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anthropologie/ Urmenschenforschung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Archäologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Astronomie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Biologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Botanik/Pflanzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chemie, Biochemie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Computer/Elektronik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Energieforschung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ernährung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Evolution	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Forschungspolitik, Wissenschaft und Gesellschaft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fortpflanzung, Reproduktionsmedizin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geisteswissenschaften	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Genetik/Gentechnik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geographie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gesundheit/Hygiene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kommunikation/ Nachrichtentechnik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Krebsforschung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Landwirtschaft/ Pflanzen- und Tierzüchtung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mathematik/Informatik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Medizin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Medizintechnik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Militärforschung und -technik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ökologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ozeanologie/Meeresforschung und -technik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Polarforschung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Philosophie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Physiologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Physik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Psychologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Raumfahrt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sozialwissenschaften	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Technik/neue Technologien	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Umweltforschung/-schutz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verhaltensforschung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verkehr/Verkehrstechnik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vulkanologie, Erdbeben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wasser	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wissenschaftsgeschichte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zoologie/Tiere	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Andere Themen: _____				

17. Kreuzen Sie bitte für jeden der aufgeführten Bereiche an, ob Sie ganz allgemein an Informationen darüber sehr, etwas, weniger oder gar nicht interessiert sind.

	Informationen darüber interessieren mich...		
	sehr 1	etwas 2	weniger gar nicht 3
Fotografieren/Filmen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
reizvolle Ferienwohnungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
attraktive Hotels	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
aktuelle Modetrends	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
internationale kulturelle Ereignisse (z. B. Festspiele, Ausstellungen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Geld- und Kapitalanlage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
günstige Versicherungsangebote	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
sportliche Großereignisse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
gesunde Ernährung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
wichtige Medikamente für unterschiedliche Reisen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
umweltfreundliche Produkte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
neue Entwicklungen für Körperpflege/Kosmetik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
neue Reiseformen/-ziele	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weiterentwicklungen im PKW-Bereich (Energiespar-/ Sicherheitstechnologien)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Uhren/Schmuck	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videogeräte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Man kann ja sein verfügbares Geld für verschiedene Bereiche ausgeben. Bei welcher der Ausgabemöglichkeiten von dieser Liste würden Sie sagen, geben Sie gern etwas mehr Geld aus, weil sie darauf Wert legen?			
Gebe gern etwas mehr Geld aus, weil ich darauf Wert lege, für...	stimme genau zu	stimme etwas zu	stimme weniger/ gar nicht zu
Bücher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
Sportbekleidung/ Sportausrüstung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 2
Bekleidung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 3
Körperpflege, Kosmetik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 4
Wohnen und Einrichten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 5
Stereo-/Hifi-Geräte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 6
Schallplatten, Musik- Cassetten, CD-Platten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 7
Fotografieren und Filmen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 8
Urlaub und Reisen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 9
Gut essen gehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 0
Gästebewirtung zu Hause	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 1
Wein, Sekt, Champagner, Bier oder Spirituosen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 2
Ausbildung, Fort-/Weiterbildung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 3
Theater-/Konzertbesuche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 4
Gesunde Ernährung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 5
Umweltfreundliche Produkte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 6



# **Keiner macht so großen Druck**

Wenn weiße Wolken winzi-  
ger Wassertröpfchen dem  
Schlund eines Kühlturms

entquellen, hat der Dampf seine Schuldigkeit schon  
getan: Aufgeheizt in der Höllenglut eines kohlebefeuerten  
Kessels oder eines Kernreaktors jagt diese brutal-  
ste Form des Wassers teils mit Überschallgeschwin-  
digkeit durch gewaltige Turbinen. Auch heute noch  
werden Zweidrittel der weltweiten Stromproduktion  
mit diesem flüchtigen »Arbeitsmedium« erzeugt: Seit  
Beginn der industriellen Revolution treibt der Dampf,  
ingenios gebändigt, die technische Zivilisation voran

**DAMPF**

**S**elbst am Sonntagabend ist es nicht still vor dem Tor zur Schachtanlage Walsum. Es liegt ein eigenartiges Summen in der Luft. Gelegentlich hört es sich an, als werde ganz laut mit Papier geraschelt. In der nahen Kneipe sitzen Kumpel mit ihren Frauen bei Jägerschnitzel, Pommes und Bier. Lokalpolitiker diskutieren laut am Tresen. Ein Thema läßt sie noch immer nicht los: Vor mehr als zehn Jahren wurde die Stadt Walsum zum Postbezirk Duisburg 18 degradiert. Die Narben der Eingemeindung sind noch nicht verheilt. Denn aus dem Schacht holen Bergleute nicht einfach Kohle, sondern „Walsum-Kohle“: Das schwarze Gold gab der Stadt ihr Selbstverständnis.

Walsum-Kohle ist gute Kraftwerkskohle. Ein Teil der täglichen Förderung wird so gleich in den Blocks neben dem Schacht verfeuert. Das Summen kommt von den Hochspannungstransformatoren im Umspannwerk. Hin und wieder zucken kleine Blitze – Elmsfeuer – mit lautem Knistern an Kabeln und Isolatoren entlang. Was sonst still verborgen aus der Steckdose fließt, hier ist sicht- und hörbar: elektrische Energie.

Gut zehn Kilometer rheinabwärts liegt Götterswickerhamm. Hinter dem idyllischen Dorf, wo Bauern noch den Misthäufen vor der Tür haben, überragen zwei Kraftwerksblöcke samt Schloten und Kühlturn der flache Landschaft. Bagger schaufeln Kohle – auch aus Walsum – auf Förderbänder, die irgendwo im Innern der Anlage verschwinden. Das einzige, was herauszukommen scheint, sind weiße Wolken aus dem Kühlturn. Dick und schwer weht sie der Wind übers flache Land.

Zwischen schwarzem Gold und weißem Dunst muß es freilich Grautöne geben, verborgen hinter Kraftwerksmauern, versteckt in Kesseln und Rohrleitungen, verschlüsselt in den Anzeigen der Kontrollinstrumente: Dampf.

Dampf ist die brutalste Form von Wasser. Er vor allem verlieh dem Rumoren der Vulkane Mount St. Helens oder Krakatau katastrophale Kraft. In Kraftwerken wird seine Gewalt jedoch gebändigt – mit Gußeisen und V2A-Stahl, durch Ventile, Krümmer und Rohre. Dampf erst gibt dem Kraftwerk seine Kraft: Zwei Drittel der fast zehn Billionen Kilowattstunden elektrischer Energie, die jährlich weltweit erzeugt werden, entstammen Wärmekraftwerken und damit dem Dampf aus Kesseln und Reaktoren.

Strengher physikalisch gesehen kann Energie freilich weder erzeugt noch vernichtet werden. Dem Ersten Hauptsatz der Thermodynamik zufolge läßt sie sich nur von einer Form in eine andere umwandeln. Dabei muß – wie bei einem Radfahrer, der sich bergan abstrampelt – Arbeit geleistet werden, die sich auch wieder zurückgewinnen läßt: Wenn etwa der Radler im Freilauf zu Tal rollt. Die meiste Energie liegt allerdings

in Formen vor, mit denen ein Mensch ohne Hilfsmittel nichts anfangen kann. Die in der Kohle steckende chemische Energie ist erst dann von Nutzen, wenn sie durch die Oxidation des Kohlenstoffs – also durch Verbrennen – in Wärme umgewandelt wird. Bei jeder Umwandlung fällt unweigerlich „niederwertige Energie“ an – Abwärme. Nicht Energie an sich, nur „höherwertige“, nutzbare Energie kann erzeugt werden oder verloren gehen. Dieses Prinzip der Energieerhaltung und -wandlung liegt jedem Kraftwerk zugrunde.

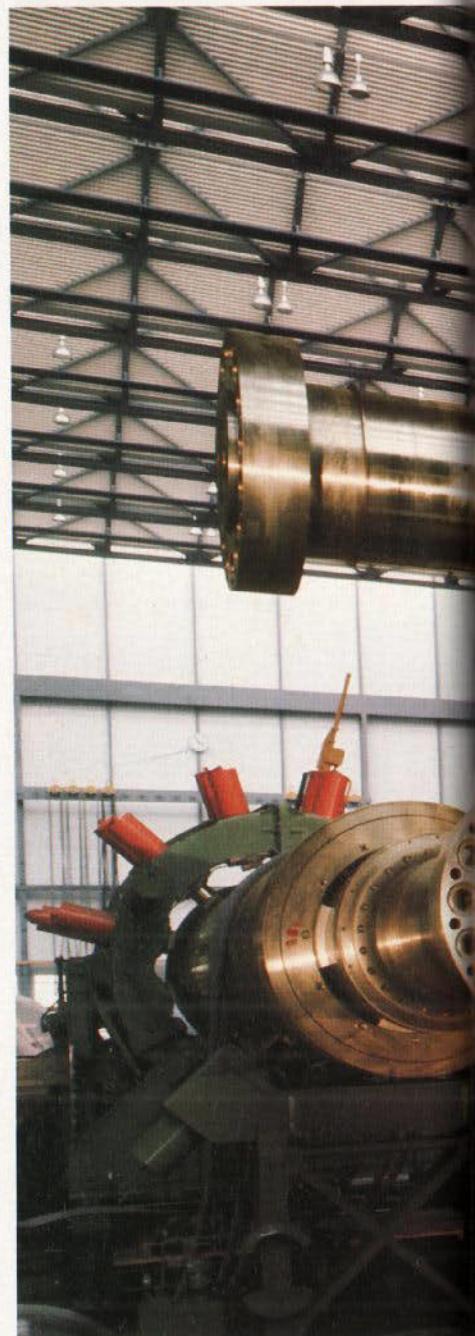
In Wärmekraftwerken spielt Dampf die entscheidende Rolle des Mittlers zwischen den Energieformen. Ingenieure nennen ihn mit einer gewissen Ehrfurcht ihr „Arbeitsmedium“: Er muß im kilometerlangen Rohrgewirr tatsächlich schaffen, muß Wärme in mechanische Energie umsetzen. Aufgeheizt bis zu 600 Grad Celsius und unter hundertfachem Überdruck, prallt der Dampf mit Schallgeschwindigkeit auf die Schaufeln der Turbinen, die er dabei in rasende Rotation versetzt, bis er schließlich ermattet zu Wasser kondensiert – nur um sich wenige Minuten später im Leitungslabyrinth eines Wärmetauschers vorzuwärmen und erneut in Druckrohren der Gluthitze eines Kohlenfeuers oder der radioaktiven Hölle eines Reaktorkerns ausgesetzt zu werden und somit einen weiteren Arbeitskreislauf zu beginnen. Der „Dampf“ jedoch, der den kraterhaften Schlünden der Kühlturne entweicht, hat mit dem Arbeitsmedium nur indirekt zu tun: Ess sind Wolken aus Kühlwassertröpfchen. Sie tragen die Abwärme in die Umwelt.

Zwei Physiker beschrieben diesen Arbeitskreislauf schon im vergangenen Jahrhundert nach den ihm steuernden Gesetzen. Der Franzose Sadi Carnot erkannte 1824, daß die Effizienz – der „Wirkungsgrad“ – einer Wärmekraftmaschine begrenzt ist. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen dem heißesten und kältesten Punkt in einem Kreislauf ist, um so mehr Wärmeenergie kann eine Maschine in mechanische Energie umwandeln – also letztlich in nutzbare Arbeit. Doch selbst wenn diese Differenz extrem hoch ist, bleiben unvermeidliche Umwandlungsverluste. Ist das Arbeitsmedium beim Eintritt in die Maschine beispielsweise 2000 Grad heiß und wird es im Laufe des Prozesses auf 10 Grad heruntergekühlt, können höchstens 87,5 Prozent der Wärmeenergie genutzt werden. Bei einem Temperaturgefälle von 800 auf 15 Grad

sinkt der Wirkungsgrad bereits auf 73,1 Prozent.

Der Schotte William Rankine untersuchte 1859 den „Carnot-Zyklus“ speziell für Dampfkreisläufe. Er beschrieb verschiedene Stufen, die das Arbeitsmedium durchlaufen muß, wenn eine Wärmekraftmaschine so effizient wie möglich sein soll. Der „Rankine-Zyklus“ läßt sich vereinfacht in vier Schritte unterteilen:

1. Wasser wird unter konstantem Überdruck aufgeheizt, bis es verdampft; der Dampf sollte möglichst heiß sein.



## Bereit für heiße Stürme

Bekränzt mit Hunderten von Schaufeln hängt der Läufer einer „Niederdruck-Teilturbinen“ am Kran einer Werkshalle der Firma Asea-BBC im schweizerischen Birr. Wenn die Maschine installiert ist, wird der Dampf die Spitzen der längsten, 1,20 Meter messenden Schaufeln mit Überschallgeschwindigkeit rotieren lassen

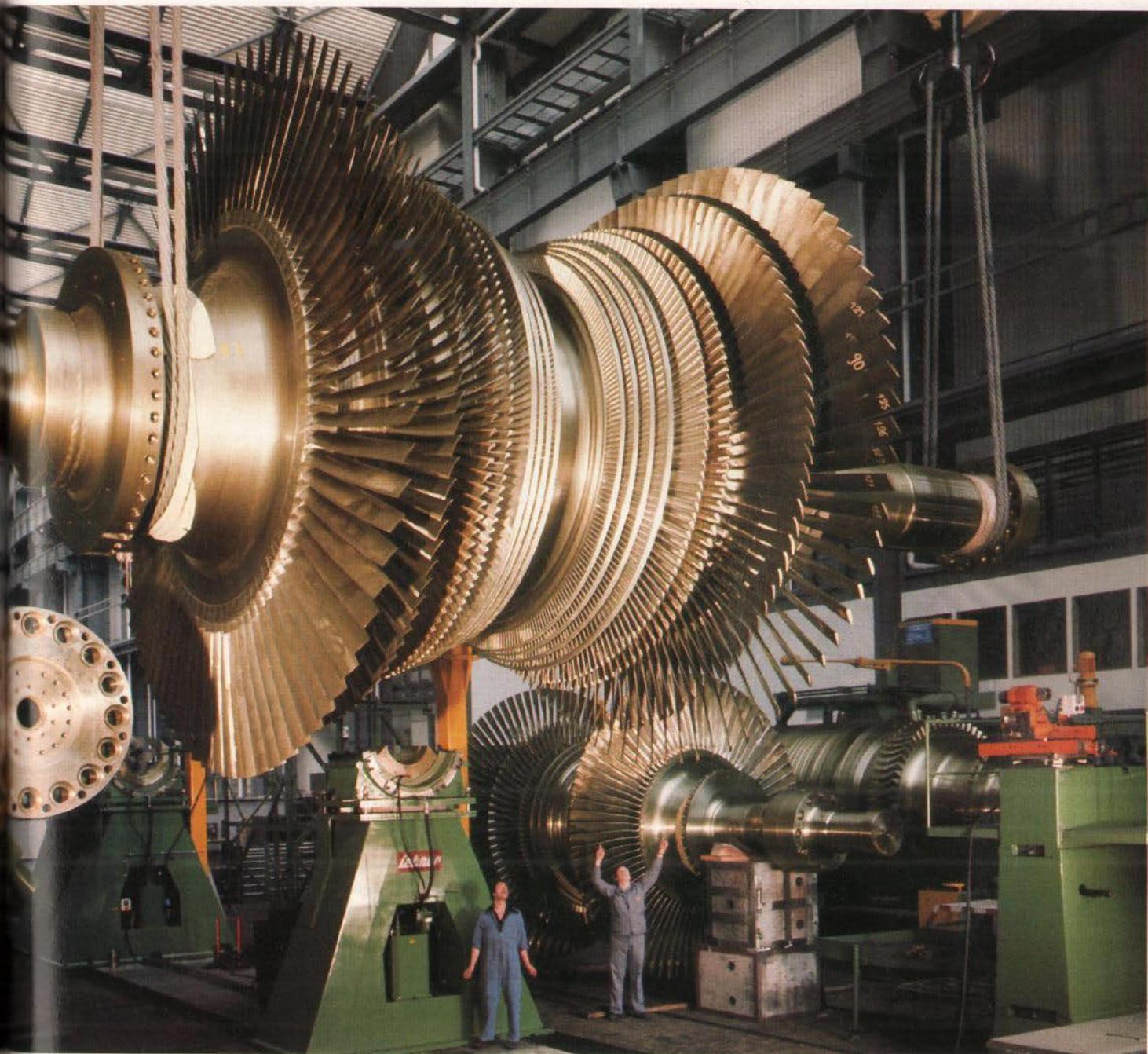
2. Der heiße, energiegeladene Dampf strömt durch eine Kolbenmaschine oder Turbine und gibt einen Teil seiner Energie ab. Dabei oder danach darf er sich ausdehnen – „entspannen“.

3. Der entspannte Dampf wird abgekühlt, bis er kondensiert; das entstehende Wasser sollte möglichst kühl sein – je tiefer die Temperatur, umso höher der Wirkungsgrad.

4. Das Kondenswasser wird unter Druck wieder in den Kessel zurück gepumpt, ein neuer Kreislauf beginnt.

Heute machen viele Zwischenschritte wie das Vorwärmeln oder die mehrfache Zwischendampfüberhitzung aus dem Rankine-Zyklus einen komplizierten thermodynamischen Prozeß. Geblieben ist das Grundprinzip: Energie wird in den Dampf hineingelegt und ihm später wieder abgezogen. Dieses Prinzip trieb James Watts Dampfmaschine und Fultons Dampfschiffe, den Luxudampfer „Titanic“ ebenso wie Borsigs legendäre Lokomotiven an. Nach ihm funktionieren auch alle modernen Kohle-, Öl- und Kernkraftwerke.

Die fauchenden Dampfrösser sind freilich aus den Lokschuppen verschwunden, die „Dampfer“ verschrottet. Kernkraftwerke werden in westlichen Industrienationen kaum noch gebaut. Und seit klargeworden ist, daß jedes Kraftwerk beim Verbrennen von Kohle, Öl oder Gas außer Wärme und Elektrizität unvermeidlich auch Kohlendioxid erzeugt und damit den Treibhaus-Effekt – die befürchtete Erwärmung des Erdklimas – verstärkt, sind auch die mit fossilen Brennstoffen befeuerten Stromfabriken ins Gerede gekommen. Hat der Dampf



- das Arbeitsmedium des Industriealters - ausgedient? Geht der Schlüsseltechnik der industriellen Revolution nach 200 Jahren der Dampf aus?

Danach sieht es in Werkshalle 273 der General Electric Company (GE) in Schenectady im US-Staat New York nicht aus. In langer Reihe stehen Turbinenwellen auf einem 40 Jahre alten Fußboden aus Holzbalken. Die Rohlinge kommen aus Stahlwerken an der Saar, in Pittsburgh oder Japan. Auf Drehbänken aus dem Siegerland fräsen Arbeiter die tonnenschweren Wellen auf Hundertstelmillimeter genau zurecht. Monteure setzen Schaufelblätter - manche mehr als einen Meter lang - auf die Wellen und verwandeln sie somit in Turbinen.

„Wir haben schwere Zeiten hinter uns“, gesteht Ross Bradshaw, bei GE zuständig für den Dampfturbinenbau. Bis vor 15 Jahren hätten die Energieversorgungsunternehmen (EVU) gar nicht genug Kraftwerke bauen können. 1974 sei das Rekordjahr gewesen. Damals kauften allein die amerikanischen EVUs neue Generatoren mit einer Gesamtleistung von 90 000 Megawatt - mehr als genug, um die Bundesrepublik mit Strom zu versorgen. Doch die goldenen Zeiten sind vorbei. Während der Ölkrise zeigte sich, daß Wohlstand und Energieverbrauch nicht starr aneinandergekoppelt sind. Die hohen Energiepreise erzwangen Einsparungen und effizientere Techniken - die hochfliegenden Strombedarfsberechnungen waren nur noch Makulatur. Heute können die EVUs mit der bereits installierten Kraftwerksleistung noch ein paar Dekaden leben. Bradshaws Firma bekam die Folgen zu spüren: „Vor 1974 lieferten wir jährlich 20 bis 30 Turbinen- und Generatoreinheiten an die EVUs, jetzt sind es vielleicht noch ein bis zwei.“

Nicht nur in Schenectady schlug die plötzliche Flaute wie ein Blitz ein. Auch die Konkurrenz - Westinghouse, die zum Siemens-Konzern zählende Kraftwerk-Union oder die deutsch-schweizerische BBC - wurde ihre Turbinensätze nicht mehr wie gewohnt los. Dabei hatten die Ingenieure damals gerade Turbinensätze und Dampfkessel zu bauen begonnen, von denen zehn Jahre zuvor noch niemand auch nur zu träumen gewagt hatte.

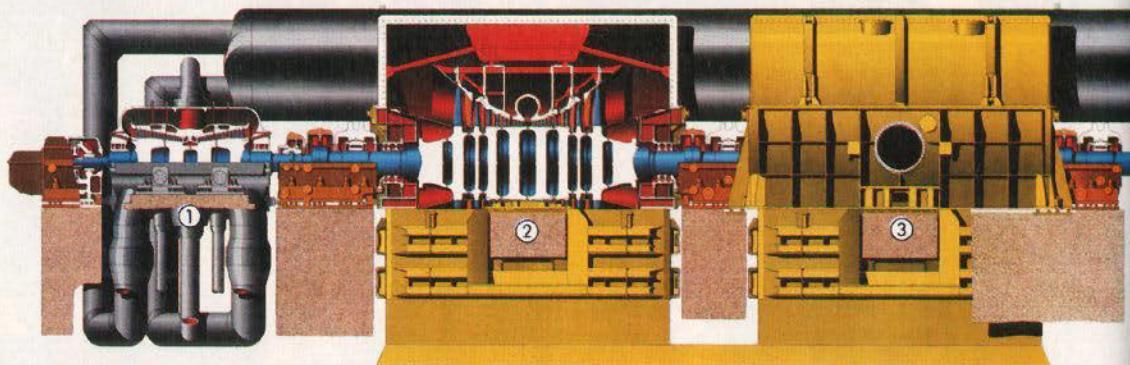
Was Dampfmaschinen für die industrielle Revolution waren, sind Dampfturbinen für das 20. Jahrhundert: treibende Kraft. Ein 1896 erteiltes Patent weist den Amerikaner Charles Gordon Curtis - einen Mitarbeiter Edisons - als einen der Väter der Dampfturbine aus. Curtis verkaufte seine Patentrechte an General Electric. Bereits 1901 verließ die erste Dampfturbine das Werk in Schenectady - elektrische Le-

istung: 500 Kilowatt. Zwei Jahre später verkaufte GE eine Turbine mit zehnfacher Leistung. BBC produzierte 1901 in der Schweiz die erste Dampfturbine auf dem europäischen Festland und lieferte ein Jahrzehnt später Maschinen mit 30 Megawatt Leistung. 1929 baute GE dann einen 208-Megawatt-Turbinensatz, der ein Vierteljahrhundert lang größte Einheit der Welt war.

Während die Spitzenleistung stagnierte, verbesserten die Dampfturbinen-Ingenieure die Zuverlässigkeit ihrer Aggregate. Denn daß so große, komplizierte Maschi-

nen jahrelang problemlos arbeiten, grenzt an ein technisches Wunder: Unter dem Gehäuse rotieren 80 Tonnen Stahl mit bis zu 3600 Umdrehungen pro Minute, während 600 Grad heißer Dampf mit einer Geschwindigkeit von einigen hundert Metern pro Sekunde und einem Druck von über 300 bar durch die Turbine heult. Mehrere tausend Schaufelblätter sind mit höchster Präzision an die Welle montiert. Unwuchten würden die Turbine bald zerstören.

