

GEO

WISSEN

C 9021 F
Nr 2/Montag, 11. 5. 1992
DM 14,80
sfr 14,80; öS 105,-

DAS ÜBERLEBENS- PRINZIP

ÖKOLOGIE + EVOLUTION

ARTENVIELFALT

**Der riskierte
Reichtum**

NEANDERTALER

**Unser
starker Nachbar**

MASSENSTERBEN

**Die schöpferischen
Krisen**

WALDFORSCHUNG

**Das verzweigte
Rätsel**



SEAT TOLEDO

KOMPROMISSLOSE TECHNOLOGIE



Abb.: SEAT TOLEDO GLX 1.8i

TOLEDO

ANSPRÜCHE WERDEN REALITÄT

Ohne Wenn und Aber setzen wir beim SEAT TOLEDO konsequent auf modernste Technik. Bei allen Einzelteilen genauso wie bei der Verarbeitung. Vor allem aber bei den Motoren machen wir keine Zugeständnisse. Damit Sie keine Kompromisse eingehen müssen. Denn allen Triebwerken ist von vornherein eines gemeinsam: Temperament bei hoher Umweltverträglichkeit. SEAT bietet eben für alle Versionen des TOLEDO schadstoffarme Motoren.

So sorgen bei den Benzinern Cross-Flow-Zylinderköpfe, prozessorgesteuerte Einspritzung

und serienmäßig geregelter 3-Wege-Katalysator für optimale Kraftstoffausnutzung und saubere Verbrennung.

Zusätzlich verhindert ein Verdunstungskontrollsystem mit Kohlefilter, daß beim Tanken Benzindämpfe entweichen. Fünf Leistungsstufen stehen bei den Benzinern zur Wahl. Vom 1,6i mit 52 kW (70 PS) für bequemes und wirtschaftliches Fahren bis zum sportlichen 1,8i/16-Ventiler mit 92 kW (128 PS).

Aber auch für die große Zahl der Diesel-Freunde bietet der SEAT TOLEDO zwei Motoren mit ansprechender Leistung und sauberer Technik. Wie etwa den 1,9-l-Turbodiesel, 55 kW (75 PS). Mit Oxidationskatalysator und Abgasrückführung bleibt er selbst unter der strengen Töpfer-Norm von weniger als 0,08 g Partikelemission pro Kilometer. Sein Prädikat „besonders schadstoffarm“ beschert dem Halter

ein Jahr Steuerbefreiung bei Zulassung vor dem 31. 7. 1992.

Spätestens jetzt dürfte es also keinen Grund mehr geben, in puncto Motorisierung faule Kompromisse einzugehen. Schließlich kostet der Einstieg in einen TOLEDO CL 1,6i gerade mal eben DM 21.670,-*. Machen Sie eine Probefahrt! Und Ihre Ansprüche werden Realität.

INFO-SERVICE: 01 30/77 05

Oder schreiben Sie an SEAT-Informations-Service, Postfach 190307, 4000 Düsseldorf 11. Über die attraktiven Angebote von SEAT Bank, SEAT Leasing und SEAT Versicherungs-Service informiert Sie wie immer gerne Ihr SEAT-Händler.

* Unverbindliche Preisempfehlung ab Importeur SEAT Deutschland





Lebe Lesen, liebes Leses,

GEO
WISSEN

Verlag Gruner + Jahr AG & Co. Am Baumwall 11, 2000 Hamburg 11, Postanschrift für Verlag und Redaktion: Postfach 11 00 11, 2000 Hamburg 11, Telefon: 040/37 03-0, Telex: 219520, Telefax: 040/37 03 56 73

CHEFREDAKTEUR

Hermann Schreiber

ART DIRECTOR

Erwin Ehret

REDAKTIONSLEITER

Günter Haaf

GESCHÄFTSFÜHRENDE REDAKTEURE

Ernst Artur Albaum (Text), Christiane Breustedt (Bild)

TEXTREDAKTION

Klaus Bachmann, Dr. Henning Engeln, Uta Henschel,

Dr. Hania Luczak, Dr. Manfred Pietschmann,

Christoph Schröder

Reporter: Dr. Jürgen Neffe

Dokumentation: Monika Hilgers

Red. Assistenz: Angelika Janssen

BILDREDAKTION

Josef Hurban

LAYOUT

Franz Braun (Leitung), Peter Dasse, Johannes Dönges,

Andreas Knoche, Andreas Krell, Monika Thomsen,

Peter Voigt

KARTOGRAPHIE

Rainer Droste, Günther Edelmann

SCHLUSSREDAKTION

Hans-Werner Kühl, Dr. Friedel H. Bastein, Jürgen

Brüggemann, Manfred Feldhoff, Hinnerk Seelhoff,

Sigurd-Falk Weber

Assistenz: Hannelore Koehl

MITARBEITER

Dr. Hinnich Bäsemann, Berndt Barsch, Bernhard Baus-

ke, Prof. Dr. Josef Blab, Prof. Dr. Günter Bräuer, Rüdiger

Braun, Dr. Kirsten Brodde, Albert Gerdes, Matthias

Glaubrecht, Dr. Hans Halmeier, Martin Klings, Jörg

Meinänder, Wolfgang Meschede, Prof. Dr. Klaus Michael

Meyer-Abich, Susanne Paulsen, Gero von Randow, Andrew

Revkin, Dr. Roland Röhl, Ulrike Roll, Monika

Rößiger, Prof. Dr. Ulrich Steger, Dr. Beatrix Stoepel,

Barnabas Thwaites, Joachim Trucks, Hanne Tügel

Illustrationen: Holger Everling, Barbara Michael

GEO-BILDARCHIV

Birgit Heller, Gunda Guhl-Lerche, Peter Müller

FARBIMPRIMATUR

Norbert Kunz

GEO-BÜROS

Moskau: Wladimir Pyljow, 121 099 Moskau, Smolenskaja

Ploshad 1321 189, Tel. 0070 95 248 70 81;

New York: Ruth Eichhorn (Leitung), Brigitte Barkley,

Wilma Simon, 685 Third Avenue, 22nd Fl., New York,

NY 10017, Tel. (212) 599-4040, Telefax: (212) 972-2761

Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt:

Günter Haaf

VERLAGSLEITER

Heiner Eggert

ANZEIGENLEITER

Rolf Grimm

(verantwortlich für Anzeigen)

VERTRIEBSLEITER

Uwe Henning

HERSTELLER

Peter Grimm

GEO-Wissen-LESERSERVICE

Gruner + Jahr AG & Co

Postfach 10 25 25, 2000 Hamburg 1

Postscheckkonto Hamburg 240 00-209

BLZ 200 100 20

Tel. 040/37 03 32 36

Schweiz: GEO-Wissen-Leserservice, 6045 Meggen

Tel. 041-37 36 78

Heft-Preis: DM 14,80 - ISBN-Nr. 3-570-01060-0

Buchhandelsfassung: DM 19,80 - ISBN-Nr. 3-570-01213-1

Auslandspreise: Schweiz sfr 14,80; Österreich OS 105,-;

übriges Ausland auf Anfrage

Jahresabonnement Inland DM 51,20 frei Haus (pro Heft

DM 12,80), Jahresabonnement Schweiz sfr 51,20 frei Haus,

Jahresabonnement Österreich OS 350,- frei Haus, Jahres-

abonnement übriges Ausland auf Anfrage, GEO-Special

Leserservice, D.P.V., Postfach 10 16 02, 2000 Hamburg 1,

© 1992 Gruner + Jahr, Hamburg

ISSN-Nr.: 0933-9736

Anzeigenpreisliste Nr. 6 vom 1. 1. 1992

Bankverbindung: Deutsche Bank AG, 2000 Hamburg 1,

Konto-Nr. 03 22 800

Repro: Werner Hirtle KG, Hamburg

Druck: Mainpresse Richterdruck, Würzburg

Ökologie ist ein Muß für ein Magazin wie GEO-Wissen, das sich zum Ziel gesetzt hat, über die entscheidenden wissenschaftlichen Entwicklungen und deren Folgen für die Gesellschaft zu berichten. Allerdings gibt es da eine Schwierigkeit, die Hans Magnus Enzensberger so beschrieben hat: „Ökologie ist im Grenzfall jedermann.“

Auch wenn Sie (fast) alles über das Thema zu wissen glauben, möchte ich Sie einladen, auf den folgenden Seiten die Umweltkrise aus einer ungewöhnlichen Perspektive kennenzulernen – aus der evolutionären.

Denn Ökosysteme existieren, wie die allermeisten der darin lebenden Tier- und Pflanzenarten, nicht schon seit Urzeiten in ihrer heutigen Form. Vielmehr haben sie sich in einer oft turbulenten Geschichte über Jahr-millionen hinweg entwickelt. Und wenn der Mensch diese Dynamik bremst, gefährdet er sein eigenes Überleben. Deshalb gleicht jeder Versuch, Naturschutz ohne Rücksicht auf ökologische und evolutionäre Prozesse zu betreiben, dem hoffnungslosen Vorhaben,

die marode Wirtschaft Rußlands ohne historische Kenntnis des Landes zu reformieren.

Eine weitere Schwierigkeit war uns von Anfang an bewußt: Wie können wir die schwindelerregende Vielfalt der Natur und unsere kaum weniger komplexen Eingriffe darin in lesbare Beiträge umsetzen? Wie lassen sich die abstrakten Prinzipien der evolutionären Ökologie mit der oft hitzigen Praxis der politisch-weltanschaulichen Öko-Bewegung auf 180 redaktionellen Seiten sinnvoll verbinden?

Wir haben uns für den bewährten, aber beschwerlichen Weg entschieden: am Ort des Geschehens zu recherchieren – in zoologischen Instituten wie in Braunkohle-Tagebaugruben, in gentechnischen Labors wie in „heiligen Wäldern“. Als Beispiel für das mühsame journalistische Geschäft, „Wissenschaft im Werden“ zu beschreiben, möchte ich die Reportage meines Kollegen Manfred Pietschmann auf Seite 50 nennen. Er beschreibt, wie Biologen im tropischen Ambiente Panamas versuchen, den evolutionären Werde-

gang der küstennahen Meeresökosysteme von Karibik und Pazifik zu rekonstruieren, seit diese durch das Aufsteigen der mittelamerikanischen Landbrücke getrennt worden sind.

Theoretisches Wissen allein genügt allerdings nicht, um unsere Lebensgrundlagen zu bewahren. Dazu bedarf es ebenso ethischer Werte und praktischen Handelns. Alle drei Voraussetzungen sehen wir in der Person des renommierten Zoologen Edward O. Wilson von der Harvard University vereint, den Andrew Revkin ab Seite 32 portraitiert: Wilson spielt eine zentrale Rolle im Kampf um den Erhalt der artenreichen Tropenwälder.

Über die Vernichtung dieser einzigartigen Ökosysteme durch den Menschen haben unsere Kollegen vom „grünen“ GEO von Anfang an aufrüttelnd berichtet. Mehr noch: Sie haben vor zwei Jahren die Initiative „Projekt Tropischer Regenwald“ gegründet, die seither mit Spenden engagierter Leser Forstprogramme und biologische Forschungsvorhaben finanziert. Die Projekte sollen den wirtschaftlichen Druck auf die Tropenwälder mindern helfen.

Nach fünf Jahren Preisstabilität ist GEO-Wissen leider teurer geworden. Doch wir bieten Ihnen das Magazin künftig im Abonnement für zwei Mark weniger an als am Kiosk – und das bei Lieferung frei Haus.

Herzlich Ihr

Klaus Bachmann

Klaus Bachmann



ESSAY

Denn Bestand hat nur der Wandel

Wie die Saurier entstanden im Lauf der Evolution Myriaden von Kreaturen und verschwanden wieder, mitunter in globalen Katastrophen. Auch die heutige Artenfülle ist stark bedroht: Der Mensch zerstört die Dynamik einzigartiger Ökosysteme – und gefährdet damit sein eigenes Überleben. Seite 6



ARTENVIELFALT

Der riskierte Reichtum

Tropische Regenwälder bergen eine bislang kaum erforschte Fülle von Pflanzen- und Tierarten. Doch dieser Schatz geht buchstäblich in Rauch auf. Gegen die Vernichtung biologischer Diversität stemmt sich vor allem der US-Zoologe Edward O. Wilson. Seite 32



PANAMA

Im Naß-Labor des Lebens

In den pazifischen und karibischen Küstengewässern Mittelamerikas läßt sich die Handschrift der Evolution exemplarisch studieren: Hier leben die Nachfahren jener Kreaturen, deren ozeanischer Lebensraum vor rund drei Millionen Jahren durch die seinerzeit aufsteigende Landbrücke von Panama zerissen worden ist. Seite 50



URMENSCHEN

50 000 Jahre Zweisamkeit

Unsere Vorfahren haben die Neandertaler keineswegs schnell verdrängt, wie noch vor kurzem angenommen wurde. Vielmehr lebten anatomisch moderne Menschen – das belegen fossile Zeugnisse aus Israel – im Nahen Osten für eine kleine Ewigkeit mit ihren eiszeitlichen Verwandten zusammen. Seite 62

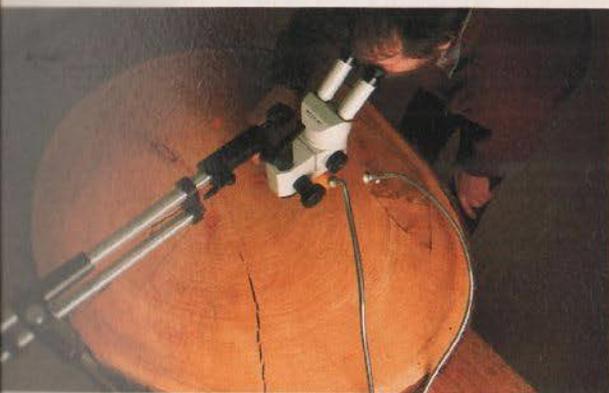




PARASITEN

Die Not mit dem inneren Feind

Seit Anbeginn führt der menschliche Körper einen Kampf gegen meist mikroskopisch kleine Krankheitserreger. Manchmal schließen die ungleichen Gegner eine Art Waffenstillstand – Ergebnis einer langen Koevolution. Im Fall Aids allerdings tobt zwischen ihnen ein totaler Krieg. Seite 72



WALD

Das verzweigte Rätsel

Licht ins ökologische Dunkel der dominierenden Vegetationsform Mitteleuropas wollen Forscher der Universität Göttingen bringen. Denn trotz des grassierenden Baumsterbens ist über das Werden und Vergehen des Ökosystems Wald bislang wenig bekannt: Die einfachen Ursache-Wirkung-Modelle versagen. Seite 76



RENATURIERUNG

Ein grüner Deckel für die Grube

Im Braunkohlenrevier zwischen Aachen und Köln reißen Riesenbagger gigantische Löcher in die Landschaft. Die Tagebau-Krater, Wunden im Antlitz der Erde, werden wieder aufgefüllt und dann mit Grün vom Reißbrett kuriiert: Natur aus zweiter Hand. Seite 138



ZOO

Überleben im Exil

Tiergärten in aller Welt haben eine neue Aufgabe angepackt: Gemeinsam managen sie 2000 bedrohte Spezies. Doch was retten die Zoos mit ihren Zuchtprogrammen und künstlichen Biotopen – gefährdete Tierarten oder nur lebende Museumsstücke? Seite 154

Denn Bestand hat nur der Wandel 6

Der Mensch als Teil treibt Raubbau zu Lasten des Ganzen

Was sollen wir in einer sich stetig verändernden Welt schützen? Und warum? 21

Reine Beziehungssache

Wer die Dynamik eines Ökosystems verstehen will, muß auch auf die Evolution derer achten, die in ihm leben 24

Der riskierte Reichtum 32

Die schöpferischen Krisen

Das Ende der Dinosaurier war nur eines von vermutlich 17 Massensterben 48

Im Naß-Labor des Lebens 50

50 000 Jahre Zweisamkeit 62

Die Not mit dem inneren Feind 72

Das verzweigte Rätsel 76

Fromme Scheu schützt die Natur

Religiöse Mythen bewahren in vielen Teilen der Welt kostbare Reste ursprünglicher Natur 86

Katastrophen

Die Natur selbst greift das Leben immer wieder an – mit Vulkanausbrüchen, Waldbränden oder Überschwemmungen 94

Der Mensch attackiert die Biosphäre zusehends durch:

Überbevölkerung	100
Treibhauseffekt	101
Entwaldung	103
Ozon	105
Dünger	106
Umwelt-Chemikalien	107

Mein Freund, der Baum

In Umwelterziehungs-Zentren steht »Natur« auf dem Stundenplan 110

Gewagter Schritt ins Freie

Obwohl die Risiken ungeklärt sind, verlassen gentechnisch veränderte Organismen das Labor 116

Von der trockenen Theorie zur alternativen Hoffnung

Eine Ideengeschichte der Ökologie 124

Panda, Regenbogen & Co.

Über Methoden und Probleme der Öko-Multis Greenpeace und WWF 136

Ein grüner Deckel für die Grube 138

Das gleiche Recht für alle Kreaturen

Die geltenden Umweltgesetze offenbaren prinzipielle Schwächen 147

Nachgefragt

Drei Umweltexperten geben Antwort 150

Überleben im Exil 154

Glossar: Von Abfall bis Zersetzer

Erklärung wichtiger Begriffe mit größeren Beiträgen zu den Stichworten Artificial Life, Evolutionstheorien, Naturschutzgebiete und Sukzession 166

Continuo: Es stand in GEO-Wissen

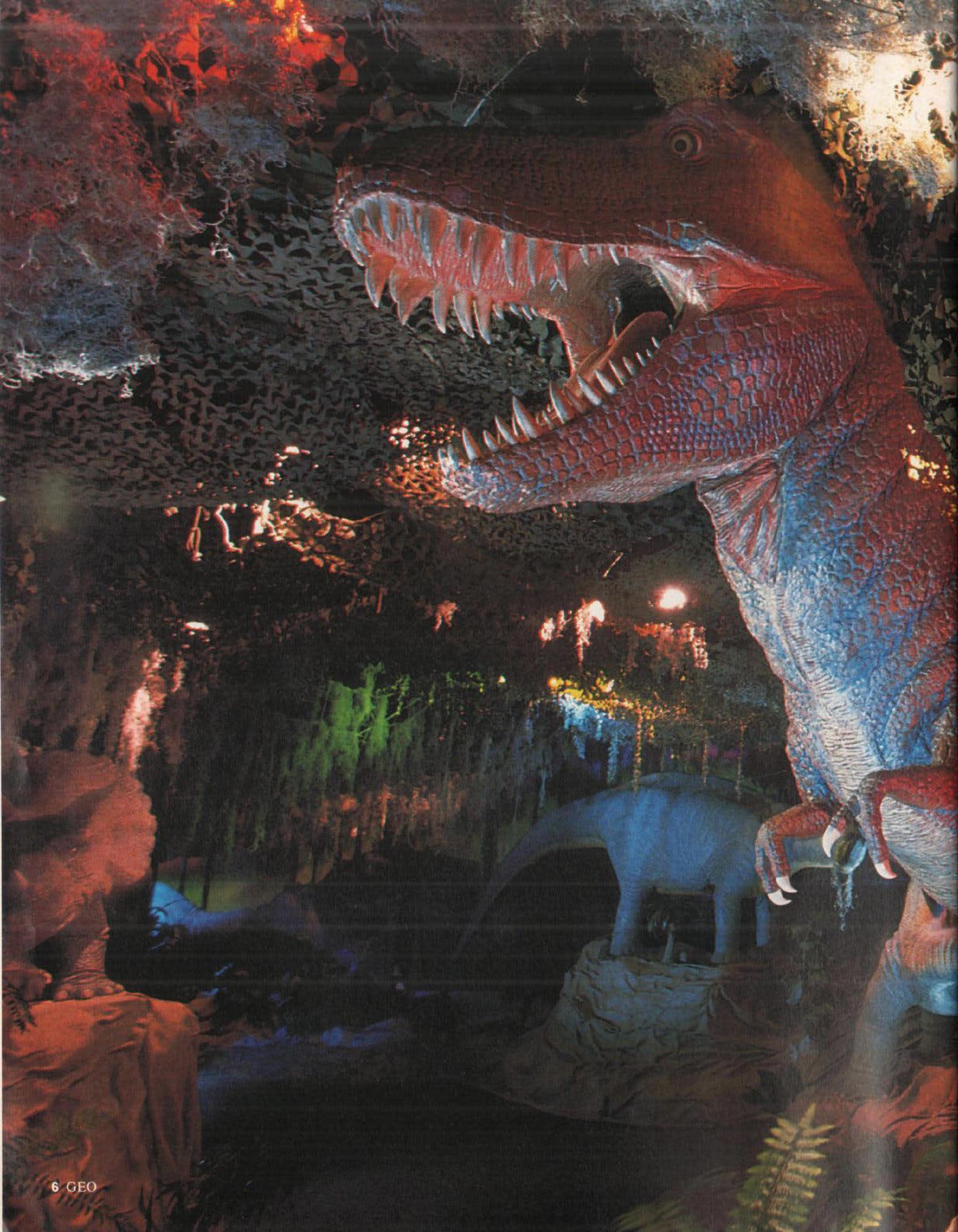
Insekten: Die geborgte Abwehr 178
Klinikinfektionen: Kampf den Keimen 178

Literatur, Bildnachweis 180

Vorschau 181

Titel-Illustration: Peter Maltz

Redaktionsschluß: 25. März 1992





Milden Schrecken verbreitet die Tyrannosaurus-Nachbildung, zu mechanischem »Leben« erweckt, unter Besuchern einer amerikanischen Dino-Show. Wie die Saurier entstanden im Lauf der Evolution Myriaden von Kreaturen und verschwanden wieder, mitunter in globalen Katastrophen. Auch die heutige Artenfülle ist stark gefährdet: Die Spezies Mensch zerstört in ihrem Expansionsdrang die Dynamik ganzer Ökosysteme – und untergräbt damit das Überlebens-Prinzip