Anfang der sechziger Jahre hatten drei Entwicklungen den Turbinenbau revolu-



## Wo den Dampf die Kraft verläßt

Bei Dampfturbinen geht der Trend zu kleineren Einheiten. Heute werden nur noch wenige Giganten wie jenes Aggregat hergestellt, an dessen Teilen im schweizerischen Birr gearbeitet wird. Das Schnittbild zeigt, wie eine solche - inklusive Generator 59 Meter lange und 1300 Megawatt

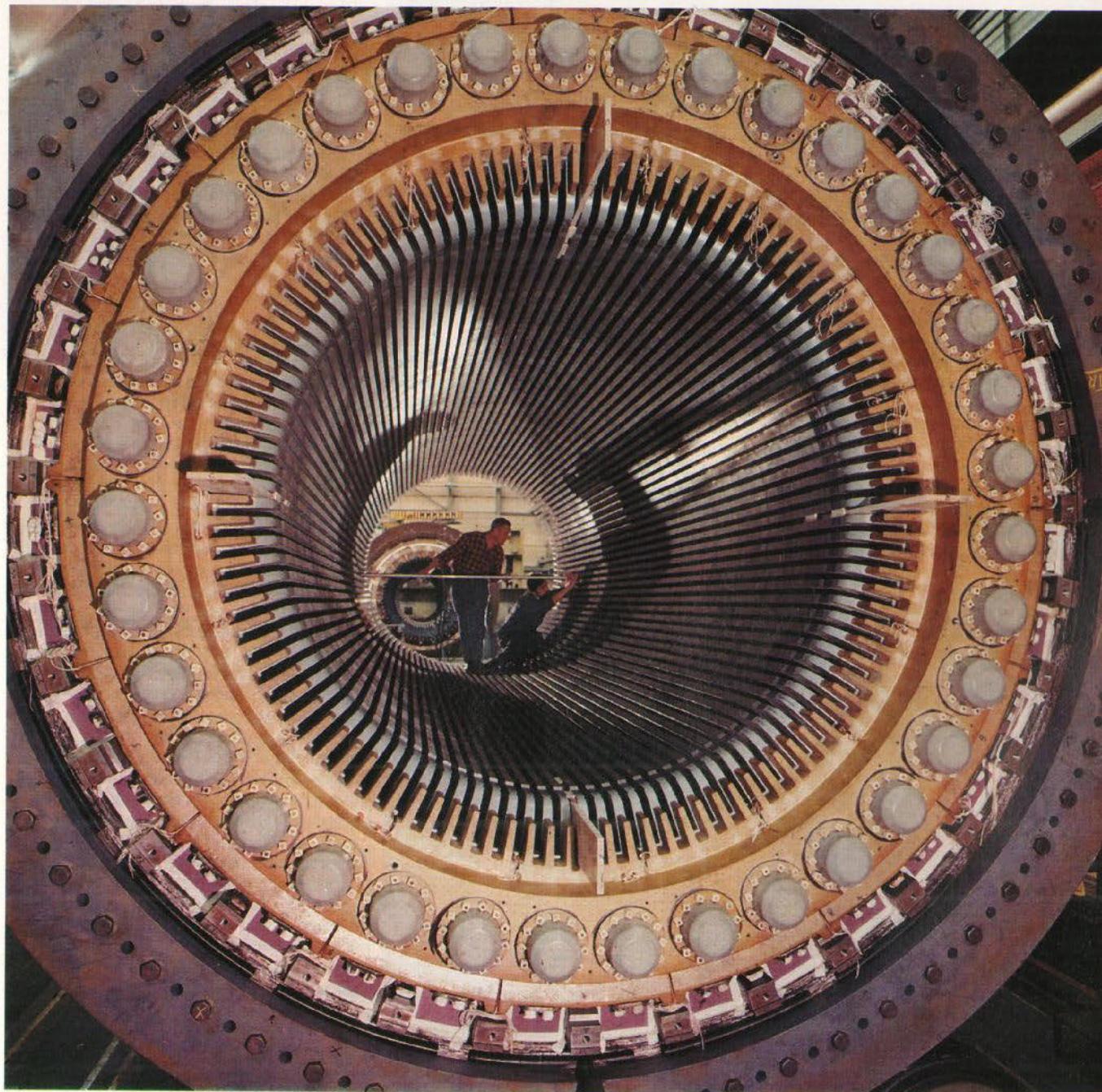
(gut 1,7 Millionen PS) leistende - Turbine aussieht: Dampf strömt in die - hier geöffnete - Hochdruck-Turbine (1) und dann durch die beiden Niederdruck-Turbinen (2, 3). Die Welle (4) dreht den (nicht gezeichneten) Rotor in der übermannshohen Öffnung des Generator-Ständers

tioniert. Neue Stahllegierungen, die auch bei höheren Temperaturen ihre Festigkeit behielten und nicht spröde wurden, erlaubten Aggregate mit längeren Schaufeln und besserem Wirkungsgrad. Außerdem lernten Forscher damals, auf Computern den Weg einzelner Dampfpartikel durch eine Turbine zu simulieren. So wurde es von 1965 an möglich, den Dampf mit Überschallgeschwindigkeit durch die Schaufelkränze zu jagen. Schließlich beeinflussten auch die besonderen Anforderungen der Kernenergie die Entwicklung. Kohlebefeu-

erte Kessel können seit knapp drei Jahrzehnten sehr „trockenen“, über 600 Grad heißen Dampf mit einem Druck von mehr als 300 bar liefern. Aus einem typischen Kernreaktor strömt dagegen „nasser“, 280 Grad heißer Dampf mit einem Druck von weniger als 100 bar. Soll dieses – wie Experten sagen – „Arbeitsmedium minderer Qualität“ optimal genutzt werden, sind andere Turbinenkonstruktionen nötig als für fossil beheizte Kraftwerke.

Die Ingenieure nahmen die Herausforderung an. Innerhalb weniger Jahre schnell-

te die maximale Turbinenleistung von 350 Megawatt auf 1350 Megawatt. Solche Giganten wurden zum Standard in Kernkraftwerken; aber auch neue Kohle- oder Öl-Kraftwerke erhielten derart große Turbinensätze. Heute sind diese Riesenmaschinen die Dinosaurier des Industriezeitalters: Sie versiehen zwar noch immer ihren Dienst, werden aber in naher Zukunft keine Nachkommen mehr haben. So soll bis Ende 1989 in den USA nur ein einziger Turbinensatz mit 550 Megawatt Leistung ausgeliefert werden. Dagegen dürften im gleichen Zeit-



raum hundert Turbinen mit Leistungen unter 100 Megawatt hergestellt werden – die meisten im Auftrag von Industrieunternehmen, in deren Betrieben ohnehin Dampf anfällt. Mit einem solchen Aggregat können zum Beispiel Chemiewerke Strom aus Abfalldampf gewinnen – eine ökonomisch wie ökologisch sinnvolle Kopplung.

Die Entwicklung der Großturbinen war letztlich nur möglich, weil es seit 60 Jahren eine kleine Gruppe von Physikern und Ingenieuren gibt, die ihre wissenschaftliche Karriere dem Wasserdampf gewidmet haben. Zu ihnen zählt auch Johanna Levelt Sengers. Die gebürtige Holländerin arbeitet im amerikanischen National Bureau of Standards in Gaithersburg bei Washington, einem Amt für Maßeinheiten und Normen. Sie leitet dort eine Arbeitsgruppe in der „Internationalen Wasserdampftafel-Konferenz“.

Die Vereinigung mit dem seltsamen Namen war 1929 in London gegründet worden. Damals hatte die Kraftwerksindustrie gerade die 200 Megawatt-Marke überschritten und suchte – nicht zuletzt des Exports wegen – nach einem internationalen Standard zur Beschreibung der Zustandsgrößen von Wasserdampf. Denn die vielen, nach unterschiedlichen Methoden berechneten Tabellen jener Zeit hattenden Vergleich von Turbinen oder Dampfkesseln verschiedener Hersteller sehr erschwert. Die wichtigste Frage aber war, wieviel Energie Dampf bei

## Nasser Dampf korrodiert Turbinen und Kessel



Dampf aus der Tiefe: Erdwärmekraftwerk bei San Francisco

unterschiedlichen Temperaturen und Drücken überhaupt aufnehmen kann.

In London hatten die angereisten Experten sich zunächst einmal auf die physikalischen Grundlagen geeinigt und das elektrische Wärmeäquivalent festgelegt: Die elektrische Energie einer Kilowattstunde entspricht seitdem der Wärmeenergie von 860 Kilokalorien. 1934 verabschiedete die Konferenz die ersten internationalen Wasserdampftafeln. Darin wurde das Verhalten von Dampf bei Temperaturen bis 550 Grad und Drücken bis 300 bar aufgelistet. In Kraftwerken kam ein Arbeitsmedium mit so extremen Eigenschaften erst 30 Jahre später zum Einsatz. Die Tabellen sind in der Zwischenzeit häufig erweitert worden.

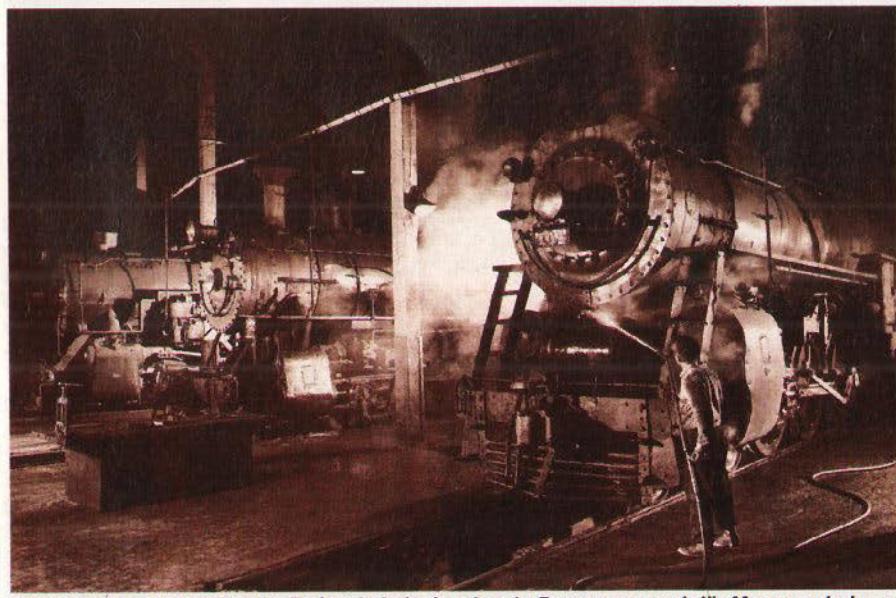
Derzeit gilt die Fassung von 1979 als Standard der Industrie.

Den Forschern ist die Arbeit bis heute nicht ausgegangen. „Wir kennen zwar die physikalischen Größen des Wasserdampfes nun recht genau“, erklärt Johanna Levelt Sengers. „Aber über die chemischen Eigenschaften wissen wir noch wenig.“ Bei hohen Temperaturen ist nasser Dampf ein hervorragendes Lösungsmittel für Ionen – elektrisch geladene Teilchen – von Kupfer, Natrium oder Eisen. „Es sind hauptsächlich Kochsalz und Natriumhydroxyd“, weiß James Bellows, Chemiker beim amerikanischen Turbinenhersteller Westinghouse, „die zur Korrosion in Turbinen und Dampfkesseln führen.“ Deshalb muß Wasser für Dampfkraftwerke extrem sauber sein. Als Meßlatte dafür dient den Chemikern der elektrische Widerstand: Eine ein Zentimeter hohe Säule theoretisch reinen Wassers würde dem Strom den – sehr großen – Widerstand von 17,6 Millionen Ohm entgegensetzen. In guten Kraftwerken wird, so Bellows, Wasser mit einem Widerstand von 14 Millionen Ohm je Zentimeter benutzt: Damit kommt man reinem Wasser sehr nahe.

Trotzdem gibt es immer wieder Unfälle in Kesseln und Turbinen, weil die Kraftwerksbetreiber die in Dampf und Wasser gelösten Stoffe nicht unter Kontrolle halten – ein schwieriges Unterfangen: Das Arbeitsmedium sollte – nach Empfehlung der Herstellerfirmen – nicht mehr als jeweils fünf Teile Natrium und Chlor pro Milliarde Teilchen Dampf enthalten. Solch geringfügige Verunreinigungen können erst seit wenigen Jahren überhaupt gemessen werden. Künftig wollen die Wasserdampfforscher sich deshalb intensiv mit der Chemie des Dampfes befassen.

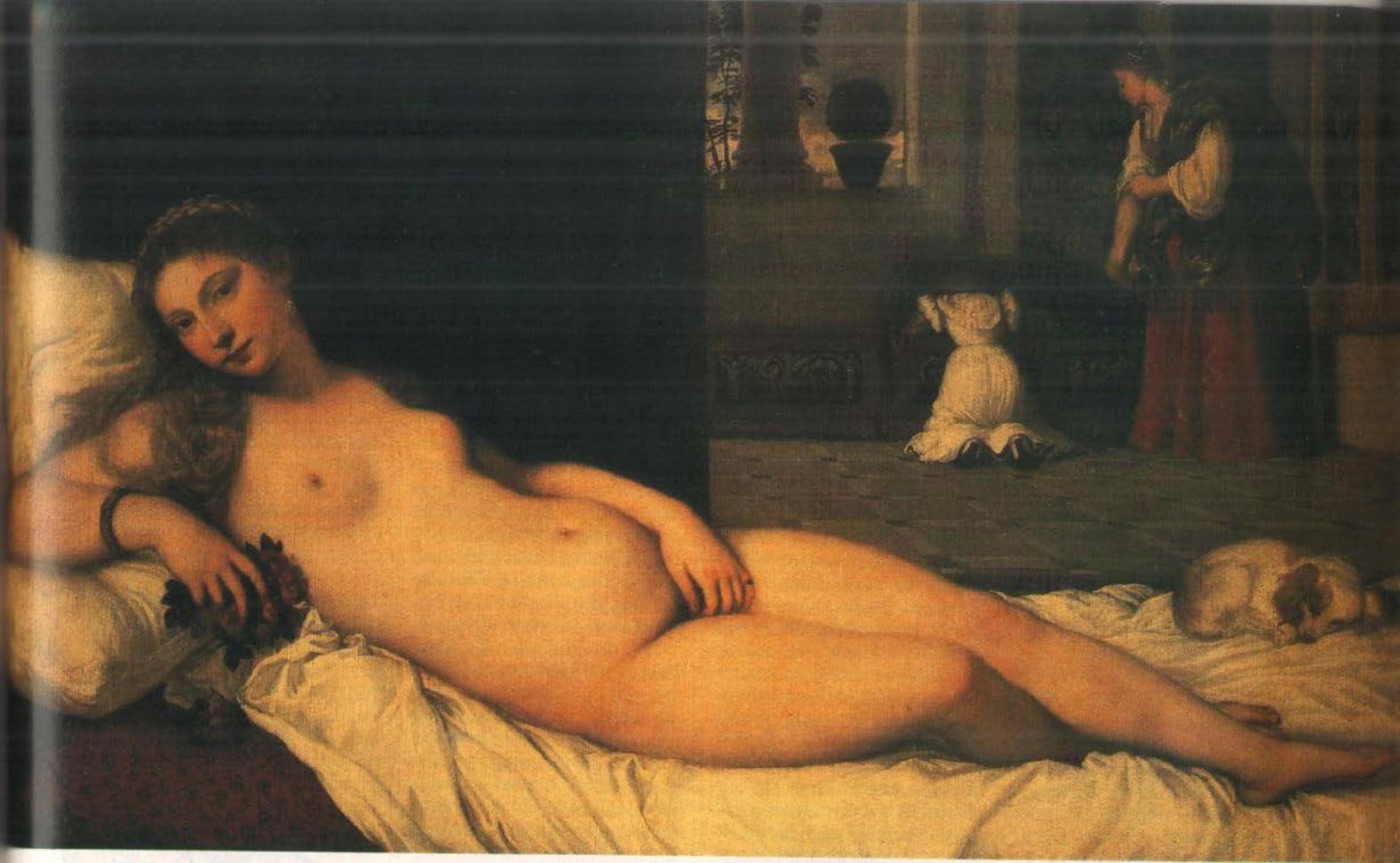
Die Kraftwerksbauer versuchen währenddessen, den Wirkungsgrad ihrer Anlagen abermals um einige Promille zu steigern. Denn von den theoretischen Werten sind auch moderne Kraftwerke noch weit entfernt: Dampfkraftwerke setzen etwa 40 Prozent der im Brennstoff steckenden chemischen Energie in elektrische Energie um. Am Dampf scheint es nicht zu liegen. Immerhin kann schon heute mit der „Kraft-Wärme-Kopplung“ – bei der ein Teil der Wärme zum Heizen von Häusern genutzt wird – ein Wirkungsgrad von rund 75 Prozent erreicht werden. Das Tandem-Verfahren wird allerdings von den auf Stromerzeugung fixierten EVUs selbst in Ballungsräumen nur zögerlich aufgegriffen.

So freuen sich meist nur einige Segelflieger über den ökologisch wie ökonomisch herben Abwärmeverlust: Sie lassen sich gelegentlich von der emporströmenden Wärme – auch überm Schlot von Götterswickerhamm – lautlos in den Himmel tragen.



Dampf auf dem Abstellgleis: Rußende Loks fauchen in Europa nur noch für Museumsbahnen

Der gebürtige Duisburger und studierte Geophysiker **Horst Rademacher**, 34, lebt als Korrespondent der „Frankfurter Allgemeinen“ bei San Francisco – einer Stadt, deren Strom zu einem guten Teil mit Dampf aus der Erde erzeugt wird.



Tizian machte seine Bilder teuer und ließ seine Auftraggeber zappeln: Für die „Venus von Urbino“ (1538) wollte Herzog Guido-  
baldo II. sogar einen Teil seines Besitzes verpfänden.

## Schon Tizian suchte sich Sponsoren

**Kunst und Kommerz – wie paßt das zusammen? Mit der Serie „Die Malerfürsten“ beantwortet ART eine 400 Jahre alte Frage**

Der Italiener Tiziano Vecellio (um 1488/90 bis 1576), den wir Tizian nennen, war der begehrteste und erfolgreichste Maler seiner Epoche – der erste Malerfürst der Kunstgeschichte. Mit selbstbewußten Honorarforderungen an bürgerliche, geistliche, herzögliche und kaiserliche Auftraggeber, Sponsoren oder Mäzene machte er seine Bilder-Produktion zum Wirtschaftsfaktor, zum Status-Symbol für die Herrschenden – und sich selbst zum reichen, einflußreichen Mann.

Über die jahrhundertealten Beziehungen zwischen Kunst, Macht, Politik und Geld informiert eine neue Serie im Kunstmagazin ART mit Dokumenten, Bildern und wahren Geschichten, die sich auch im aktuellen Kunstbetrieb der achtziger Jahre abspielen könnten.

**Jetzt bei Ihrem  
Zeitschriften-Händler**



## Den Trinker nennt man gewaltig, den Dürster nie

VON HERMANN UNTERSTÖGER

**M**it welchen Augen auch immer man es betrachtet, mit denen des Mediziners, des Physikers, des Predigers, des allgemein wohlwollenden Menschenfreundes: Immer ist die Sache einfach und löst sich wie eine sauber entworfene Gleichung. Die aber lautet so, daß der Mensch nicht einen Tropfen mehr trinken sollte, als er zum Ausgleich seiner täglichen Flüssigkeitsbilanz braucht. Der Körper gibt jeden Tag 1,9 bis 2,6 Liter Flüssigkeit ab, und zwar über Niere, Darm, Haut und Atemwege. Diese Menge muß der Mensch seinem Körper wieder zuführen, wobei er einkalkulieren darf, daß er mit der festen Nahrung bereits 0,8 Liter gewinnt und daß der Stoffwechsel von Fett, Kohlenhydraten und Eiweiß noch mal 0,3 Liter entstehen läßt. Für den Rest aber muß er seine Gurgel bemühen, und mit dieser Allerweltsweisheit

könnte der vorliegende Text schließen.

Wenn er das trotzdem nicht tut, dann deswegen, weil er billigerweise an seinem Gegenstand Maß nimmt, am Trinken. Das war ja, seit es der Mensch zu seinem Erhalt und Genuss betreibt, immer ein bißchen mehr als schiere Flüssigkeitsaufnahme, in vielen und nicht wenig prominenten Fällen sogar erheblich mehr, über alle Vorstellung hinaus mehr. Die jüdisch-christliche Zeitrechnung beginnt, rechnet man die nüchternen Pioniertage ab, mit einem Mann des Bechers, nämlich mit Noah. Der nahm es, wenn der Tag schön war und die Geschäfte gut liefen, mit der körpereigenen Flüssigkeitsbilanz nicht so genau, er gab dem alten Adam – sollt leben! – immer noch eins drauf, bis daß er niedersank. Daß ihm in diesem Zustand Schimpfliches widerfuhr, spricht, wenn wir die Bibel recht lesen, weniger gegen ihn als gegen seinen Buben Ham, den Nichtsnutz.

Um in dieser halb religiösen, halb literarischen Sphäre kurz zu verweilen, so führt von Noah eine (leicht fahrläufige, gewiß) Linie zu Joseph Roths „Heiligem Trinker“, dem gutherzigen Andreas, dem es, hältlos und saufselig wie er ist, nie gelingen will, sein Finanzgeschäft mit der Kleinen Therese von Lisieux zum Abschluß zu bringen. Roth, in solchen Behinderungen ein Insider von höchsten Graden, ist von Andreas' letzten Tagen derart angetan, daß er, für sich und alle Trinker, den Himmel um ein ähnlich erhabendes Ende bittet. Amen.

Man sieht: Will man das Trinken halbwegs adäquat erörtern, gelten die Gedanken und Spekulationen als bald dem Übermaß (wie denn überhaupt die Feststellung, daß einer trinkt, nie auf den bilanzbewußten Flüssigkeitskonsumenten zielt: Den Säufer meint sie). Hält einer seinen Flüssigkeitshaushalt in Ordnung, so scheidet er als Sujet in aller Regel aus – für die Belletistik jedenfalls. Allenfalls der zuwenig Trinkende mag der literarischen Behandlung zugänglich sein. Über medizinische Traktate hinaus aber wird dabei kaum viel herauskommen, allzu schnell ist man da bei grausigen Wüstenexpeditions-Berichten, wenn nicht gar bei Karl Mays „Unter Geiern“; das Gegentück in der bildenden Kunst ist der auf eine Fata Morgana Zukriechende, Verbrannte, mit langer Zunge Lechzende – nein, da führt wohl wirklich kein Weg weiter. Obwohl beider Zustand pathologisch ist, hat der Trinker dem Dürster den Rang abgelaufen: Ihn nennt man gewaltig, den anderen nie.

Muß man eigens erwähnen, daß der Titel eines Trinkers, und nun gar der eines gewaltigen, von der Sorte des von ihm verzehrten Getränks innig abhängt? Dabei gibt es Leute, die wahre Seen von Mineralwasser in sich hineingießen, die dem Kaffee bis zur Peinlichkeit verfallen sind („C-a-f-e-e, trink nicht so viel Kaffee“, skandiert der Kanon zu Recht), die ganze Herden schwarzbunter Milchkuhe aussaugen, denen man, mit einem Wort, den Vorwurf der Unmäßigkeit nicht ersparen kann. Doch Trinker? Sie selbst würden sich schönstens bedanken, und die „echten“, weil dem Alkohol zugeneigten Trinker würden sie als Usurpatoren oder wenigstens Aufschneider noch herzlicher geringsschätzen, als sie dies ohnehin zu tun pflegen.

Die nach Sorten ausgerichtete Animosität zwischen Trinkern – nein: Flüssigkeitsrezeptoren – ist kurios, doch für den Menschenkenner leicht durchschaubar. Es ist die Animosität der Gerechten wider die Sünder und der Sünder wider die Gerechten: Jeder wäre nicht ungern ein wenig, vielleicht sogar ganz so wie der andere.

Der Milchtrinker etwa hat schon Wunderdinge reden hören von des Säufers abgehobenen und gelegentlich seltsam erleuchteten Zuständen; nur hebt sich ihm der



Magen, wenn er das Gläschen Schnaps bloß riecht. Der Säufer seinerseits mag wohl etwas ahnen von der Reinlichkeit, der gesunden Heiterkeit des Milchtrinkers; wenn ihm indessen die Trinkhand zittert, ist ein Glas frischer Milch das allerletzte, was ihm bekommen könnte.

An dieser Stelle ist ein klarendes Wort an obigen Milchtrinker angebracht, und zwar für den Fall, daß er den Säufer deswegen beneidet, weil er ihn während seiner Delirien auch schöpferisch entfesselt wähnt. Man muß das insofern richtigstellen, als raffinierte Tests folgendes ergeben haben: Beim verklemmt Kreativen kann der Alkohol sehr



# ein bißchen mehr als schiere Flüssigkeitsaufnahme DURST

wohl eine künstlerisch relevante Entbindung einleiten; bei einem, der schon im nüchternen Zustand Opus hinter Opus aufs Papier wirft, bewirkt er eher einen Leistungsabfall. Ausnahmen bestätigen hier wie überall die Regel, aber grundsätzlich sollte unser Milchtrinker nicht jeden heillos Lallenden, nur weil er ihn für einen heimlichen Mozart hält, gleich fragen, ob er denn auch mit Notenpapier versorgt sei.

Für den Freund anthropologischer Einblicke ist es das Natürlichste von der Welt, daß es der Mensch, indem er sich die Jahrtausende hindurch zivilisatorisch emporarbeitete und läuterte, nicht dabei bewenden ließ, einfach bis zum richtigen Pegelstand zu trinken und basta. Wie beim Essen und bei der Kleidung war es ihm bald schon ein Bedürfnis, auch das Trinken in ein kultisch-kulturelles Regelwerk und Zeremoniell einzubinden, was wohl zu einem nicht geringen Teil daher rührte, daß er sich gerade bei derart körpernahen Verrichtungen bösen Geistern oder aus menschlicher Bosheit erwachsendem Schadenzauber schutzloser als sonst ausgeliefert fühlte und sich daher allerlei rituelle Ablenkungsmaßnahmen glaubte ausdenken zu müssen.

Vieles, was eine aufgeklärtere Zeit unter die schimpfliche Rubrik Abergläube einordnete, läßt sich auf magisch-sympathetische Wurzeln zurückführen. Darf man es dem frühen, von tausend Gefahren umgebenen Menschen verdenken, wenn er den beim Essen sowie Trinken notwendigerweise offenen Mund für eine Ein- und Ausfallpforte seines Körpers hielt? Wie leicht konnte es da unterlaufen, daß einem die Seele herausfuhr oder – ähnlich katastrophal – Dämonen hineinschlüpften! Da hieß es wachsam sein, und da man

nun schon trinken mußte, so wollte man's wenigstens mit der gebührenden Vorsicht hinter sich bringen, etwa indem man, um sich nicht den Teufel hineinzutrinken, den abendlichen Brunnen mied, indem man über einen von fremder Hand gereichten Trunk heimlich mit der Zunge ein Kreuz machte oder indem sich, wie man lesen kann, der vornehme Abessinier beim Trinken vom Diener ein Tuch vorhalten ließ, um dem just auf solche Gelegenheiten lauernden bösen Blick gehörig eins auszuwischen.

Möglicherweise sind die sakramentalen Handlungen, die sich um Essen und Trinken entwickelt haben, nur die ins quasi Positive gewendeten abwehrenden Zauberriten. Daß man die Gottheit trinkend in sich aufnimmt, ist ein Essential der christlichen Religion, und ihre Gegner sollten, selbst wenn ihnen das Dogmatische daran widerstrebt, wenigstens die anthropologische Tradition nicht außer acht lassen. Um eine Rangordnung tiefer zu steigen, so ist es noch keine Ewigkeit her, daß man Fieberkranken sogenannte Konzeptionszettel zu essen gab, also Papierchen mit der Aufschrift *conceptio immaculata beatae Mariae virginis*. Von der „Heilserwartung“ her ist das nichts anderes, als wenn – in

alten Heldenmären hört man von derlei Atavismen – der Sieger nach gehabtem Kampf das Blut des Besiegten schlürft (am besten gleich aus dessen Hirnschale), um Kraft und Mut des Feindes zu sich herüberzuleiten.

Nun ist ja dankenswerterweise das Alltagsleben zu prosaisch, als daß man es dauernd nach Rudimenten aus unserer Frühzeit abklopfen müßte – wer eine Tasse Tee trinkt, um sich die Winterkälte aus dem Leib zu jagen, der kann nicht gleichzeitig wie ein Schamane hinter sich selbst stehen und das Getränk auf verborgene Zauber ausloten. Die Kräfte, die wir trinkend horten, sind vom Mystischen gleich weit entfernt wie vom Mythischen: Wir finden sie auf dem Etikett nach Art und Milligramm, beim Mineralwasser jedenfalls. Dieser Stoff kämpft sich, obwohl er in seiner Klarheit banal, fast spießerisch wirkt, bei den Deutschen unheimlich nach vorn: Nach Kaffee, Bier, Milch und Erfrischungsgetränken hält er immerhin den fünften Platz; erst in gebührendem Abstand folgen Fruchtsäfte, Tee, Wein und sonstiges Höherprozentiges.

Seinen Feinden schlägt man heutzutage, von Ausnahmen wiederum abgesehen, nicht mehr den Schädel ein; man stellt die Rache den An-



wälten anheim. Insofern ist es um die alte Vermutung, mit bestimmten Getränken nehme man von fremden Wesen dies und das zu sich, schlecht bestellt. Allenfalls bei Wein kann sich der Trinker noch derartige Assoziationen erlauben, dahingehend etwa, daß ihm jeder goldene Schoppen sowohl tellurische Kräfte als auch konzentrierte Sonnenenergie zuföhre, was in der Verbindung auf die schiefe Lebensfreude hinausläuft. Die Weinlieder haben sich dieses Gegenstands bemächtigt und ihn so ausgiebig besungen, daß er als eine Wahrheit gelten darf, die über Panschereien und Glykol-Skandale längst erhaben ist. (Daß bestimmte Fruchtsäfte ebenfalls mit der Fülle südlicher Sonnen für sich werben, ist ihr gutes Recht; worin sie dem Wein jedoch nie werden nahekommen, das ist sein kultischer Rang, von dem noch der letzte Sauerampfer profitiert.)

Die Milch läßt ähnliche Spekulationen schlechterdings nicht aufkommen, und in der Tat haben sich nicht einmal die Veranstalter des alljährlichen „Tages der Milch“ je dazu hinreißen lassen, ihr Produkt in magische Querverbindungen hineinzureden. Sie heben, wie das ihres Amts ist, die Vorzüge des



# Kann Bier mit etwas anderem als Hopfen und Malz aufwarten?

fetten weißen Saftes hervor, seine Tüchtigkeit bei Kindernährung und Erhalt der allgemeinen Gesundheit, seine Verwandlungsfähigkeit in Käse, Butter, Rahm, Joghurt und weiß der Kuckuck was sonst noch. Nie jedoch wäre es einem von ihnen in den Sinn gekommen, die Trinkmilch dadurch herauszustreichen, daß er sie als Essenz und Vehikel des Kuh-Charakters gepriesen hätte. Man

muß das konstatieren, obwohl es vielleicht ein Unrecht an der Kuh ist, deren Milde und Gelassenheit in sich hineinzutrinken, manch einem ganz gut anstünde.

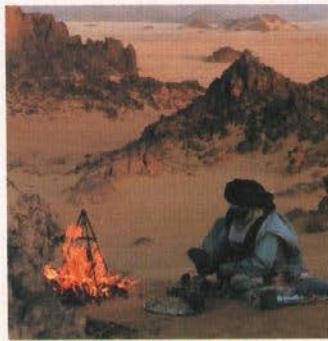
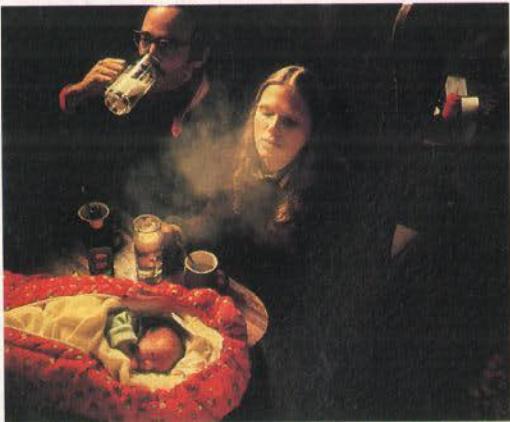
Da der Kaffee, wiewohl der Deutschen beliebtestes Getränk, kaum weniger geheimnislos ist als die Milch, sei nun – letzter Anlauf – noch das Bier gehörig hinterfragt, ob es denn außer mit Hopfen und Malz noch mit etwas ande-

rem, Gewichtigerem, aufwarten kann. Nein, nicht das Reinheitsgebot, kein Wort davon! Was also hat das Bier, daß es den Deutschen so anzieht? Es ist doch eher ein dämpfendes Getränk, das seinen Liebhaber sozusagen ruhigstellt, ein Tranquillizer und Schlafbeförderer wie sonst kaum eines. Das hieße aber, daß eben dieser Deutsche ein zu hochgespanntes und aufgeregtes Menschenwesen wäre, als daß er ohne einen solchen Freund und Nerventrost auskommen könnte, daß er, anders gesagt, die Welt, hielte ihn nicht das Bier nieder, durch ingeniose Umtriebe ständig in Aufregung versetzen würde. Ist er das? Tut er das? Und wenn nein – wozu das Bier?

Vielleicht ist da noch etwas Urtümliches mit im Spiel. Der Anthropologe – letzter Auftritt auch für ihn – kennt einen Potlatsch genannten archaischen Vorgang, bei dem vor den Angehörigen eines anderen Stammes wertvolle Gegenstände entweder vernichtet oder maßlos geschenkt werden – so lange, bis der andere nichts mehr zu vernichten oder zu schenken hat. In primitiven Gesellschaften dient dieses Ritual der Erhaltung oder Wiederherstellung des sozialen Gleichgewichts. Man nimmt an, daß das sogenannte Zutrinken – in ausbündigster Form: das Unter-den-Tisch-Trinken – eine rudimentäre Form des Potlatsch ist, ein in Verbrüderung oder aber irgendwelchen Wüstigkeiten endender Zweikampf des Spendierens und Wegtrinkens.

Dies vor Augen, wollen wir beim nächsten Münchner Oktoberfest das „Oans, zwoa, gsuffa!“ als einen Akt von nicht geringer entwicklungs geschichtlicher Würde feiern.

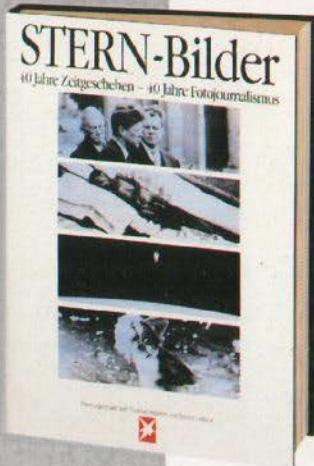
## Mystische und mythische Kräfte, die wir trinkend horten



Hermann Unterstöger, 45, arbeitet als Redakteur und Kommentator im innenpolitischen Ressort der „Süddeutschen Zeitung“ in München.



# Heute schon gebucht?

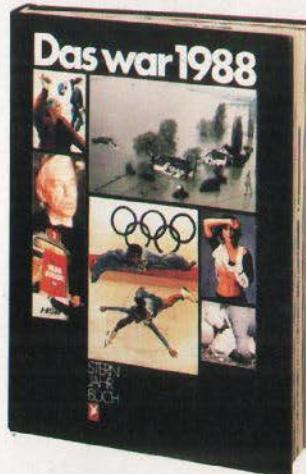


## NEU

**Das Foto als Zeitdokument.** Ein Buch für alle, die sich von der Vergangenheit ein Bild machen wollen, oder den Bildern ihres Lebens wieder begegnen möchten.

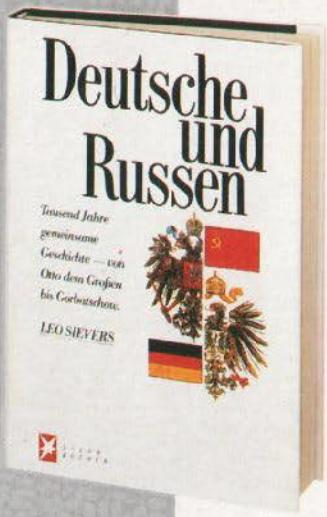
### **STERN-Bilder 40 Jahre Zeitgeschehen - 40 Jahre Fotojournalismus**

Herausgegeben von Thomas Höpker und Robert Lebeck. 320 Seiten mit 400 ein- und mehrfarbigen Fotos, Format 22 x 30 cm, gebunden, DM 54,-



Sichern Sie sich ein Exemplar dieses begehrten Jahrbuches schon jetzt durch Ihre Vorbestellung. Redaktionsschluß ist der 31. Dezember. Etwa 3 Wochen später wird das Buch ausgeliefert.

**Das war 1988**  
STERN-Jahrbuch. 328 Seiten mit mehr als 300 ein- und mehrfarbigen Fotos und einem tabellarischen Überblick. Format 20,5 x 28 cm, gebunden, DM 56,-.



## NEU

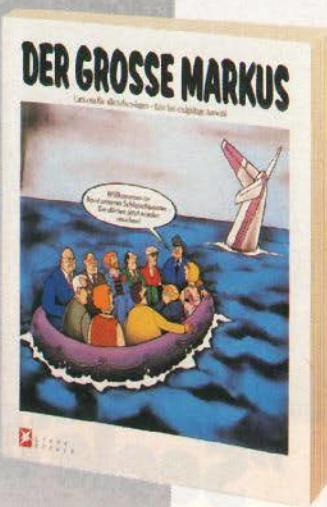
Ein Buch, das im Zeitalter von Glasnost jeder lesen sollte: Die überraschend vielen Gemeinsamkeiten von Deutschen und Russen.

Leo Sievers  
**Deutsche und Russen**  
Tausend Jahre gemeinsame Geschichte – von Otto dem Großen bis Gorbatschow. 336 Seiten mit zahlreichen ein- und mehrfarbigen Abbildungen. Gebunden, DM 42,-



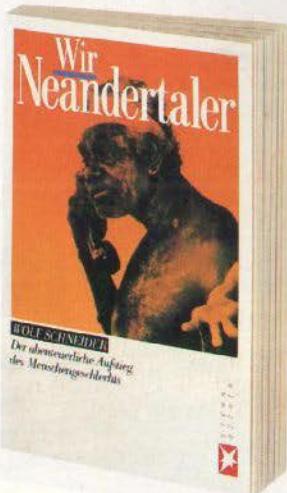
Wer gutes Deutsch liebt, wird von diesem Buch profitieren. Eine vergnügliche Stilkunde für alle, die verständlich und elegant schreiben wollen.

Wolf Schneider  
**Deutsch für Kenner**  
Die neue Stilkunde. 400 Seiten. Leinen, DM 39,80.



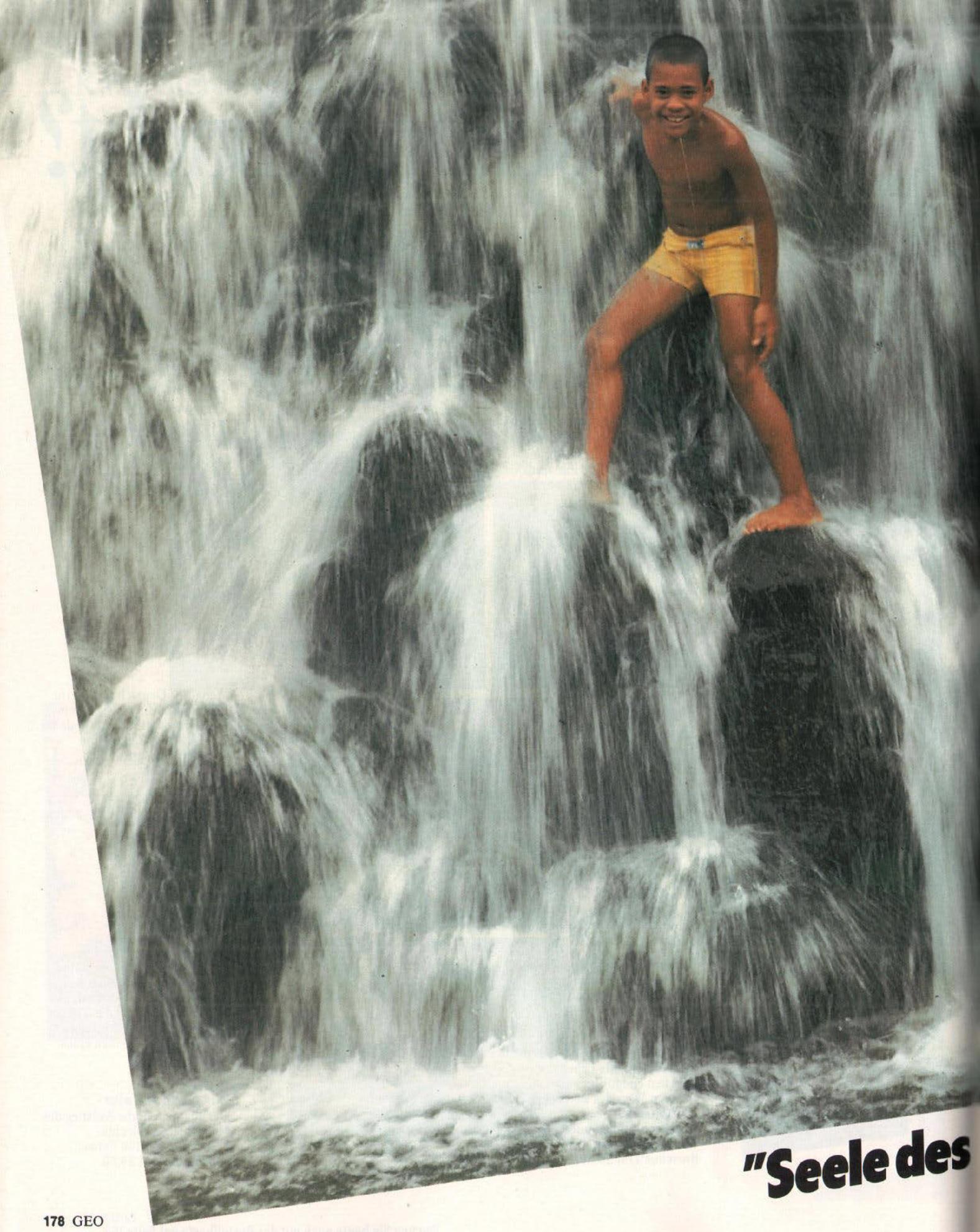
Bissige und humorvolle Cartoons, mit denen Markus seit über 20 Jahren das Zeitgeschehen begleitet.

Markus  
**Der große Markus**  
Cartoons für alle Lebenslagen. Eine fast endgültige Auswahl aus dem Werk des Zeichners. 304 Seiten mit 290 Zeichnungen und einem Vorwort von Henri Nannen. Broschur, DM 29,80.



Wer menschliche Verhaltensweisen besser verstehen will, sollte dieses Buch kennen. Es zeigt, daß wir unter der Tünche unserer guten Erziehung noch immer das Seelenleben eines Raubaffen haben.

Wolf Schneider  
**Wir Neandertaler**  
Der abenteuerliche Aufstieg des Menschengeschlechts. 256 Seiten mit 100 Fotos. Paperback, DM 24,80.



**"Seele des**

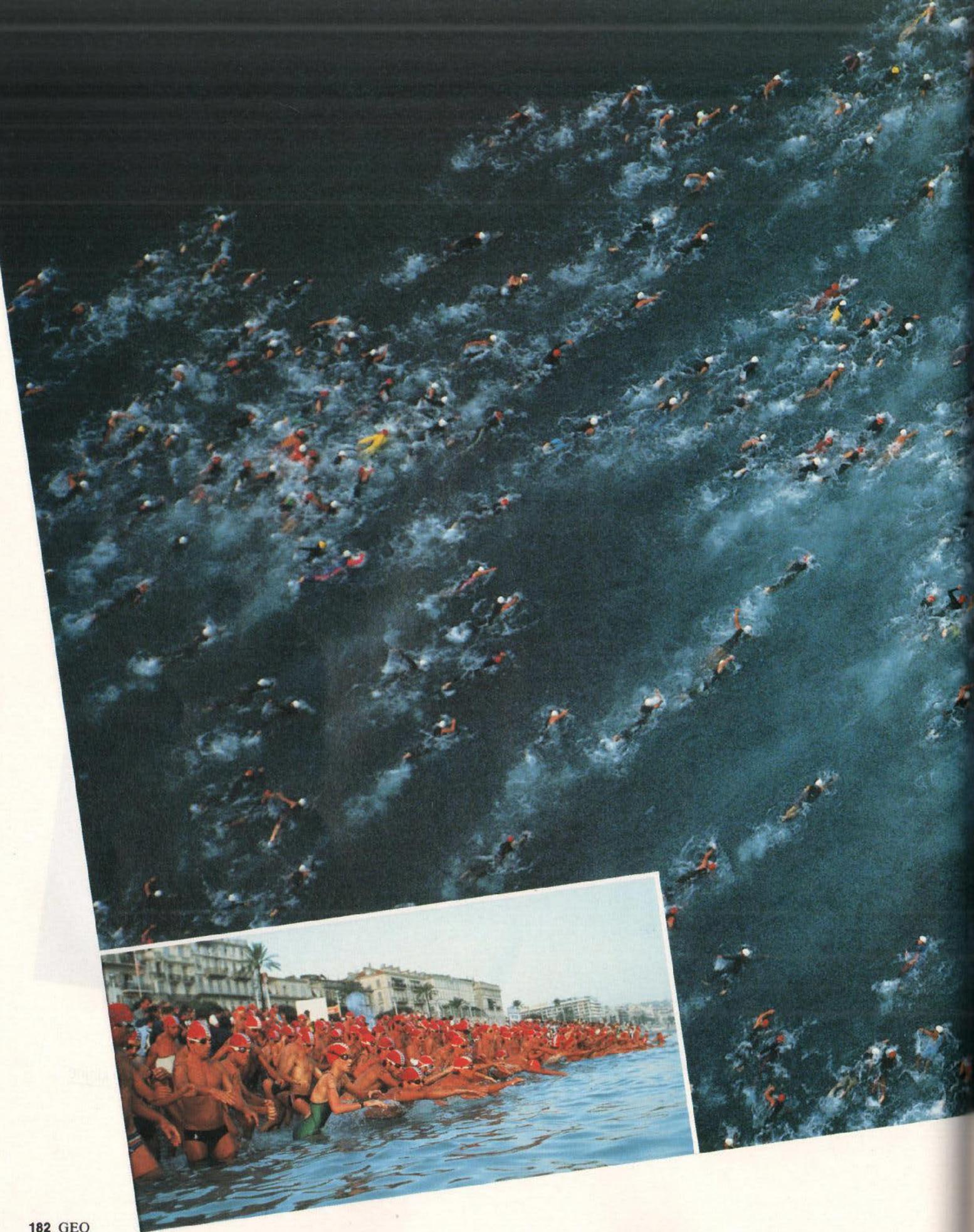
**Menschen, wie gleichst du dem Wasser"**

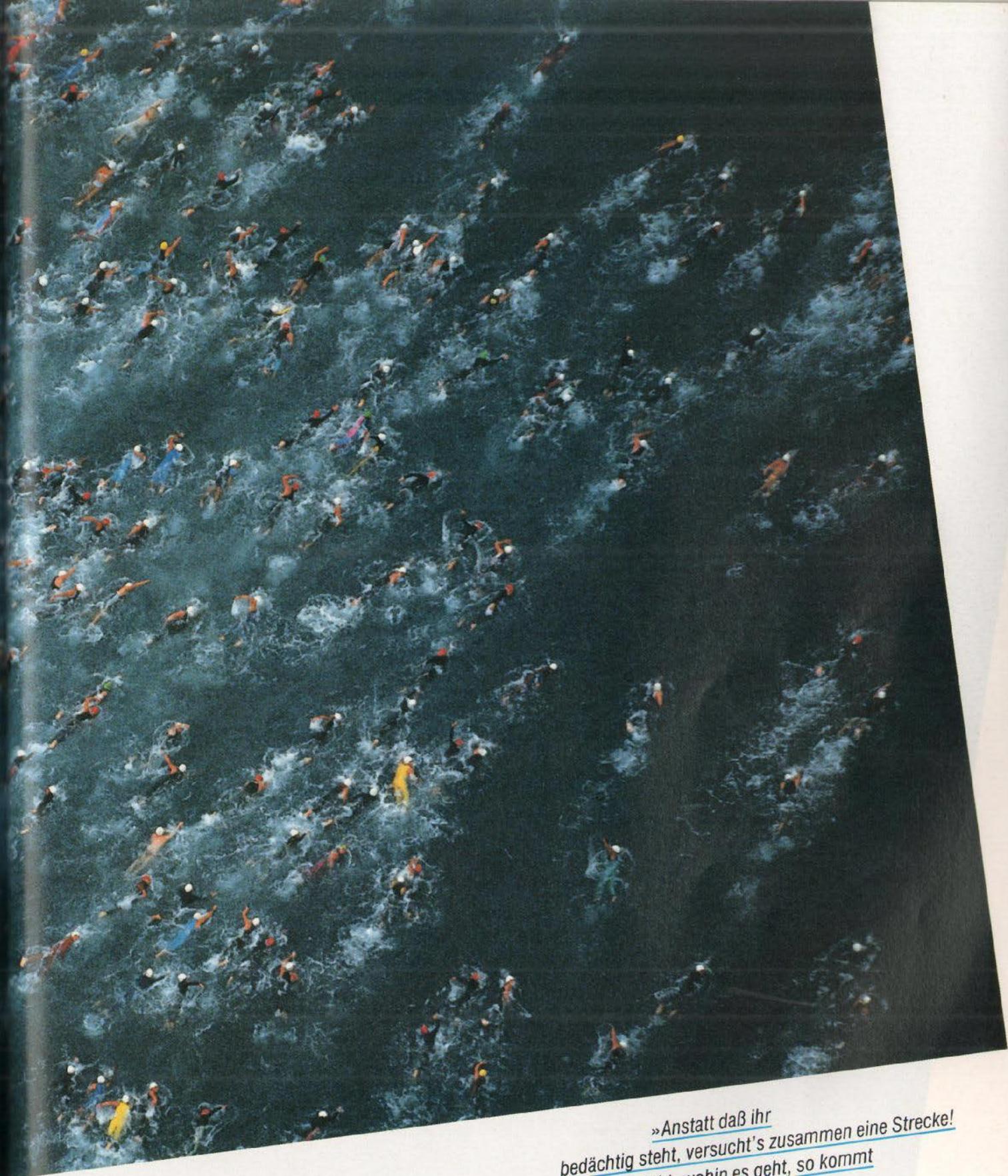
Goethe  
»In dem großen Strudel von Kräften«,  
sagt Friedrich Nietzsche, »steht der Mensch und bildet sich ein,  
jener Strudel sei vernünftig und habe einen  
vernünftigen Zweck: Irrtum!«