**DENN
BESTAND HAT
NUR DER
WANDEL**





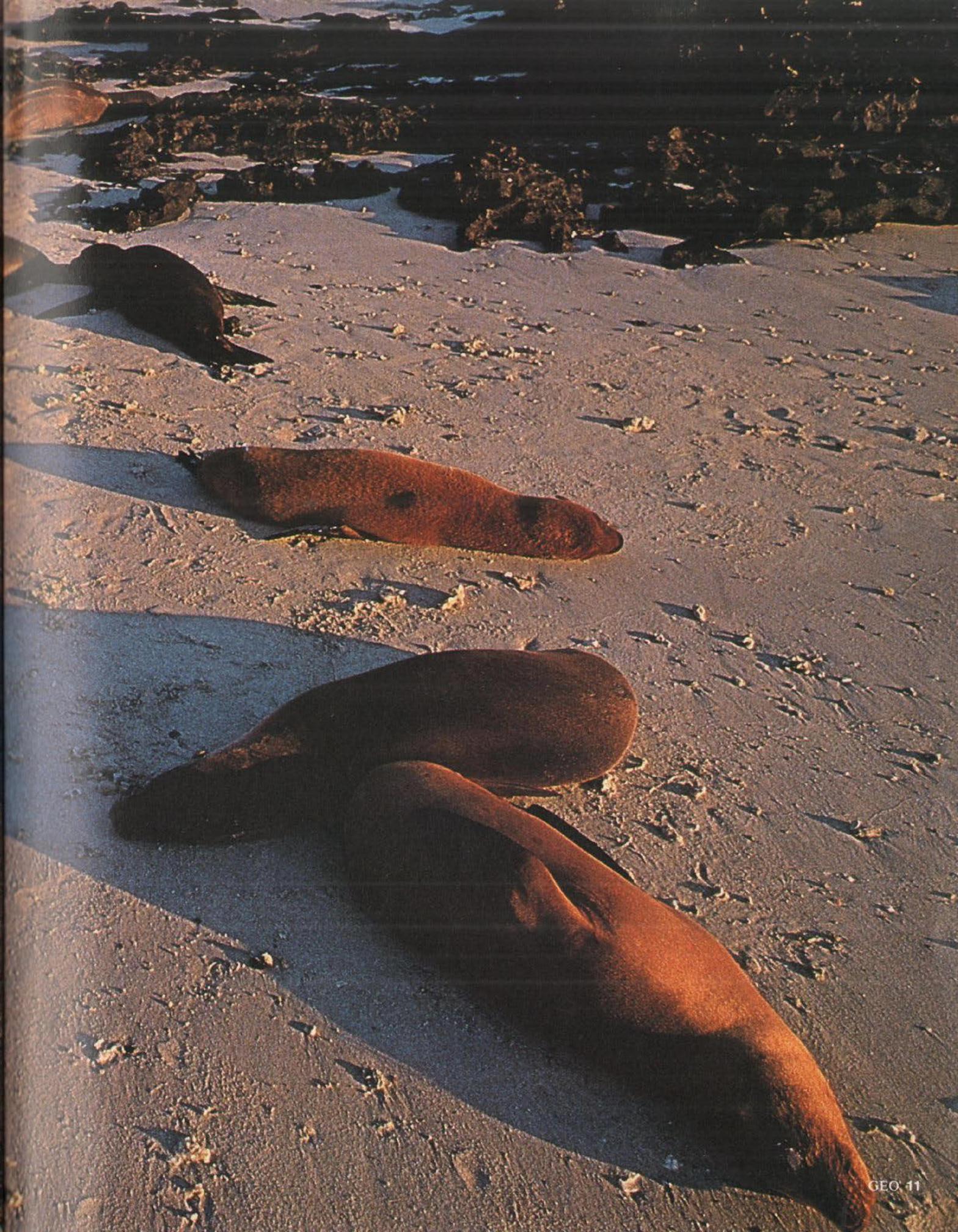
Als Garten Eden erscheinen Tropenwälder wie hier auf Madagaskar vielen Menschen aus ärmeren Vegetationszonen. Doch Artenfülle garantiert keineswegs, wie oft vermutet, besonders hohe Stabilität: Bei allzu groben Eingriffen geht die biologische Mannigfaltigkeit solcher subtil vernetzten Ökosysteme unwiederbringlich verloren

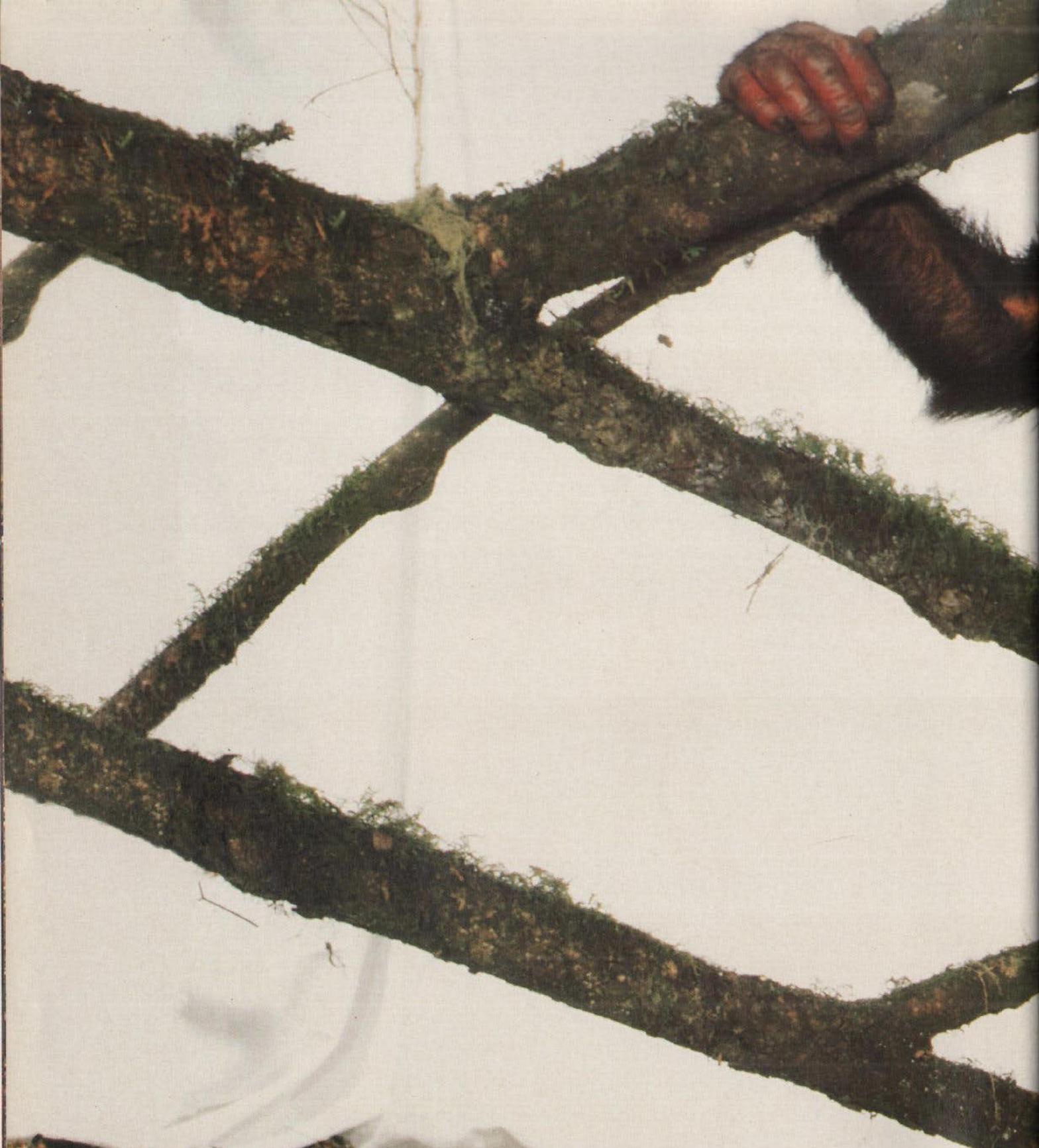
Paradiesische Pracht auf kargem Boden



Ohne Scheu voreinander machen Peter Oxford und die Seelöwen Siesta am Strand einer Insel im Ostpazifik. Die friedliche Koexistenz zwischen Mensch und Tier beruht, zumindest in diesem Fall, durchaus auf gegenseitigem Nutzen: Peter Oxford ist Führer im ecuadorianischen Galápagos-Nationalpark

Im Schlaf sind sich die Säuger gleich

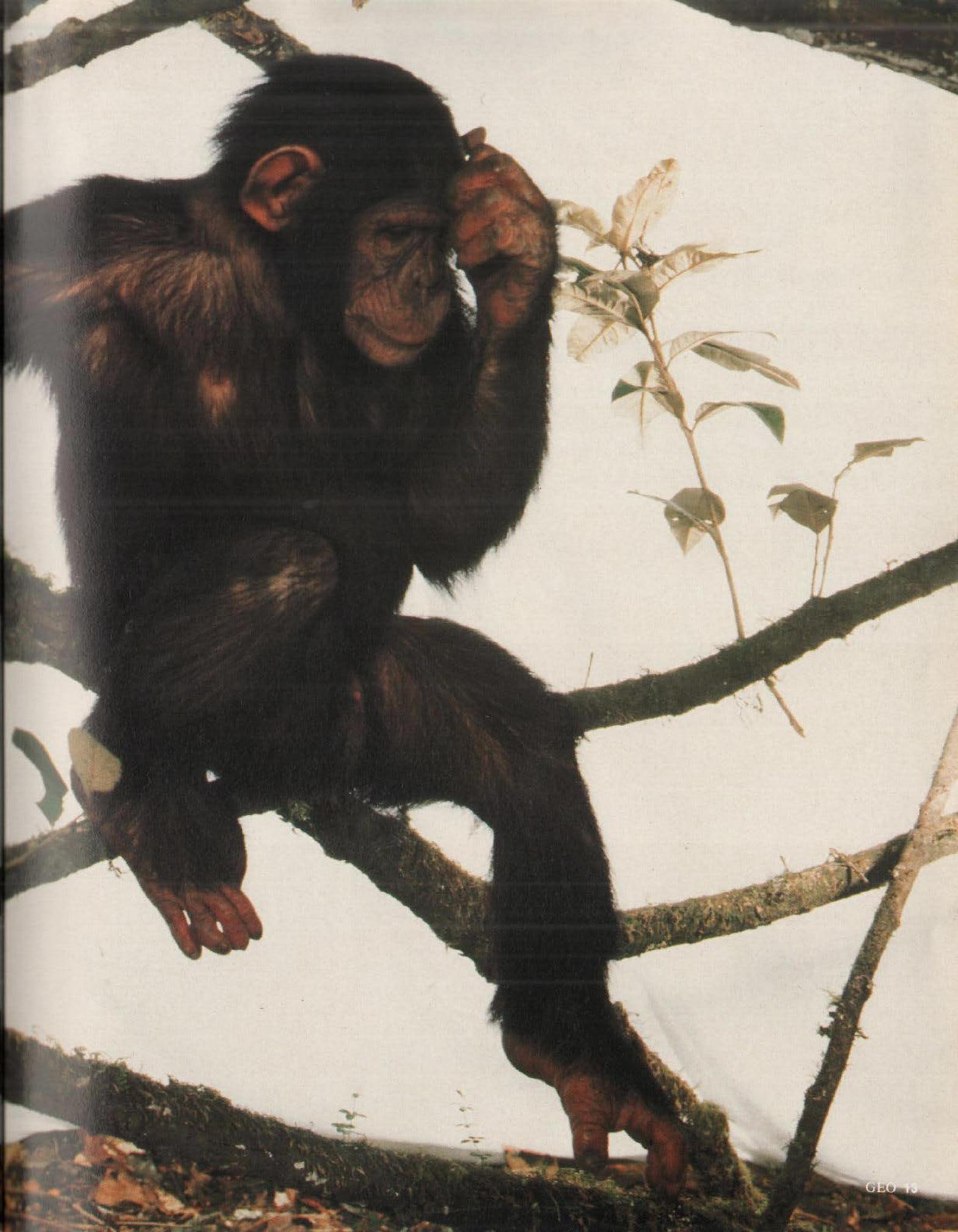




Vor ungewissem Schicksal bewahrt haben Naturschützer den vierjährigen Schimpansen Mzee, als sie ihn einem Händler abkauften. In einem »Waisenheim« am Mount Kenya wird das ausgehun-

gerte Tier wieder aufgepäppelt. Die engsten biologischen Verwandten des Menschen sind begehrte Versuchsobjekte der biomedizinischen Forschung

Seine Not ist seine Ähnlichkeit







Aggressive »Killerbienen« stürzen sich aus einem alten Ölfaß auf die verummten menschlichen Störenfriede. Die beiden Beamten des US-Landwirtschaftsministeriums erforschen den offenbar un-aufhaltsamen Zug der besonders wehrhaften Insekten gen Norden. Die Bienen begannen 1957 in Brasilien auszuschwärmen und haben inzwischen Texas erreicht: die unbeabsichtigte Folge einer Kreuzung von europäischen mit afrikanischen Honigbienen

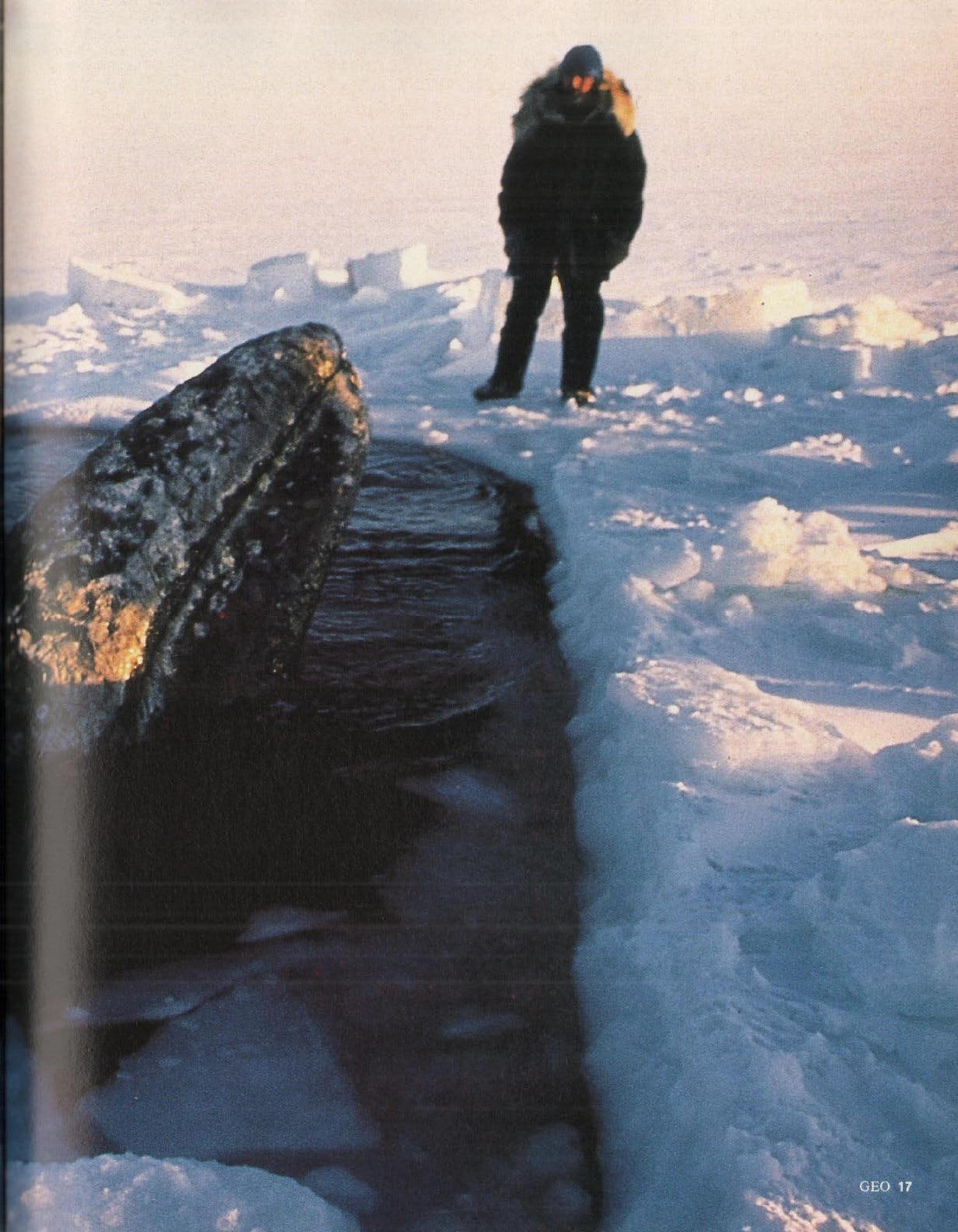
Invasion einer bestechenden Züchtung

Das Schicksal von drei Grauwalen ging 1988 tagelang Millio-

nen Menschen zu Herzen: Vor der Nordküste Alaskas waren die Meeressäuger vom Eis eingeschlossen worden und drohten unter ihm zu ersticken. Tierfreunde versuchten mit großem technischen Aufwand, den Giganten einen Weg ins offene Meer zu bahnen; lediglich zwei kamen durch. Solche spektakulären Einzelaktionen verschleiern eher den Blick auf das Artenschutz-Problem: Ohne intakte Lebensräume nützt die Rettung individueller Tiere auf Dauer nichts

Ein warmes Herz für die Riesen im Eis





A photograph showing a person sleeping on a red airship canopy in a tropical rainforest. The canopy is supported by a yellow pole. The background is a dense, lush green forest. The person is wearing a grey jacket and a white cap, and is covered with a grey blanket with red and yellow stripes. The airship canopy is made of a dark mesh material.

Auf grünen Kissen, prall gefüllt mit Leben, nächtigen Biologen nach einem anstrengenden Forschungstag in den Wipfeln des tropischen Regenwaldes von Französisch-Guayana: Per Luftschiff haben sie ein riesiges Netz auf dem Kronendach abgesetzt, um dessen noch weitgehend unbekanntem Artenreichtum zu studieren. Von allen Ökosystemen bergen Tropenwälder, diese Experimentierküchen der Evolution, die größte Formenfülle

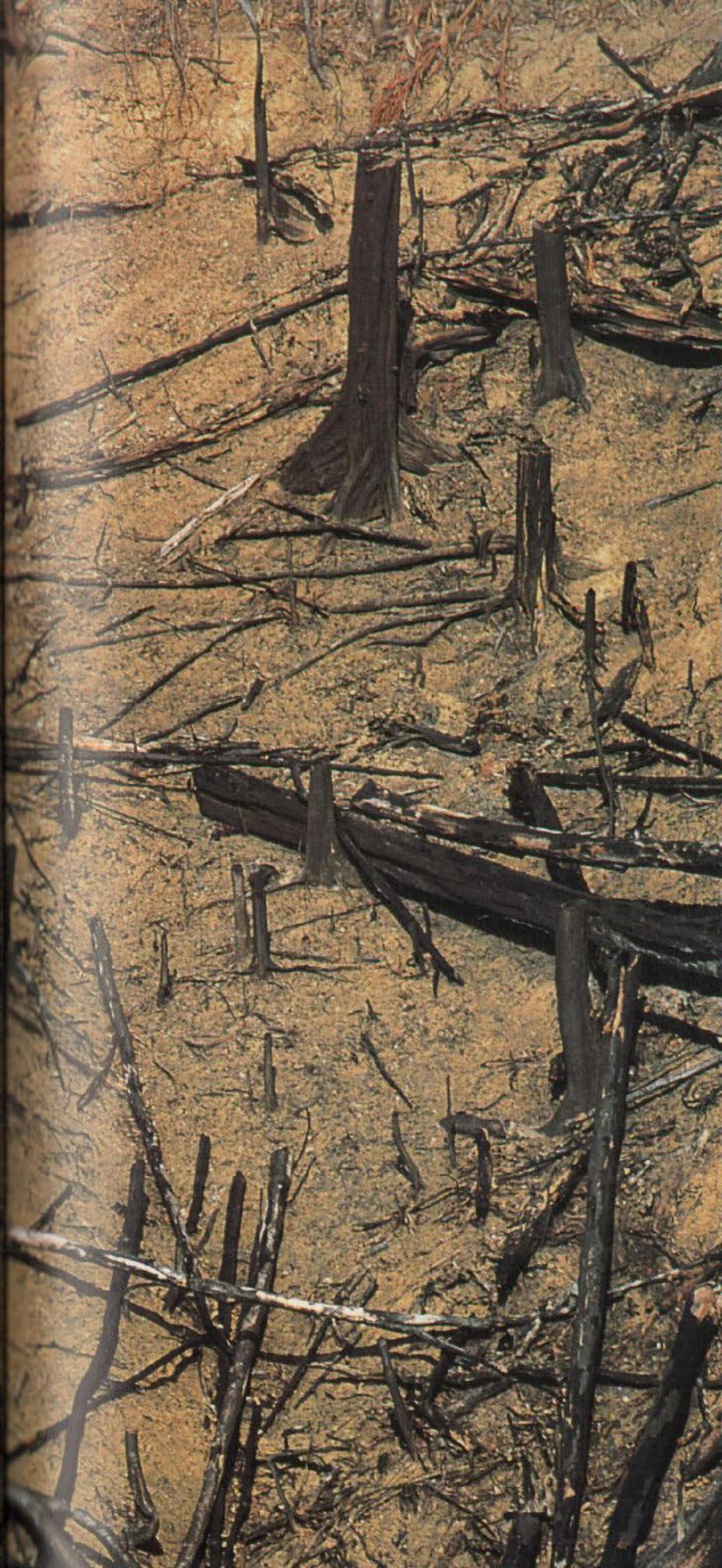
Schlummern auf dem grünen Schatz



An aerial photograph showing a vast, desolate landscape of charred tree trunks and branches scattered across a dry, brownish ground. Two people are walking through the wreckage in the lower-middle section of the frame. The scene is one of complete devastation, with no greenery or standing trees visible.

Wie die Überlebenden einer bombardierten Stadt irren Angehörige des Punan-Volks durch die Trümmer Ihrer Heimat in Sarawak, dem malaysischen Teil der Insel Borneo. Kahlschlag aus Profitgier oder wegen des Drucks einer zu schnell wachsenden Bevölkerung vernichtet nicht nur unschätzbare biologische Diversität, sondern auch die kulturelle Vielfalt der Völker des Regenwaldes

Verloren im Ödland jenseits von Eden



DER MENSCH ALS TEIL TREIBT RAUBBAU ZU LASTEN DES GANZEN

Es ist ganz natürlich, daß Menschen sich hemmungslos vermehren, Tiere und Pflanzen ausrotten oder zur Nahrungsbeschaffung Böden auslaugen. Denn die Spezies Homo sapiens ist ein Teil der Natur wie jede andere Kreatur – vom Einzeller bis zum Elefanten. Im alltäglichen evolutionären Wettlauf ums Überleben beutet auch unsere Art Ressourcen aus, wo immer sie diese findet. Und dabei sind wir erfolgreicher als alles, was bislang dagewesen ist.

Allerdings: Diese „Natürlichkeit“ ist für uns keineswegs ein Freibrief zur Zerstörung. Denn im Gegensatz zum Rest der belebten Welt können und müssen wir unser Tun verantworten – vor uns selbst, unseren Kindern, unserem Schöpfer.