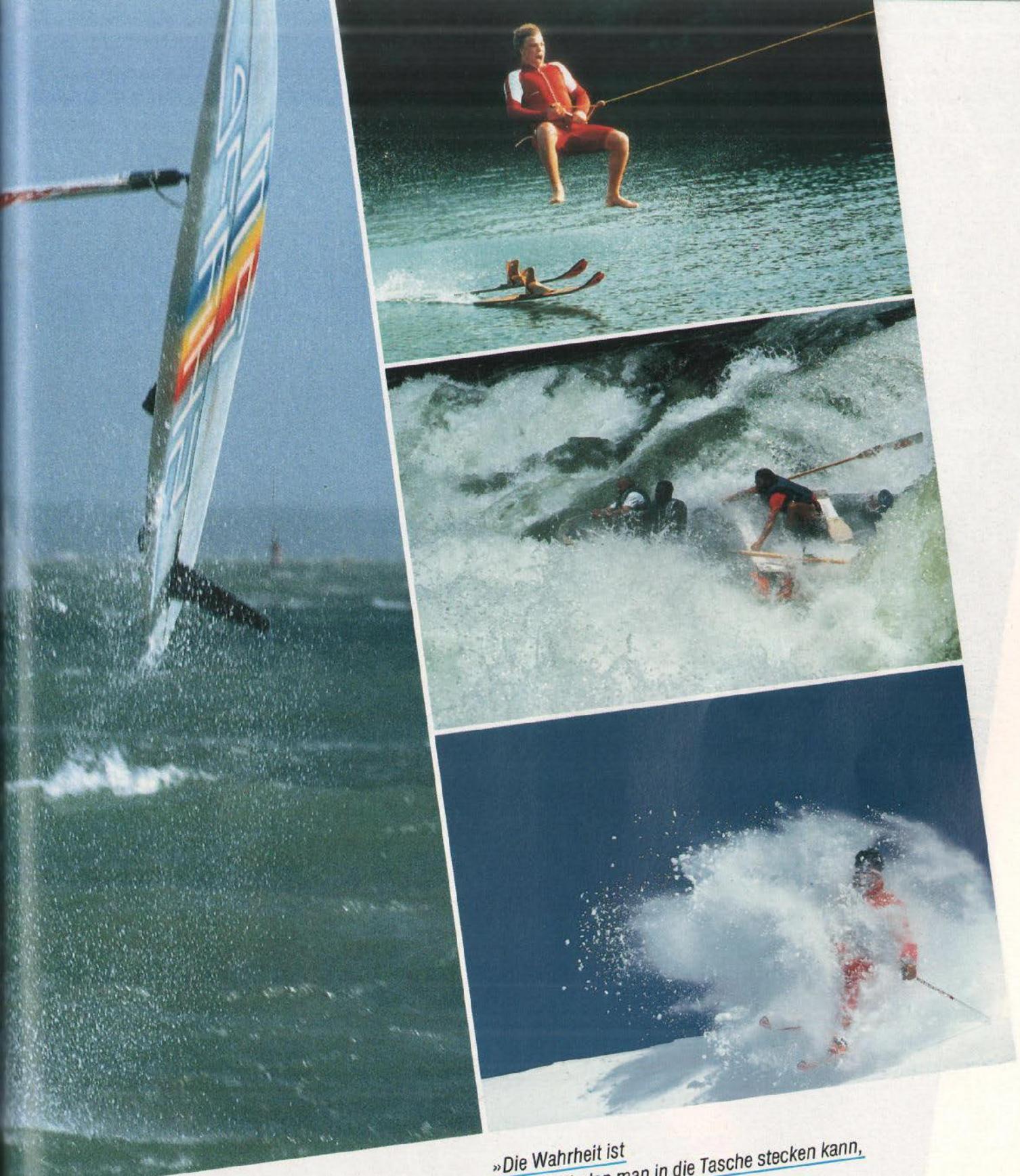
»Der Leib wird  
leicht im Wasser. Wenn der Arm  
leicht aus dem Wasser in den Himmel fällt wiegt ihn der kleine  
Wind vergessen weil er ihn wohl für braunes  
Astwerk hält« Bertolt Brecht



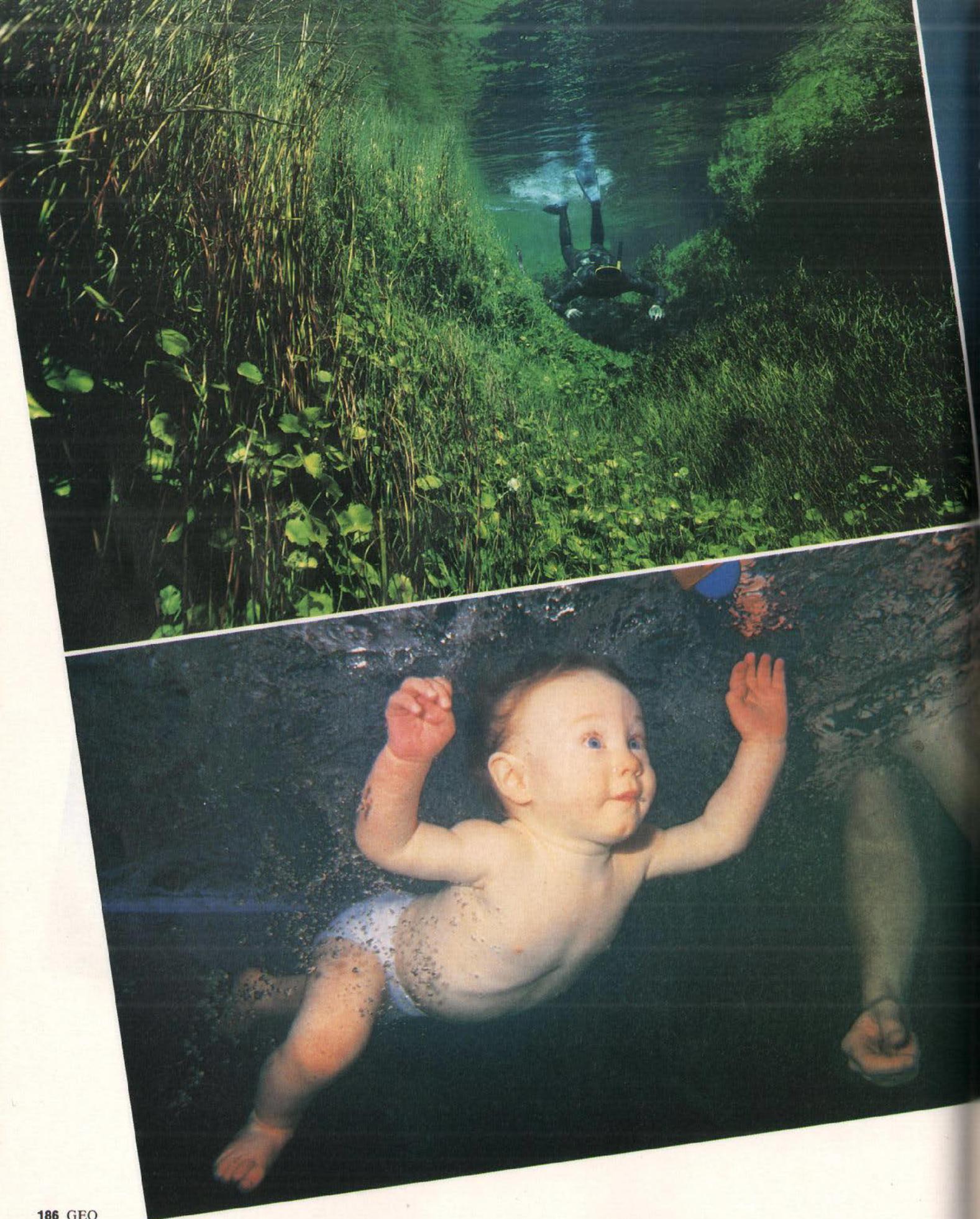


»Anstatt daß ihr  
bedächtig steht, versucht's zusammen eine Strecke!  
Wißt ihr auch nicht, wohin es geht, so kommt  
ihr wenigstens vom Flecke« Goethe





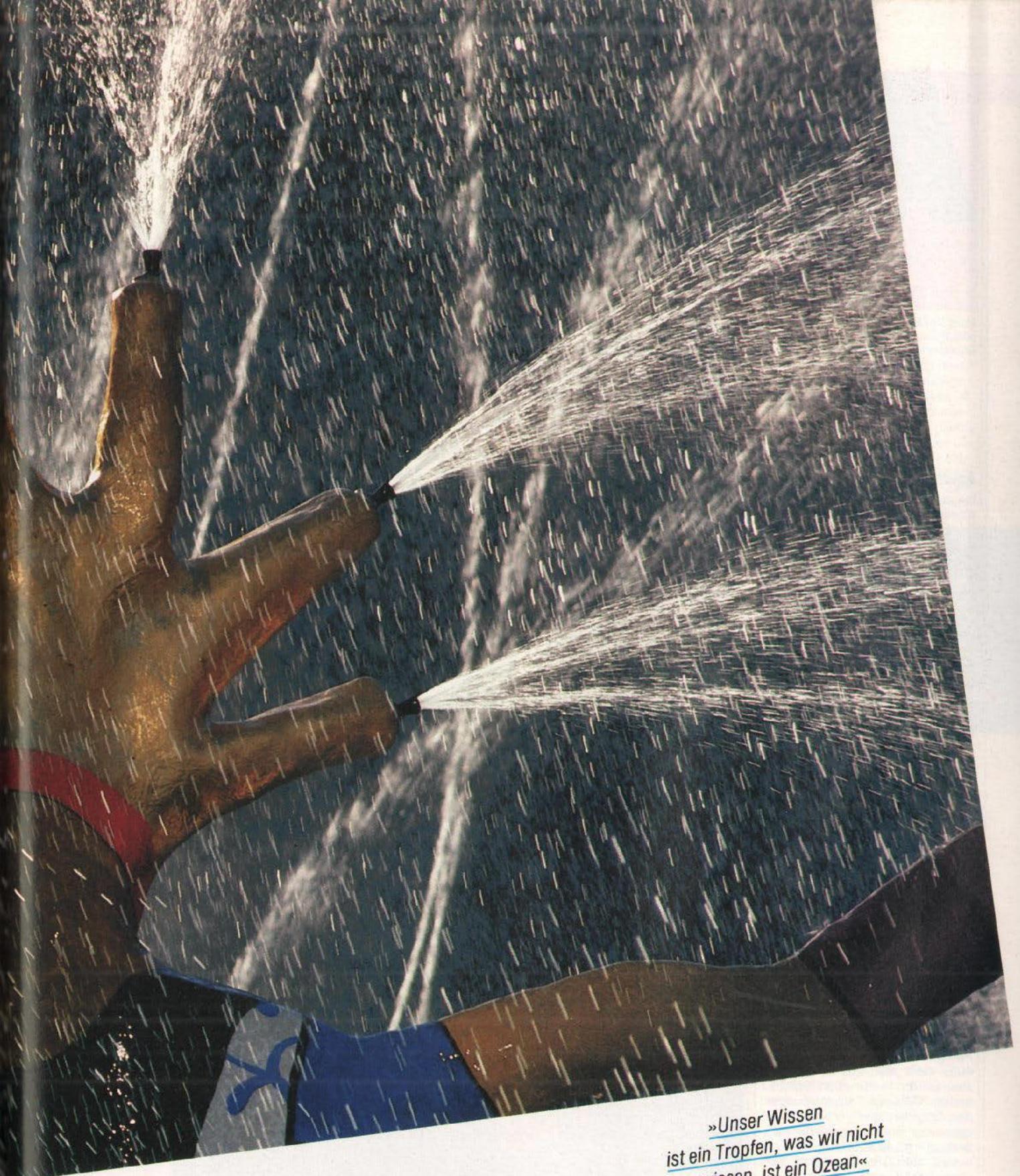
»Die Wahrheit ist  
eben kein Kristall, den man in die Tasche stecken kann,  
sondern eine unendliche Flüssigkeit, in die man  
hineinfällt« Robert Musil





»Doch was sich unter  
Wasser tut, das zu erzähl'n sträubt  
sich die Feder: Es frißt den andern auf ein jeder!  
Je größer so ein Fisch, je kesser!  
Dort tobten Kämpfe bis aufs  
Messer!« Heinz Ehrhardt





»Unser Wissen  
ist ein Tropfen, was wir nicht  
wissen, ist ein Ozean«

Isaac Newton

# A

Kursiv gedruckte Wörter sind Querverweise auf andere Stichworte des Glossars

## Aquädukt

lat. aqua = Wasser, ducere = führen, leiten; Steinbrücken, mit denen im römischen Altertum Wasser bei einem Gefälle von 0,2 bis 0,5 Prozent über Täler hinweggeleitet wurde. Unter den bis heute erhaltenen Aquädukten gilt der dreistöckige Pont du Gard bei Nîmes in Südfrankreich als eines der hervorragendsten Beispiele.

## Artesischer Brunnen

Brunnen, in dem das Wasser selbstständig aufsteigt, weil in der angebohrten Wasserader Überdruck herrscht. Der Name leitet sich von der ehemaligen Grafschaft Artois in Flandern ab, wo vermutlich 1126 der erste Brunnen dieser Art angelegt wurde.

## Bewässerung

Über vier Fünftel des von Menschen verbrauchten Wassers bewässert Felder: 215 Millionen Hektar im Jahre 1981; im Jahr 2000 werden es nach einer Schätzung der UN-Landwirtschaftsorganisation FAO rund 300 Millionen Hektar sein. Bewässerungsprogramme trugen dazu bei, daß 1980 allein in China 46 Prozent mehr Getreide geerntet wurde als zehn Jahre zuvor. Sie führen jedoch auch dazu, daß Böden zunehmend versalzen: Pflanzen nehmen zwar Wasser auf – nicht aber alle darin gelösten Salze. In künstlich bewässerten Gebieten steigt zudem das Grundwasser so hoch, daß es an der Bodenoberfläche verdunstet und eine Salzkruste hinterläßt. Per Drainage kann solchen Schäden vorgebeugt werden. Israel setzt auf die „Tropf-Bewässerung“. Dabei wird der einzelnen Pflanze nur so viel Wasser angeliefert, wie sie aufnehmen kann.

## Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB)

wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Gewässergüte. BSB<sub>5</sub> gibt an, wieviel Sauerstoff Mikroorganismen bei 20 Grad Celsius innerhalb von fünf Tagen verbrauchen, um organische Stoffe im Wasser abzubauen.

## Brackwasser

Wasser, dessen Salzgehalt zwischen dem von Süßwasser und Meerwasser liegt. Wo ein Fluß ins Meer mündet, vermischt sich das nahezu salzlose Süßwasser mit dem schwereren Salzwasser. Auch Binnenseen können verbracken, wenn sie mehr Wasser verdunsten als sie erhalten oder darunterliegende Bodenschichten viel Salz enthalten. Der sowjetische Aralsee beispielsweise war 1960 mit 68 000 Quadratkilometern mehr als hundertmal so groß wie der Bodensee. Heute ist er um mehr als ein Drittel geschrumpft, weil aus seinen Zuflüssen Amu Darja und Syr Darja jährlich rund 100 Milliarden Kubikmeter Wasser für Bewässerungszwecke abgezapft werden. Der Salzgehalt des Wassers hat sich seither mehr als verdoppelt – auf 27 Gramm pro Liter.

## Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKWs)

Kohlenwasserstoffe, bei denen ein oder mehrere Wasserstoffatome durch Chlor-Atome er-

setzt sind: Zu ihnen zählen die Lösungsmittel Trichlor- und Perchlorethylen, die vor allem zur Entfettung von Werkstücken aus Metall und Glas benutzt werden. Auch viele Pestizide und polychlorierte Biphenyle (PCB), die in Transformatoren als Kühl- und Isolierflüssigkeit dienen, sind CKWs. Bei der Verbrennung von CKW-haltigem Müll kann das Seveso-Gift Dioxin entstehen. Viele CKWs sind schwer abbaubar und gelangen in Trinkwasser und Lebensmittel. Fettlösliche CKWs reichern sich im Fettgewebe und in Muttermilch an. Viele CKWs gelten als Krebsauslöser.

## Chlorung

Chlorgas oder Chlordioxid töten bei der Aufbereitung von Trinkwasser Krankheitskeime ab. Bei Wasser aus Flüssen, Seen und Talsperren, aus denen knapp ein Drittel des Trinkwassers gewonnen wird, ist diese Desinfektion unbedingt notwendig. Über die Hälfte der Wasserwerke in der Bundesrepublik kommt hingegen ohne Entkeimungsverfahren aus. Chlor kann sich im Wasser mit organischen Substanzen zu chlorierten Kohlenwasserstoffen verbinden.

## Dampf

Wasserdampf ist gasförmiges Wasser und unsichtbar. Was hingegen die meisten Menschen für Dampf halten, ist Nebel: winzige, feinstverteilte Wassertropfen.



Ein „Dampf“-Bad in Budapest

## Entsalzung

kann Salzwasser in Trinkwasser verwandeln. Gängige Verfahren sind die „Vielstufige Entspannungsverdampfung“ und die „Umkehr-Osmose“. Bei der ersten Methode wird Meerwasser mit einem durchschnittlichen Salzgehalt von 3,5 Prozent über ein Kammsystem geleitet und dabei auf bis zu 120 Grad Celsius erhitzt. Der so gewonnene Dampf wird anschließend wieder abgekühlt, das aufgefangene Kondensat mit Mineralien zu Trinkwasser „verschnitten“. Bei dieser Technik läßt sich aus zehn Liter Meer-



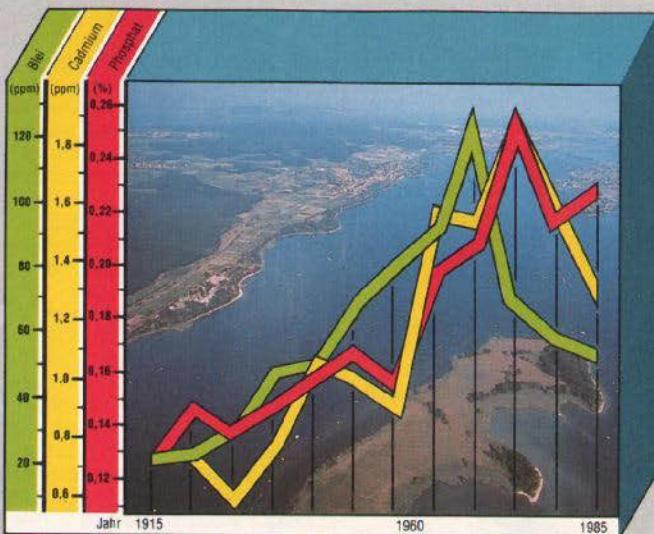
Die „Central Pivot Irrigation“ des Navajo-Reservats in der Wüste von Arizona/USA bewässert gegenwärtig 23 000 Hektar Land. Geplant sind über 44 000 Hektar. Damit wäre dieses Bewässerungsprojekt eines der größten der Erde

## BODENSEE Stumme Zeugen aus der Tiefe

**Z**wischen den vielen bunten Booten fällt sie kaum auf, die kleine „MS Pirat“. Mit abgestellter Maschine dämpft die Barkasse 250 Meter über dem tiefsten Grund des Bodensees. Ein schwernes Gerät, von der Mannschaft über Bord gehievt, gleitet am Stahlseil ins Wasser.

Die Arbeitsgruppe der Universität Heidelberg erforscht die chemische Geschichte unserer Gewässer. Unter der Leitung des Sedimentologen German Müller hat das Team in den letzten 20 Jahren rekonstruiert, was die Menschen seit Beginn der Industrialisierung wann in die Luft geblasen oder in die Flüsse gespült haben: gefährliche Schwermetalle wie

als Unter-Wasser-Giftmülldeponie. Gleichwohl blieb das Wasser im „Schwäbischen Meer“ so sauber wie in kaum einem anderen deutschen Binnengewässer. Denn all die gefährlichen Substanzen ruhen in einer „geochemischen Senke“. So nennt German Müller die feinkörnige Tonfraktion, die in sicherer Tiefe die Giftstoffe beherbergt: Schwermetalle und andere Schadstoffe binden sich an feine Schwebeteilchen – bevorzugt Tonpartikel von weniger als zwei Tausendstelmillimeter Größe – und sinken mit ihnen auf den Grund. Die Untersuchungen ergaben, daß einzelne Schwermetalle schon etwa von 1870 an über die natürliche



Cadmium, Quecksilber und Blei, hochtoxische Pflanzenschutzmittel wie DDT und Lindan oder giftige polychlorierte Biphenyle (PCB). Die Forscher können dabei auf zuverlässige Aufzeichnungen der Natur zurückgreifen – zylinderförmige Proben von schwarzem, faulig stinkendem Schlamm, der in jeder seiner Schichten die Umweltsünden der Vergangenheit gespeichert hat. Schon 1975 zog Müller mit seinem Schlammstecker solche Proben. Im Labor entlarvten die Schlammzylinder den Grund des Bodensees

Schwelle – den „geochemischen Hintergrund“ – angestiegen sind. Die höchsten Konzentrationen von Schwermetallen, vor allem Blei und Cadmium, mußte der Bodensee vor rund zwei Jahrzehnten verkraften. „Schlimm waren die gemütlichen Kohleöfen, die so schön qualmen“, erklärt German Müller. Tatsächlich belastet kaum ein anderer Energieträger die Umwelt mit so vielen Schwermetallen wie Kohle. Unvollständig verbrannt und als Flugasche in alle Winde zerstreut, sammeln die Verbrennungsrück-

stände sich letztlich in Seen oder im Meer. Doch Kohleöfen haben hierzulande nahezu ausgedient, ebenso wie die rußenden Dampflokomotiven. Auch trugen die deutschen Kraftwerke durch Elektrofilter dazu bei, daß nur noch ein Bruchteil der in den sechziger Jahren produzierten Staub- und damit auch Schwermetallmenge durch die Schloten entweicht.

Die Sedimente des Jahres 1985 liefern den Beweis für das, was sich 1975 schon angedeutet hatte: Die Schadstoffkonzentrationen gehen zurück (siehe Grafik). Müller wertet dies als ein Zeichen wachsenden Umweltbewußtseins.

Das „Schwäbische Meer“ – mit einer jährlichen Entnahme von 125 Millionen Kubikmetern wichtigster Trinkwasserlieferant Südwesterdeutschlands – blieb vom Schicksal deutscher Flüsse verschont. „Heute hat der Bodensee wieder eine Wasserqualität wie vor 40 oder 50 Jahren“, bewertet German Müller seine Sedimentproben.

Doch den Wissenschaftler plagt mittlerweile eine andere Sorge: Phosphat, das zusammen mit Nitrat das Wachstum der Wasseralgen beschleunigt. Obwohl die Waschmittelindustrie das Phosphat ihrer Produkte inzwischen weitgehend ersetzt und die Gemeinden rund um den Bodensee ihre Kläranlagen um eine Phosphat-Fällungsstufe erweitert haben, ist von einer Phosphat-Abnahme im Sediment kaum etwas zu sehen. Müller kennt die Ursachen: Phosphor, der als Dünger in der Landwirtschaft verwendet wird, reagiert im Boden zu Aluminium- und Eisenphosphat, wird abgeschwemmt und endlich am Grund des Sees abgeladen.

Auf den Phosphatgehalt im Wasser haben die Metallphosphate zunächst keinen Einfluß. „Wenn aber das Phosphat-Gleichgewicht zwischen Sediment und Wasser gestört wird, dann wird die Senke zur Quelle“, warnt der Professor. So kann es zu einer Reaktivierung der gebundenen Phosphate kommen – besonders dann, wenn Wellengang oder Strömung den Schlamm aufwirbeln. Solche „sekundäre Überdüngung“ haben Fachleute in Nord- und Ostsee sowie in vielen deutschen Flüssen beobachtet. Im Bodensee verzögern diese Effekte im Flachwasser des Untersees und in den Uferzonen den ökologischen Genesungsprozeß. Martin Boeckh

wasser ein Liter Destillat gewinnen, wobei acht Liter als Kühlwasser verbraucht werden. Die größte Anlage dieser Art arbeitet zur Zeit im saudi-arabischen Jubail: Sie besteht aus 40 Einheiten mit einer Tageskapazität von je 25 000 Kubikmeter.

Bei der zweiten Entsalzungsmethode wird Meerwasser unter einem Druck von 60 bis 100 bar gesetzt. Über eine osmotische Membran treten Wassermoleküle in einen Nachbarbehälter über, während Meersalze zurückgehalten werden. Die Ausbeute ist höher als bei der Entspannungsverdampfung: Zehn Liter Seewasser ergeben zwei bis vier Liter Trinkwasser. Die größte Anlage mit einer Tageskapazität von 57 000 Kubikmeter wird zur Zeit in Dschidda gebaut. Die kleinste



Entsalzungsanlage in Dschidda

Anlage erzeugt hingegen nur ein paar – freilich überlebenswichtige – Liter pro Minute: An Bord von Rettungsinseln kann das pedalgetriebene Umkehr-Osmose-System „Pedro“, entwickelt vom GKSS-Forschungszentrum in Geesthacht, Schiffbrüchige vor dem Verdurstenden bewahren. Die Umkehr-Osmose verbraucht mit 5 bis 7 Kilowattstunden pro Kubikmeter Trinkwasser relativ wenig Energie. Die Entspannungsverdampfung benötigt für die gleiche Menge mindestens 45 Kilowattstunden thermische Energie. Von beiden Verfahren verkaufte die Industrie weltweit bislang etwa 5000 Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 12 Millionen Kubikmeter pro Tag für 50 Milliarden Mark. Ihr jährliches Auftragsvolumen liegt schätzungsweise bei zwei Milliarden Mark. Für den kleinen Bedarf läßt sich Trinkwasser auch billiger gewinnen: etwa mit Sonnenenergie. Bei solchen Anlagen verdampft eingefangene Sonnenwärme Salzwasser im Innern eines Treibhauses. Das von Dach und Wänden her-

ablaufende Kondensat wird gesammelt. In Israel produzieren Salzwasser-Gewächshäuser auf diese Weise schon seit Jahren ihren eigenen Süßwasserbedarf.

### Eutrophierung

griech. *eutrophia* = Wohlge-nährtheit; die Überlastung eines Gewässers mit Nährstoffen begünstigt das Wachstum von Algen. Natürliche Eutrophierung wird durch Laub und eingeschwemmte Erde hervorgerufen. Kunstdünger, Gülle und Abwasser beschleunigen den Prozeß. Wenn die Algen abgestorben sind, werden sie von Mikroorganismen zersetzt, die den Sauerstoff des Gewässers aufzehren.

### Filter

Immer mehr Verbraucher gießen ihr Leitungswasser durch Filter, die aus Kombinationen verschiedener Wirkstoffe bestehen: Ionenaustauscher und Aktivkoh-



**Sichtbare Zeichen der Eutrophierung:** Im Sommer bedecken ausgedehnte Teppiche aus von Wellen geschlagenem Algen-Eiweiß die Nordsee-strände. Fische erstickten in der dreckigen und sauerstoffarmen Brühe überlasteter Seen

le binden Kalzium- oder Magnesium-Ionen – und verringern so die Wasserhärte –, ferner Blei, Chlor und organische Verbindungen. Manche Filter halten auch Nitrat-Ionen fest, die im Wasser privater Brunnen in hohen Konzentrationen vorkommen können. Die Aktivkohle birgt zwei Gefahren: Die adsorbierten organischen Stoffe sind Nährböden für Keime, die das Wasser verseuchen können. Zudem wandern die in der Aktivkohle angereicherten Stoffe ins Wasser zurück, wenn der Filter zu lange in Gebrauch und daher überladen ist.

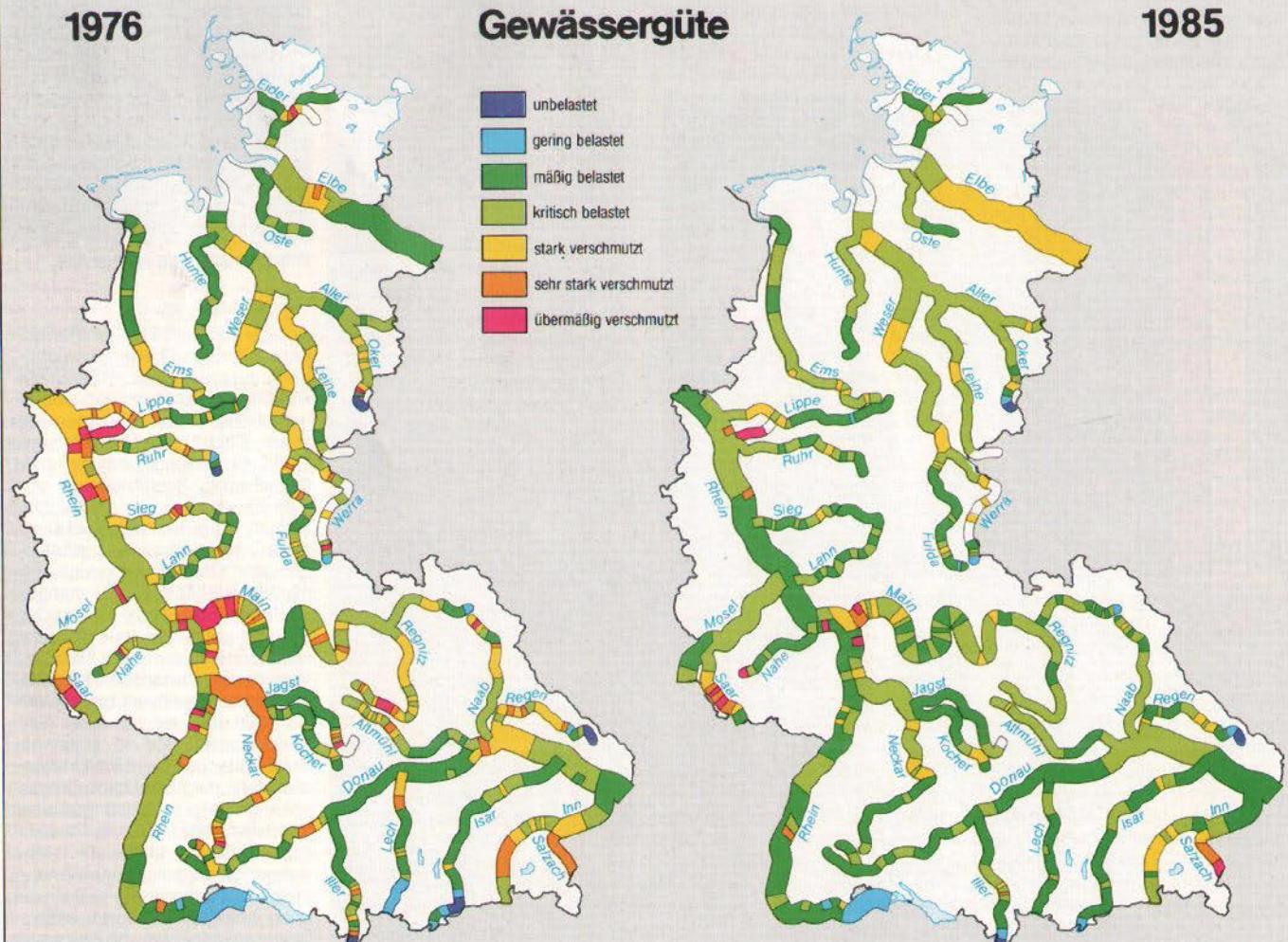
### Flächenversiegelung

Mehr als ein Achtel des Bodens der Bundesrepublik liegt unter Asphalt und Beton begraben. Jeden Tag kommen etwa 120 Hektar Straßen, Parkplätze, Wohnhäuser und Industrieanlagen hinzu – eine Fläche so groß wie 160 Fußballfelder. Die Folge: Niederschläge können nicht mehr im Boden versickern und das

1976

### Gewässergüte

1985



GEO-Grafik

Quelle: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser

Grundwasser auffüllen; der Dreck, den das Wasser von den Straßen spült, fließt teilweise ungeklärt in die Vorfluter. Auch das Stadtclima ändert sich: In München, das mit 56 Prozent bebauter Fläche den Versiegelungsrekord der Bundesrepublik hält, ist die Luftfeuchtigkeit zwei bis acht Prozent geringer als im Umland, weil Regenwasser in die Kanalisation fließt statt zu verdunsten. Zwischen der hochversiegelten Innenstadt und den grüneren Randgebieten herrschen Temperaturunterschiede bis zu acht Grad Celsius.

### Fluoridierung

Etwa 250 Millionen Menschen auf der Erde trinken Wasser, dem Fluoride beigemengt wurden – Salze der Flußsäure. Die Natrium- und Zinnfluoride, Fluorophosphate und Fluorosilikate sollen Karies verhindern. Fluorid-Ionen werden während der kindlichen Entwicklung in den Zahnschmelz eingebaut. Hydroxyapatit – Hauptbestandteil des Zahnschmelzes – wird dabei in den härteren Fluorapatit umgewandelt. Diese Verbindung widersteht besser als der wenig kariesresistente Hydroxyapatit den Säuren, die Kariesbakterien aus Kohlenhydraten wie Zucker bilden. Zudem glauben Zahnmediziner, daß Fluorid-Ionen schon die Bildung dieser Säuren hemmen. In hohen Konzentrationen kann Fluorid allerdings schädlich sein: Der Zahnschmelz wird trüb wie Kreide und die Zähne nutzen rascher ab. In schweren Fällen wird das ganze Knochengerüst in Mitleidenschaft gezogen. Zudem spricht gegen eine Fluoridierung des Trinkwassers, daß über 99 Prozent des Fluorids mit den Abwässern in die Umwelt gelangen. In der Bundesrepublik und den meisten europäischen Staaten haben sich deshalb die Gegner der Fluoridierung durchgesetzt, obwohl die Weltgesundheitsorganisation einen mäßigen Fluoridzusatz im Trinkwasser empfiehlt. Für die individuelle Kariesvorsorge raten Zahnärzte zu fluoridhaltigen Zahnpflegemitteln oder Mineralwässern, zur Umstellung der Ernährung und zu häufigem Zähneputzen.

### Gewässergüte

Deutschlands Flüsse haben teilweise die Farbe gewechselt (siehe Graphik). Noch 1976 floß das Abwasser von mehr als der Hälfte aller Bundesbürger ohne biologische Klärung in Bäche und Flüsse. Heute sind drei Viertel aller Haushalte und alle großen Chemiewerke an Kläranlagen mit biologischer Abbaustufe angelassen.



Läuft jeweils bei Neu- und Vollmond in die Amazonas-Mündung: die Gezeitewelle »Pororoca«

Fließgewässer werden in sieben Güteklassen eingeteilt: In einem überdüngten Fluß oder Bach der Klasse III bis IV herrschen Zuckmückenlarven, Schlammwürmer, Algen und Mikroorganismen vor. Das Wasser enthält wenig Sauerstoff und am Boden fehlt er ganz. Zur Klasse II gehört ein Gewässer, wenn sich darin auch Pflanzen und Fische behaupten können. Die Klasse I erreichen nur nährstoffarme und sauerstoffreiche Quellen und sehr gering belastete Oberläufe.

Die Güteklassen berücksichtigen nicht, ob biologisch abbaubare Substanzen ganz oder nur teilweise von Mikroorganismen abgebaut werden. Giftige Rückstände der Stoffe verhindern den Aufstieg in eine höhere Klasse keineswegs. Radioisotope und Schwermetalle bleiben bei der Bewertung ebenfalls unberücksichtigt. Daher können auch in einem Fluss der höchsten Güteklaße etwa Abbauprodukte von Pestiziden vorkommen, und das Sediment kann voller Blei und Cadmium stecken.

### Gezeiten

das als Ebbe und Flut bezeichneten Fallen und Steigen des Meeresspiegels. Im Gegensatz zu winderzeugten Wellen entstehen Gezeitenwellen dadurch, daß die Fliehkraft der Erde mit den Anziehungskräften zwischen Erde, Mond und Sonne zusammenwirkt. Dabei ist die Kraft des Mondes rund zweimal so groß wie die der fernen Sonne. Zudem beeinflussen die Reibung der Wassermassen mit dem Meeresgrund, die Corioliskraft, die Form der Meeresbecken, des Meeresbodens und der Küsten die Gezeiten. Eine Tide, das Steigen und Fallen von einem Niedrigwasser bis zum folgenden, kann unter-

schiedlich lange dauern – an den meisten Küsten etwa zwölf Stunden und 25 Minuten. Den weltweit größten Tidenhub von 17 Metern erreicht das Meer in der Fundy Bay an der Ostküste Kanadas.

### Grenzwerte

Ein Liter Trinkwasser darf in der Bundesrepublik Deutschland maximal enthalten (Angaben in Milligramm in Klammern): Arsen (0,04); Blei (0,04); Cadmium (0,005); Chrom (0,05); Cyanid (0,05); Fluorid (1,5); Nickel (0,05); Nitrat (50); Nitrit (0,1); Quecksilber (0,001); polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (0,0002); 1,1,1-Trichlorethan (0,025); Trichlorethylen (0,025); Tetrachlorethylen (0,025); Dichlormethan (0,025); Tetrachlorkohlenstoff (0,003); ein Pestizid oder dessen toxische Hauptabbauprodukte (0,0001)\*; Gesamt-Pestizide und deren toxische Hauptabbauprodukte (0,0005)\*; Gesamtmenge an polychlorierten, polybromierten Biphenylen und Terphenylen (0,0005)\*; Aluminium (0,2); Ammonium (0,5)\*\*; Eisen (0,2)\*\*\*;

Kalium (12)\*\*; Magnesium (50)\*\*; Mangan (0,05); Natrium (150); Silber (0,01)\*\*\*; Sulfat (240)\*\*; Tenside (0,2).

Wird ein Grenzwert überschritten, kann das betroffene Wasserwerk eine zeitlich befristete Ausnahmegehmigung beantragen. Das Wasserwerk muß den Brunnenschließen, wenn der Fehler nach Ablauf der Frist nicht behoben ist.

\* ab Oktober 1989 gültig

\*\* Ausnahmen möglich, wenn die Konzentration natürlicherweise erhöht ist

\*\*\* Ausnahmen möglich, wenn die Konzentration durch das Aufbereitungsverfahren erhöht ist.

### Grundwasser

besteht – im Gegensatz zum Oberflächenwasser der Bäche, Flüsse, Seen und Teiche – aus unterirdischen Wasservorkommen. Es entsteht durch Versickerung von Niederschlägen. Das dabei gereinigte Wasser durchdringt Poren, Haarrisse, Klüfte und Spalten des Bodens und sammelt sich in einem „Grundwasserleiter“ über einer wasserundurchlässigen Sohle. Weil die Feuchtigkeit durch die Kapillarität in Bodenporen nach oben steigt, ist Grundwasser für Pflanzenwurzeln auch dann noch verfügbar, wenn es einen Meter unter einer Wiese, zwei bis drei Meter unter einem Acker oder drei bis sechs Meter unter Wald steht. Vielerorts ist der Grundwasserspiegel dramatisch gesunken. Ursachen sind Bergbau, Flächenversiegelung, Flußbegradigungen und die exzessive Grundwassergewinnung von Wasserwerken.



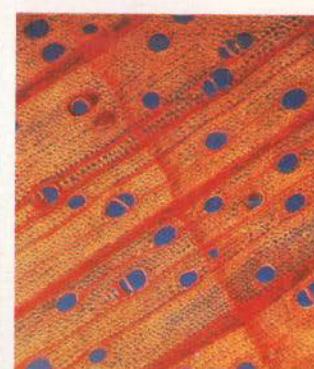
Bade- und Trinkkur im 16. Jh.

### Heilwasser

Mineralwasser bestimmter Zusammensetzung, das als Arznei gilt und nach dessen Definition „Krankheiten, Leiden oder krankhafte Beschwerden heilen, lindern oder verhüten“ kann.

### Kapillarität

lat. *capillus* = Haar; Verhalten von Flüssigkeiten in sehr engen Haargefäßen (Kapillaren), Spalten oder Poren. Kapillare Phänomene sind der Aufstieg von Wasser in Bodenporen oder den Gefäßen eines Baumes.



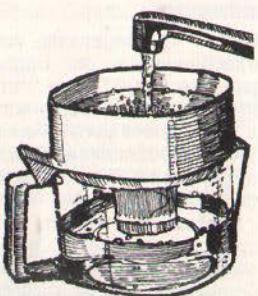
Leitungsgänge in Holz

**Wenn der Boden  
als Filter versagt,**

# CRYSTAL

Nitrat-Wasserfilter.

**Garantierte Filterleistung  
für Nitrat, Cadmium,  
Chrom, Blei,  
Quecksilber,  
Nickel,  
Aluminium,  
sowie Entkalkung.**



Beratung: Brompton GmbH 8137 Berg 4  
Apotheken-Zentral-Nr. 328394 9



Hans Mönninghoff  
**Wasserversorgung im Haus**  
1988, 120 S. v. Abb. DM 24,80



Häfele, Oed, Sabel  
**Althauserneuerung**  
1988, 226 S. v. Abb. DM 39,80

Ausführliches Gesamtprogramm kostenlos anfordern.

**ökobuch**  
Postfach 1126 7813 Staufen

MEERES-  
VERSCHMUTZUNG

## Drei bedrohliche Bilanzen

### Hydrographie



### Nordsee

Die Nordsee ist ein flaches, zum Nord-Atlantik hin weit geöffnetes Schelfmeer. Eine ringförmige Strömung fließt gegen den Uhrzeigersinn vor England nach Süden, an der holländischen, deutschen und dänischen Küste vorbei bis in das Skagerrak und den Atlantik. Sechs Monate braucht die nördliche Nordsee für einen kompletten Wasseraustausch. In der Deutschen Bucht tauscht sich das Wasser erst nach drei Jahren aus. Dort sammeln sich deshalb vermehrt Schadstoffe an



### Ostsee

Die Ostsee ist ein weitgehend abgeschlossenes Nebenmeer. Schwellen und Rinnen verleihen dem Meeresboden ein ausgeprägtes Relief. Der Unterschied im Salzgehalt zwischen dem aus der Nordsee einfließenden Tiefen- und dem süßerem Oberflächenwasser bewirkt eine stabile Schichtung. Da der Meeresgrund nur selten Zufluss von sauerstoffreichem Oberflächenwasser erhält, entstehen in den Rinnen sauerstoffarme Zonen



### Mittelmeer

Das Mittelmeer ist ein eigenständiges Binnenmeer. Von den Küsten fällt der Meeresboden steil bis auf maximal fünf Kilometer Tiefe ab. Ein kompletter Austausch mit dem Atlantikwasser braucht 80 bis 100 Jahre. Vertikale Strömungen sind nur gering. Abgesunkene Schadstoffe bleiben deshalb am Meeresgrund. Die biologische Produktion beschränkt sich im wesentlichen auf die schmale Küstenzone

### Belastung

Bis zu 50 000 Tonnen Schwermetalle gelangen jährlich in die Nordsee, dazu 100 000 Tonnen Phosphat, 1,5 Millionen Tonnen Nitrat und 150 000 Tonnen Öl. Die Abfallstoffe folgen der Ringströmung. Im Wattenmeer werden sie lange Zeit zurückgehalten. Im nördlichen Skagerrak sinkt ein Teil der Schadstoffe bis auf den Grund der 800 Meter tiefen norwegischen Rinne und häuft sich dort an. Auch die zentrale Nordsee ist stark belastet, vermutlich durch Einleiter aus Großbritannien. Die Gifte reichern sich vor allem im Körper von Tieren an, die – wie Robben – am Ende der Nahrungskette stehen, und schwächen deren Immunsystem

Algenblüten, hervorgerufen durch 70 000 Tonnen Phosphat und eine Million Tonnen Nitrat jährlich, sind das Hauptproblem der Ostsee. Seit 1981 treten regional auch Giftdalgenblüten häufiger auf. Es wurden fünf- bis zehnmal mehr Cadmium, Kupfer und Nickel nachgewiesen als im Nordatlantik. Polychlorierte Biphenyle bewirken wahrscheinlich die geringe Fortpflanzungsrate der Robben. Der ohnehin kleine Bestand der Ostseerobben ist durch die Viren-Infektion im Sommer 1988 akut gefährdet

### Politik

Die Anrainerstaaten beschlossen im November 1987 auf der Zweiten Nordseeschutzkonferenz in London, die Verbrennung giftiger Chemierückstände bis 1994 einzustellen. Die Einleitung gefährlicher Substanzen, wie Schwermetalle und halogenierte Kohlenwasserstoffe, soll bis 1995 auf die Hälfte des Standes von 1985 verringert werden. Die Internationale Schifffahrtsorganisation bestimmte kürzlich, daß Schiffsbesatzungen ihre Abfälle nicht mehr über Bord kippen dürfen

Die Ostsee-Anrainerstaaten schlossen 1974 das »Helsinki-Abkommen«, das 1980 in Kraft trat. Es erklärt die Ostsee zum Sondergebiet und enthält strenge Auflagen für Seeschiffahrt und Bohrseln. Abfälle dürfen nicht mehr in die See abgelassen werden. In den nächsten Jahren wollen die Vertragspartner die Abwassereinleitung in die Ostsee drastisch reduzieren

Zur 1975 gegründeten Organisation »Plan of Action for the Protection and Development of the Mediterranean Region« (PAM) gehören alle Anrainerstaaten außer Albanien. Sie unterhält 100 Forschungsstationen mit 400 Wissenschaftlern. 1985 unterzeichneten die Mitglieder das »Protokoll von Genua« mit einem Zehn-Punkte-Programm. Eines der wichtigsten Vorhaben ist der Bau von Kläranlagen

## Löslichkeit

Wasser ist das wichtigste Lösungsmittel. Während die meisten festen Stoffe sich in warmem Wasser besser lösen als in kaltem, verhält es sich bei Gasen umgekehrt. Frisch ausgekochtes Wasser ist nahezu gasfrei. Wasserpflanzen und -tiere sind auf eine Wassertemperatur angewiesen, in der ausreichende Mengen an Kohlendioxid beziehungsweise Sauerstoff zur Verfügung stehen. Abwärme, die durch Kühlwasser in einen Fluß geleitet wird, kann die Konzentration dieser Gase vermindern.

## Meerwasser

97,4 Prozent des Wassers auf der Erde füllt die Meere. Es ist in allen Ozeanen nahezu gleich zusammengesetzt. Ein Liter Meerwasser enthält rund 10,6 g Natrium, 1,2 g Magnesium, 0,4 g Kalzium, 0,4 g Kalium, 18 g Chloride, 2,6 g Sulfate, 0,1 g Bikarbonate und 0,065 g Bromide sowie weitere Stoffe in geringeren Konzentrationen.

## Niederschläge

Der Wasserdampf der Atmosphäre kondensiert in den Wolken zu Tropfen. Deren Durchmesser beträgt hierzulande meist nur ein Fünftigstel- bis ein Zehntelmillimeter, weil sich die Feuchtigkeit auf viele „Kondensationskerne“ wie Staub-, Salz- oder Rußpartikel verteilt. Dicke Tropfen mit einem Durchmesser von 0,5 bis 5 Millimeter regnet es erst, wenn die Wolken in Höhen aufsteigen, in denen sich größere Eiskristalle bilden können. Wenn diese Kristalle beim Fallen schmelzen, erreichen sie als Regentropfen den Boden mit einer Geschwindigkeit von zwei bis neun Meter pro Sekunde. Im Winter, wenn die Temperatur auch in bodennahen Lufschichten unter dem Gefrierpunkt bleibt, sinken Schneesterne und -flocken herab. Wenn kräftige Auf- und Abwinde in Schauer- und Gewitterwolken die Eiskristalle durch unterschiedliche Temperaturbereiche treiben, lagern sich unterkühlte Wassertropfen schalenartig an die Kristalle und bilden Graupel- oder Hagelkörner. Graupel mit einem Durchmesser von ein bis fünf Millimeter fällt vorwiegend im Frühjahr. Im Sommer stürzen vermehrt Hagelkörner zur Erde. Sie sind ein bis drei Zentimeter dick. Niederschläge enthalten nicht nur Wasser. Sie nehmen Sauerstoff, Kohlendioxid und Staub, Industrie- und Autoabgase, Ruß und radioaktive Stoffe aus der Luft auf (siehe *Saurer Regen*).



An der felsigen Steilküste der australischen Dirk-Hartog-Insel sprüht Gischt aus einem »Blauloch« her vor – einer von der Brandung ausgewaschenen Felshöhle

## Nitrate

Metallsalze der Salpetersäure. Die Stickstoffverbindungen lösen sich leicht im Wasser, wo sie in Metall- und Nitrat( $\text{NO}_3^-$ )-Ionen zerfallen. Nitrate sind Bestandteil von Düngemitteln und gelangen dadurch in pflanzliche Nahrung und ins Trinkwasser.

## Normal Null (NN)

Ob Hinter-Neuendorf in Schleswig-Holstein (3,40 Meter unter NN) oder Zugspitze (2962 Meter über NN) – die Höhenangabe für jeden Ort der Bundesrepublik bezieht sich auf Normal Null oder den „Amsterdamer Pegel“. Er entspricht dem mittleren Sommerhochwasserstand – gemessen im 17. Jahrhundert im Hafen von Amsterdam. Obwohl der Meeresspiegel seither um mehrere Dezimeter gestiegen ist, gilt diese Bezugshöhe in der Bundesrepublik noch heute.

## Oberflächenspannung

Kraft, die eine Flüssigkeitsoberfläche zu verkleinern sucht. Sie verursacht unter anderem die Kugelform kleiner Tropfen.

### Wie wünschen Sie sich Trinkwasser?

Mit PUROLUX, dem biologischen Trinkwasserfilter, haben wir die Möglichkeit, Schadstoffe im Wasser weitgehend zu reduzieren. Die Revers-Osmose-Membran-technik ist in der Lage, anorganische Stoffe wie z.B. Cadmium, Blei, Quecksilber, Chlor, Sulfate und Nitrate bis zu 95% auszufiltern. Bis zu 99% ausgeschieden werden organische Schadstoffe. Nutzen wir die Vorteile modernster Elektronik und Technologie, die in ihrer Neuartigkeit zuverlässig und ausgereift sind.



Fordern Sie weitere Unterlagen an!

**J.R.-MASCHINEN**  
J. R. Beeg  
Trinkwassertechnologie  
Postfach 1169, 7313 Reichenbach  
Tel. 07153/51762 · Telex 7266866

## Eine Legende feiert Comeback

### Rolleiflex 2,8 GX

Über Jahrzehnte hat sie die professionelle Fotografie bestimmt – damals wie heute gleichermaßen begehrt. Jetzt gibt es sie wieder, die berühmte Zweiäugige von Rollei. Als Rolleiflex 2,8 GX mit modernem TTL-Belichtungs- und Blitzkomfort. Geblieben ist die klassische Form mit der soliden Mechanik. Wie auch das berühmte Planar 2,8/80 mm. Und der extrem leise Verschluß bis zur 1/500 Sekunde, ihre Handlichkeit und das geringe Gewicht. Alles in allem: wertbeständige Präzision made in Germany. Diese Kamera ist der Beweis, daß gute Ideen nie veralten.