Wir stecken in einem existentiellen Dilemma. Der Mensch hat zwar eine im erdgeschichtlichen Maßstab schwindelerregend schnelle kulturelle Evolution durchlaufen, aber auch als Kulturwesen unterliegt er weiterhin den Gesetzen der Biologie. Deshalb ist die Menschheit auf Gedeih und Verderb verwoben mit der Biosphäre, deshalb können wir nicht auf Kosten der übrigen Natur endlos wachsen. Irgendwann greift das, was Ökologen „limitierende Faktoren“ nennen – wie im Labor bei einem Bakterienrasen, der eine Petrischale zuwuchert und zugrunde geht, nachdem er das Futter im glibbrigen

OHNE DIE VIELFALT DER ARTEN REISST DER FADEN DES LEBENS

Nährboden aufgezehrt hat. Und wie im Freiland, wo etwa die Bevölkerungsexplosion von Lemmings immer wieder in Katastrophen mündet. Kollidiert die Menschheit mit den Grenzen des Wachstums, wird unsägliches Leid unausweichlich sein, werden Staaten in Anarchie stürzen, militärische Konflikte ausbrechen.

„Entweder werfen wir das Steuer schnell herum“, mahnt Lester Brown, Präsident des Worldwatch Institute in der US-Hauptstadt Washington, „oder die sich selbst verstärkende Dynamik von Verderben und Abstieg wird ihren Lauf nehmen.“

Glegenheit zu entscheidenden Kurskorrekturen böte der „Erd-Gipfel“, die UN-Konferenz über Umwelt und Entwicklung (UNCED) vom 1. bis 12. Juni 1992 in Rio de Janeiro. Deren Tagesordnung spiegelt die Krise der Beziehung zwischen Mensch und Umwelt wider:

- Eine Flut von Schadstoffen ergießt sich über die Erde und reichert sich in Nahrungsketten an, an deren Ende unser eigener Nachwuchs steht – mit Muttermilch ernährte Säuglinge.

- Die atmosphärische Konzentration des potenten Treibhausgases Kohlendioxid hat sich seit der industriellen Revolution um ein Viertel erhöht. Der Trend nach oben hält an.

- Der schützende Ozonschleier um den Globus schwindet stärker als erwartet auch über den dicht besiedelten nördlichen Breiten. Hauptursache sind die als Treibgase und Kühlmittel geschätzten Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW).

- Rund 17 Millionen Hektar Urwald gehen jährlich in Rauch auf oder fallen der Kettensäge zum Opfer – der Löwenanteil in tropischen Regionen.

- Die biologische Vielfalt, faszinierendes Ergebnis einer Jahrmilliarden dauernden Evolution, schrumpft dramatisch. Mindestens 140 Spezies, jede ein naturgeschichtlich gewachsenes Unikat, gehen täglich für immer verloren.

Kein Ökologe wird behaupten, jeder Käfer oder jedes Stück ursprünglicher Vegetation entscheide über Wohl oder Wehe des Planeten. Doch wer weiß schon, welche Komponente verzichtbar ist? Klüger wäre es, nach der Devise des amerikanischen Biologen Aldo Leopold zu verfahren: „Jedes Zahnrad und jede Schraube zu behalten ist die wichtigste Vorsichtsmaßnahme des intelligenten Bastlers.“

Schon Biologen haben oft keinerlei Vorstellung, welche Funktion ein Organismus in einem Ökosystem erfüllt; Politiker, Wirtschaftsrosse oder ums Überleben kämpfende Kleinbauern sind gewöhnlich völlig ahnungslos. Soviel ist allerdings klar: Anders als etwa ein zielgerichtet konstruiertes Uhrwerk verändern sich Lebensgemeinschaften dynamisch und schwer vorhersagbar. Wer diese Dynamik verstehen will, muß das offene Wechselspiel der belebten und unbelebten Welt auf zwei Zeitebenen studieren – auf der ökologischen wie der evolutionären: Die Skala der Ökologie mißt Jahre und Jahrhunderte, in denen die vielfältigen Verflechtungen der Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen heftig schwanken oder erstaunlich stabil sein können; erst auf der Skala der Evolution, im Licht ihrer Entstehung, können Lebensge-

meinschaften sinnvoll erklärt und geschützt werden. Naturschutz ohne evolutionäre Dimension kommt dem Versuch gleich, die Stadt Berlin ohne Kenntnis ihrer Geschichte regieren zu wollen.

Aber was sollen wir schützen? Und warum?

Zuallererst dürfen wir die natürliche Dynamik nicht bremsen oder gar partiell abstoppen. Und das bedeutet, die Mannigfaltigkeit des Lebens um fast jeden Preis zu bewahren. Denn Vielfalt ist eine erprobte Strategie der Evolution, gleichsam das Überlebens-Prinzip der Biosphäre – und damit auch für die Menschheit: Artenfülle und der genetische Reichtum ihrer Individuen bieten Schutz davor, daß der Faden des Lebens nach tiefgreifenden und schnellen Umweltschwankungen völlig abreißt.

Zahllose Produkte aus Regenwäldern, Korallenbänken und anderen Ökosystemen – jedes für sich einzigartig – legen uns Artenschutz aber auch aus rein ökonomischen Gründen nahe. Über Jahrtausende hinweg haben sich menschliche Kulturen an die jeweiligen Lebensräume angepaßt und dabei intime Kenntnisse darüber erworben, welche Pflanzen nahrhaft oder medizinisch wirksam sind, welche für Behausung und Bekleidung taugen. Die wirtschaftlich nutzbaren Arten und das traditionelle Wissen über sie sind von unschätzbarem Wert – in erster Linie für den Fortbestand der meist bedrohten Kulturen selbst, aber auch, um neue Medikamente zu gewinnen und vor allem um die Ernährung der Weltbevölkerung auf Dauer ökologisch tragbar zu sichern.

Für einen Erhalt der Artenvielfalt sprechen schließlich ästhetische und

emotionale Motive: Der Mensch hat seinen evolutionären Werdegang im Wechselspiel mit einer Fülle von Organismen diverser Lebensgemeinschaften durchlaufen. Es ist fraglich, ob wir auf Dauer in einer verarmten Natur zu leben vermögen, ohne kulturell Schaden zu nehmen.

Dennoch haben Forscher wie Politiker der bedrohten Artenfülle und deren Bedeutung bislang wenig Aufmerksamkeit und noch weniger Forschungsmittel gewidmet. Hinter dem Manko vermutet der Kaiserslauterer Biologe Ulrich Bässler den „weit verbreiteten Irrtum, nur die Suche nach allgemeinen Gesetzmäßigkeiten sei lohnende Forschung“ – etwa die Suche nach der „Urformel der Welt“, für die Milliarden in gigantische Teilchenbeschleuniger fließen.

Um Versäumtes nachzuholen, fordern Wissenschaftler wie der renommierte Zoologe Edward O. Wilson von der Harvard University ein globales Biodiversitäts-Projekt. Der Erforschung der Vielfalt räumt die Ecological Society of America in ihrer großangelegten „Initiative zur nachhaltigen Nutzung der Biosphäre“ ebenfalls hohe Priorität ein.

Die Illusion aber, schon mit dem Anhäufen von Wissen über ökologische und evolutionäre Prozesse sei die Krise zu bewältigen, wäre fatal. „Armut ist der größte Zerstörer“, resümierte einst die indische Premierministerin Indira Gandhi. In der Tat brennt ein Millionenheer besitzloser Kleinbauern üppige Tropenwälder nieder, drängen Scharen entwurzelter Menschen vom Land in die Monsterstädte, die schon jetzt in Abgasen und Müll ersticken.

Die Ursachen des scheinbar irrationalen Verhaltens liegen weitgehend im Norden: Dort wird ein Vielfaches dessen an Energie und Rohstoffen

verpulvert, womit die mittellosen Massen der Dritten Welt auskommen müssen. Und mit der von ihnen dominierten Weltwirtschaftsordnung zwingen die Industrieländer die unterentwickelten Staaten zum Raubbau.

Die Länder des Südens betrachten deshalb das Bemühen des Nordens um einen Umweltschutz im globalen Rahmen sehr skeptisch. Warum sollen sie ihre weithin devisenträchtigen Tropenwälder schonen, während Europäer und Nordamerikaner ihre Urwälder bis auf winzige Reste vernichtet haben? Warum sollen sie auf die billigen FCKW in den dringend benötigten Kühlschränken und Klimaanlage verzichten, während der Norden nach wie vor Unmengen der Ozonkiller verbraucht?

Die tiefe Kluft zwischen Begüterten und Habenichtsen wird auch die UN-Konferenz in Rio de Janeiro prägen. Reiner Zweckoptimismus ist die Hoffnung des UNCED-Generalsekretärs Maurice Strong aus Kanada, auf dem Mammutgipfel könnte „das Fundament für eine globale Partnerschaft zwischen Entwicklungs- und bereits industrialisierten Ländern“ gelegt werden.

Bereits Wochen vor dem Kongreß ist der Elan der Europäer abgeebbt. Sie wollten sich in Brasilien als treibende Kraft zur Eindämmung des Kohlendioxid(CO₂)-Ausstoßes präsentieren, indem sie mit einer Sondersteuer auf CO₂ und den Energie-

verbrauch vorpreschten. Die Furcht, dadurch gegenüber den Konkurrenten Japan und USA wirtschaftlich an Terrain zu verlieren, bremste das ehrgeizige Vorhaben. Wird die Konferenz somit ein „Gipfel der Scheinheiligkeit“, wie der Wuppertaler Umweltexperte Ernst Ulrich von Weizsäcker prophezeit?

Immerhin darf als Körnchen Hoffnung gelten, daß der Riesenkongreß überhaupt zustande kommt. Seit vor genau 20 Jahren die erste UN-Umweltkonferenz in Stockholm die Bedrohung der Biosphäre als Thema auf die weltpolitische Bühne gehoben hat, ist die ökologische Krise tatsächlich in den Brennpunkt der öffentlichen Diskussion gerückt. Auch wenn viele Anstrengungen seither – gemessen an den gigantischen Problemen – nur klägliche Ergebnisse erzielt haben, so ist doch manches in Fluß gekommen.

Zum Beispiel die Verbreitung von Einsichten wie dieser: Wenn wir fortfahren, die Biosphäre aus ihrer gegenwärtigen dynamischen Gleichgewichtslage hinauszudrängen, wird sie sich womöglich schon bald auf einen neuen stabilen Zustand einpendeln – einen höchstwahrscheinlich für den Homo sapiens höchstwahrscheinlich weit weniger komfortablen.

Träume, in technischen Gehäusen auf der Erde oder im All zu überdauern, sind in höchstem Grade naiv. Ein Beweis für die ökologische Ahnungslosigkeit der High-Tech-Träumer steht in der Wüste von Arizona – das Projekt „Biosphere II“. Seit September 1991 proben dort acht Frauen und Männer in einer gläsernen Modellwelt Autarkie von Mutter Erde. So recht will dies nicht gelingen. Das Projekt taumelt von einer Panne zur nächsten.

Klaus Bachmann

DIE KLUFT ZWISCHEN NORD UND SÜD SPALTET DEN ERD-GIPFEL

REINE BEZIEHU

VON MATTHIAS GLAUBRECHT

Für das gleiche Problem hat die Natur durchaus unterschiedliche Lösungen parat. Wo etwa in der Neuen Welt Kakteen gedeihen, wachsen in Afrika Wolfsmilchgewächse – Pflanzen ganz anderer Herkunft, die dennoch die gleiche ökologische Leistung erbringen: Ausgerüstet mit Wasserspeichern im Stamm, besiedeln beide Gruppen heiße und trockene Klimazonen. Solche, aus der Anpassung von Lebewesen an ihre Umwelt resultierenden „Konvergenzen“ gelten als massives

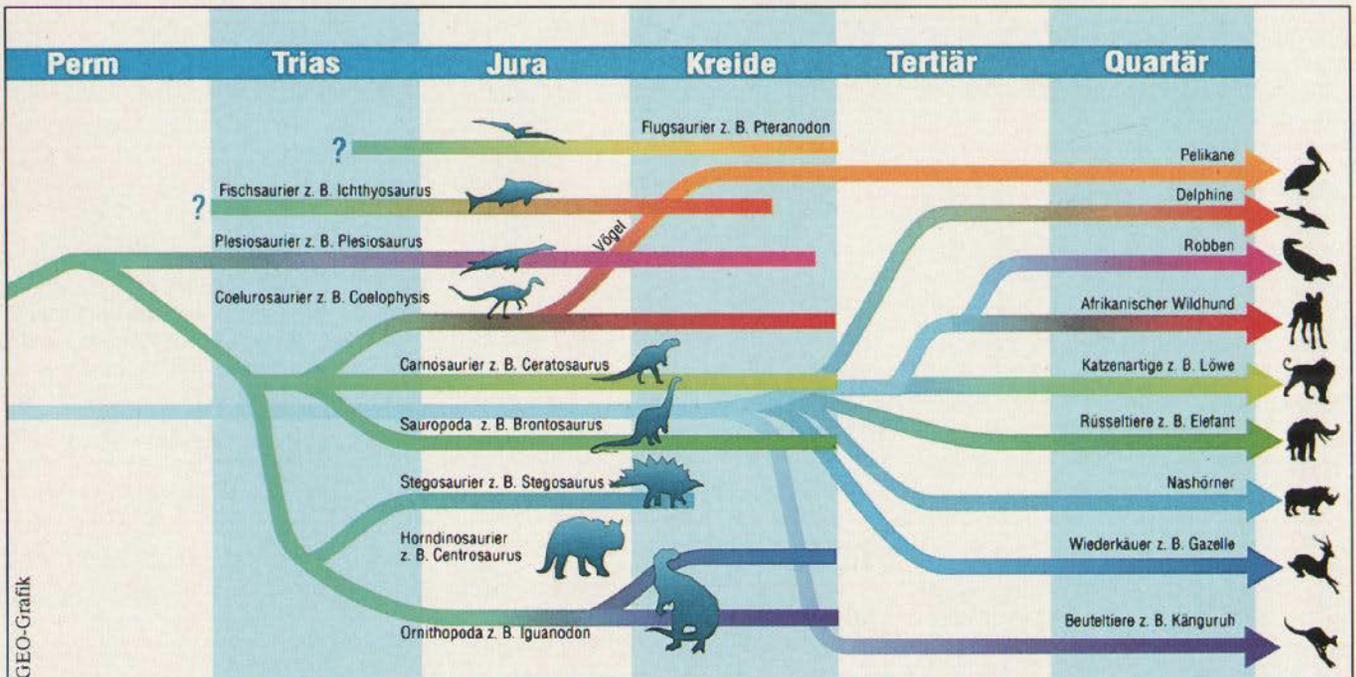
Glied in der Beweiskette für Charles Darwins Evolutionstheorie.

Als der britische Naturforscher 1831 zu einer fünfjährigen Weltreise aufbrach, galt für die meisten Wissenschaftler noch als ausgemacht, daß Flora und Fauna aller Regionen ihre besonderen Eigenschaften und Merkmale seit dem Tage der Schöpfung besitzen. Zwar hatte bereits Darwins Vorbild Alexander von Humboldt 1808 in seinen „Ansichten der Natur“ einen Zusammenhang zwischen Vegetationsformen und Klima erkannt. Doch dieser Ansatz einer Pflanzengeographie blieb „horizontal“: Humboldt sah die Beziehun-

Am Ende der Kreidezeit vor 66 Millionen Jahren starben die Saurier aus. Glück für die Säugetiere: Sie entwickelten einen enormen Artenreichtum und füllten die entstandenen Lücken. So ersetzten etwa Robbenartige die gewandt schwimmenden Plesiosaurier, Raubkatzen die in Gruppen jagenden Carnosaurier und wiederkäuende Weidengänger die grasenden Ornithopoden

gen der Lebewesen zu ihrer Umwelt nur in der Zeitebene der Gegenwart.

Für Darwin ließ die Tatsache, daß Lebensräume mit offenkundig sehr ähnlichen Umwelteinflüssen unterschiedliche Tier- und Pflanzengesellschaften beherbergten, nur einen Schluß zu: Jedes Lebewesen hat eine eigene Entwicklungsgeschichte; seine Gestalt, seine Funktion und seinen Platz in der Natur verdankt es der allmählichen Anpassung ungezählter Vorfahren. Damit brachte Darwin das Lehrgebäude von der ewig währenden Ordnung der Dinge zum Einsturz: Sein 1859 erschienenes Hauptwerk „Über die Entstehung



NGSSACHE

EVOLUTIONÄRE ÖKOLOGIE

Nur durch Auseinandersetzung mit der Umwelt behauptet eine Spezies ihren Platz in der Natur. Sie verliert ihn, sobald sie im steten Wettlauf subtiler wechselseitiger An-

passung nicht mehr mithalten vermag. Wer die Dynamik eines Ökosystems verstehen will, muß daher auch die Evolution der dazugehörigen Kreaturen berücksichtigen

der Arten durch natürliche Zuchtwahl“ verwies nicht nur die biblische Schöpfungsgeschichte ins Reich der Fabel. Es revolutionierte das Denken schlechthin.

Heute gilt als selbstverständlich, daß alles Lebende, aber auch die anorganische Welt sich wandelt. Viren und Bakterien, Tiere und Pflanzen passen sich ihrer Umwelt an; Ökosysteme wie Regenwälder, Korallenriffe und Seen, sogar der Luft- und Gesteinsmantel der Erde sind Veränderungen unterworfen. Und schließlich adaptiert sich auch die Wissenschaft selbst: Die „evolutionäre Ökologie“, jene Forschungsrichtung, die sich mit der Entwicklungsgeschichte ökologischer Beziehungen befaßt, ist ein Ergebnis der Darwin'schen Revolution. „Nichts in der Biologie“, sagt ein Bonmot des amerikanischen Evolutionsbiologen Theodosius Dobzhansky, „ergibt einen Sinn, es sei denn im Lichte der Evolution.“

Evolutiver Wandel gehorcht vor allem zwei Prinzipien:

- Durch Mutation – die zufällige Veränderung des Erbguts – entstehen in jeder Spezies gelegentlich neue „Gebrauchsmuster“.

- Selektion – als Qualitätsprüfung durch die Umwelt die eigentliche kreative Kraft der Evolution – benachteiligt „Muster ohne Wert“ und begünstigt erfolgreiche Neuerungen: bestimmte Flügelformen bei Insekten, die Stromlinienform bei schnell schwimmenden Fischen und Meeressäugern oder die Streifen der Zebras.



Die farbenprächtige Formenvielfalt der Schmetterlinge – weltweit sind mehr als 160 000 Arten bekannt – geht keineswegs auf Launen der Natur zurück. Jede Spezies füllt eine spezielle ökologische Nische

Streifen schützen Zebras vor den krankheitsübertragenden Stichen der Tsetsefliegen. Deren Augen können das flirrende Muster nicht auflösen

Das schwarz-weiße Muster der afrikanischen Huftiere dient in den flimmernden Savannen wahrscheinlich nicht, wie oft vermutet, als Tarnkleid zum Schutz vor Löwen. Vielmehr wurden Tsetse-Fliegen, die Blutparasiten übertragen, einst zum Motor für die Evolution der ungewöhnlichen Fellzeichnung. Als die asiatischen Pferdevorfahren der Zebras den Tsetse-Gürtel südlich der Sahara erreichten, zwang ihnen der Selektionsdruck des Parasiten-Befalls die auffälligen Streifen gleichsam auf: Für die Komplexaugen der Tsetse-Fliegen, die das Muster nicht präzise auflösen können, blieben gestreifte Zebras „versteckt“ und mithin weitgehend geschützt vor den Blutsaugern und deren infektiöser Fracht.

Die unterschiedlichen Streifenmuster der heute lebenden Berg-, Steppen- und Grevyzebras repräsentieren drei Einwanderungswellen, die den Tsetse-Gürtel unterschiedlich weit durchlaufen haben. Bei Südafrikas Quagga, die vor ihrer Ausrottung

Der lästigen Konkurrenz keine Chance



Das auf Kreta und Zypern lebende Chukarsteinhuhn und das Rothuhn Korzikas (unten) teilen ihren Lebensraum mit keinem Verwandten: Versuche, andere Glattfoot-hühner auf den Inseln anzusiedeln, schlugen fehl

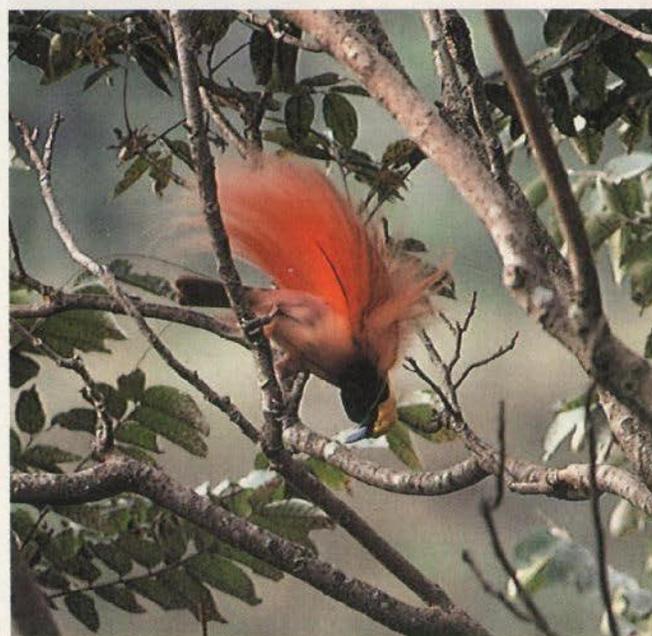
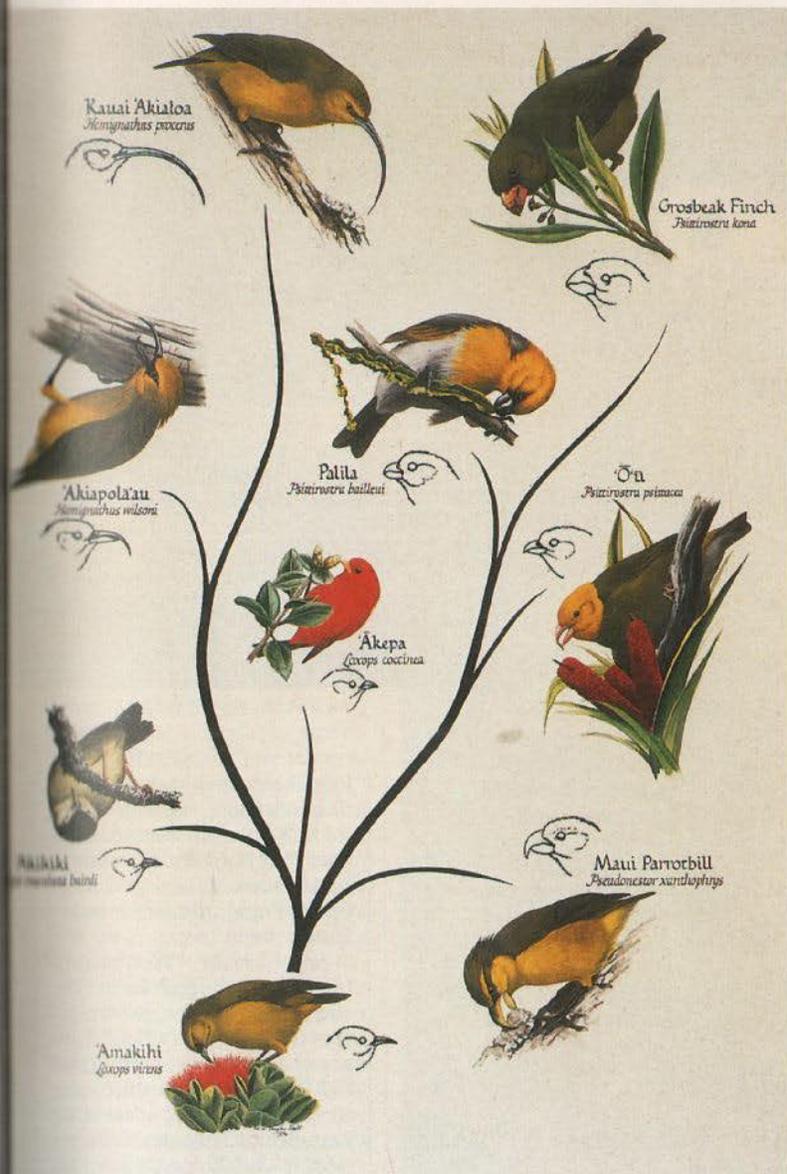
durch den Menschen am weitesten nach Süden vorgedrungen waren und das Tsetse-Gebiet hinter sich gelassen hatten, beschränkte sich die Streifung auf Kopf und Hals.