Rollei Fototechnic – Vorsprung aus Tradition.

Name: \_\_\_\_\_

Straße: \_\_\_\_\_

Wohnort: \_\_\_\_\_

**Rollei**  
fototechnic

Rollei Fototechnic GmbH & Co KG · Postfach 32 45 · 3300 Braunschweig

X  
010

GW/02

## Osmose

griech. osmos = schieben; sie tritt an Membranen auf, die nur für Wassermoleküle passierbar sind. Befindet sich auf der einen Seite einer solchen Membran eine wäßrige Lösung mit einer höheren Konzentration osmotisch aktiver Substanzen als auf der anderen Seite, so fließt Wasser durch die Membran in die konzentriertere Lösung. Der Wasserstrom hält so lange an, bis die Konzentrationsdifferenz ausgeglichen ist. Osmose ist an vielen physiologischen Prozessen beteiligt.

## Pestizid

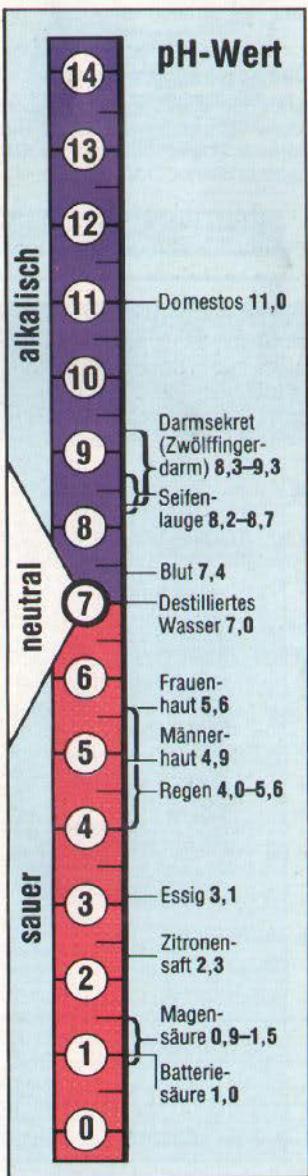
lat. pestis = Seuche; Oberbegriff für Pflanzenschutzmittel. Zu ihnen gehören Insektizide wie DDT und Lindan sowie pilzschädigende



Unter der hellen Zellwand liegt unsichtbar die osmotische Membran der Pflanzenzelle

Fungizide wie Hexachlorbenzol. Akarizide wirken gegen Milben, Nematizide gegen Fadenwürmer, Molluskizide gegen Schnecken, Rodentizide gegen Nagetiere und Herbizide gegen Unkräuter. Chlorhaltige Pestizide bauen sich teilweise schwer ab und reichern sich über die Nahrungskette im Körper an. Im Trinkwasser wurden bisher mehr als 40 verschiedene Pestizide nachgewiesen.

## pH-Wert



## pH-Wert

pH = potentia hydrogenii; dieser Wert sagt aus, wie sauer oder basisch eine Flüssigkeit ist, indem er die Aktivität der Wasserstoff-Ionen darin angibt. Lösungen mit einem pH-Wert größer als sieben – dem Neutralpunkt des reinen Wassers – reagieren alkalisch (= basisch) und werden Laugen genannt, welche mit pH kleiner als sieben reagieren sauer (siehe Graphik). Die Skala ist logarithmisch aufgebaut: Sinkt der pH-Wert etwa von sieben auf sechs, hat die Wasserstoff-Ionenaktivität um das Zehnfache zugenommen.

## Phosphate

Salze der Phosphorsäuren. Sie sind Bestandteil von Dünger-, Futter- und Waschmitteln. Sie tragen, soweit sie dem Abwasser nicht entzogen werden, wesentlich zur Eutrophierung bei.

## Quelle

natürliche Austrittsstelle von Grundwasser. Absteigende Quellen sind an Bergabhängen zu finden, wo eine wasserführende auf einer wasserundurchlässigen Schicht schräg nach unten verläuft, bis sie an die Erdoberfläche tritt. Aufsteigende Quellen sind seltener. Sie entstehen, wenn Grundwasser unter hydrostatischem Druck in Spalten und Klüften aufsteigt. In stark zerklüfte-

## MINERALWASSER Auf den Spuren der Reinheit

Als „stahlig“, „dezent salzig“ oder „insgesamt harmonisch“ beurteilten Gastronomen, Spizzikenche und Journalisten die prahlenden Produkte: Eine Zeitschriftenredaktion hatte zum Mineralwasser-Test geladen. Zu den 26 Juroren zählte auch der Chemiker Wilhelm Fresenius, ein Altmeister der Gaumen- und Nasenprobe. Denn für den 75jährigen Seniorchef des Familienunternehmens „Institut Fresenius“ in Taunusstein bei Wiesbaden ist der „organoleptische Test“ berufliche Routine. Riechen und Schmecken sind indes nur der Auftakt zu einer „amtlich anerkannten Analyse“. Da geht es ins Detail. Mit über 60 „quantitativen Analysen“ bestimmen Chemiker die Menge erwünschter und unerwünschter Mineralien und fahnden Bakteriologen nach Keimen. Überdies suchen die Fachleute beispielsweise nach Pflanzenschutzmitteln und halogenierten Kohlenwasserstoffen, die mit dem Grundwasser in die Brunnen der Abfüller fließen könnten.

Ohne die gesetzlich vorgeschriebene „große Analyse“, die mehrere tausend Mark kostet und andere Prüfungen auf „ursprüngliche Reinheit“, erhält kein Mineralwasser seine Anerkennung. Anders als Quell- oder Tafelwasser muß Mineralwasser eine Mindestmenge von 1000 Milligramm an Mineralstoffen und Spurenelementen enthalten. Enthält es weniger, dann muß in einer Zusatzanalyse die ernährungsphysiologische Wirksamkeit des Wassers nachgewiesen werden.

Hat ein Brunnen diese Hürden genommen, sprudeln für den Abfüller die Gewinne: Mit 67,5 Litern pro Kopf und Jahr – annähernd der Hälfte des Bierkonsums – griffen die Bundesbürger 1987 so häufig wie nie zuvor zur Flasche mit dem geprüften Naturprodukt. 1986 erzielten 200 Brunnenbetriebe einen Umsatz mit Mineralwasser von 1,45 Milliarden Mark, der jährliche Zuwachs liegt zwischen 10 und 15 Prozent.

Auf ein Tausendstelgramm (Milligramm = mg) genau informieren viele Flaschen-Etiketten über wesentliche Kationen und Anionen – elektrisch positiv oder negativ geladene Bestandteile der Mineralsalze. Die Mengen variieren von Marke zu Marke (chemisches Symbol und Mengenspanne in Klammern).

**Kalium** ( $K^+$ , 1–150 mg) stabilisiert in Muskel- und Nervenzellen das „elektrochemische Ruhepotential“ – die Voraussetzung für jeden Erregungsvorgang. Unseren Tagesbedarf von drei bis vier Gramm decken wir mit den Mahlzeiten.

**Natrium** ( $Na^+$ , 5–1000 mg), neben Chlorid Bestandteil des Kochsalzes, bestimmt mehr als andere Substanzen den osmotischen Druck des Blutes und ist unentbehrlich für die elektrische Erregung von Nerven und Muskeln. Ohne die zwei bis drei Gramm Natrium, die der Körper täglich braucht, würde das Herz stillstehen. Durch den hohen Salzgehalt der Speisen nehmen wir leicht die doppelte Menge auf. Für Gesunde scheint das Übermaß ungefährlich. Nierenkranke und Bluthochdruck-Patienten empfehlen Ärzte hingegen salzarme Kost.

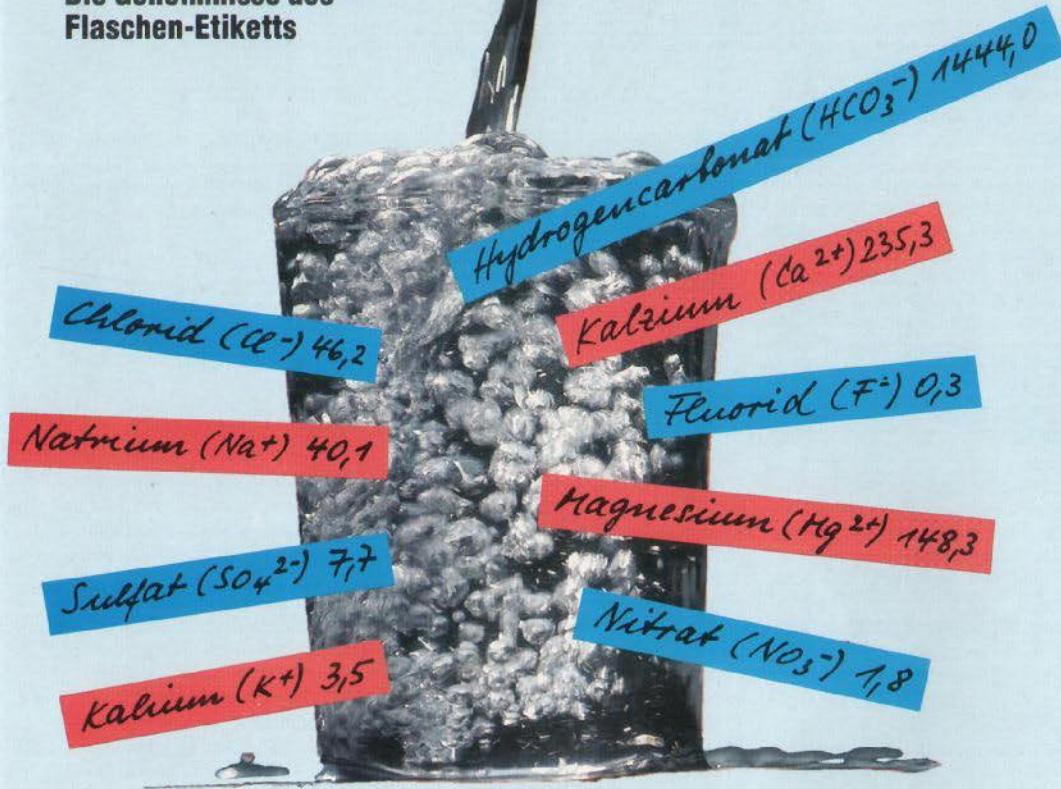
**Kalzium** ( $Ca^{++}$ , 5–500 mg) baut Zähne und Knochen auf und ist für Blutgerinnung und Muskelaktivität unverzichtbar. Den täglich notwendigen Nachschub von 800 Milligramm erhalten wir vorwiegend durch Milchprodukte.

**Magnesium** ( $Mg^{++}$ , 5–200 mg) wirkt im Muskel ähnlich wie Kalzium. Mangel an diesem Kation führt zu Krämpfen und scheint Arterienverkalkung und Herzinfarkt zu fördern. Nur selten liefert unsere Nahrung die 300 bis 400 Milligramm, die wir täglich brauchen; Mineralwässer mit hohem Magnesiumgehalt können diesem Mangel abhelfen.

**Chlorid** ( $Cl^-$ , 5–600 mg) spielt im Säure-Basen-Haushalt des



## Die Geheimnisse des Flaschen-Etiketts



Menschen eine wesentliche Rolle und ist Bestandteil der Magensäure. Die täglich nötigen drei bis fünf Gramm nehmen wir gemeinsam mit Natrium als Kochsalz (Natriumchlorid) auf.

**Fluorid** ( $F^-$ , 0,1–5 mg) ist vermutlich am Knochenaufbau beteiligt, festigt Zähne und verhüttet Karies bei Kindern. Ein bis zwei Milligramm dieses Spurenelements würden uns am Tag reichen. Mit der üblichen Ernährung können wir den Bedarf jedoch kaum decken.

**Sulfat** ( $SO_4^{2-}$ , 1–1500 mg) spielt für die Versorgung des Körpers mit Schwefel keine Rolle. Stark sulfathaltige Wässer können jedoch die Verdauung fördern.

**Nitrat** ( $NO_3^-$ , 0,1–25 mg); diese Stickstoffverbindung braucht der Organismus ebensowenig

wie Sulfat. Im Gegenteil: Nitrat kann im Körper zu Nitrit umgewandelt werden, das bei Säuglingen den Sauerstofftransport im Blut gefährden kann.

Mit Nitrit können sich außerdem Nitrosamine bilden – Verbindungen, die sich – jedenfalls schon im Tierversuch – als krebserregend erwiesen haben. Trinkwasser darf höchstens 50 Milligramm Nitrat pro Liter enthalten.

**Hydrogen- oder Bi-Karbonat** ( $HCO_3^-$ , 10–1000 mg) wird vom Körper selbst produziert. Es puffert im Blut überschüssige Säure ab. Wer zuviel Magensäure hat, kann sein Sodabrennen mit karbonathaltigem Wasser lindern.

**Eisen** ( $Fe^{++}$ ) ist im Wasser natürlich gelöst. Es flockt aus, sobald es aus der Tiefe des Brun-

nens an die Luft kommt. Weil der ungiftige, aber nicht eben appetitliche Bodensatz Konsumenten abschreckt, dürfen die Brunnenbetriebe die Flocken herausfiltern. Dann gilt das Mineralwasser als **enteisent**. **Entschwefelte** Wässer sind von Schwefelwasserstoff befreit worden, einer giftigen Substanz, die nach faulen Eiern riecht.

**Kohlensäure** ( $H_2CO_3$ ) verleiht Getränken das angenehme Prickeln. Mineralwasser mit einem natürlichen Kohlendioxid-Gehalt von mehr als 250 mg darf als Säuerling oder Sauerbrunnen bezeichnet werden. Als stille Wasser werden seit langem Mineralwasser mit einem geringen Gehalt an Kohlendioxid auf den Markt gebracht.

Die Abfüller lassen ihr Wasser nicht nur für die Anerkennung prüfen, sondern auch, um mit dem Ergebnis zu werben. Der Verband Deutscher Mineralbrunnen verpflichtet seine Mitglieder, einmal jährlich eine „kleine Analyse“ der wesentlichen Mineralstoffe und Spurenelemente vorzunehmen. Was vom großen oder kleinen Test auf dem Flaschenetikett erscheint, ist den Brunnenbetrieben hingegen freigestellt.

Schon Herzog Adolf von Nassau war ein Freund exakter Wasseranalysen. Er unterstützte 1848 Carl Remigius Fresenius in Wiesbaden bei der Einrichtung eines der ersten chemischen Untersuchungslabors Deutschlands. Der Urgroßvater des heutigen Seniorchefs fällte die Mineralien aus dem Wasser der Taunusquellen, filterte die Teilchen und wog sie auf empfindlichen Balkenwaagen.

Feinwaagen haben bei Fresenius, dem Labor, das hierzulande die meisten Mineralwasser untersucht, auch jetzt noch nicht ausgedient. Heute arbeiten die Laboranten allerdings weitaus öfter mit automatisierten Meßgeräten. Allein 20 Gaschromatographen – jeder 50 000 bis 70 000 Mark teuer – und drei Massenspektrometer stehen zum Nachweis kleinsten Mengen von organischen Stoffen in den Labors. Freilich können auch die empfindlichsten Detektoren nicht sämtliche organischen Verschmutzungen erkennen. Für manche Pflanzenschutzmittel etwa fehlen bislang geeignete Nachweisverfahren (siehe Seite 68/69).

Die Mineralwasserkontrolleure fahnden auch nach Bakterien und Pilzen. Zwar enthält das Naturprodukt kaum organische Stoffe und ist daher durchweg so gut wie keimfrei. Verschmutzte Ventile und Hähne der Abfüllanlage können jedoch zu Nistplätzen für Mikroorganismen werden. Für bakteriologische Kontrollen kommt das Institut Fresenius deshalb auch in die Betriebe. Seine Experten sind als „mobiles Hygiene-Kommando“ in der Bundesrepublik und in Nachbarländern unterwegs, um die Produkte ihrer Auftraggeber bakteriologisch zu untersuchen. Werden sie fündig, muß der Betrieb – will er nicht mit dem Lebensmittelgesetz in Konflikt kommen – seine Ventile schließen. Renate Ries



tem Karstgestein kann sich Wasser zu Höhlenflüssen sammeln: Die Achquelle nördlich des Bodensees schüttet beispielsweise maximal 10 000 Liter pro Sekunde und ist damit eine der stärksten Quellen der Bundesrepublik.

### Rost

Wenn sich bei einer relativen Luftfeuchte von mehr als 70 Prozent der Wasserdampf der Luft auf einer Eisenoberfläche niederschlägt, beginnt sie zu rosten. Dabei bildet sich unter dem Einfluß von Luftsauerstoff und Wasser ein Gemisch verschiedener wasserummantelter Eisenoxide und Eisenhydroxide. Salze, Säuren und Verunreinigungen im Wasser verstärken diese Korrosion. Die Rostschäden in der Bundesrepublik werden auf jährlich 60 Milliarden Mark geschätzt.



Eine Quelle schweren Wassers:  
Gletscher in Alaska

### Schweres Wasser

„Nur“ 99,985 Prozent des natürlichen Wassers ist  $H_2O$ , dessen Wasserstoff-Atome je aus einem Proton bestehen. Der Rest ist „schweres“ oder „überschweres“ Wasser. Schweres Wasser ( $D_2O$ ) mit zwei Atomen des Wasserstoffisotops Deuterium, deren Kern außer einem Proton auch ein Neutron enthält, wiegt pro Liter rund 100 Gramm mehr als Wasser und reichert sich deshalb am Grunde von Gletschern an. Die beiden Tritium-Atomkerne des überschweren Wassers ( $T_2O$ ) bestehen jeweils aus einem Proton und zwei Neutronen und sind wegen ihrer Instabilität radioaktiv.

### Sediment

lat. sedere = sitzen; Bodensatz, der durch das Absinken von Schwebstoffen in Gewässern entsteht. Im Laufe geologischer Prozesse verfestigt sich das Sediment zu Gestein.

### Sickergeschwindigkeit

Wie schnell Wasser durch Böden sickert, hängt von den Eigenschaften der Bodenporen ab. Am schnellsten durchqueren Niederschläge Kies und Sand, die weite und vielfach verbundene Poren besitzen. In den mittelgroßen Poren von Lößboden hält sich Wasser 200mal so lange auf. Neuangelegte Mülldeponien lagern auf einer künstlich verdichteten Bodenschicht und werden später damit abgedeckt, um zu verhindern, daß Sickerwasser in den Untergrund eindringt. Aber selbst durch solche Deponiedichtungen dringt Wasser, wenn auch 1000mal langsamer als durch Löß.

### Siel

Bezeichnung für einen Kanal, der Abwasser transportiert. Auch Sperrwerke, die eingedeichtes Land bei Niedrigwasser entwässern, heißen Siele.

### Sole

salzhaltiges Wasser, das aus der Natur gewonnen oder künstlich hergestellt wird.

### Süßwasser

2,6 Prozent des irdischen Wassers ist „süß“, weil es kaum Salze enthält. Nur ein Hundertstel davon ist für den Menschen verfügbar. Das meiste ist im polaren Eis gespeichert: Die Antarktis ist mit 25 bis 29 Millionen Kubikkilometer das größte Süßwasserreservoir der Erde. Im Grundwasser sind rund acht Millionen Kubikkilometer verborgen, und in Flüssen fließen 1200 Kubikkilometer. Seien enthalten 120 000 Kubikkilometer, wobei sich mehr als die Hälfte auf die vier wasserreichsten Seen der Erde verteilt: den Baikal-, Tanganyika-, Nyasasee und den Lake Superior. Die Verschmutzung der Seen hat in Asien, Amerika und Afrika schlimmere Folgen als in Europa. Dort werden 75 Prozent der Bevölkerung mit Wasser aus stehenden Gewässern versorgt, hier nur zwei Prozent.

### Transpiration

lat. trans = durch, spirare = ausatmen. Vögel, Säugetiere und Menschen transpirieren Wasserdampf. Die dabei entstehende Verdunstungskälte entzieht dem Körper überschüssige Wärme. Außer Wasser enthält Schweiß Salze, Harnstoff, Säuren und Duftstoffe. Der Mensch verliert durch Schwitzen mindestens einen halben Liter Schweiß pro Tag, bei harter körperlicher Arbeit in der Hitze sogar 15 Liter. Pflanzen verdunsten bei der Aufnahme von Kohlendioxid große Men-

## SAURER REGEN *Kahlschlag aus den Wolken*

**S**till liegt der See. Durch sauberes, klares Wasser reicht der Blick bis auf den Grund. Ein Anglerparadies, so scheint es. Doch das Idyll trügt. Tagelang könnte ein Petrijünger hier sitzen, ohne daß ein Fisch am Haken zappte. Schwefeldioxid ( $SO_2$ ) und Stickoxide ( $NO_x$ ), über weite Strecken herangeweht, haben den Tieren und Pflanzen das Leben im Wortsinn sauer werden lassen, denn sie bilden durch Verbindung mit Wasser schweflige und salpetrige Säuren.

Schon seit 250 Jahren ist bekannt, daß Niederschläge nicht nur Wasser enthalten. Einer der Begründer der chemischen Klimatologie, der Schotte Robert Angus Smith, prägte bereits 1872 dafür den Begriff „Acid Rain“ (saurer Regen). Damals war das Phänomen freilich räumlich wie zeitlich begrenzt. Erst seit etwa 50 Jahren gibt der Himmel durchgängig Saures. Das, was zwischen Rhein und Rhön vom Himmel tropft oder strömt, ähnelt heutzutage saurer Milch – zumindest was seinen pH-Wert betrifft, der den Säuregrad angibt. Er ist – neutrales Wasser hat den pH-Wert 7 – mittlerweile auf 4,6 bis 4,0 gerutscht.

Chemisch neutraler Regen fiel und fällt nirgendwo und zu keiner Zeit. Kohlendioxid sorgt in den Tropfen für einen pH-Wert von 5,6. Dieser kann durch andere saure Gase natürlichen Ursprungs weiter sinken.

Die Hauptschuld an der zerstörerischen Fracht der Niederschläge trägt aber zweifellos der Mensch. Allein in der Bundesrepublik quollen 1987 rund 1,7 Millionen Tonnen  $SO_2$  aus den Schloten von Kraft- und Fernheizwerken. Die Autos gaben 1,8 Millionen Tonnen  $NO_x$  hinzu.

Nur ein Teil solch aggressiver Bürde prasselt mit dem Regen nieder. Das größere Quantum wird trocken am Boden und vor allem auf den Blättern oder Nadeln der Bäume deponiert und trägt auch auf diese Weise zum Waldsterben bei.

Im Erdboden halten Kalkverbindungen – sogenannte Karbonate – die Säurekonzentration in Grenzen. Am härtesten trifft die Säurefracht daher kalkarme Regionen. Ist dort der Kalkpuffer verbraucht, so neutralisieren andere, zum Teil aluminiumhaltige Verbindungen die Säure. Dabei werden alle diese Puffersubstanzen in ihre Bestandteile zerlegt. Die Folgen der ätzenden Invasion: Das Sickerwasser wäscht wertvolle Pflanzennährstoffe wie Kalzium und Magnesium aus und nimmt dabei auch giftige Aluminium-Ionen mit. Wo aber die Säureabwehr der oberen Bodenschichten derart erschöpft ist, verliert der Humus seine Fähigkeit, im Boden angereicherte Schwermetalle festzuhalten. Sie sickern gemeinsam mit den Aluminium-Ionen ins Grundwasser. Im Fichtengebirge fanden Wasserchemiker



**CATRONIC**  
**WASSER-  
AU-  
BEREITER  
LÖST  
DAS KALK-  
PROBLEM**

Ein in der Industrie bewährtes Verfahren zur Verhinderung von Kesselsesteinbildung gibt es jetzt auch für Privathäuser und Wohnanlagen. Diese elektronische Wasseraufbereitung kommt völlig ohne Salze und Chemikalien aus. Die Stromkosten betragen ca. DM 25,- im Jahr. Eine Wartung entfällt völlig. Gute Argumente aus Medizin, Umwelt- und Wirtschaft sprechen für dieses Verfahren. In der Schweiz hat die elektronische Wasseraufbereitung schon einen beachtlichen Marktanteil erreicht und verfügt über langjährige Erfahrungen. Weitere Informationen und Bezugsquellen nachweis: Christiani Wassertechnik GmbH, Süsterfeldstraße 85, 5100 Aachen · Telefon (0241) 870087 · Telex 8885180

darin Aluminiumgehalte, die schon über dem Grenzwert der Trinkwasserordnung liegen.

Wie stark die Böden in der Bundesrepublik bereits versauert sind, können Forstfachleute mangels flächendeckender Untersuchungen nur grob schätzen. Stichproben bieten immerhin Anhaltspunkte: In Kammlagen des Taunus registrierten Wissenschaftler im Humus den pH-Wert von 2,8. Zum Vergleich: Handelsüblicher Essig hat pH 3,1. Zu den karbonatarmen und somit besonders gefährdeten Regionen zählen unter anderem Fichtelgebirge, Bayerischer Wald, nördlicher Schwarzwald, Spessart, Hunsrück, Sauer- und Siegerland. Im Grund- und Oberflächenwasser gelangt die Säure zusammen mit Aluminium- und Schwermetallionen in die Seen. In Schweden waren 1985 rund 4000 stehende Gewässer vergiftet; in der Bundesrepublik gelten rund 140 von 3000 als bedroht. Traurigen Ruhm erlangten der Herrenwieser See im Nordschwarzwald (pH 3,7) und der Kleine Arbersee im Bayerischen Wald (pH 4,7). Ein ähnliches Schicksal droht einem Drittel aller Seen Niedersachsens. Besonders drastische pH-Stürze registrieren die Meßgeräte, wenn heftige Regengüsse niedergehen oder wenn im Frühjahr der Schnee schmilzt und seinen Schmutz auf einmal freigibt. Dann schnellen die Säurekonzentrationen schon mal um das 30fache nach oben.

Je weiter die Versauerung voranschreitet, desto mehr schrumpft die Zahl der Arten auf allen Ebenen der Nahrungskette. Besonders empfindlich reagiert das fein gesponnene Beziehungsnetz von



Kräftig und wohlgenährt sind die Forellen noch bei pH 5,4 . . .



. . . bei pH 5,1 hat das Gewicht der Fische deutlich abgenommen

Räuber- und Beuteorganismen auf Störungen, wenn es erst einmal gefährliche Löcher bekommen hat: In Bächen des Kaufunger Waldes östlich von Kassel zählten Zoologen in neutralem Wasser 80 verschiedene Tierspezies. Bei pH 6,2 tummeln sich noch 42 Arten, bei pH 4,1 waren 15 übrig. Schnecken, Muscheln und Krebse verschwinden bereits ab pH 6. Nach den Kleintieren nehmen die Fische Schaden. Zuerst schrumpfen die Bestände von Regenbogenforelle, Rutte, Plötze und Lachs, Flußbarsch, Aal und Bachforelle halten länger aus. Am meisten bedroht die saure Umgebung frisch geschlüpfte Tiere oder Laich. Über 90 Prozent frisch abgelaichter Bachforelleneier sterben, so stellten Heidelberger Zoologen bestürzt

fest, bei pH-Werten zwischen 4,8 und 5,6.

Als besonders wirksames Fischgift haben sich Aluminium-Ionen erwiesen. Sie bilden auf den Kiemenblättern wasserunlösliche Verbindungen, verklumpen und behindern so die Sauerstoffaufnahme. Bereits in Konzentrationen von 0,1 Milligramm pro Liter entfaltet das Metall seine giftige Wirkung. Bis zu fünf Milligramm pro Liter haben Chemiker in Bächen des Hunsrück und Taunus gemessen. Völlig tot sind indes auch klare, saure Seen nicht. Einige Insekten- und Planktonarten können in solch feindlichem Milieu bestehen. Torfmoos und Rasenbinse mögen es sogar sauer. Sie wandern ab pH 3,8 ein und zeigen untrüglich den Niedergang des aquatischen Lebensraums an.

Wie den Süßgewässern scheint Regen auch den Küstenmeeren zuzusetzen – nicht mit der Säure, sondern mit dem in NO<sub>x</sub> enthaltenen Stickstoff. Die überbordenden Algenblüten, die seit Jahren die Nordsee heimsuchen, könnten teilweise auf das Konto von solchen nährenden Niederschlägen gehen. Bei einer Untersuchung in der Chesapeake-Bay, der größten Meeresbucht im Osten der USA, errechneten Wissenschaftler jüngst, daß mehr als ein Viertel des im Wasser gelösten Stickstoffs aus der Atmosphäre stammt. Stickstoff im Überfluß aber löst ungehemmtes Algenwachstum aus. Die dicken grünen oder roten Teppiche nehmen den Organismen in größeren Tiefen das Licht und zehren – wenn sie absterben und von Bakterien zerstört werden – den für die Meerestiere so lebensnotwendigen Sauerstoff auf.

Um den Gewässern Remedium zu schaffen, gibt es nur eine Möglichkeit: den Schadstoffausstoß von Kraftwerken, Haushalten, Industrie und Automobilen drastisch zu drosseln. Die Vereinbarungen auf internationalem Parkett sind gleichwohl mager: Zwar verständigte sich die Europäische Gemeinschaft nach vierjährigem Feilschen im Juni dieses Jahres darauf, bis 1998 den SO<sub>2</sub>-Ausstoß von Kraftwerks-Altanlagen um 60 Prozent und die NO<sub>x</sub>-Emission um 40 Prozent zu drosseln. Sechs Mitgliedsstaaten konnten jedoch Sonderquoten aushandeln. Großbritannien, Europas größter Luftverschmutzer, braucht in den nächsten zehn Jahren SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> lediglich um 40 beziehungsweise 30 Prozent zu reduzieren.

Klaus Bachmann

## Bis zu 40 % weniger Wasser

Mit dem RST Wasser-Spar-Zubehör spart ein 4-Personen-Haushalt jährlich bis zu 60 Kubikmeter Trinkwasser und zusätzlich 200 DM Energiekosten.

Ein Beitrag für den Umweltschutz und für Ihre Haushaltstasse.



Johann Freimuth, Energieeinsparung + Umwelttechnik  
Kantstr. 8 · 3202 Bad Salzdetfurth 4 · Tel.: (050 64) 72 14

Nähtere Informationen und Händlernachweis über:

BIOLIT, ISG-Import u. Service GmbH  
Buchenweg 27 · 5960 Olpe · Tel.: (027 61) 64 232

## Trinkgesundes Leitungswasser

BIOLIT-Wasser-Filtersysteme filtern die in Ihrem Trinkwasser enthaltenen Schadstoffe wie Nitrat, Pestizide und CKW's bis zu 99 % aus.

BIOLIT-Wasser-Filtersysteme sind von ÖKOTEST und von unabhängigen Laboratorien geprüft.



gen Wasser. Der Transpirations-  
sog läßt Wasser und Nährsalze  
aufsteigen.

### Verursacherprinzip

Wer einen Umweltschaden ver-  
ursacht, muß für seine Beseiti-  
gung aufkommen, sagt ein wichti-  
ger Grundsatz der Umweltpolitik.  
Verschmutzen beispielsweise  
Pestizide das Grundwasser, sind  
Hersteller und Benutzer gleicher-  
maßen verantwortlich. Das Land  
Baden-Württemberg setzt dage-  
gen mit seinem „Wasserpfennig“  
auf das Gemeinlastprinzip. Dabei  
werden die Kosten der Umwelt-  
schädigung auf alle Bürger um-  
gelegt.

### Viskosität

Iat. viscous = leimig; die Zähig-  
keit oder innere Reibung eines  
Stoffes. Weil die Viskosität von  
Wasser rund 50mal größer ist als  
die von Luft, müssen Wassertiere  
im Vergleich zu Landbewohnern  
viel mehr Kraft aufwenden, um  
den Reibungswiderstand ihres  
Mediums zu überwinden. Mit stei-  
gender Temperatur nimmt die  
Viskosität von Flüssigkeiten ab.

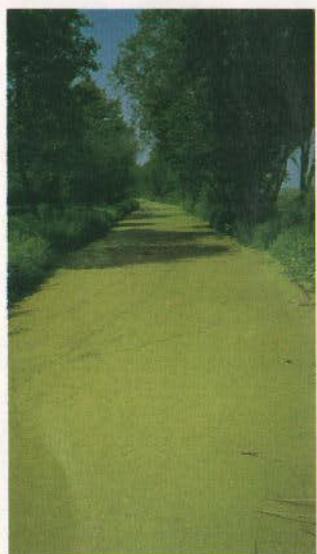
### Vorfluter

Bach, Fluß oder Kanal, der das  
Wasser eines kleineren Gewäs-  
sers oder Abwasser aufnimmt  
und transportiert.

### Waschmittel

enthalten eine Vielzahl von Che-  
mikalien unterschiedlicher Funk-  
tion. Die waschaktiven Substan-  
zen heißen Tenside. Sie setzen  
die Oberflächenspannung des  
Wassers herab. Phosphate bin-  
den Kalzium- und Magnesium-  
ionen und beugen damit der Bildung  
schwerlöslicher Kalkseifen vor,  
die sich auf der Wäsche absetzen.  
Zusammen mit den Düngemitteln  
der Landwirtschaft verursachen  
sie die Eutrophierung von Seen  
und Flüssen. Seit etwa vier Jahren  
erobert phosphatfreie Waschmit-  
tel den Markt (siehe Grafik). Häufiger  
Ersatzstoff ist ein raffiniertes  
chemisches Dreigespann: „Zeoli-  
th A“ in Verbindung mit „Polycar-  
boxylat“ und Soda. Winzige Kri-

stalle des wasserunlöslichen Mi-  
nerals Zeolith A taumeln während  
des Waschvorgangs in der Lauge  
umher und fischen Kalzium- und  
Magnesium-Ionen im Austausch  
gegen eigene Natrium-Ionen aus  
dem Wasser. Die Polycarboxylat-  
Moleküle unterstützen diese Wir-  
kung. Soda macht die Lauge alka-  
lisch und bindet ebenfalls uner-  
wünschte Ionen. Nach heutigem  
Wissen scheint die Wirkstoff-  
Kombination ökologisch unab-  
denklich zu sein. Konstruktions-  
änderungen an Waschmaschinen  
haben den Waschpulverbedarf  
mittlerweile um bis zu 30 Pro-  
zent gesenkt. Auf deren Gesamt-  
verbrauch hat sich dies bislang je-  
doch nicht ausgewirkt.



Wasserlinsen von Ufer zu Ufer

### Wasserblüte

auch Algenblüte genannt; sie ist  
ein Zeichen für die Eutrophierung  
eines Gewässers.

### Wasserbuch

Verzeichnis einer Wasserbehörde,  
in dem Genehmigungen zur  
Förderung von Wasser und Ab-  
wassereinleitung dokumentiert  
werden. Nicht in allen Bundesländern  
sind die Wasserbücher für  
die Öffentlichkeit zugänglich.

### VERSORGUNG

## Sauberes Naß hat lange Leitung

Ein ausgeklügeltes Versorgungs-  
system entwickelten zumal die Bau-  
meister des alten Rom: Sie ver-  
sorgten im 1. Jahrhundert die Mil-  
lionenstadt täglich mit rund  
600 000 Kubikmeter kühlen, rei-  
nen Quellwassers aus den Sabiner  
und Albaner Bergen. Die Fernwas-  
serleitungen – Aquädukte und unter-  
irdische Kanäle – mündeten in  
städtische Verteilerbecken. Sie  
speisten über Ton- und Bleirohrlei-  
tungen die öffentlichen Brunnen,  
Thermen und Bäder, dazu private  
Anschlüsse der römischen Ober-  
schicht. Unter Wassermangel lit-  
ten die Römer damals offenbar  
nicht: Obwohl Wasserhähne schon  
bekannt waren, plätscherten die  
Brunnen unentwegt.

Das – auch in hygienischer Hin-  
sicht – hohe Niveau der Wasser-  
baukunst ging mit dem Untergang  
Roms verloren. Im Mittelalter deckten  
die Bürger der Städte ih-  
ren Bedarf aus Brunnen und Regen-  
wasserreservoirs, die nicht  
selten in der Nachbarschaft von  
Latrinen und Abfallgruben lagen.  
Das hatte Seuchen aller Art zur  
Folge, was erst mit den mikro-  
biologischen Entdeckungen des  
späten 19. Jahrhunderts erkannt  
wurde.

Gegen Ende des Mittelalters ent-  
standen in einigen wohlhabenden  
Reichsstädten auch einfache Rohr-  
leitungsnetze. So berichtete 1470  
der Nürnberger Baumeister Endres  
Tucher: „Und geht eine röre do-  
selbst in die spital kuchen (Küche)  
und hat ein stock neben dem hert  
mit einem hanen (Hahn), darauß  
man wasser mag lassen, wenn  
man will.“ Wo das natürliche Ge-  
fälle zwischen Quelle und Wasser-  
hahn fehlt, halfen sich findige  
Tüftler mit der seit dem Altertum  
bekannten, inzwischen weiterent-  
wickelten Kolbenpumpe. Gleich-

### Wasserhärte

Wenn der Duschstrahl dünner  
wird oder Kaffeemaschinen rö-  
cheln, hat meist Wasser- oder

Kesselstein die Geräte verstopft.  
Diese Ablagerung aus Kalzium-  
karbonat (Kalk) bildet sich, wenn  
hartes Wasser mit hohen Kal-  
zium- oder Magnesiumkonzentra-  
tionen belüftet oder erwärmt  
wird. Kalkablagerungen behin-  
dern die Wärmeleitung und erhö-  
hen damit den Energieverbrauch  
von Tauchsiedern, Spül- und Wasch-  
maschinen. Gefährlich ist  
Wasserstein in Dampfkesseln,  
wo er Explosionen hervorrufen  
kann, wenn er sich plötzlich von  
den Kesselwänden löst.

Die Härte des Wassers ist regio-  
nal unterschiedlich. Kalzium und  
Magnesium reichern sich an,  
wenn Wasser durch Kalk-, Gips-  
oder Dolomitböden fließt. Wei-  
ches Wasser entstammt Gebie-

### Verbrauch an Vollwaschmitteln in der Bundesrepublik Deutschland

(in 1000 Tonnen)

#### Gesamtverbrauch:

677

davon  
phosphatfrei:  
5%

1984

634

1985

657

29%

1986

622

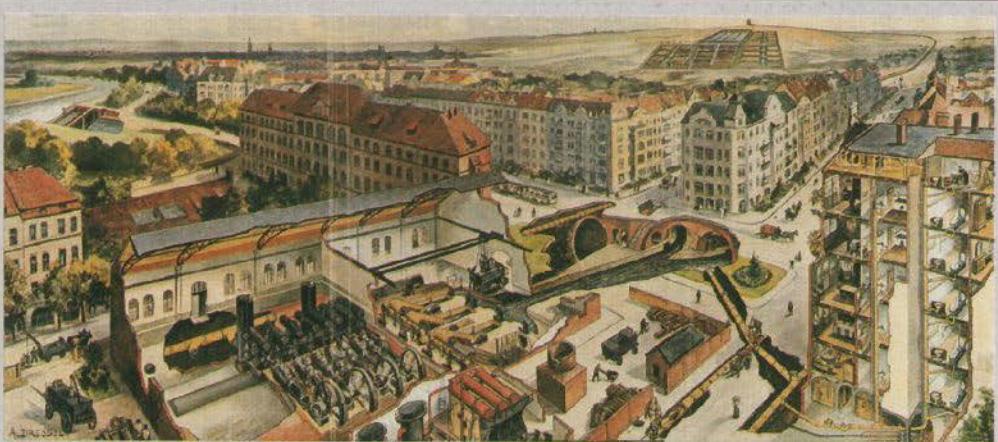
57%

1987

622

67%

1988 (geschätzt)



Die städtische Wasserversorgung forderte nicht erst in unserem Jahrhundert die Kunst der Ingenieure heraus: Schon zu Römerzeiten wurden die Städte über Aquädukte mit Frischwasser beliebt.

wohl holten die Bürger der meisten Städte ihr Wasser bis weit nach 1800 mit Eimern und Kannen vom Brunnen. Über den Zusammenhang zwischen Wasserqualität, Krankheit und Tod gab es zwar viele Vermutungen, aber keine Gewißheit. Die „Brunnenpolizey“, die der deutsche Arzt Johann Peter Frank gegen Ende des 18. Jahrhunderts forderte, sollte verdächtiges Nass immerhin mit Nase und Gaumen prüfen.

So war es dann auch weniger die Sorge um sauberes Trinkwasser, als 1848 die erste zentrale Wasserversorgungsanlage einer deutschen Großstadt installiert wurde:

Sechs Jahre nach dem „Großen Brand“, der Hamburg weitgehend eingeäschert hatte, ließ der Senat der Hansestadt ein Rohrnetz für Löschwasser bauen. 1856 organisierte Berlin ein zentrales Trinkwassernetz, 1872 folgte Köln. Die Bürger interessierten sich indes nur zögernd für die teure Hausleitung. Denn was ihnen da zufloß, kam meist ungefiltert und unkontrolliert aus dem nächsten Fluß, der die Abwässer von Menschen, Vieh und Fabriken transportierte. Daß städtische Leitungen nicht nur lebenswichtiges Nass, sondern auch tödliche Keime ins Haus liefern konnten, wurde bei der Cholera-Epidemie offenbar, die 1892 etwa 8000 Hamburger dahinräffte: Die Erreger der Seuche konnten in einem Vorratsbecken für Trinkwasser nachgewiesen werden.

Das 1900 verkündete „Reichsseuchengesetz“ machte die Überwachung von Wasserversorgungsanlagen zur Pflicht. Die „Königliche Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung“ in Berlin entwickelte Methoden zum Nachweis von Krankheitskeimen. Erste Aktivkohle-Filter gegen chemische Verunreinigungen gingen 1928 in Betrieb, und ab 1944 wurde Trinkwasser mit Chlor aufbereitet.

In den sechziger Jahren erwies sich, daß neuen türkischen Spuren im Wasser (siehe Seite 68) mit konventionellen Methoden nicht mehr beizukommen war. Inzwischen haben raffinierte moderne Nachweisverfahren eine neue Runde im Kampf um gesundes Trinkwasser eingeläutet. Wasser ist heute das am besten geprüfte Lebensmittel. Renate Ries

bewegt sich 10 bis 30 Minuten lang mit einigen Kilometern pro Stunde vorwärts.

### **Wasserkreislauf**

der von Sonnenenergie getriebene Zyklus, in dem sich Wasser zwischen Ozean, Atmosphäre und Festland bewegt. Wasser verdunstet über den Meeresflächen, steigt auf und wird von Luftströmungen zu den Kontinenten getragen. In der Höhe kondensiert der Wasserdampf zu Wolken, die schließlich abregnen. Die Niederschläge fließen mit Bächen und Flüssen ins Meer zurück oder versickern zunächst als Grundwasser und treten später an Quellen zutage.

Der größte Teil der 425 000 Kubikkilometer, die jährlich aus den Ozeanen verdunsten, regnet über dem Meeresspiegel ab. Nur 40 000 Kubikkilometer Wasserdampf treiben zum Festland. Dort



### **Wenn Regen den Kreislauf schließt**

steigt ebenfalls Wasserdampf auf: 71 000 Kubikkilometer verdunsten an der Oberfläche von Boden, Gewässern und Pflanzen und tragen ebenfalls zu Niederschlägen bei.

Wasser hält sich an verschiedenen Stationen des Kreislaufs unterschiedlich lange auf. Je nach Klimazone ist im Mittel jeder Tropfen in den Ozeanen nach 50 bis 3000 Jahren, in Seen nach etwa zehn Jahren, in Gletschern nach 16 000 Jahren einmal in die Luft gegangen.

### **Wasserkunst**

Seit dem 16. Jahrhundert schmücken europäische Städte sich mit Springbrunnen. „Wasserkünste“ brachten seinerzeit das Wasser mit Wasserrädern und Pumpen auf das nötige höhere Niveau. Oft belieferierten sie auch Brauereien und Gerbereien. In der Barockzeit hatte jeder größere Schlosspark Wasserkünste mit Fontänen und Kaskaden. Meist wurden sie-

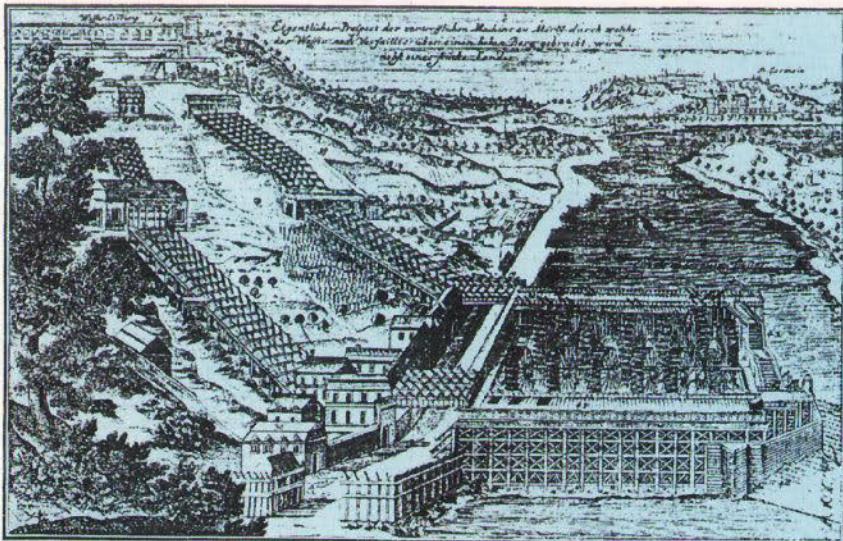


Auch Natur macht Kesselstein: Kalksinterterrassen im türkischen Pamukkale

ten mit Basalt-, Sandstein- oder Granituntergrund. Wasserwerke geben Auskunft über den Härtegrad des jeweiligen Leitungswassers.

### **Wasserhose**

rotierender Wolkenrüssel, der von einer Gewitterwolke bis auf die Meeresoberfläche reicht und dort Wasser aufsaugt. Wasserhosen sind der sichtbare Teil heftiger Wirbelwinde und kommen am häufigsten in den Tropen und Subtropen vor. Sie können einige hundert Meter hoch sein und über 300 Meter Durchmesser haben. In ihrem Innern herrscht extrem niedriger Luftdruck. Am Rand rasen die Winde oft mit mehr als 60 Metern pro Sekunde. Der Rüssel



Die Wasserhebemaschine von Marly versorgte im 17. Jahrhundert den Schloßpark von Versailles... ... wo bleierne Riesen Fontänen speien

aus benachbarten Flüssen gespeist. Für den ungünstig gelegenen Schloßpark von Versailles ließ Ludwig XIV. eine der aufwendigsten Wasserhebemaschinen aller Zeiten bauen: Die 13 Wasserräder von je 12 Meter Durchmesser hoben mittels 221 Pumpen täglich etwa 3200 Kubikmeter Wasser in drei Stufen 162 Meter hoch.

#### Wasserscheide

Grenze zwischen Einzugsgebieten von Gewässern und Grundwasserströmen. Oberirdische Wasserscheiden sind im allgemeinen Bergkämme oder -ketten; unter der Erde trennen wasserstauende Gesteinsschichten die Abflußgebiete. Schwarzwald und Schwäbische Alb sind markante Abschnitte der Europäischen Wasserscheide. Sie grenzt den Rhein und dessen Nebenflüsse vom Stromsystem der Donau ab.

#### Wasserstoff

Das leichteste aller Elemente ist farb-, geruch- und geschmacklos. Auf der Erde kommt Wasserstoff vor allem in Wasser ( $H_2O$ ) und in organischen Verbindungen vor: Erdöl, Erdgas, Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße. Siehe auch schweres Wasser.

#### Wasserverbrauch

Am allerwenigsten drehen wir den Hahn für Kochen und Trinken auf: Von 150 Liter Trinkwasser, die der Bundesbürger im Durchschnitt pro Tag verbraucht, dienen nur drei Liter der Ernährung. 46 Liter spülen das kleine und große Geschäft in die Kanalisation, 44 Liter gluckern beim Baden und Duschen in den Abfluß.

Beim Wäschewaschen verschmutzen wir gute 17 Liter, mit Geschirrspülen und Körperpflege noch einmal je neun Liter. Gartenbewässerung und Autowaschen schlagen sich mit sechs und drei Liter nieder.