Derartige Anpassungen dauern mitunter Jahrtausenden. Daß ein „evolutiver Trend“ aber auch schon nach kurzer Zeit sichtbar werden kann, hat erst vor wenigen Jahren Peter Grant von der amerikanischen Princeton University gezeigt. Der Biologe hatte in den siebziger und achtziger Jahren die Schnabelgrößen innerhalb einer Population samenfressender Darwinfinken auf den Galápagos-Inseln verglichen. Während der Trockenzeit, wenn die Nahrung allgemein knapp wurde, waren nach Grants Beobachtungen nur Individuen mit kräftigen Schnäbeln in der Lage, ihr Nahrungsspektrum auszuweiten. Sie knackten größere und härtere Körner, sobald die kleinen zur Neige gingen. Im Gegensatz zu den kleinschnäbligen Artgenossen kamen sie wohlgenährt und zahlreich durch die Dürre. Bereits nach drei ungewöhnlich trockenen Jahren konnte Grant in der Population deutlich mehr Individuen mit großen Schnäbeln registrieren als zuvor.

Beziehungen einer Spezies zu ihrer Umwelt beschreiben Biologen mit dem Begriff „ökologische Nische“. Vom amerikanischen Vogelkundler Joseph Grinnell im Jahr 1917 eingeführt, diente die Wortschöpfung bald als gängiger Terminus für den artspezifischen Lebensraum. Daran änderte sich auch nichts, als Grinnells Landsmann George Evelyn Hutchinson Ende der fünfziger Jahre das Nischen-Konzept erweiterte: zu einem „vieldimensionalen Raum“, in dem neben „abiotischen“ Faktoren wie Salzgehalt, Temperatur oder Feuchtigkeit und „biotischen“ Faktoren wie Nahrungsangebot, Sexualpartner, Feinde oder Konkurrenten auch die Dimension der Zeit eine Rolle spielt.

Die konsequenteste Fassung des Nischen-Konzepts,

Räuber mit Meriten: Periodischen Massenvermehrungen des gefräßigen Dornenkronen-Seesterns *Acanthaster planci* verdanken – einer Theorie zufolge – tropische Korallenriffe ihre Artenvielfalt



die kürzlich von Zoologen wiederentdeckt wurde, hatte der inzwischen verstorbene Berliner Evolutionsbiologe Klaus Günther bereits 1950 publiziert – allerdings an so versteckter Stelle, daß die Fachwelt es mehr als 30 Jahre nicht zur Kenntnis nahm. Für Günther zählte auch die „autozoische Dimension“ zur ökologischen Nische einer Tierart – die Ansprüche des Tieres an seinen Lebensraum, realisiert zum Beispiel durch sein Verhalten: Der tagaktive Mäusebussard hat eine andere Nische als die nachtaktive Schleiereule,

Alle Kleidervögel Hawaiis sind aus der Spezies *Loxops virens* hervorgegangen. Durch Anpassung der Schnabelform nutzen sie unterschiedliche Nahrungsquellen. Auch Kolibris (oben rechts) sind Meister der Adaptation. Das prächtige Gefieder männlicher Paradiesvögel darunter haben die Weibchen bewirkt: Sie erwähnten im Lauf der Evolution stets die buntesten Vögel

auch wenn beide Vögel am selben Ort leben. Oder durch die Anatomie: Die Schnabellgröße entscheidet über die Größe der Nahrung.

Somit wird eine ökologische Nische nicht besetzt, sondern vom Lebewesen überhaupt erst gebildet. Sie ist nicht dessen „Adresse“, sondern „Beruf“. Besetzt wird nur ein bestimmter artspezifischer Lebensraum, das „Habitat“. Hier kommt es zur evolutiven Wechselwirkung des Organismus mit seiner Umwelt.

Zum Beispiel durch den Selektionsfaktor „Konkur-

renz“. Er bildet nach Ansicht des amerikanischen Evolutionsökologen Eric Pianka heute das konzeptionelle Rückgrat vieler ökologischer Hypothesen. Der Wettbewerb insbesondere unter nahe verwandten Arten führt dazu, daß Tiere und Pflanzen Anpassungen erwerben, um unterschiedliche Ressourcen zu nutzen. So lebt auf den größeren Mittelmeerinseln jeweils nur eine Spezies der im gesamten mediterranen Raum verbreiteten Glattnußhühner der Gattung *Alectoris*: das Rothuhn auf Korsika, das Felsenhuhn auf Sardi-

nien, das Steinhuhn auf Sizilien und das Chukarsteinhuhn auf Kreta und Zypern. Mehrere Versuche des Menschen, weitere Glattfußhuhn-Arten auf den bereits besetzten Inseln anzusiedeln, schlugen fehl. Die Neuankömmlinge waren den etablierten Verwandten stets unterlegen und verschwanden wieder.

Nach dem „Konkurrenzausschluß-Prinzip“ können zwei Arten mit denselben ökologischen Ansprüchen nicht nebeneinander existieren. Eine Möglichkeit, dem Konkurrenzdruck auszuweichen, besteht darin, daß Arten ihre Nischen verkleinern.

Bernd Leisler vom Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie in Seewiesen hat das Phänomen 1981 an sechs in Mitteleuropa lebenden Rohrsängerarten untersucht. Die agilen Halmkletterer bewohnen die Verlandungszonen von Gewässern und teilen sich diesen Lebensraum sehr viel kleinräumiger auf, als Zoologen bis dahin vermutet hatten. Die Reviere der sechs Arten reihen sich mit abnehmender Feuchtigkeit des Untergrundes aneinander: Während der Drosselrohrsänger am weitesten wasserwärts im dichten Schilf brütet, bevorzugen Schilf- und Seggenrohrsänger die trockeneren Uferzonen.

Allerdings scheint es auch Ausnahmen vom „Konkurrenzausschluß-Prinzip“ zu geben. Blaire van Valkenburgh von der University of California, Los Angeles, entdeckte 1989, daß Schabrakken-, Gold- und Streifenscha-

Konkurrenzlos durch Spezialisierung: Der am östlichen Rand des tibetischen Hochlandes lebende Große Panda frißt fast nur Bambus, obwohl sein Verdauungstrakt Fleisch viel besser verarbeitet



Der australische Koala ist an Eukalyptusblätter, seine ausschließliche Nahrungsquelle, hervorragend angepaßt: Um etwa die Blattzellulose verdauen zu können, beherbergt der Beutelbär Myriaden von Mikroorganismen in seinem bis zu 2,5 Meter langen Blinddarm

kale sich praktisch in allen ökologischen, verhaltensbiologischen und körperbaulichen Merkmalen gleichen – und dennoch verschiedene Spezies sind, die miteinander koexistieren.

Ein harter Wettbewerb blieb den Beuteltieren vor rund 60 Millionen Jahren erspart. Diese urtümliche Säugetier-Gruppe war vor rund 130 Millionen Jahren in der Kreidezeit entstanden und hatte weite Teile der Erde besiedelt – auch Australien, das damals durch eine Landbrücke über die Antarktis mit Südamerika verbunden war. Als sich jedoch ein neuer Säu-



Für heiße und trockene Klimazonen hat sich in unterschiedlichen Gruppen des Pflanzenreichs derselbe Typ bewährt: die »Stammsukkulente«, deren stark verdickte Sproßachse große Mengen Wasser speichert

getier-Typ – das „Plazenta-Tier“ – entwickelte, gerieten die Beutler weltweit in Bedrängnis. Nur nicht in Australien. Weil der Kontinent sich von der Antarktis löste, bevor die moderneren Säugetiere folgen konnten, entwickelten die Beuteltiere dort eine reiche Artenvielfalt. Ohne den Druck durch die Konkurrenz konnten sie ökologische Nischen ausbilden, die andernorts überlegene Plazenta-Tiere einnahmen. Erst nachdem der Mensch Kaninchen und Schafe, Rinder, Hirsche und Mungos eingeführt hatte, wurden die Beuteltiere von der Vergangenheit eingeholt.

Im Besetzen konkurrenzfreier Lebensräume sehen Biologen heute die Ursache für viele Blütezeiten der Evolution. So verdanken praktisch alle heute noch lebenden Stammlinien der Tiere ihre Entstehung der „kambrischen Radiation“. Jene geradezu explosionshafte Zunahme bizarrer Tierformen im Kambrium vor rund 570 Millionen Jahren – erhalten in den berühmten Fossil-Lagerstätten des Burgess-Schiefers in den kanadischen Rocky Mountains – ist ein Indiz dafür, daß sich im Urmeer ungenutzte Möglichkeiten eröffneten. Möglicherweise lieferte eine mit dem Beginn des Kambriums veränderte Umwelt – etwa durch das Auftreten von Räubern – den ökologischen Rahmen für die Premiere der neuen Prototypen. Erst später verfeinerte und variierte der Konkurrenzdruck im immer dichter besiedelten Lebensraum die Artenvielfalt der einzelnen Tierstämme.

Solche „Radiationen“ – die Auffächerung eines systematischen Grundtyps in eine Fülle neuer Spezies – lassen sich auch im kleinen beobachten: etwa bei den Finken auf Galápagos, den Kleidervögeln Hawaiis oder den Buntbarschen und Kronenschnecken in einigen ostafrikanischen Seen. Um der Konkurrenz durch die nächsten Verwandten zu entgehen, verwirklichen die Tiere alle nur erdenklichen ökologischen Nischen.

Jeder Käfer braucht seine eigene Nische

Nur zum Foto-termin sitzen die fünf Blattkäfer zusammen. Gewöhnlich lebt jede der eng verwandten Arten auf einem anderen Teil ihres gemeinsamen Wirtsorganismus, einer Kletterpflanze auf der Karibik-Insel Trinidad. Spezialisierung und getrennte Lebensräume sichern allen das Überleben



Neben dem Selektionsfaktor Konkurrenz diskutieren Evolutionsbiologen heute insbesondere die Rolle der Räuber für die Evolution. „Räuberdruck“ provoziert bei der Beute nicht nur eine Fülle von Anpassungen, die – direkt oder indirekt – als Schutz dienen wie die Streifen den Zebras. Indem Räuber die Population ihrer Beutespezies niederhalten, scheinen sie auch Platz zu schaffen für deren Konkurrenten und damit den Artenreichtum einer Lebensgemeinschaft zu fördern. Diese These des Paläobiologen Steven Stanley von der Johns Hopkins University in Baltimore stützt sich auf die Beobachtung, daß einige wenige Arten den Konkurrenzkampf um begrenzte Ressourcen für sich entscheiden, wenn Räuber fehlen. Werden etwa algenfressende Seeigel aus ihrem marinen Lebensraum entfernt, überwuchert meist eine überlegene Algenart die Mitbewerber.

Wenn Stanleys These zutrifft, würde dem Dornenkronen-Seestern *Acanthaster planci* Gerechtigkeit widerfahren. Der korallenweidende Stachelhäuter steht unter Verdacht, durch periodische Masseninvasionen das australische Great Barrier Reef kahlzufressen. Naturschützer argwöhnen, daß die Plage in dem Touristenparadies erst durch menschliche Aktivitäten ausgelöst worden sei.

Bohrkerne mit fossilienhaltigen Sedimenten vom Meeresgrund lieferten hingegen Hinweise auf einen uralten Rhythmus. Demnach kommen Massenvermehrungen von *Acanthaster* etwa alle 200 bis 300 Jahre vor. Wahrscheinlich haben die marodierenden Stachelhäuter bereits vor Jahrtausenden zum Artenreichtum des Riffs beigetragen, indem sie unter dem Korallen-„Establishment“ aufräumten und den „Unterdrückten“ eine Chance gaben. □

Matthias Glaubrecht, 29, lebt in Hamburg. Er hat zwei Bücher zum Thema Evolution verfaßt.



Zum Thema Ökologie:

Dr. Udo Pagga ist Biologe und als Projektleiter verantwortlich für den Bau des neuen

BASF-Ökologielabors in Ludwigshafen.

Ökologie ist für uns keine Theorie, sondern tagtägliche Praxis.

Das Umweltbewußtsein eines Unternehmens zeigt sich erst durch Taten – in der täglichen Arbeit. Das können Sie bei uns erleben und nachvollziehen: in unserem Ökologielabor.

Dort überprüfen wir unsere Produkte auf ihre Umweltverträglichkeit. Wir bestimmen zum Beispiel die biologische Abbaubarkeit, testen die ökotoxischen Wirkungen auf Wasserorganismen oder ermitteln den Grad der Anreicherung in Lebewesen, die sogenannte Bioakkumulation.

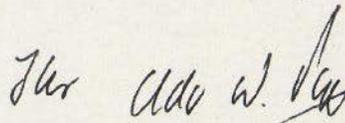
Unsere Arbeit beschränkt sich nicht nur auf das Werk Ludwigshafen, sondern umfaßt auch unsere Tochterfirmen in der ganzen Welt, die wir bei der Lösung von Umweltproblemen beraten.

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen

werden dokumentiert, den Behörden vorgelegt und allen Kunden übergeben – denn die Verantwortung für ein Produkt geht für uns über den Verkauf hinaus.

Ich bin sehr froh darüber, daß wir dieses neue Labor für 60 Millionen Mark realisieren konnten – denn optimale Bedingungen sind die Basis für effiziente Arbeit.

Wenn Sie Fragen haben oder mich an meinem Arbeitsplatz besuchen wollen, rufen Sie einfach Frau Gehart unter **01 30/85 30 35** an. Oder schreiben Sie uns*. Ich würde mich freuen, wenn ich Ihnen unseren Beitrag zur Ökologie einmal persönlich zeigen könnte.



*BASF Aktiengesellschaft, Abteilung ZOA/MP
6700 Ludwigshafen

Menschen mit Verantwortung.

BASF



Der riskierte Reichtum

Unter der grünen Decke, die dampfend und schwer auf den Bergen Costa Ricas liegt, brodeln ein noch kaum erforschter Kosmos an Pflanzen und Tieren. Tropische Regenwälder beherbergen viel mehr verschiedene Organismen als vermutet. Doch dieser größte Schatz des Lebens geht zusehends in Rauch auf – Grund genug für den weltberühmten US-Zoologen Edward O. Wilson, sich gegen die Erosion biologischer Diversität zu stemmen

Schmuck-Hornfrosch, Südamerika



Wanze *Pycnanum rubeus*, Borneo



Laubheuschrecke, Brasilien



Eine Fangschrecke frisst einen Wollschweber, Kenia



Blattfußwanze, Peru



Schwammkäfer, Ecuador

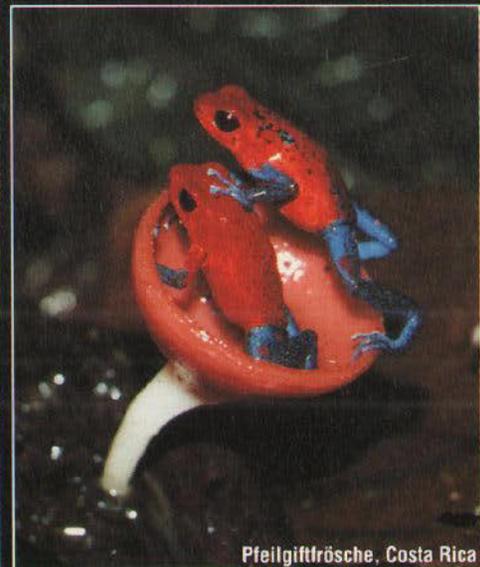
Goldkäfer, Costa Rica



Rüsselkäfer, Peru



Panther-Chamäleon, Madagaskar



Pfeilgiftfrösche, Costa Rica

**Es wuselt und
krabbelt und schlängelt
und frißt**

Kein Sündenfall, sondern Alltag herrscht im Regenwald Costa Ricas, wenn die goldene »Schlegelsche Lanzenotter« auf einer leuchtend roten *Heliconia*-Blüte ihre Beute, einen *Anolis*-Leguan, verschlingt. Der Selektionsdruck des ewigen Fressens und Gefressenwerdens hat zu einer unüberschaubaren Artenfülle geführt - ein Gespinnst aus Nahrungsbeziehungen, in dem sich Räuber und Beute tagtäglich neu bewähren müssen



Es ist, als brenne der Louvre lichterloh, und niemand rennt nach Eimern und Schläuchen.“ Edward Osborne Wilson kann kaum fassen, wie stoisch viele Zeitgenossen die Zerstörung unersetzbarer Reichtümer hinnehmen. Und deshalb schlägt der Biologie-Professor von der Harvard University im amerikanischen Cambridge laut Alarm. Auch wenn manchen skeptischen Kollegen die Ohren dröhnen. Unermüdlich trommelt der schmale Mann mit dem kantigen Gesicht in Vorlesungen, Seminaren, Veröffentlichungen für den Erhalt der Tropenwälder, der Schatzkammern der Natur, und anderer bedrohter Ökosysteme. Sein hartnäckiges Engagement hat ihn dabei ins Zentrum der wissenschaftlichen und politischen Debatte um das globale Artensterben katapultiert.

In jüngster Zeit erzählt der 62jährige häufig die traurige Geschichte von der nebelverhangenen Bergkette Centinela an der Westflanke der ecuadorianischen Anden: Unterwegs als Feldforscher für den Missouri Botanical Garden in St. Louis, war der junge US-Biologe Alwyn Gentry 1978 in dieses abgelegene Stück Regenwald gestiegen. Bei einer akribischen Inventur der Flora entdeckte der faszinierte Wissenschaftler mehr als 90 vordem unbekannte Pflanzenarten. Die meisten waren vermutlich „endemisch“ – existierten nur hier.

Bereits während Gentry in der Region war, zogen arme Bauern entlang einer neuen Piste unaufhaltsam bergan und schlugen für Felder Schneisen in die unvergleichliche Vegetation. Bis 1986 auch die letzten Reste Urwald auf dem Centinela-Rücken geschwunden waren. Damit hatten die Bauern das Schicksal jener prächtigen Pflanzen- und Tierwelt besiegelt. Heute gedeihen nur noch wenige endemische Spezies im Schatten neugeplanzter Kakaobäume und im Refugium zweier benachbarter Hügelketten. Das Gros ist ausgerottet, ihr einzigartiges genetisches Erbe aus dem Spektrum der irdischen Arten getilgt.

Für Wilson kristallisieren in der Story zwei der wichtigsten Einsichten der modernen Biologie:

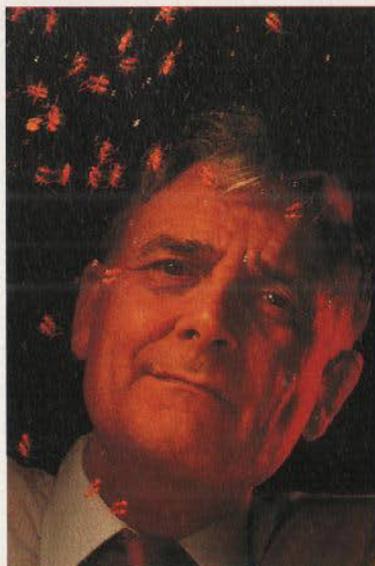
- Erstens beherbergen die tropischen Urwälder der Erde eine weit größere Fülle verschiedenster Organismen als je vermutet. Viele Berghänge, Täler und die meisten Baumarten bergen einen eigenen Kosmos an Pflanzen und Tieren.

- Zweitens verschwinden tropische Arten in rasantem Tempo – vergleichbar lediglich dem Aussterben der mächtigen Dinosaurier vor etwa 66 Millionen Jahren.

Nach Wilsons „konservativer“ Schätzung verschwinden jährlich Zehntausende Spezies von der Weltbühne, großteils vertrieben durch Menschen, die Wälder abholzen, fremde Arten in empfindliche Lebensräume einführen, wilde Tiere exzessiv jagen, den Pflanzenschatz der Natur hemmungslos ausbeuten und die Umwelt verschmutzen. Der Treibhauseffekt werde, warnt der Forscher, viele Ökosysteme zusätzlich „in die Zange“ nehmen – und den Massenaussterben noch beschleunigen. Tragische Ironie: Gerade jetzt, da Wissenschaftler sich des biologischen Reichtums bewußt werden, geht dieser in Rauch auf.

Mit leiser Stimme trägt Edward O. Wilson seine Argumente vor: „Gerade die tropischen Regenwälder sind eine unermessliche Quelle für Arzneimittel.“ Und um eine Weltbevölkerung zu sättigen, die sich Mitte des nächsten Jahrhunderts voraussichtlich der Zehn-Milliarden-Marke nähern wird, seien Züchter auf das genetische Kapital angewiesen, das in den Urwäldern liege – in Form unentdeckter Nahrungspflanzen oder robuster Varianten bereits gebräuchlicher Früchte. Denn inzwischen hängt die Ernährung der Menschheit an etwa 20 Spezies – Weizen, Reis, Mais und Kartoffeln allein liefern etwa die Hälfte der pflanzlichen Nahrung.

Wilson warnt vor einer Erosion der Vielfalt, weil sie künftige Generationen einer kostbaren Quelle wertvoller Produkte beraube und die komplizierten Gefüge der Ökosysteme verletzlicher mache. Er fürchtet aber auch um unser geistiges Wohlbefinden: Schließlich habe sich der Mensch in einer artenreichen Umwelt entwickelt. Und „indem wir die Flora und Fauna amputieren, in der wir entstanden sind, bedrohen wir unsere



Blattschneiderameisen, Costa Rica

Die Emsigen dominieren die Tropen

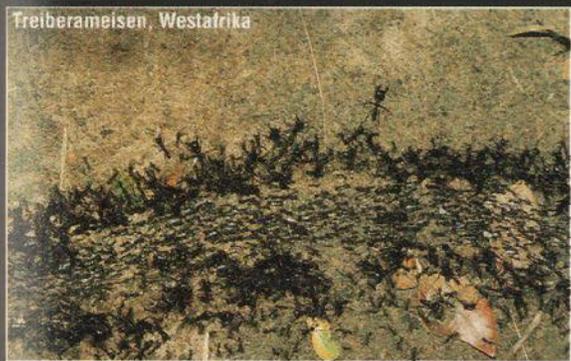
Ob im Labor oder im Urwald, Ameisen faszinieren Edward O. Wilson von der Harvard University seit seines langen Forscherlebens. Als weltweit führender Fachmann für das Verhalten dieser staatenbildenden Insekten begründete er die Soziobiologie. Ein Kollege Wilsons sammelte von einem einzigen Tropenbaum in Peru 100 000 Ameisen ein, die zu 43 Spezies zählten – so viele Arten, wie auf den Britischen Inseln insgesamt vorkommen



Weberameisen, Australien



Wehrhafte Ameise bewacht Passionsblume, Costa Rica



Treiberameisen, Westafrika



Selbstwahrnehmung, unsere geistige Entwicklung, unseren Sinn für Ästhetik“.

„Die Krise der Biodiversität“ beunruhigt Wilson so sehr, daß er sich – wenn auch widerstrebend – von seinem ureigenen Forschungsujet losgerissen hat: der Evolution und dem Sozialverhalten von Ameisen. Schon früh hatte der Sohn eines Bundesangestellten der Roosevelt-Ära eine Leidenschaft für Insekten und besonders Ameisen entwickelt.

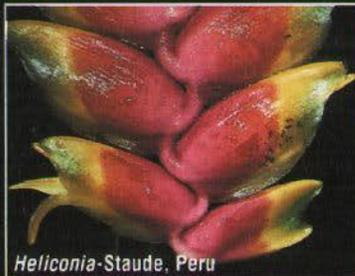
„Mein Vater“, erzählt er, „blieb nie länger als zwei Jahre am selben Ort. So besuchte ich in elf Jahren 16 Schulen.“ Da er keine Geschwister hatte, ständig der „Neue“ und meist jünger als seine Klassenkameraden war, fand er nur schwer Anschluß. Edward O. Wilson streunte durch Felder und Wälder und gewann Ersatz-Freunde: kleine Kreaturen, deren Merkmale er „so aufmerksam studierte wie Gesichter und Charakter von Spielkameraden“. Ein Schlüsselerlebnis war für den Zehnjährigen die Entdeckung einer Kolonie gelbglänzender *Acanthomyops*-Ameisen in einem Park nahe des Elternhauses. Damals lebte er gerade in der US-Hauptstadt Washington. Die faszinierende Begegnung legte den Grundstock zu späterem Ruhm.

Selbst im Büro hat Wilson Ameisen um sich geschart

Gegenwärtig, sagt Wilson, werde sein Arbeitsfeld und -tempo von der Einsicht diktiert, daß wir in einer Dekade lebten, in der es um „alles oder nichts“ gehe. 1990 noch veröffentlichte er gemeinsam mit Bert Hölldobler, seinem langjährigen Kollegen in Cambridge, heute Biologie-Professor an der Universität Würzburg, das prächtige Buch „Die Ameisen“, das beiden Autoren den renommierten Pulitzer-Preis einbrachte. Nun arbeitet Wilson mit Hochdruck an einem Band mit dem Titel „Die Vielfalt des Lebens“. In diesem ehrgeizigen Werk, das im Sommer 1992 erscheinen soll, will er mit rund um den Globus gesammelten Daten belegen, daß die gegenwärtige Rate des Artensterbens etwa 1000mal höher ist als die „normale“ Quote.

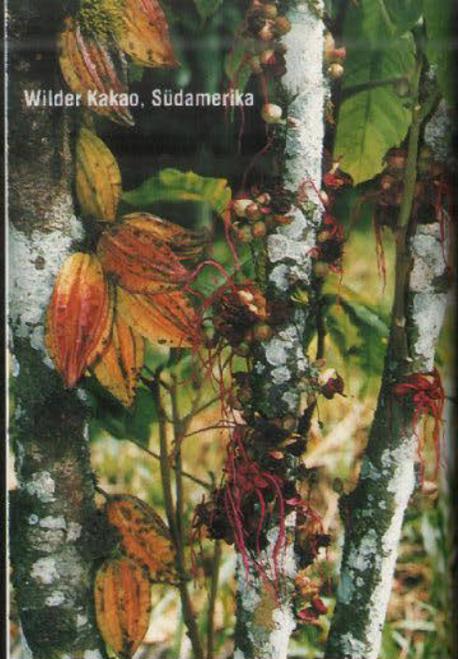
Früher reiste der Forscher rund um die Welt, um an Ort und Stelle Ameisenhügel und Fallaub unter die Lupe zu nehmen. Heutzutage verläßt er kaum noch sein Büro. Doch selbst dort, in einem Flügel des Harvard University Museum of Comparative Zoology, einer ruhigen Ecke des Campus, hat er seine bevorzugten Kreaturen um sich geschart: die gut ein Viertelmeter hohe Bronzeskulptur einer Ameise, präparierte Exemplare in überquellenden Vitrinen. Fotos an der Wand zeigen Krabbelstaaten und die ro-

Pteris-Farn, Borneo



Heliconia-Staude, Peru

Wilder Kakao, Südamerika



Masdevallia-Orchidee, Südamerika

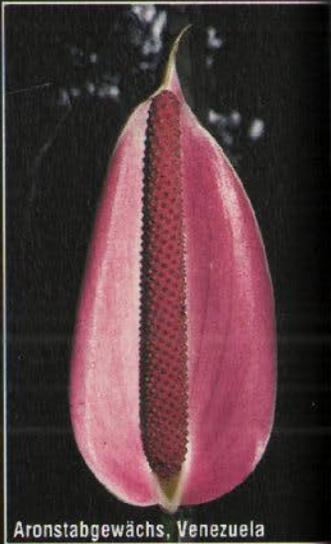


Cattleya-Orchidee, Costa Rica

Passionsblumen, Borneo



Odontoglossum-Orchidee, Kolumbien



Aronstabgewächs, Venezuela



Selaginella-Farn, Malaysia



Psychotria-Früchte, Costa Rica

Auf grüner Basis verästelt sich das Leben

Ohne die stille Kraft der Pflanzen, die per Photosynthese Nahrung aus Licht und Luft, Wasser und Mineralsalzen schaffen, könnte kein komplexes Ökosystem entstehen. In den Feuchttropen finden die Gewächse ideale klimatische Bedingungen, aber auch jede Menge grüne Konkurrenten und gefräßige Tiere



ten Striemen auf dem Arm von Wilsons Assistentin. Sie war in eine Kolonie von *Solenopsis invicta* gestolpert, eine süd-amerikanische Feuerameise, die versehentlich in die USA eingeschleppt worden ist und sich derzeit in den Südstaaten ausbreitet.

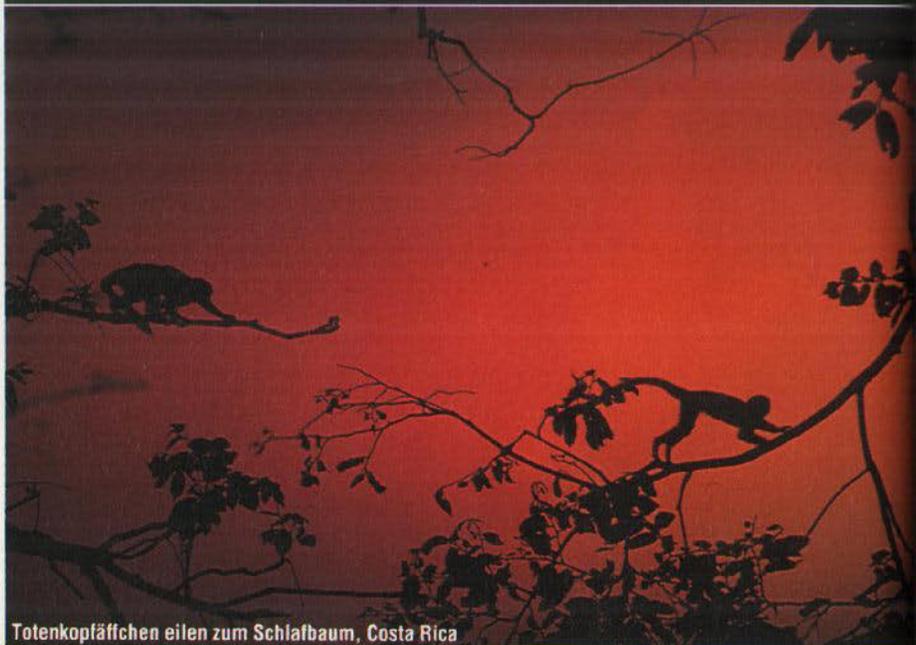
Leises Knistern erfüllt den Raum: In oben offenen Plastikboxen wimmeln Zehntausende in Costa Rica aufgelesener Blattschneiderameisen der Art *Atta cephalotes*. Endlose Kolonnen von Arbeiterinnen schleppen Futterstückchen, die sie aus einem Haufen Blätter, Bananenschalen und ähnlich Nahrhaftem abgezwickelt haben, zum Zentrum der Kolonie, wo die Königin residiert und die nächste Generation heranwächst. Wilsons Büro gleicht den labyrinthischen Bauten seiner Lieblingswesen. Besucher müssen sich durch schmale Gänge zwischen hohen Bücherregalen hindurchschlängeln, die vollgepfropft sind mit Hunderten von Bänden und Zeitschriften. Die Themen der kunstfertig gestapelten Werke decken das gesamte Spektrum der Biologie ab und weisen Wilson als Wissenschaftler aus, dessen Forschergeist über seine Disziplin hinwegschwenkt und immerzu neue Themen oder Ideen erfaßt.

Eine komplette Regalreihe füllen jene Bücher, die geschrieben wurden als Reaktion auf Wilsons 1975 publizierte Thesen der Soziobiologie (siehe Kasten). Aus eigenen Arbeiten an Ameisen und anderen Tierstudien hatte er abgeleitet, daß oft auch menschliche Verhaltensweisen genetisch bestimmt seien. Dutzende von Kollegen schossen ihn damals scharf an. Viele – beeinflusst von den Ideen der Studentenbewegung in den turbulenten sechziger und siebziger Jahren – lehnten alles ab, was nur entfernt nach erblicher Vorbestimmtheit aussah. Und von wegen wissenschaftliche Noblesse: Auf einer Tagung gossen Gegner dem streitbaren Wilson sogar einen Krug Wasser über den Kopf.

Das Schicksal der belebten Natur regiert sein Denken

Aber die Querelen um die Soziobiologie sind für ihn Vergangenheit. Heute lassen die meisten Bücher und Publikationen, die überall auf Laborbänken und Tischen ausgebreitet liegen, den gegenwärtigen Fokus seines Denkens erkennen: das Schicksal der lebendigen Welt und die Biodiversität der belebten Natur.

Eines Tages hatte der Biologe Terry Erwin ihm einen Karton voller toter Ameisen geschickt – „so um die 100 000“, erinnert sich Wilson. Sein amerikanischer Kollege hatte sie im peruanischen Regenwald an einem einzigen



Totenkopffaffen eilen zum Schlafbaum, Costa Rica

SOZIOBIOLOGIE **Der wahre Egoist hilft seinen Vettern**

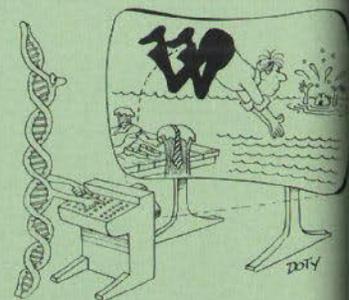
Jungen Ameisen wird liebevolle Pflege zuteil. Arbeiterinnen tragen die Eier der Königin an besonders temperierte Orte im Nest; Arbeiterinnen helfen den Larven beim Einspinnen; Arbeiterinnen stehen, sobald der Nachwuchs schlüpft, bereit, um die Puppen aus ihren Hüllen zu befreien. Nach einem emsigen, auf den ersten Blick selbstlosen Leben sterben die Helferinnen zumeist, ohne sich fortgepflanzt zu haben: Das Gros der Arbeiterinnen ist steril.

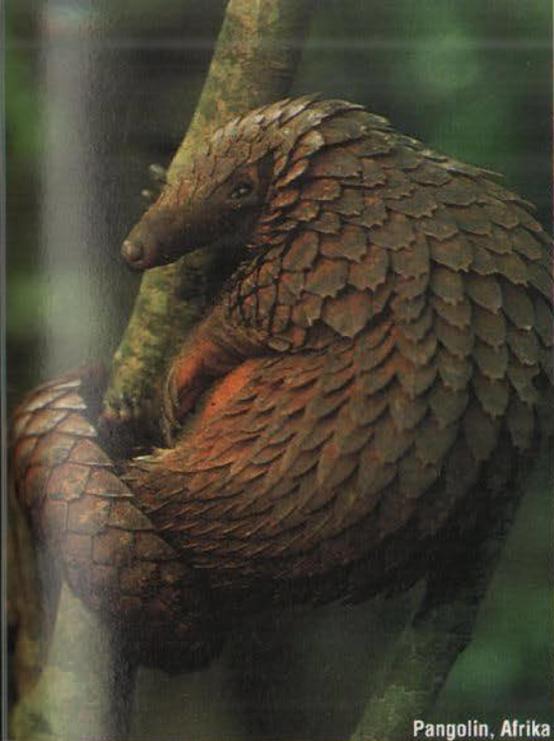
Der rätselhaften Sozialstruktur von Insektenstaaten hat Edward O. Wilson den Großteil seines Forscherlebens gewidmet. Sie brachte ihn auf eine Theorie, die in den siebziger Jahren die Verhaltensforschung revolutionierte: „Soziobiologie – Die neue Synthese“ nannte Wilson sein 1975 publiziertes, weltweit beachtetes Buch, in dem er das Sozialverhalten von Tieren und Menschen als Resultat evolutionärer Vorgänge erklärte.

Als Charles Darwin 1859 in seinem epochalen Werk „Über die Entstehung der Arten“ seine The-

se von der „natürlichen Auslese des Tauglichsten“ formulierte, hatte er vor allem das Individuum und dessen körperliche Merkmale im Blick: Das seiner Umwelt am besten angepaßte Exemplar einer Art könne sich am häufigsten fortpflanzen und somit seine Eigenschaften besonders erfolgreich der nächsten Generation vererben.

Dieses „survival of the fittest“ konnte freilich – in dieser Schlichtheit – nicht der alleingültige Wirkungsmechanismus der Evolution sein: Dagegen sprach





Pangolin, Afrika

Spektakulär, aber nur ein winziger Teil des tierischen Spektrums



Wirbeltieren - etwa der javanischen Flugechse oder dem Pangolin, das trotz seiner echsenhaften Schuppen zu den Säugern zählt - widmeten Zoologen lange Zeit den größten Teil ihrer Aufmerksamkeit. Dabei spielen die »Vertebrata« mit rund 46 500 Arten innerhalb der Fauna eher eine Nebenrolle: Gut die Hälfte aller biologisch-systematisch beschriebenen Tierspezies sind Insekten

vor allem die stammesgeschichtliche Entwicklung jener sozialen Verhaltensweisen, von denen Einzelwesen - etwa die Arbeiterin im Ameisenstaat - keinen Vorteil haben. Auch das Konzept der „Arterhaltung“ greift zu kurz: In bestimmten Situationen töten Löwenmännchen, die einem Konkurrenten den „Harem“ mit mehreren Weibchen abjagen, deren Junge - ein Verhalten, das dem Fortbestand der Art eher schädlich zu sein scheint.

Einen Ansatz zur Lösung dieses Widerspruchs präsentierte William Hamilton im Jahr 1964. Dem britischen Theoretiker war aufgefallen, daß aufopferndes Sozialverhalten vor allem unter verwandten Individuen vorkommt. Mit einer eleganten mathematischen Analyse konnte er beweisen, daß Tiere, die den Nachwuchs eines Verwandten versorgen, damit auch die Verbreitung der eigenen Gene fördern - denn alle Familienmitglieder tragen, je nach Verwandtschaftsgrad, einen gewissen Prozentsatz derselben Gene.

Basierend auf Hamiltons Theorie der „Verwandtschaftsselektion“ konnte Wilson schließlich die komplexe Sozialstruktur im Ameisenstaat erklären. Danach dienen die Arbeiterinnen mit ihrem scheinbar selbstlosen Brutpflegedienst an ihren jüngeren Schwestern der Erhaltung der eigenen Gene mehr, als wenn

sie sich selbst fortpflanzen würden.

Wilson konnte zeigen, daß sich das Phänomen des „genetischen Teamworks“ unter Verwandten wie ein roter Faden durch das ganze Tierreich zieht -, und verleitete damit den Briten Richard Dawkins zu einer radikalen These: In seinem Buch „Das egoistische Gen“ beschrieb der Zoologe 1976 jene Grundeinheiten der Vererbung als zielstrebige „Wesen“, die ihre Träger - Ameisen, Löwen, Menschen - lediglich als Transporter benutzten, um selbst zu überleben.

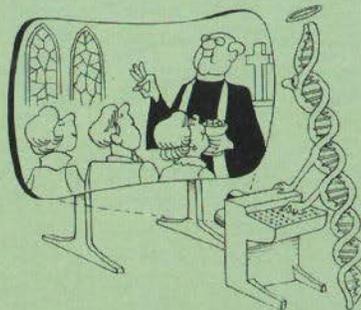
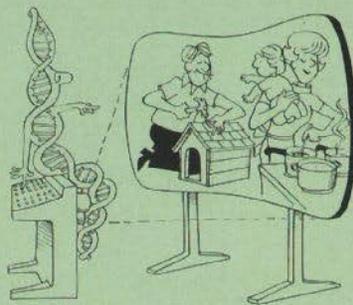
Wilson geriet mit seiner „Soziobiologie“ ins Kreuzfeuer der Kritik. Seine provozierende These lautete, daß Soziobiologen die verschiedenen Aspekte menschlichen Sozialverhaltens - etwa Aggression, männliches und weibliches Gebaren, Homosexualität - weit besser erklären könnten als

Sozialwissenschaftler und Philosophen. Es sei daher an der Zeit, den Philosophen die Ethik aus den Händen zu nehmen und sie zu „biologisieren“. Nicht nur die hier Angesprochenen, auch Fachkollegen reagierten empört auf solche Ansprüche. Bis in die achtziger Jahre hinein war Wilson Mittelpunkt einer wütenden Auseinandersetzung, in deren Verlauf er

sogar zeitweise in die Nähe des Faschismus gestellt wurde.

Mittlerweile hat sich der Sturm gelegt. Eine Fülle verhaltensbiologischer Beobachtungen - etwa an indischen Tempelaffen - stützen Wilsons Theorie im Tierreich. Sie hat sich auch zur Erklärung des menschlichen Verhaltens in vielen Fällen bewährt. Darauf deutet unter anderem die kürzlich abgeschlossene Studie des Göttinger Anthropologen Eckart Voland hin, die sich mit dem Reproduktionsverhalten einer Bevölkerungsgruppe in der ostfriesischen Küstenregion im 18. und 19. Jahrhundert befaßt: Söhne von Großbauern, die erfahrungsgemäß häufiger ledig blieben als Töchter, erfuhren weniger elterliche Fürsorge als ihre Schwestern - ein Sozialverhalten, das dem Fortbestand des Familienerbguts zugute kommt.

Wolfgang Meschede



Baum gesammelt, dessen Krone er mit Insektengift eingenebelt hatte. „Für ein geübtes Auge dauerte es nicht lange, die Funde einzuordnen“, berichtet Wilson. Das Resultat war unglaublich: „Ich fand 43 Spezies aus 26 Gattungen“, begeistert sich der Harvard-Professor noch heute. „Das entspricht ungefähr der Vielfalt der Ameisenfauna auf den gesamten Britischen Inseln.“

Bisher sind etwa 8800 Ameisenarten taxonomisch erfaßt. Wilson schätzt die tatsächliche Zahl jedoch auf mindestens das Dreifache, wobei weitaus die meisten die Tropenwälder bevölkern. Und Ameisen sind nur ein Beispiel für den Reichtum tropischer Fauna und Flora. In Malaysia haben Biologen auf zehn Hektar Regenwald über 1000 Baumarten gezählt – mehr als im riesigen Nordamerika heimisch sind. Terry Erwin identifizierte auf den Kronen einer in Panama vorkommenden Baumspezies 1200 unterschiedliche Käfer.

Das Gros der Regenwaldspezies harrt noch der Entdeckung

Vor allem die Arbeiten Erwins, der sich als einer der ersten auch um die kleinen Kreaturen in den oberen Etagen des Regenwaldes kümmerte, haben die Schätzungen der globalen Tier- und Pflanzenvielfalt regelrecht explodieren lassen. Vor zehn Jahren haben Biologen mit wenigen Millionen Arten gerechnet, heute liegen vorsichtige Kalkulationen zwischen zehn und 30 Millionen. Wilson und einige Kollegen halten sogar 100 Millionen Spezies für möglich. Lediglich ein Bruchteil – 2,5 Millionen – ist mit biologisch-systematischen Namen registriert, viele davon stammen aus den längst erkundeten gemäßigten Klimazonen. Mindestens 90 Prozent der Regenwaldspezies harren noch der wissenschaftlichen Systematisierung – ganz zu schweigen von der Erforschung ihres Verhaltens oder anderer Charakteristika.

Warum aber weisen gerade Regenwälder und besonders deren in 30 oder mehr Meter über dem Boden ausgebreitetes Blätterdach eine solch schwindelnde Vielfalt auf? Wilson führt den evolutionären Reichtum auf drei Faktoren zurück, die er unter dem Kürzel ESA zusammenfaßt: Energie, Stabilität und Arealgröße. Der Biologe versteht die Buchstabenkombination auch als Referenz an die Ecological Society of America, die unter dem gleichen Akronym firmiert und der, so Wilson, „ich die meisten Daten und Ideen verdanke, die ich zusammengefügt habe“.

● Energie: Sie ist fundamentale Voraussetzung jeden Lebens. Mit Ausnahme

weniger Organismen, etwa jener, die sich an schwefelwasserstoffhaltigen Quellen in der Tiefsee entwickelt haben, hängen Pflanzen und Tiere – direkt oder indirekt – von Sonnenlicht ab. „Je mehr Sonnenenergie bei sonst gleichbleibenden Bedingungen einfällt“, erläutert Wilson, „desto höher ist die Produktivität der Grünpflanzen.“ Amazonien etwa empfängt ungefähr doppelt soviel Sonnenenergie wie Regionen auf dem Breitengrad von Paris.