40 Milliarden Kubikmeter Brauch- und Trinkwasser – das entspricht knapp dem Inhalt des Bodensees – betrug das Wasseraufkommen der Bundesrepublik 1983, nach der letzten Erhebung des Statistischen Bundesamtes. Die öffentliche Wasserversorgung,

die auch die Privathaushalte belieft, verteilte davon fünf Milliarden. Dabei ist freilich die indirekte Nutzung nicht berücksichtigt. Denn wer den Stecker in die Steckdose steckt, verbraucht mit dem Strom

## Wasserverbrauch und Abwasser

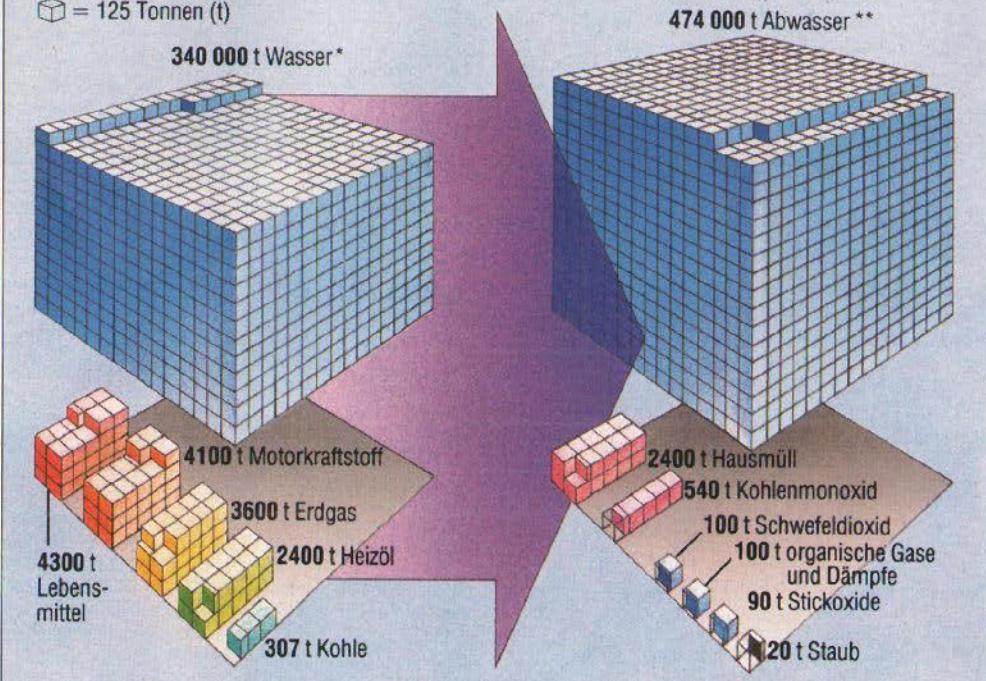
Hamburg verbraucht an einem Tag:  
(ermittelt aus Angaben  
für das Jahr 1986)

$\square = 125$  Tonnen (t)

340 000 t Wasser\*

Dabei entstehen:

474 000 t Abwasser \*\*



\* Nur öffentliche Wasserversorgung; private Brunnen und Industrieförderung nicht berücksichtigt

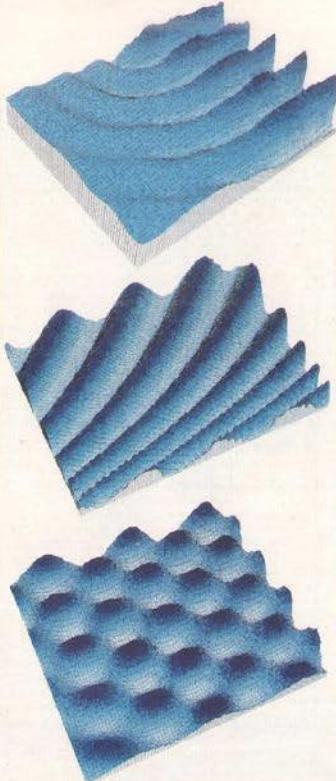
\*\* In die öffentlichen Abwasseranlagen eingeleitetes Schmutz- und Mischwasser

auch kühlendes Nass, wenn auch kein Trinkwasser. 1983 schlucken die Wärmekraftwerke für die öffentliche Versorgung 26 Milliarden Kubikmeter. Elf Milliarden Kubikmeter verbraucht der Bergbau und das verarbeitende Gewerbe: Eine Tonne Stahl verschlingt einen Kubikmeter, eine Tonne Rübenzucker zwei bis drei Kubikmeter und eine Tonne Zeitungspapier sogar 200 Kubikmeter Wasser.

Recycling-Anlagen und moderne Verfahrenstechnik haben den Wasserverbrauch der Industrie von 1979 bis 1983 um zehn Prozent reduziert. Die öffentliche Wasserversorgung bereitet dagegen zunehmend Probleme. Weil das Oberflächenwasser immer mehr verschmutzt wird, müssen die Wasserwerke stärker als jemals zuvor auf Grundwasser zurückgreifen.

### Wellen

Das Wellenmuster, das der Wind einer Wasseroberfläche aufzwingt, ist abhängig von der Weglänge und der Stärke des Windes über der freien Wasseroberfläche sowie von der Wassertiefe. In kleinen flachen Teichen liegt die Wellenlänge – die Ent-



Computer simulieren Wellenphänomene: Beugung (oben), Brechung (Mitte) und Reflexion (unten)

fernung von Wellenkamm zu Wellenkamm – bei einigen Zentimetern, im Nordatlantik zwischen 50 und 180 Metern, im Südpazifik gar bei 300 Metern. Die Wellen können eine Höhe von mehr als 14 Meter erreichen und sich mit über 60 Kilometer pro Stunde fortpflanzen. Wenn Wellen in flache Küstengewässer einlaufen, werden sie langsamer, aber auch höher und steiler, bis sie schließlich brechen. Meterdicke Flutmauern können dann durch die „Druckschläge“ solcher Brecher in Stücke geschlagen werden.

Seebeben und Vulkanausbrüche verursachen Wellen, die sich im Küstenbereich haushoch auftürmen. Solche „Tsunamis“ sind besonders im Pazifik gefürchtet. In der Nordsee treten gelegentlich „Seebären“ auf – durch Luftdruckstürze ausgelöste Einzelwellen, die dann an der Küste jähre Wasserstandsschwankungen von mehr als einem Meter bewirken können. Ein ausdauernder Orkan treibt einen Windstau vor sich her. Wenn Windstau und Gezeitenwelle einander verstärken, können schließlich verheerende Sturmfluten entstehen.

### Wellenkraftwerke

nutzen die Energie, die für gewöhnlich an der Küste vertost – pro Meter immerhin 48 Kilowatt bei ein Meter hohen Wellen. Vor allem zwei Typen von Brandungskraftwerken versprechen Erfolg: Beim ersten schieben die Wogen Meerwasser durch einen zur See hin offenen Trichter in ein Auffangbecken. Auf seinem Weg zurück in die See treibt das Wasser die Turbinen eines Stromgenerators an. Bei der Versuchsanlage auf einer norwegischen Schäreninsel vor Bergen gelangen pro Welle bis zu 14 Kubikmeter Wasser in das Becken. Der Generator leistet 350 Kilowatt und kann 20 bis 40 Haushalte mit Elektrizität versorgen.

Beim zweiten Typ schwappen die Wellen in einem Betonzyylinder auf und ab. Wie ein Kolben drückt oder saugt die Wassersäule Luft durch ein Rohr, in dem sich eine Turbine dreht.

### Zisterne

Auffangbecken für Regenwasser. Zisterne dienen in vielen Ländern der Erde als Trinkwasserservoir. □



In der trockenen Sahelzone kommen die Menschen von weit her, um sich an einer Wasserstelle zu versorgen

# LITERATUR

## Übersichten

**Felix Franks:** „Polywasser“. Vieweg, Braunschweig 1984.

**„Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland“.** VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1979.

**James Joyce:** „Ulysses“. Suhrkamp, Frankfurt 1975.

**Karl Markus Michel, Tilman Spengler (Hg.):** „Kursbuch 92/Elemente I: Wasser. Kursbuch Verlag/ Rotbuch Verlag, Berlin 1988.

**Barbara Schröder (Hg.):** „Wasser“. Suhrkamp, Frankfurt 1970 (vergriffen).

## Umwelt

**Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.):** „Was Sie schon immer über Wasser und Umwelt wissen wollten“. Kohlhammer, Stuttgart 1987.

**Jutta Ditzfurth, Rose Glaser:** „Die tägliche legale Verseuchung unserer Flüsse und wie wir uns dagegen wehren können“. Rasch und Röhrling, Hamburg 1988.

**Horst Güntheroth:** „Die Nordsee“. Gruner + Jahr, Hamburg 1988.

**Katalyse-Umweltgruppe (Hg.):** „Umwelt-Lexikon“. Kiepenheuer & Witsch, Köln 1988.

**Otto Klee:** „Angewandte Hydrobiologie“. Thieme, Stuttgart 1985.

**Thomas Kluge, Engelbert Schramm:** „Wassernöte“. Kölner Volksblatt Verlag, Köln 1988.

**Uwe Lahl, Barbara Zeschmar:** „Kein Wasser zum Trinken“. Rowohlt, Reinbek 1984 (vergriffen).

**Werner Pieper (Hg.):** „Das Scheiss Buch“. Der grüne Zweig, Löhrbach 1988.

**Frederic Vester:** „Wasser = Leben – Ein kybernetisches Umweltbuch mit 5 Kreisläufen des Wassers“. Ravensburger Buchverlag Otto Maier, Ravensburg 1987.

## Kuren

**Robert Bachmann, Lothar Burghardt:** „Kneippen für Jeden“. Gräfe und Unzer, München 1987.

**Deutscher Bäderverband e.V. (Hg.):** „Deutscher Bäderkalender“. Flöttmann, Gütersloh 1988.

**Wolfgang Brüggemann (Hg.):** „Kneipp-Therapie“. Springer, Berlin 1986.

**Sebastian Kneipp:** „Meine Wasserkur“. Knaur, München 1984.

**Georges Vigarello:** „Wasser und Seife, Puder und Parfüm – Geschichte der Körperhygiene seit dem Mittelalter“. Campus, Frankfurt 1985.

## Leben

**C. L. Duddington:** „Baupläne der Pflanzen“. Suhrkamp, Frankfurt 1972 (vergriffen).

**Wolfgang Engelhardt:** „Was lebt in Tümpel, Bach und Weiher?“. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1986.

**M. S. Laverack (Ed.):** „Physiological Adaptations of Marine Animals“. The Company of Biologists Ltd, Cambridge/UK 1985.

**Herman Melville:** „Moby Dick“. Ueberreuter, Heidelberg 1969.

**Hans Mohr, Peter Schopfer:** „Lehrbuch der Pflanzenphysiologie“. Springer, Berlin 1978.

**Knut Schmidt-Nielsen:** „Animal Physiology: Adaptation and Environment“. Cambridge University Press, London 1983.

**Everhard Johannes Sliper:** „Riesen des Meeres“. Springer, Berlin 1962 (vergriffen).

**Dietrich Starek:** „Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere“. Springer, Berlin 1978.

**Heinz Streble, Dieter Krauter:** „Das Leben im Wasser tropfen“. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1988.

**Pierre Tardent:** „Meeresbiologie“. Thieme, Stuttgart 1979.

## Erosion

**Klaus-Henning Georgi:** „Kreislauf der Geeste“. Rowohlt, Reinbek 1983.

**Werner Zeil:** „Brinkmanns Abriß der Geologie. I. Band: Allgemeine Geologie“. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1984.

## Wasserbau

**Jürgen Ehlers:** „The Morphodynamics of the Wadden Sea“. A. A. Balkema Publishers, Rotterdam 1988.

**Günther Garbrecht:** „Wasser – Vorrat, Bedarf und Nutzung in Geschichte und Gegenwart“. Rowohlt, Reinbek 1985.

## Technik

**Ad-hoc-Ausschuß beim Bundesminister für Forschung und Technologie:** „Solare Wasserstoffenergiewirtschaft – Gutachten und wissenschaftliche Beiträge“. Kernforschungsanlage Jülich, 1988.

**Axel Föhl, Manfred Hamm:** „Die Industriegeschichte des Wassers“. VDI-Verlag, Düsseldorf 1985.

**Hermann Scheer (Hg.):** „Die gespeicherte Sonne – Wasserstoff als Lösung des Energie- und Umweltproblems“. Piper, München 1987.

**Carl-Jochen Winter, Joachim Nitsch (Hg.):** „Wasserstoff als Energieträger – Technik, Systeme, Wirtschaft“. Springer, Berlin 1986.

## Lebensmittel

**H.-D. Belitz, W. Grosch:** „Lehrbuch der Lebensmittelchemie“. Springer, Berlin 1987.

**„Die Trinkwasserverordnung“.** Erich Schmidt, Berlin 1987.

**Maureen und Timothy Green:** „Mineralwasser“. Bucher, München 1987.

Fotovermerke nach Seiten. Anordnung im Layout: l. = links, r. = rechts, o. = oben, m. = Mitte, u. = unten

**Titel:** Arnaud de Wildenberg; Mikrofotos: J. Göbel/Institut Meereskunde Univ. Kiel o.; Nuridsany et Pérennou m.; P. Sauer/Bruce Coleman Ltd.; u. l.; Carre/Jacana u. r.

**Seite 4:** Douglas Faulkner: o. l.; Martin Dohrn/SPL/Focus: o. r.; W. Wiese/Transglobe m.; Wolfgang Volz/Bilderberg: m. r. und u. r.; Jeff Rotman: m. l. u.; Fred Grifflin: m. r. u.; Ovak Arslaman: u.

**Seite 5:** Horst Munzig: o.; Rainer Drexel/Bilderberg: m. o.; Georg Gerster: m. u.; S. Seitz/Contact/Focus: u.

**QUELL DES LEBENS**

**Uwe George:** 67; Bob Krist: 8/9; David Burnett/Contact/Focus: 10 o.; Alan Reininger/Contact/Focus: 10 v.; Georg Gerster: 11;

**Yann Arthur-Bertrand/Focus:** 12/13; Helmut Stratman: 14/15; Volkhard Hofer: 16; Earl Roberge/Photo Researchers Inc.: 17 o.; G. Gorgoni/Contact/Focus: 17 v.; Tom Bean: 18/19; Paul Chesley/Photographers Aspir: 20/21; G. Merlino/Gamma: 22 o.; Steve McCurry/Magnum/Focus: 22 u.; 23 o. und u.; Georg Gerster/Rapho: 24/25; Bouvet/Gamma: 26/27

**ZUNDSTOFF WASSER**

**Thomas Raupach/Argus:** 28; W. Volz/Bilderberg: 29 o.; M. Honcke/Bilderberg: 29 m. o.; O. Kraft/Action Press: 29 m.; Pfeiffer/dpa: 29 m. u.; SVTansen/NTB/dpa: 29 u.; P. Frischmuth/Diagonal: 30 o.; G. Sargorska/Diagonal: 30; 30. W. Stecke/Vision: 31 o.; B. Edwards/SPL/Focus: 31 u.; 33 u.; W. Mayr/Focus: 32; Jeff Hydraulics: 33 o. r.; H.-J. Burkhardt/Bilderberg: 33 m.

**DAS MAGISCHE MOLEKUL**

**Volkhard Hofer:** 34/35; Douglas Faulkner: 36/37; M. Tuschmann: 40 o.; Nuridsany et Pérennou: 40 r.; Manfred Mahr: 40/41; 47, 49, 50/51; Karl S. Luttrell, assisted by Joe Stancaianu/NGS: 42/43; Dr. R. Legeckis/NOAA: 44 u.; H. Silvester/Rapho/Focus: 44/45; Rio Branco/Magnum/Focus: 46 o.; ONERA: 46 m. und u.; R. Kunze/Comstock: 48

**VIEL KOHLE FÜR DEN GUTEN SCHLUCK**

**Georg Fischer/Bilderberg:** 54–63 außer: Erwin Becker/BUNTE: 60; Kupferschmidt/Key Color: 61 o. und u.

**SIECKNERDE BOMBE**

**G. Sargorska/Diagonal:** 66 o. l.; M. Galli/Focus: 66 o. r.; H. Silvester/Rapho/Focus: 66 m. l.; Bernd-Christian Möller: 66 u. l., 68, 69, 72 u.; A. Krause/Focus: 66 u. r.; M. Mellor/Wheeler Pictures/Focus: 67 u. l.; Michael Langer/Vision: 73 o.; Horst Munzig: 73 u.

**EINE STADT ENTLEERT SICH**

**Wolfgang Volz/Bilderberg:** 74–87 außer: Sylvia Schmidt: 87 u.

**EIN BAD FÜR ALLE FÄLLE**

**Rainer Drexel/Bilderberg:** 88/89, 90 u. r., 91; Archiv f. Kunst und Geschichte, Berlin: 89 o. und u., 90 m., 92, 94 u., 95, 98 o. l., 99 o. und u.; Mark Izakowitz: 94/95, 97 m.; Gehrke/Archiv f. Kunst und Geschichte, Berlin: 96; C. D. Möller/Focus: 97 o. und u.; Yves Gellie/Gamma: 98 o.

**DIE BLAUE EMINENZ**

**Bill Curtiss/Photo Researchers Inc.:** 100/101; 102/103, 102 o. und r.; Carré/Jacana: 101 o.; Manfred Kage: 101 m. und u.; Y. Gladu/Jacana: 102 o. m.; C. Roessler/Bruce Coleman Inc.: 103 o.; Jeff Rotman: 104/105; M. McConaughay/Photo Researchers Inc.: 104 u.; H. Debelius/Ikan: 104 u.; Al Geddings/Ocean Images: 105 u. r.; David Doubilet: 108; The Granger Collection: 109 o. l.; Archiv für Kunst und Geschichte: 109 o. r.; Ch. Nicklin/Ocean Images: 109 p.; Romano/Ocean Images: 109 p.; F. Gohier/Photo Researchers Inc.: 110/111; F. Gohier/Jacana: 110 o. l.; D. + M. Plage/Bruce Coleman Ltd.: 110 u. l.; Horst Hall/Ikan: 110 u. r.; Frans Lanting: 111 o. l.

**NACH DEM REGEN – FERTIG.**

**LOS**

**L. S. Stepanowicz/SPL/Focus:** 114 o.; Claude Nuridsany: 114 m. o. und m.; 115 o. r.; Manfred Kage: 114 m. u., 115 u. l.; John Walsh/SPL/Focus: 114 u.; Dr. O. Klee: 115 o. l.; Norbert Pelka: 115 m. l., m. r. und u.; Jim Zipp/Photo Researchers Inc.: 115 m. r. o.; Dr. Heiko Bellmann: 115 m. u.

**EIN SAFTIGER ERG**

**Dr. J. Burgess/Science Photo Library/Focus:** 114/115, 123 o. l. und m.; Frans Lanting: 118/119; Kjell B. Sandved: 120/121; Uwe George: 120 m. o., 124 o. l.; Dr. Heinrich Harrer: 120 u. l.; K. D. Dammen/Photo Researchers Inc.: 122 r.; J. Bell/SPL/Focus: 122 m. o. und u., 124 m.; Bruno Barbey/Magnum/Focus: 123 u.; S. Stammers/SPL/Focus: 124 u.; Dr. N. Jürgens/Inst. f. Allgemeine Botanik: 125 o. (3); Philip Hyde: 126 u.

## UND ALLES GEHT DEN BACH

**GINAB**

**Georg Gerster:** 128/129, 132/133, 133 u.

**134/135; Paul Chesley/Photographers Aspir:** 130/131, 141 o. r.; Steve Northup/Black Star: 132 u.; Jean-Paul Ferrero/Auscape Int'l.: 134 o., 135 o. r.; Frans Lanting: 135 o. l., 137 o. t.; Tom Bean: 136 o.; 140/141; Loren McIntyre: 136 o.; C. E. Mohr/Photo Researchers Inc.: 138 o., P. Morrow/Black Star: 138 u.; Michael Nichols/Magnum/Focus: 139; Christian Nowak: 140 o.; David Hiser/Image Bank: 141 o. l.

**FLUTEN AUF DEM PRUMPFSTAND**

**Heiner Müller-Elsner:** 142–145, 150 o., 151 o.; Bernd-Christian Möller: 146/147; EOSAT/NLR/Delft Hydraulics: 148 o., 149 o. l. und m.; Raghu Rai/Magnum/Focus: 148 o. u.; P. Bartholomew/Gamma: 149 u.; Ovak Arslaman: 150 u.; Technical SPA, 151 u. (3)

**TECHNIK**

**Guido Mangold:** 154; Randa Bishop: 154/155; Claus Meyer/Black Star: 156 o.;

**Lowell J. Georgia/Photo Researchers Inc.:** 156 u.; H. Müller-Elser: 157; Paul Haarmann GmbH, Oeche: 158 u.; Die Schiffbaukunst/Korth, Berlin: 1826: 159 o.; Design Systems & Services, Annapolis: 159 m.; H. J. Burkard/Bilderberg: 160; M. Lange/Visum: 161; Archiv Pfanni München: 162 m. l.; Georg Fischer/Bilderberg: 162 o. r., 165 o.; MBB GmbH: 165 u.

**KEINER MACHTS SO GROSSEN DRUCK**

**Y. Arthur-Bertrand/Focus:** 166/167; Werkfoto Ascea Brown Bovery: 168/169, 171; W. Volz/Bilderberg: 172 o.; Michael Nichols/Magnum/Focus: 172 o.; Mit frdl. Genehmigung O. Winston Link: 172 u.

**DEN TRINKER NENNT MAN GEWALTIG, DEN DÜRSTER NIEMAN**

**GEWALTSCHÜT DUST DEM WASSE**

**Jack Fields/Photo Researchers Inc.:** 178/179; Yves Gellie/Gamma: 180 o., J. L. Stage/

**Image Book:** 180 o.; G. P. Müller/In den Tempeln der Badelust/Bucher Verlag: 181

**o.; P. Chesley/Photographers Aspir: 181 u.; Gérard Vandystad: 182/183; Steve Powell/Sports Illustrated: 182 u.; Ch. PetitVandyat/Photo Researchers Inc.: 184/185; Peter Ginter: 185 o.; Michael Nichols/Magnum/Focus: 185 m.; Sylvie Chappaz/Vandystadt: 185 u.; David Doubilet: 186 o.; Barbetta Michael/Vandystadt/Focus: 186 u.; Stephan Wicki: 187 o.; Michael Friedel: 187 u.; Peter Carsten: 188/189**

**SEELE DES MENSCHEN, WIE GLEICHST DU DEM WASSE**

**Jack Fields/Photo Researchers Inc.:** 178/179; Yves Gellie/Gamma: 180 o., J. L. Stage/

**Image Book:** 180 o.; G. P. Müller/In den Tempeln der Badelust/Bucher Verlag: 181

**o.; P. Chesley/Photographers Aspir: 181 u.; Gérard Vandystad: 182/183; Steve Powell/Sports Illustrated: 182 u.; Ch. PetitVandyat/Photo Researchers Inc.: 184/185; Peter Ginter: 185 o.; Michael Nichols/Magnum/Focus: 185 m.; Sylvie Chappaz/Vandystadt: 185 u.; David Doubilet: 186 o.; Barbetta Michael/Vandystadt/Focus: 186 u.; Stephan Wicki: 187 o.; Michael Friedel: 187 u.; Peter Carsten: 188/189**

**GLOSSAR**

**Gerhard P. Müller:** 190 o.; Ted Spiegel/Black Star: 190 u. l.; Georg Gerster/Anne Hamann: 191 o. l.; M. Laurent/Gamma: 191 m. l.; Jésé/Splendore: 192 o.; Jack Rosen/Photo Researchers Inc.: 192 m.; Loren McIntyre: 193 o., 195 m.; J. Bell/SPL/Focus: 193 u.; J. P. Ferrero/Auscape Int'l.: 194 o.; Dr. J. Burgess/SPL/Focus: 196 o.; Horst Munzig: 197 o.; Georg Gerster/Rapho: 198 o.; Ken Mills/Canadian Dept. of Fisheries & Oceans: 199; A. Renger/Bilderberg: 200; Archiv f. Kunst und Geschichte: 201 o. l.; Den Stock/Magnum/Focus: 201 m. l.; Georg Gerster: 201 m. r.; J. Charles/Rapho: 201 u.; Béldorf/Architecture Hydraulique, Paris 1739: 202 o. l.; Rosine Mazin/TOP: 202 o. r.; Delt Hydraulics: 203 o.; Sébastien Salgado/Gamma: 203 u.

**ZEICHNUNGEN/ILLUSTRATIONEN**

**Vladimir Renéit:** 3, 42, 156, 161; Jörg Kühn: 38/39; Carl-W. Rohrig: 45 u., 64/65;

**Rainer DrosteggEO:** 70/71, 194; Holger Everling: 82, 191, 196–200; Detlef Wald/Studio für Landkartentechnik: 92/93, 157, 192; Barbara Michael: 106/107, 116/117, 152; ASEEA Brown Bovery: 170; Francis Mosley/The Times: 174/175

**Das Zitat aus dem Roman „Ulysses“ von James Joyce (S. 165) erscheint mit Genehmigung des Suhrkamp Verlag**

**© GEO 1988, Verlag Gruner + Jahr, Hamburg, für sämtliche Beiträge.**

**Einem Teil der Auflage liegen Prospekte für Time-Life, Neues Gymnasium Zürich, IVA und Gruner + Jahr + Cobes.**

# *Der elementare Termin.*



## **WASSER BERLIN '89**

Kongress und Info-Schau „Wir und das Wasser“

10.-16. April

in Verbindung mit

### **IFW '89 Berlin**

Internationale Fachmesse Wasserversorgung  
10.-14. April

Träger: WASSER BERLIN Kongress und Ausstellung e.V., Messedamm 22,  
D-1000 Berlin 19, Tel.: (030) 3 02 38 85/30 38 20 82, Telex: 182 908 amkb d

# DIE KOMPAKT-KAMERA DES JAHRES 88/89 IN EUROPA.



## ► DIE AUSZEICHNUNG:

Die AZ-300 Super-Zoom ist international die modernste und innovativste Kompakt-Kamera. Zu diesem Ergebnis kamen die Redaktionen der führenden Foto-Fachzeitschriften aus 12 europäischen Ländern.

## ► DIE WÜRDIGUNG:

Das Votum der Jury zur AZ-300 Super-Zoom war einstimmig: „Diese hochautomatisierte und einfach zu bedienende Kamera setzt neue Maßstäbe im Design“, heißt es in der offiziellen Würdigung.

# AZ-300 SUPER ZOOM



trait-Zoom-  
automatik.

## ► DIE ÜBERLEGENHEIT:

Die AZ-300 Super-Zoom ist weltweit das erste Kamerakonzept mit den Vorteilen von Sucher- und Spiegelreflex-Kameras. Herausragend aus der Sicht der Jury: Das (Fast-) Dreifach-Motor-Zoom. Das äußerst präzise Autofocus-System. Das perfekte Blitzsystem. Die vollautomatische Belichtung. Die Spotmessung. Und ganz besonders: Die raffinierte Por-

**OLYMPUS**  
CAMERAS