Dank des reichen „Brennstoff“-Angebots kommt ein tropischer Bio-Motor mit hoher Drehzahl in Gang: Blätter, Nüsse, Früchte werden in Mengen erzeugt – Nahrung für Heere von Insekten, Vögeln und Säugetieren. Myriaden von Mikroben und Pilzen zerlegen Laub und umgestürzte Bäume und setzen die darin gebundenen Nährstoffe wieder frei.

● Stabilität: Erst langfristige Gleichförmigkeit des Klimas läßt der Evolution Zeit genug, derart feine Gespinste aus vielfältigen, voneinander abhängigen Organismen zu weben wie in den Tropen. Vermutlich mehr als 100 Millionen Jahre war es dort durchgehend feucht-heiß. Lediglich in den vergangenen 1,8 Millionen Jahren – so vermuten einige Forscher – schwankte das Klima infolge der Eiszeit: Es wurde trockener und kühler. „Die Wälder des Amazonas- und des Kongo-Beckens“, erläutert Wilson, „schrumpften und dehnten sich immer wieder aus. Soweit wir wissen, fand die typische Flora und Fauna jedoch stets Rückzugsgebiete. Tropische Spezies wurden nicht auf so schmale Landstreifen zusammengedrängt wie in unseren Breiten unter dem Druck der Gletscher.“

Einen der überzeugendsten Belege, wie wichtig stabile Umweltbedingungen für das Entstehen und den Erhalt eines breiten Artenspektrums sind, fanden Wissenschaftler in der Tiefsee – einem der beständigsten Lebensräume der Erde. Was sie früher für eine kalte, dunkle Wüste gehalten hatten, entpuppte sich als Heimat für eine verblüffende Fülle wirbelloser Tiere wie kleiner Seesterne, Muscheln oder Ringelwürmer. „Die meisten haben“, meint Wilson, „noch nicht einmal einen wissenschaftlichen Namen.“ Auch in den ältesten Süßwasserseen der Welt, beispielsweise dem sibirischen Baikalsee, tummeln sich eine weitaus größere Bandbreite von Spezies als etwa in den jüngeren Großen Seen Nordamerikas.

● Arealgröße: Biologischer Reichtum ist unmittelbar abhängig von der Weite des besiedelten Territoriums – je größer, desto mehr Arten. Wilson war auf diese Relation gestoßen, als er in den fünfziger Jahren einen südpazifischen Archipel nach dem anderen abklapperte. Auf den



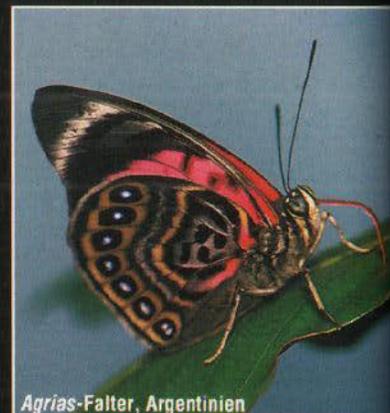
Cithaeris-Falter, Panama



Sematura-Falter, Trinidad



Vogelfalter, Malaysia



Agrias-Falter, Argentinien



Agrias claudina, Südbrasilien



Heliconius-Falter, Südamerika



Thaumantis-Falter, Malaysia

Tropische Schmetterlinge stellen den größten Teil der über 160 000 bekannten Schuppenflügler-Arten. Zwar haben Zoologen enorme Mengen dieser extrem formenreichen Insekten in ihren Sammlungen aufgespießt. Aber über deren Rolle in den vielfältigen Ökosystemen entlang des Äquators gibt es nur bruchstückhafte Informationen. Und im Zug des gegenwärtigen Artensterbens verschwinden wohl viele Falter, bevor sie ein Forscher zu Gesicht bekommt

Die Galerie der flatternden Gemälde



Delias-Weißling, Malaysia

von Wasser umschlossenen und damit biologisch weitgehend isolierten Inseln offenbarte sich das Phänomen besonders deutlich.

Gemeinsam mit Robert MacArthur, einem der einflußreichsten US-Ökologen der sechziger und siebziger Jahre, destillierte er aus dem „provokativ regelmäßigen Muster“ einen mathematischen Extrakt. Das „Arten-Areal-Gesetz“ der beiden Pioniere gilt in groben Zügen auch für Urwald-Inseln, deren Flora und Fauna zwischen Siedlungen oder Feldern beinahe so isoliert sind, als wären sie von Wasser umschlossen.

„Wenn so viel Feuchtigkeit vorhanden ist, daß gewaltige Bäume wuchern können“, beschreibt Wilson das Kuriosum der Regenwälder, „gewinnt das Ökosystem eine weitere Dimension hinzu.“ So wie die Wolkenkratzer in New York eine extrem hohe Bevölkerungsdichte ermöglichen, bieten die hohen Stämme und weitgespannten Kronen tropischer Baumgiganten Tieren und Pflanzen offenbar viele Chancen, eine ökologische Nische zu etablieren.

Kleine Tiervölker sterben eher aus

„Manche Lebensformen können“, sagt Wilson, „nur im Wald Fuß fassen.“ Etwa Epiphyten und Lianen. Und mit diesen sind wiederum viele andere Geschöpfe verknüpft. So wie Milben, Springschwänze und weitere winzige Kreaturen auf Epiphyllie angewiesen sind – kleine Gärten aus Flechten, Moosen und Algen, die auf Pflanzenblättern wachsen. Einige Baumfrosch-Arten fühlen sich zum Beispiel nur in den Pfützen heimisch, die sich aus herabrinnendem Regenwasser in den Blattrosetten hoch oben im Geäst gedeihender Bromelien sammeln.

Auf der Arten-Areal-Beziehung fußt auch Wilsons Kalkulation des gegenwärtigen Artenschwunds. Je schmaler ein Lebensraum, desto magerer die Populationen, die er zu tragen vermag. Und in der Regel läuft ein kleineres Tier- oder Pflanzenvolk ein größeres Risiko, in Krisen wie Trockenzeiten oder Epidemien unterzugehen. Schrumpft eine Fläche um 90 Prozent, wird vermutlich die Hälfte aller dort heimischen Spezies ausgelöscht.

Für das derzeitige Tempo der Abholzung – nach Schätzungen des britischen Tropenspezialisten Norman Myers jährlich etwa 1,8 Prozent – errechnet Wilson einen Artenschwund von 0,5 Prozent pro Jahr. Bei einer vorsichtigen Bestandschätzung von zehn Millionen Spezies in den Regenwäldern sterben – nüchterne Arithmetik – 50 000 Arten jährlich aus.

Einige Kollegen widersprechen Wilsons düsterem Szenario heftig. Umfangreiche Ökosysteme wie Tropenwälder verhielten sich, argumentiert beispielsweise Patrick Kangas von der University of Maryland, nicht unbedingt genauso wie kleine Inseln. Sie seien widerstandsfähiger. Ariel Lugo, Direktor des US Forest Service Institute of Tropical Forestry auf Puerto Rico, führt als Gegenbeispiel diese Karibik-Insel an: Bis 1900 seien deren Wälder fast vollständig abgeholzt gewesen. Doch die Zahl der Vogelarten habe sich nur von 60 auf 53 reduziert – ein deutlicher Rückgang, aber kaum eine Katastrophe der von Wilson vorhergesagten Größenordnung.

Den Einwand Lugos kontert Wilson mit dem Argument, der Forstwissenschaftler lasse jene Arten außer Betracht, die auf Puerto Rico vielleicht bereits zur Jahrhundertwende durch menschliche Eingriffe ausgestorben waren. Immerhin war die Karibikinsel seit vielen Jahrhunderten besiedelt.

Michael Mares, Direktor des Oklahoma Museum of Natural History, rüttelt am Datenfundament von Wilsons Überschlagsrechnungen: Erstens könne niemand exakt beziffern, wieviel unberührter Regenwald tatsächlich noch existiert. Zweitens klafften die Schätzungen der Gesamtartenzahl viel zu weit auseinander. Und drittens sei das Tempo der gegenwärtigen Urwaldvernichtung in Regionen wie Amazonien nur äußerst schwierig zu messen – trotz ausgefeilter Satellitentechnik.

Ungeachtet aller Einwände teilt Mares jedoch die Sorge Wilsons: „Egal, ob nun drei Arten pro Stunde oder pro Woche ausgerottet werden – es sind in jedem Fall zu viele. Ich befürchte allerdings, daß wir zu früh Alarm schlagen. Wenn wir jetzt behaupten, Spezies schwänden in der von Wilson geschätzten Geschwindigkeit, und stellen dann fest, die Sterberate ist nur ein Zehntel oder ein Hundertstel so hoch, dann folgern manche vielleicht, es brauche nichts unternommen zu werden.“

Anders als in der heftigen Debatte um die Soziobiologie behandeln die Kontrahenten einander diesmal respektvoll. Auf Tagungen erwarten Wilson keine Wassergüsse, sondern Bewunderung seines Forschergeistes und seiner Gabe, Ideen prägnant zu vermitteln. „Wilson ist ein phantastischer Wissenschaftler“, erkennt Ariel Lugo an, „ein bemerkenswerter Mensch und ein wunderbarer Schreiber.“ Nur: Er übertreibt eben.

Doch der hochgeachtete Zoologe und mit ihm ein stattlicher Zirkel angesehener Tropen-Biologen beharren darauf: Eigentlich gebe es nichts zu diskutieren. „Es existieren doch nur deshalb nicht mehr



Pflaumenkopfsittich, Südasiens



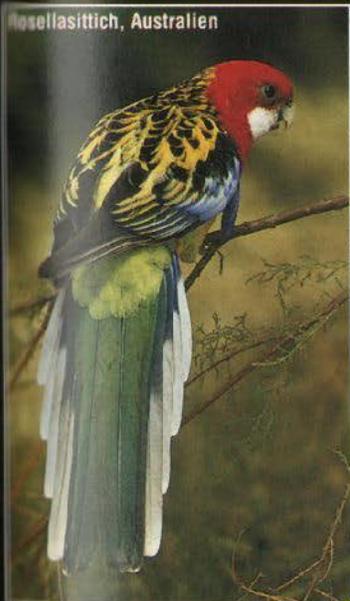
Arakakadu, Neuguinea



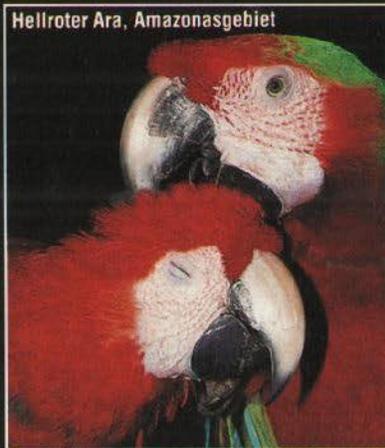
Nabengeier auf einem Korallenbaum, Costa Rica



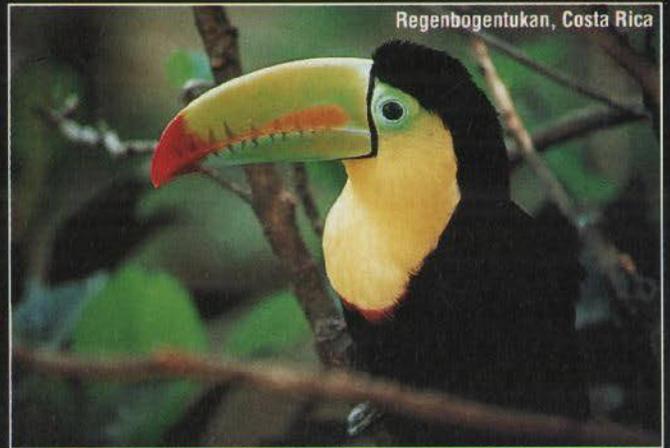
Fächerpapagei, Südamerika



Rosellasittich, Australien



Hellroter Ara, Amazonasgebiet



Regenbogentukan, Costa Rica

Wie viele Vögel sind noch da?

Nirgendwo sind die Federkleider der Vögel bunter als in den Tropen - als müßten sie dort mit der Farbenpracht der Blüten und Schmetterlinge konkurrieren. Wie bei Pflanzen und Insekten ermöglicht die scheinbar unbegrenzte Zahl ökologischer Nischen in den feuchtheißen Klimazonen solche Mannigfaltigkeit



Badende Blauwangenloris, Australien

handfeste Beweise“, ereifert sich Wilson, „weil so wenige Forscher die Verluste untersuchen.“

Diese Diagnose Wilsons und seine Therapie – solche Studien zu forcieren – finden den Beifall selbst der schärfsten Kritiker. „Vermutlich nur 1500 professionelle Systematiker weltweit sind in der Lage“, klagt der Forscher, „sich kompetent mit tropischen Organismen zu befassen. Und die Zahl könnte sinken.“ Besonders kraß ist das Defizit auf seinem angestammten Terrain: Obwohl Ameisen und Termiten etwa ein Drittel der tierischen Biomasse in Regenwäldern ausmachen, obwohl sie zu den wichtigsten landwirtschaftlichen Schädlingen zählen, obwohl sie mehr Erde bewegen als Würmer, „verfügen nur

ungefähr ein Dutzend Insektenforscher über ausreichend Kompetenz, diese vielseitigen Organismen zu identifizieren. Und weniger als die Hälfte davon können sich ausschließlich diesem Spezialgebiet widmen“.

Wilson und andere Biologen, darunter Paul Ehrlich von der Stanford University, fordern deshalb ein globales Biodiversität-Projekt. „Ich kann mir kein wissenschaftliches Problem von unmittelbarer Bedeutung für die Menschheit vorstellen“, sagt der Kämpfer für den Na-

turschutz. „Es ist mit Sicherheit dringender, als das menschliche Erbgut zu entschlüsseln, Elementarteilchen zu studieren oder zu fremden Planeten aufzubrechen. Wir sprechen hier nicht über eine große Mobilmachung. Wir sprechen nicht einmal über ‚Big Science‘, über Größenordnungen, die Teilchenbeschleuniger oder das Genomprojekt erreichen.“ Um die riesigen Lücken im Verständnis der Biodiversität und des Artensterbens zu füllen, würden, glaubt Wilson, 25 000 Spezialisten genügen. „Das ist nun wirklich nicht viel. Das ist weniger als das stehende Heer der Mongolei.“

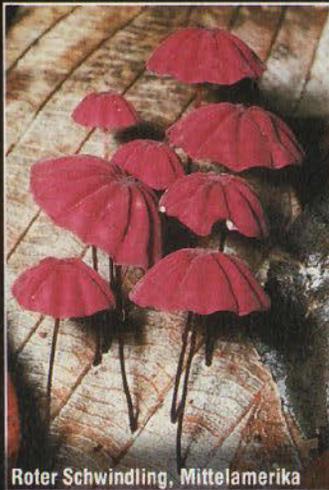
Bislang widmeten Forscher sich bevorzugt spektakulären Spezies: farbenprächtigen Vögeln oder auffälligen Säugetieren. Winzige, unscheinbare Arten entgingen meist der Aufmerksamkeit – etwa jene Organismen, die Laub und totes Holz zersetzen, oder jene, die größeren Tieren in einer Symbiose hilfreich verbunden sind. Gerade deren Verlust werden Menschen einmal bedauern, prophezeit Wilson. Denn obwohl die dienstbaren Winzlinge eher im stillen wirken, spielen sie eine Schlüsselrolle in Ökosystemen.

In seinem Büro steht der Insektenforscher oft vor einer seiner Ameisenkolonien. „Sie sind so beständig“, sagt er und blickt auf die beharrliche Parade von Arbeiterinnen, die ihre Ernte über eine Brücke aus einem gebogenen Zweig schleifen. „Man sitzt da, sieht zu und stellt fest, daß es ein in sich geschlossenes System ist. Und die Ameisen halten dieses wundervolle, höchst integrierte Gefüge in Gang – Tag und Nacht, jahraus, jahrein.“

Selbst Bevölkerungsexplosionen bewältigt der aus Myriaden Krabbeltieren gebildete „Super-Organismus“. „Sie haben hervorragende Kontrollmechanismen“, erklärt Wilson enthusiastisch. „Wenn es einer Kolonie an Platz oder Nahrung mangelt, bricht sie nicht zusammen. Sie gibt nach. Sie betreibt Geburtenkontrolle. Sie geht einfach in Wartestellung.“ Wenn die Nahrungsquellen wieder fließen, beginnen die Ameisen, die Gärten aufzupäppeln, die Königin bekommt mehr zu fressen, mehr Eier werden gelegt. Die Maschinerie läuft wieder auf Hochtouren und nutzt die reichlichen Ressourcen. „Schade“, meint Wilson, „wir könnten so viel von den scheinbar wertlosen Wesen lernen.“ □

Verborgene Winzlinge spielen eine Schlüsselrolle

Pilze und andere Organismen, die tote Biomasse abbauen, sind bisher wenig erforscht. Dabei verdienen gerade diese »Zersetzer« das ökologische Prädikat »besonders wertvoll«



Roter Schwindling, Mittelamerika

Pilz parasitiert auf Käfer, Panama



Leuchtpilze, Sumatra



Andrew Revkin, 36, lebt als freier Journalist und Autor in Garrison bei New York. 1990 ist von ihm das Buch „Chico Mendes – Tod im Regenwald“ erschienen, in dem er die Geschichte des 1988 ermordeten Kautschukzapfers und Tropenwald-Schützers erzählt.

PHILIP MORRIS FORSCHUNGSPREIS '92

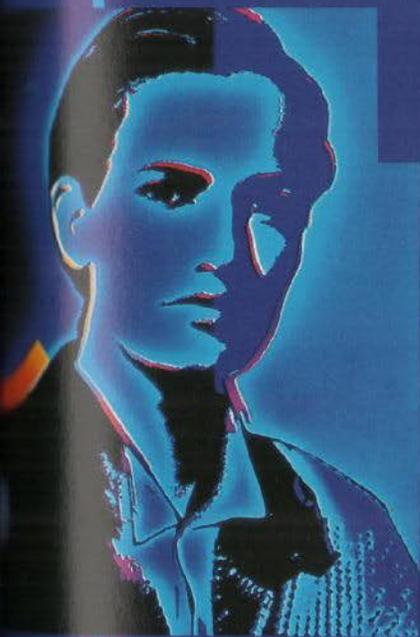
Chancen für morgen.

Die Zukunft stellt uns jeden Tag vor neue Herausforderungen und Aufgaben. Aufgaben, die nur durch Spitzenleistungen in Forschung, Entwicklung und Erfindung gelöst werden können.

In diesem Jahr bereits zum zehnten Mal vergeben, soll der Philip Morris Forschungspreis „Herausforderung Zukunft“ Menschen ermutigen, mit Kreativität und Engagement zu einem humanen Fortschritt beizutragen. Mit 120 000 DM ist er eine der höchstdotierten und anerkanntesten Technologieauszeichnungen Deutschlands.

Förderung innovativer Ideen.

Der Philip Morris Forschungspreis wird für vier Wettbewerbsfelder ausgeschrieben: Mensch und Umwelt, Werkstoffe und Verfahren, Information und Kommunikation sowie Transport und Verkehr. Die Verleihung findet jährlich durch die Philip Morris Stiftung statt, die Auswahl der Preisträger erfolgt durch eine unabhängige Jury.



$$f_q(x^1, x^2, \dots, x^n) = a(x^1)^2 + 2\varphi_1 \cdot x^1 a(x^1)^2 \\ = a\left(x^1 + \frac{\varphi_1}{a}\right)^2 + 2\varphi_1 \cdot x^1$$

10 JAHRE HERAUSFORDERUNG ZUKUNFT

Coupon

Wenn Sie mehr über den Philip Morris Forschungspreis, seine Preisträger oder über die Bewerbungsmodalitäten erfahren wollen, senden Sie bitte diesen Coupon an:

PHILIP MORRIS Stiftung
Postfach 70 14 40
8000 München 70
Stichwort „Philip Morris Forschungspreis -
Herausforderung Zukunft“

Ich möchte mehr über den Philip Morris Forschungspreis wissen. Bitte schicken Sie mir Informationsmaterial.

Ich möchte mich für den Philip Morris Forschungspreis 1993 bewerben. Bitte schicken Sie mir die Wettbewerbsunterlagen (Bewerbungsschluß ist der 15. 10. 92).

Name: _____ Vorname: _____

Straße: _____

PLZ/Wohnort: _____

Die schöpferischen Krisen

Das meiste Leben ist längst tot. Mehr als 99 Prozent der im Laufe der Erdgeschichte entstandenen biologischen Arten sind wieder ausgestorben. Die mindestens 10, womöglich gar 100 Millionen heute lebenden Spezies lassen die untergegangene Vielfalt allenfalls ahnen.

Von Anbeginn stehen Organismen unter dem Druck, sich an eine mehr oder minder schnell wandelnde Umwelt anpassen zu müssen: Kälteres Klima setzt Mikroben, Pflanzen und Tieren zu, Hitzeperioden vertreiben sie aus ihren angestammten Territorien. Neue Feinde tauchen auf, alte Nahrungsquellen versiegen. Kein

Wunder, daß alle Arten irgendwann auf der Strecke bleiben.

Auch in relativ stabilen Epochen der Erdgeschichte entstanden und verschwanden Spezies – das legen die gefundenen Fossilien nahe – fast so regelmäßig, wie eine Uhr tickt. Doch von Zeit zu Zeit teilte die Natur wüste Schläge aus: Paläontologen zählen bis zu 17 Massensterben, die als spektakuläre Floren- und Faunenschnitte viele Erdzeitalter begrenzen und bei denen zum Teil mehr als die Hälfte der jeweils existierenden Spezies ausstarb.

Zufallsgeneratoren gleich, zwangen diese Katastrophen das Leben auf der Erde immer

wieder zu partiellen Neuanfängen – Chancen für überlebende Arten, just entstandene oder frei gewordene Lebensräume zu besiedeln. Oft fächerten sie sich in diesem Radiation genannten Prozeß zu einer Fülle neuer Formen auf, die den Artenreichtum der untergegangenen Ökosysteme noch übertraf. Nie jedoch riß der Faden des Lebens völlig ab, wie molekularbiologische Vergleiche des Erbguts belegen: Alle Kreaturen stammen von jenen einzelligen Urahnen ab, die vor rund 3,7 Milliarden Jahren auf der noch wüsten Erde entstanden waren.

Die erste nachweisbare große Krise meisterte das Leben vor 650 Millionen Jahren. Damals starben vor allem einzellige Algen-Spezies aus. Erst im darauffolgenden Erdzeitalter begann der Aufstieg vielzelliger Lebewesen: Innerhalb weniger Millionen Jahren entwickelten sich während der „kambrischen Explosion“ fast alle Hauptgruppen der Tiere, darunter Schwämme und Weichtiere, Gliederfüßer und sogar Vorläufer von Wirbeltieren.

Und noch mehr: Einige im „Burgess Shale“, einer Schie-

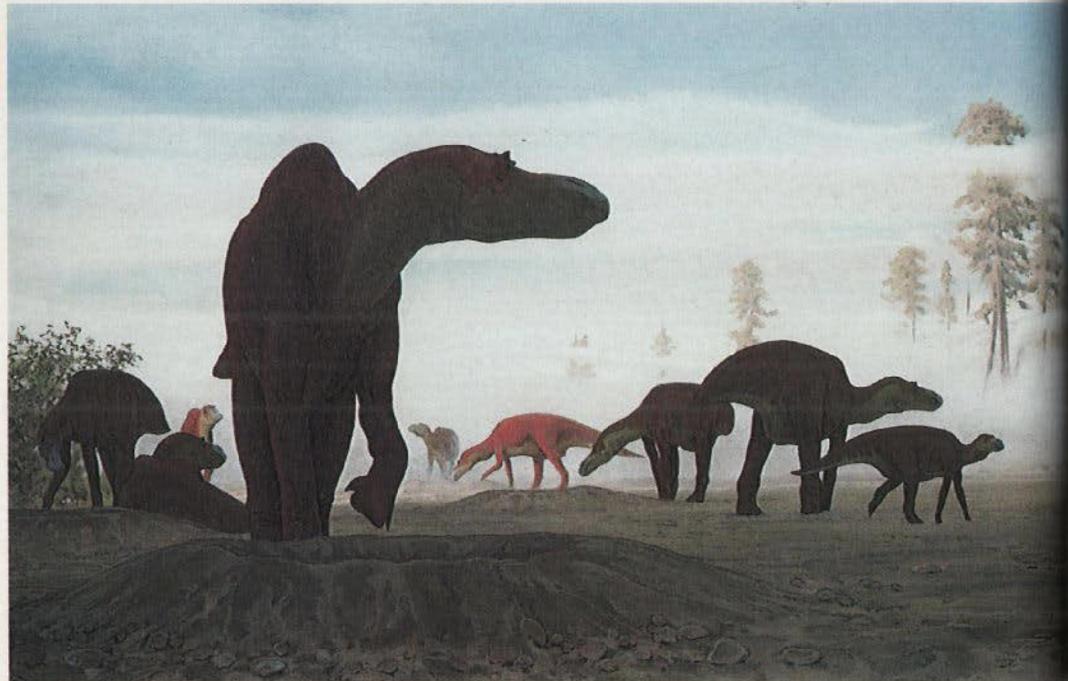
ferformation der kanadischen Rocky Mountains, gefundene Fossilien enthüllen Baupläne, die sich drastisch unterscheiden von den heute vorherrschenden Tier-Anatomien – etwa kelchartige Körper oder solche mit fünf Augen und Rüssel. Diese befremdlichen Kreaturen, die vor 570 Millionen Jahren die Ozeane bevölkerten, konnten die natürliche Auslese nicht überstehen und starben schon vor Ende des Kambriums aus.

Als äußerst erfolgreich erwies sich dagegen die formenreiche Gruppe der Trilobiten. Die Fossilien dieser flachen Gliederfüßer, deren dreilappiger Körper von einem Rückenpanzer geschützt wurde, sind gleichsam das Symbol des Kambriums. Ihre Mannigfaltigkeit wurde später allerdings in mehreren Krisen dezimiert – vor allem vor 505, 440 und 370 Millionen Jahren. So begann die Blütezeit der Armfüßer sowie der vielarmigen Nautiloideen, früher Verwandter der heutigen Tintenfische und Kraken.

Dinosaurier wie diese Maiasaurier waren die Herrscher des Erdmittelalters – bis zu einem Meteoriteneinschlag vor 66 Millionen Jahren



Trilobiten dominierten die Tierwelt des Erdaltertums. Gegen Ende des Perm wurden sie Opfer des größten Massensterbens aller Zeiten



Die – gemessen an der Quote der ausgerotteten Arten – schlimmste Katastrophe brach gegen Ende des Perm vor 245 Millionen Jahren über die Biosphäre herein. Sie markiert zugleich das Ende des Erdaltertums (siehe Grafik rechts): Schätzungsweise 96 Prozent aller Spezies wurden ausgelöscht, darunter sämtliche verbliebenen Trilobiten, die meisten Armfüßer und fast alle Korallen. Das Unheil kam allerdings nicht plötzlich, sondern kumulierte über mehrere Millionen Jahre – wahrscheinlich als Folge einer ungewöhnlichen Konstellation der Kontinentalverschiebung: Damals wurden alle Erdteile zum Superkontinent Pangaea zusammengeschoben, wobei unter anderem die besonders artenreichen Schelfmeere drastisch an Fläche einbüßten.

In das ökologische Vakuum hinein entwickelten sich die Dinosaurier. Sie dominierten 140 Millionen Jahre lang die Tierwelt zu Lande, zu Wasser und in der Luft. Ihre Ära ging vor 66 Millionen Jahren abrupt zu Ende – an der Wende von der Kreide zum Tertiär, der im Fachjargon kurz „K-T“ ge-

nannten Grenze zwischen Erdmittelalter und Erdneuzeit. Mit den Sauriern verschwanden drei Viertel aller Spezies.

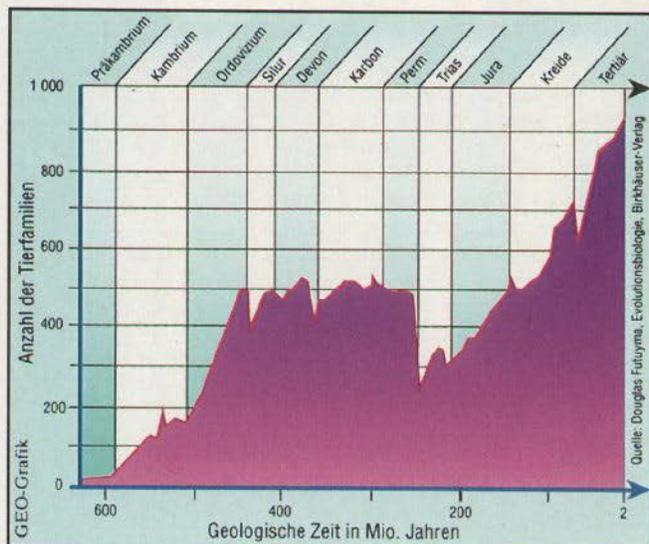
Den Massen-Exitus löste offenbar der Einschlag eines oder mehrerer riesiger Meteoriten aus. Dafür spricht neben anderen Hinweisen vor allem der erhöhte Gehalt des auf der Erde seltenen, in Meteoriten aber relativ häufigen Metalls Iridium in Gesteinsschichten an der K-T-Grenze an vielen Fundstellen rund um den Globus. Die aufgewirbelten Staubmassen hätten, der Einschlagstheorie zufolge, das Sonnenlicht extrem stark abgeschirmt und so die Lebensbedingungen auf der Erde katastrophal verschlechtert. Eine Auftreffstelle glauben Wissenschaftler kürzlich identifiziert zu haben: halb auf der mexikanischen Halbinsel Yukatan, halb im Golf von Mexiko.

Zu den Profiteuren des Desasters zählte neben den direkt von den Sauriern abstammenden Vögeln auch jene Tiergruppe, die zuvor im Schatten der Donnerechsen nicht so recht hatte reüssieren können: die Säugetiere (siehe Grafik Seite 24).

Für die meisten Floren- und Faunenschnitte, die seit der Perm-Katastrophe im Mittel alle 26 Millionen Jahre auftraten, fehlen derart handfeste Hinweise. So existieren außer den Meteoriteneinschlägen entsprechend viele Erklärungen: Manche Paläontologen machen gewaltige Vulkanausbrüche als Ursache aus, in deren Folge Aschewolken den Himmel verdunkelt und giftige Gase Leben vernichtet hätten. Andere sehen als Auslöser von Katastrophen den drastischen Schwund der Flachmeere am Rand der Kontinente oder globale Klimaumschwünge im Gefolge der Kontinentalverschiebung.

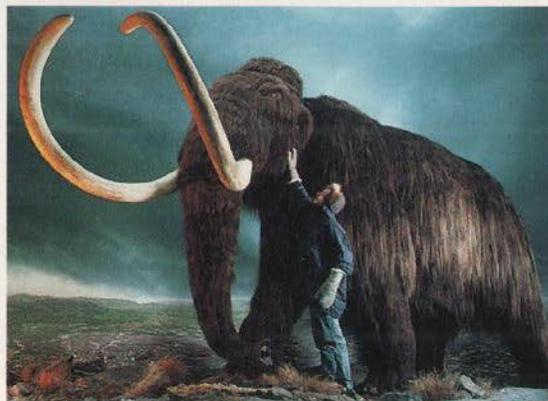
Bei den jüngsten Einschnitten in die Vielfalt des Lebens kommt eine neue Ursache ins Spiel. Als vor 11 000 Jahren mit dem Ende der letzten Vereisungsperiode viele Großsäuger wie Mammuts, Wollnashörner und Riesenfaultiere verschwanden, könnten dazu steinzeitliche Jäger beigetragen haben. Für das derzeitige Massensterben ist jedenfalls eindeutig der Mensch verantwortlich. Zwar hat sich das Leben noch von jedem Desaster erholt. Aber diese Erkenntnis kann für uns keine Beruhigung sein: Die Gesundung dauerte im Schnitt fünf bis zehn Millionen Jahre.

Barnabas Thwaites



Nur versteinerte Schalen, gefunden in South Dakota, blieben von den beiden Ammoniten-Spezies aus der späten Kreidezeit. Alle Ammoniten starben – nach mehr als 300 Millionen Jahren – mit den Sauriern aus

Einer Fieberkurve des Lebens gleicht die Grafik, in der – soweit bekannt – die Anzahl aller jeweils lebenden ozeanischen Tierfamilien seit dem Präkambrium eingetragen ist. Nach dem steilen Anstieg fallen vor allem die Zäsuren zu Ende der Perm- und der Kreidezeit auf



Gegen Ende der letzten Eiszeit starb das Mammut aus. Eine Nachbildung steht im Museum der kanadischen Stadt Victoria

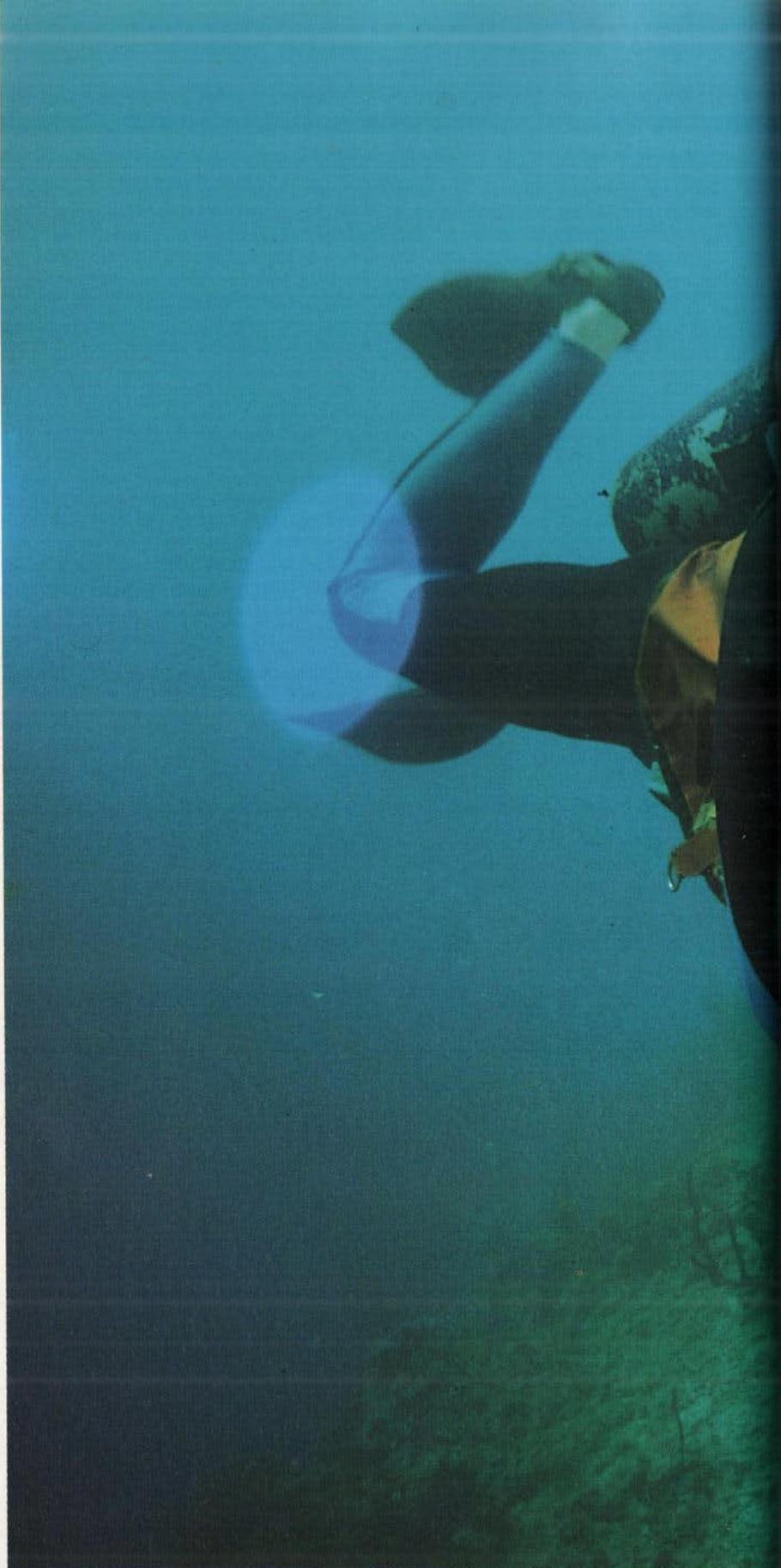
Jeremy Jackson hat das Paradies ausgesperrt. Der US-Biologe, Spezialist für längst vergangene Ökosysteme, residiert hinter herabgelassenen Jalousien in einem altmodisch-schlampigen Büro. Draußen wiegen sich die Palmwedel im warmen Seewind, segeln weiße Pelikane dicht über dem Wasser am Strand entlang, rollen die Wogen des Pazifik in ruhiger Folge in die Einfahrt des Panama-Kanals.

„Meine Laufbahn“, sagt Jackson so sarkastisch und schleppend, als spielte er den legendären Detektiv Phillip Marlowe, „verdanke ich hauptsächlich Katastrophen.“

Das Desaster, das ihn an die marine Abteilung des „Smithsonian Tropical Research Institute“ (STRI) auf der Halbinsel Naos unweit der Hauptstadt Panamas gelockt hat, liegt schon verdammt lange zurück: rund drei Millionen Jahre. Und das macht die Arbeit für wissenschaftliche Schnüffler wie Jackson nicht gerade leicht. Alle Zeugen sind längst tot, ihre Überreste begraben in kalkigen Ablagerungen, ihre Nachfahren stumm wie Fische. Oder Korallen.

Damals krachten Nord- und Südamerika zusammen. In der Knautschzone hob sich Land aus dem Meer und verband die beiden Kontinente – hoch und trocken wie die Brücke von Manhattan nach Brooklyn. Der Ozean aber, tropisch warm und voller Leben, wurde zerrissen, geteilt durch eine Mauer ohne jeden Durchlaß. Oben, auf dem Land, infiltrierten Fremde das Terrain am jeweils anderen Ende der neuen Brücke, schlichen, krabbelten, flogen von Nord nach Süd und von Süd nach Nord (siehe Kasten Seite 60). Unter der Wasseroberfläche jedoch zerbrachen Jahrmillionen alte familiäre Bande. Manche erfolgreichen Dynastien gingen unter; andere, unscheinbare Kreaturen zumeist, bewiesen erstaunliches Standvermögen.

Für Evolutionsbiologen wie Jeremy Jackson ist die ozeanische Teilung durch den Isthmus von Panama ein Glücksfall. Hier können sie das Schicksal von Muscheln, Krebsen und Korallen seit der gewaltsamen Trennung rekonstruieren. Hier haben sie die Folgen eines gigantischen evolutionären Experiments so dicht vor Augen wie nirgendwo sonst: Nur rund 80 Kilometer trennen die pazifische von der karibischen Wasserwelt – ein kurzer Autotrip für Biologen, aber



Seine Beobachtungen speichert Ken Clifton, Forscher am »Smithsonian Tropical Research Institute«

z. B. PANAMA

Kaum irgendwo läßt sich die Handschrift der Evolution besser studieren als in den pazifischen und karibischen Küstengewässern Mittelamerikas. Dort existieren die Nachfahren jener Kreaturen, deren ozeanischer Lebensraum vor etwa drei Millionen Jahren durch die neue Landbrücke von Panama zerrissen wurde

Im Naß-Labor des Lebens

« (STRI), unter Wasser in einem Klein-Computer. Der Biologe untersucht das Sozialverhalten des »Gestreiften Papageienfisches«

ein gewaltiger ökologischer Sprung für ozeanisches Leben.

Die Demarkationslinie aus dem Pliozän hat Evolutionsdetektive aus aller Welt nach Panama gebracht. Hartgesotene Fahnder wie Jackson und seinen Kumpel Anthony Coates, die stumme Zeugen der erdgeschichtlichen Katastrophe beharrlich in die Mangel nehmen. Oder Nancy Knowlton, die Expertin für unsichtbare Unterschiede. Oder Spezialisten wie Eldredge Bermingham und Harilaos Lessios, die im Werk der molekularen Uhr des Lebens nach Indizien forschen.

Öko-Katastrophen liefern den Forschern wertvolle Informationen

Die Früchte ihrer Arbeit, die sich jetzt zu Papierbergen stapeln, sollen sich dereinst Pünktchen für Pünktchen zu einem Bild addieren, das die Folgen der kontinentalen Karambolage auf die seitdem getrennten marinen Ökosysteme zeigt: Vor allem auf karibischer Seite starben Hunderte, wenn nicht Tausende von Arten aus.

Wie das im Detail abgelaufen sein könnte, wie sensibel biologische Systeme auf plötzliche Veränderungen reagieren, hat Jeremy Jackson auch an aktuellen Störfällen studiert: zum Beispiel nach dem Hurrikan, der 1980 die Korallenriffe an der Nordküste Jamaikas verwüstete, oder nach der Ölpest, die 1986 die Küste nahe der atlantischen Einfahrt zum Panama-Kanal heimsuchte. Denn wie ein schwerer Auffahrunfall, der einen Verkehrskollaps auslöst und nachfolgende Autofahrer zum Ausweichen zwingt, provoziert eine Öko-Katastrophe neue „Interaktionsmuster“ zwischen den Arten einer Lebensgemeinschaft. Auf diese Weise liefert das gestörte Gleichgewicht wertvolle Informationen über die Selbstorganisation eines biologischen Systems. Ob es sich dabei um eine Ölpest handelt oder die Teilung eines Meeres, macht für Jackson im Prinzip keinen Unterschied. „Das“, meint er, „ist eigentlich nur eine Frage der Zeitskala.“

Der Ablauf des Desasters im Pliozän ist bislang nur in groben Zügen bekannt. Vor allem drei Fragen fesseln die STRI-Forscher:

- Wann hat das „Isolationsereignis“ die Verbindung zwischen den Populationen endgültig unterbunden?
- Wie stark hat bereits die Insel- und Lagunenlandschaft, die der Landbrücke vorausging, den Gen-Austausch der marinen Lebewesen gehemmt?

● Welche Auswirkung haben drei Millionen Jahre der Trennung auf die Evolution der auseinandergerissenen Populationen gehabt?

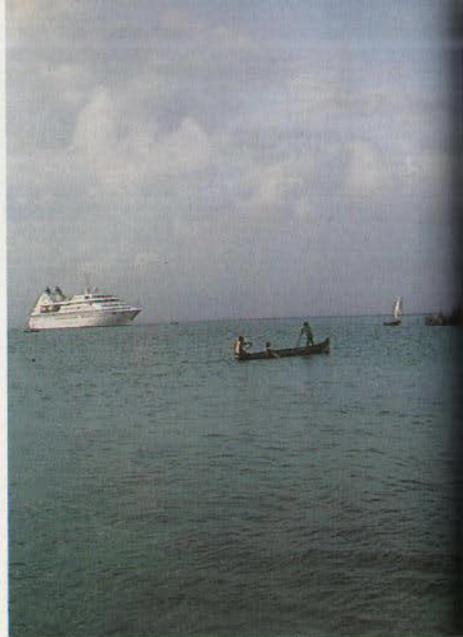
Einig sind sich die Forscher darin, daß der Riß der Spaltung nicht gleichzeitig durch alle Tiergruppen ging. Die pazifischen und karibischen Populationen bestimmter ozeanischer Planktonarten etwa – sogenannter Foraminiferen – waren bereits vor rund drei Millionen Jahren genetisch isoliert. Das zeigen die versteinerten, aus Ablagerungen am Meeresgrund geborgenen Reste ihrer spiraligen Gehäuse: Sie haben unterschiedliche Windungsmuster. Als Zeitgeber für die endgültige Schließung der Landbrücke taugen die mikroskopisch kleinen Kalkgebilde jedoch nicht: Pliozänische Planktonwesen, die im offenen Ozean lebten, sind womöglich schon vorher getrennt worden.

Flachwasserorganismen wie Riffkoralen oder Schnecken geben dagegen fast so präzise Auskunft wie die stehengebliebene Cockpit-Uhr über den Zeitpunkt eines Flugzeugabsturzes. Deshalb fahndet Jeremy Jackson gemeinsam mit dem britischen Geologen Anthony Coates seit 1986 nach versteinerten Zeitzeugen, die erst durch das Austrocknen der letzten Kanäle zwischen Pazifik und Karibik definitiv voneinander getrennt worden sind.

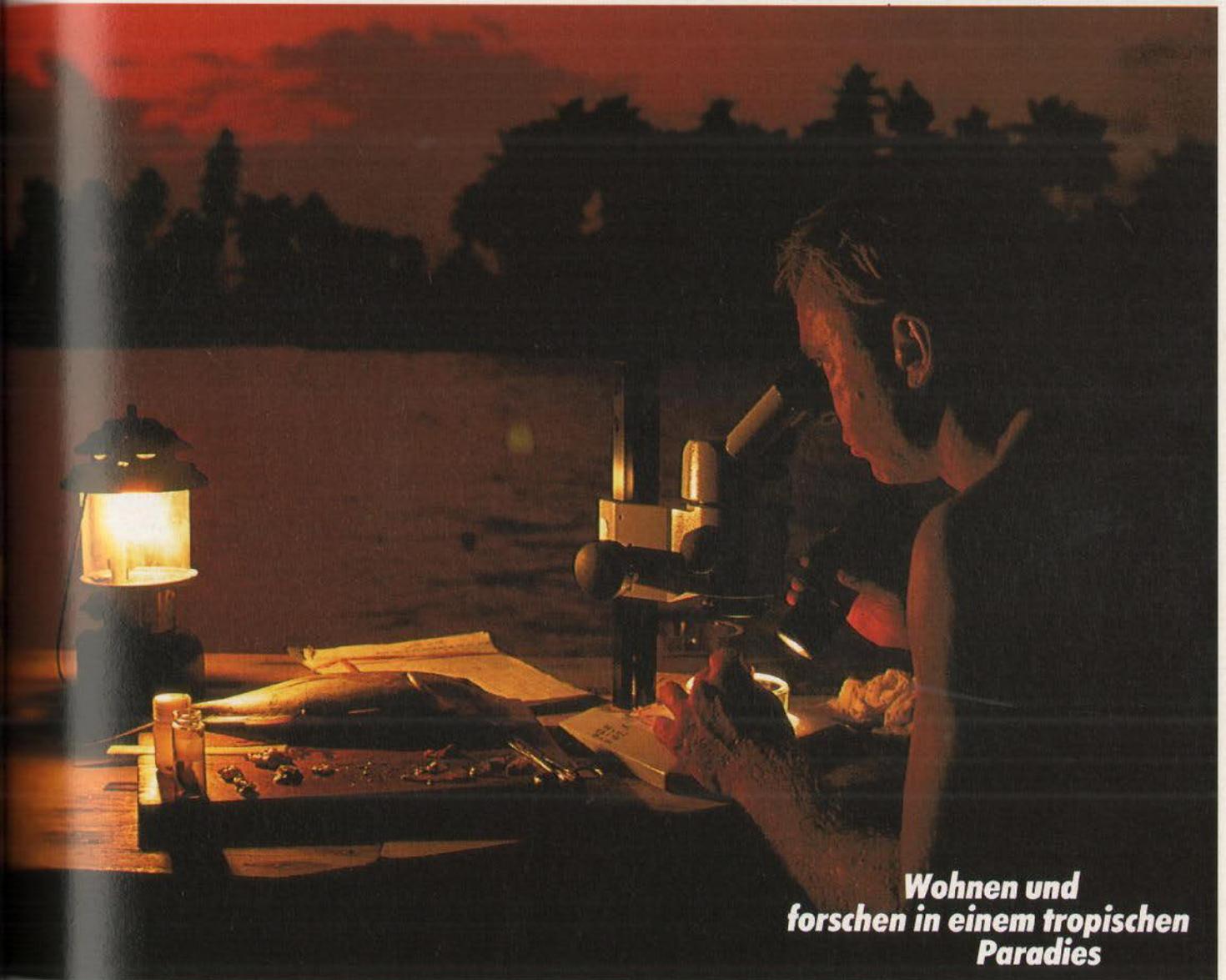
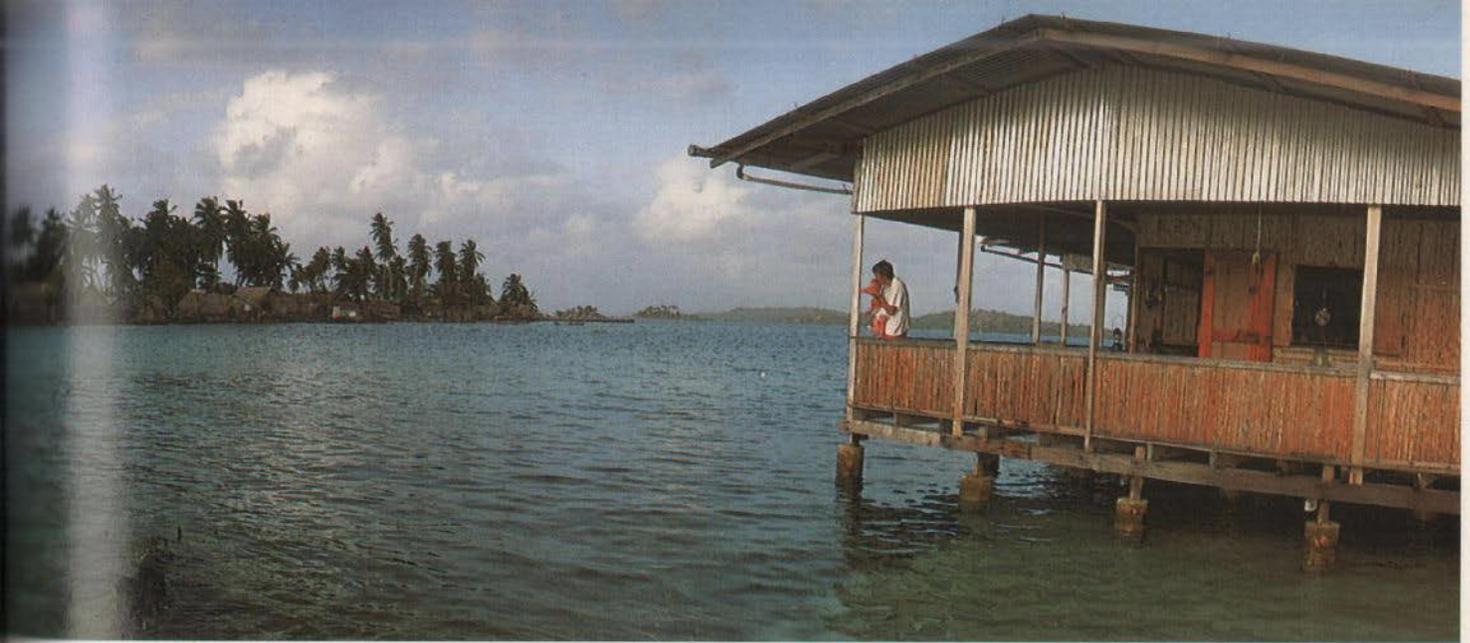
Winzige Scherben dokumentieren ein Drama der Erdgeschichte

Was die Portugiesin Helena Fortunato sorgfältig auf dem Labortisch arrangiert, sieht unter dem Mikroskop aus, als wäre ein Porzellan-Service zu Bruch gegangen. Nur bei starker optischer Vergrößerung informieren die in Wahrheit winzigen Muschelschalen, Schneckenhäuser und Kalkskelette von Korallen, Moostierchen oder Muschelkrebchen über das Alter und die biologische Vielfalt jener prähistorischen Küstemeere. Und wie bei einer Fotografie, deren Auflösung mit feiner werdender Korngröße wächst, ist der Fossilien-Schnappschuß um so genauer, je kleiner die Einheiten der zoologischen Systematik – Ordnung, Familie, Gattung, Spezies – sind, die sich in dem Scherbenhaufen identifizieren lassen.

Auf bislang neun Expeditionen quer durch Panama und Costa Rica haben Jackson und Coates ihre Beweisstücke aus Felsen gehauen: an der Küste, in den Bergen und im tropischen Regenwald, oft weitab jeder Zivilisation. Zerkleinert, gekocht, getrocknet, gesiebt



Das karibische Insel



**Wohnen und
forschen in einem tropischen
Paradies**

Myth täuscht: Auf der STRI-Station mitten im San-Blas-Archipel arbeiten die Wissenschaftler hart – zuweilen bis tief in die Nacht

und ausgezählt, erlauben die weit über 1000 Proben eine Bestimmung der Fossilien bis auf die Ebene einzelner Spezies. Zudem repräsentieren sie nahezu lückenlos den Zeitraum von 8,2 bis 1,5 Millionen Jahre vor der Gegenwart auf der karibischen und von 3,6 bis 1,7 Millionen Jahre auf der pazifischen Seite. Damit können der Amerikaner und der Brite das erdgeschichtliche Drama nun weitaus detaillierter rekonstruieren als andere Forscher zuvor.

Schon erste Auswertungen brachten Überraschendes zutage, als Peter Jung, Paläontologe vom Naturhistorischen Museum in Basel und ein intimer Kenner von Schneckenfossilien, 3,5 Millionen Jahre alte Gesteine von beiden Seiten der Landenge durchmusterte. „Er verglich exakt die gleichen Felstypen“, begeistert sich Anthony Coates, „und bei Gott: Er fand nicht eine einzige gemeinsame Spezies.“ Für Coates läßt das nur einen Schluß zu: „Die Landenge war – geschlossen oder nicht – bereits vor 3,5 Millionen Jahren eine effektive ökologische Barriere für Schnecken.“

Korallen fristen im Ost-Pazifik ein karges Dasein

Von der Auswertung ihrer Proben erwarten Jackson und Coates auch Details über das spätere Schicksal der getrennten Lebensgemeinschaften. Noch weiß beispielsweise niemand genau, weshalb in der Karibik so viele Muscheln und Schnecken ausgestorben sind, während auf der pazifischen Seite deren Artenvielfalt zugenommen hat. Einige Forscher sehen die Ursache in der Unterbrechung kalter, nahrungsreicher Wasserströme aus den Tiefen des Pazifik; andere vermuten, daß eine von Norden einsetzende Eiszeit viele der an Wärme gewöhnten Arten im austauscharmen Randmeer der Karibik kalt erwischte.

Korallen verschwanden dagegen an der pazifischen Küste. Die wenigen Arten, die später aus dem Westpazifik einwanderten, fristeten ein karges Dasein. „Korallen litten im Ost-Pazifik, Muscheln und Schnecken in der Karibik“, faßt Jeremy Jackson zusammen, „Moostierchen hingegen war alles egal.“

Das spricht für die Anpassungsfähigkeit der Moostierchen und anderer Flachwasserorganismen, die beiderseits der Barriere in oder knapp unterhalb der Gezeitenzone recht unterschiedlichen Bedingungen ausgesetzt sind. Während die Differenz zwischen Ebbe und Flut an der pazifischen Südküste Panamas bis zu sechseinhalb Meter betragen kann, hebt

sich die See an der karibischen Nordküste nur um einen halben Meter. Und während im Süden durch aufwallendes Tiefenwasser die Meerestemperatur in der Trockenzeit von Januar bis April zwischen 15 und 32 Grad Celsius schwankt, bleibt sie im Norden das ganze Jahr über nahe bei 27 Grad.

Tatsächlich haben sich diverse Arten von Moostierchen und Seeigeln, Garnelen und Fischen mit den neuen Verhältnissen bestens arrangiert. Beiderseits der Barriere leben heute in vergleichbaren marinen Lebensräumen – felsige Gezeitenzone oder Sandstrand, Korallenriff oder Mangrovenwald – eine Reihe eng verwandter Arten, deren gemeinsame Vorfahren in dem noch ungeteilten Tropenmeer zu Hause waren. „Geschwisterarten“ oder „Zwillingspaare“ nennen die Evolutionsbiologen auf Naos jene Spezies, die sich genetisch nicht weiter auseinandergelebt haben, als wechselnde Wasserstände oder -temperaturen in drei Millionen Jahren erforderten.

Für die Forscher bilden diese Hinterbliebenen einen Schlüssel zum Verständnis dafür, was nach der Isolation abgelaufen ist. Denn solche „Zwillinge“ haben seit ihrer Trennung das Labyrinth der Evolution auf verschiedenen Pfaden durchquert. Das Ergebnis ist mit bloßem Auge oft nicht zu erkennen: Manche der Geschwisterarten, die Zoologen jahrzehntelang für ein und dieselbe Spezies hielten, entpuppten sich erst im Lichte molekularbiologischer Techniken als verschieden.

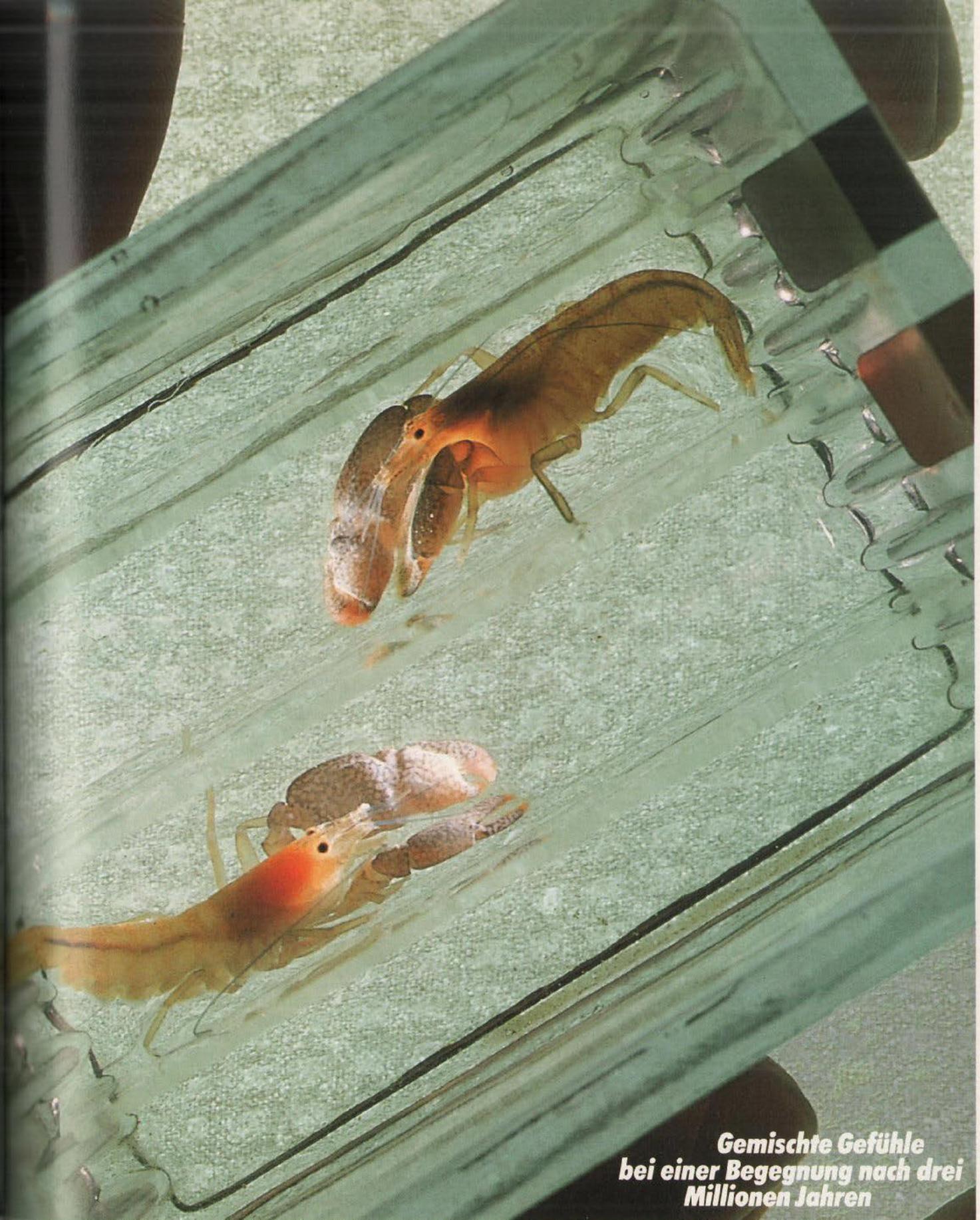
Mit Hammer und Meißel Jagd auf karibische „Zwillingsarten“

Nancy Knowlton besitzt für Feines einen scharfen Blick. Die Garnelen-Spezialistin, von Kollegen als „Weltmeisterin im Auffinden unsichtbarer Unterschiede“ gerühmt, hat schon manche neue Art beschrieben. Und wenn die Morphologin aus dem US-Staat Connecticut glaubt, daß eine bestimmte pazifische Art eigentlich einen „Zwilling“ in der Karibik haben mußte, dann findet sie ihn meistens auch.

„Selbstverständlich ziehst du niemals los, nur um eine neue Art zu finden“, sagt Nancy Knowlton auf der Fahrt zur karibischen Küste, wo sie ein paar Routineproben nehmen will. Während Javier Jara, ihr technischer Assistent, den Jeep quer über die Landenge lenkt, studiert sie die Küstenlinie auf der Seekarte. Nur ungern verrät sie, daß sie sich im flachen Wasser vor einer bestimmten



Trennungsgeschädigt: Die Pazifik-Garnele Alp



**Gemischte Gefühle
bei einer Begegnung nach drei
Millionen Jahren**

malis (oben) und ihr karibischer »Zwilling« A. nuttingi gingen aus einer Spezies hervor. Heute paaren sie sich nicht mehr miteinander

Basaltinsel einen besonderen Fund erhofft: die „Zwillingsart“ der pazifischen Garnelenspezies *Alpheus malleator*.

Jara ist ein versierter Handwerker – sogar unter Wasser. Ausgerüstet mit Hammer, Meißel und einer Lunge voll Luft, läßt er sich kopfüber auf den drei, vier Meter tiefen Grund sinken. Dann setzt er sein Werkzeug an einem knolligen Korallenstock an. Ohne daß seine weithin schallenden Schläge die algengeweidenden Papageienfische und Seeigel oder die gemächlich patrouillierenden Trompetenfische irritieren, bricht Jara faust- bis kopfgroße Stücke aus dem Kalkgebilde, legt sie in einen Eimer und bringt seine Beute nach oben.

Am Ufer zerbröckeln die Forscherin und ihr Assistent behutsam das Material. Heraus quillt eine wuselnde Wohngemeinschaft wirbelloser Tiere: An der Oberfläche konkurrieren verschiedenartige Korallenkolonien um das beste Licht, in flachen Mulden verbergen sich kleine Seeigel und Schlangensterne, in tiefen Spalten Plattwürmer und Garnelen.

Gegen die langen Nadeln, mit denen die Biologen vorsichtig in den Spalten stochern, hilft den ein bis zweieinhalb Zentimeter langen Garnelen nichts – auch nicht die erregten Knacklaute, mit denen manche ihre Feinde abzuschrecken versuchen. Ein Krustentier nach dem anderen fällt heraus und landet in einem kleinen wassergefüllten Plastikgefäß. Unter ihnen auch das Pendant

von *Alpheus malleator*. Es ist das erste jemals in der Karibik gefundene Exemplar.

In fünf Jahren beharrlicher Fahnungsarbeit hat Nancy Knowlton allein in der Gattung *Alpheus* zehn Geschwisterspezies identifizieren können. „Das gibt es in keiner anderen Tiergattung“, erklärt die Meeresbiologin stolz, als sie Farbfotos ihrer „Zwillinge“ auf dem Tisch ihres Büros sortiert: links die pazifischen Arten, rechts deren karibische Verwandte. Erst auf den zweiten Blick offenbaren die Paare winzige Unterschiede. Hier ist es ein Punkt, so groß wie die Spitze einer Stecknadel, der dem Gegenüber fehlt; dort ein weißer Fleck, der aussieht wie der Buchstabe Ypsilon. Und das soll reichen, um die Tiere unterschiedlichen Spezies zuzuordnen?

Nancy Knowlton ist solche Zweifel gewöhnt. Aber immerhin konnte sie durch ein eindrucksvolles Experiment in allen Fällen bestätigen, daß die „Part-

ner“ nichts mehr voneinander wissen wollen: Beim Wiedersehen in einer Glasschale nach drei Millionen Jahren kommt es nicht zur Paarung, sondern zur Prügelei.

Auf äußere Unterschiede allein würde Nancy Knowlton sich ohnehin nicht verlassen. Schließlich gibt es auch innerhalb einer Spezies morphologische Variationen. Bei der pazifischen Spezies *Alpheus canalis* beispielsweise hat ein Teil der Population blaue, der andere orangefarbene Antennen. Und manche der karibischen Arten scheinen sich näherzustehen als jede ihrem jeweiligen pazifischen Zwilling. Deshalb hat die Morphologin ihre eigenen Beobachtungen durch den Vergleich bestimmter Eiweiß-Moleküle prüfen lassen. Der Test dieser „Allozyme“ bestätigte, daß die Garnelen-Geschwisterspezies zwar sehr eng verwandt sind, aber nicht mehr zur selben Art gehören.

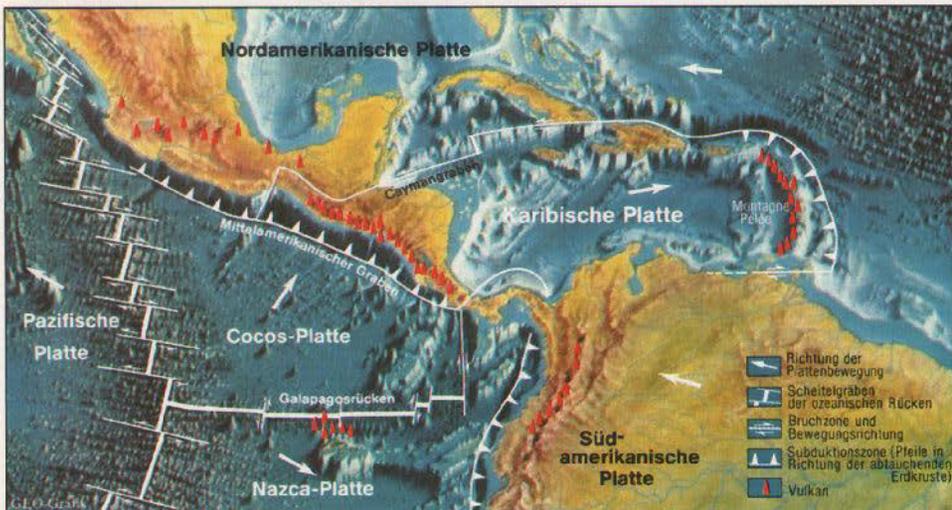
Derlei Untersuchungen gehören zum Repertoire von Knowltons Kollegen Harlaos Lessios. Schon Ende der siebziger Jahre hat der gebürtige Grieche mit dieser Methode den Verwandtschaftsgrad panamaischer Seeigel-Zwillinge geklärt, die sich äußerlich zum Verwechseln ähneln. Damit konnte er zugleich die „molekulare Uhr“ auf präzisen Gang prüfen. Nach dieser aus den sechziger Jahren stammenden Theorie mutiert die Erbsubstanz aller Lebewesen zufällig und im Laufe von Jahrmillionen mit relativ konstanter Rate. Ist diese Rate bekannt, läßt sich an Hand der evolutiven Veränderungen bestimmter Moleküle die Zeit errechnen, die seit der Trennung zweier verwandter Arten vergangen ist. Wenn die „molekulare Uhr“ richtig tickt, müßte der genetische Unterschied der Allozyme bei allen panamaischen Zwillingsart-Paaren gleich groß sein.

Zwar erwiesen sich die Seeigel-Zwillinge als jeweils eng verwandt; aber der Grad an genetischer Divergenz variierte von Paar zu Paar. Da der Isthmus – wie Lessios annahm – alle Populationen etwa zum selben Zeitpunkt getrennt hatte, blieb nur eine Schlußfolgerung: Die „molekulare Uhr“ funktionierte bei den Enzymen der Seeigel nicht. Eine Wiederholung der Untersuchung ergab das selbe Resultat.

Als der amerikanische Molekularbiologe Eldredge Bermingham 1989 an das Institut kam, griff der von Zweifeln geplagte Lessios das Problem erneut auf. Während er über zwei Dutzend Allozyme der Spezies-Paare biochemisch analysierte, nahm Bermingham den Stachelhäutern „genetische Fingerabdrück-

Sechs ruhlose Erdkrusten-Platten hoben die zentral-amerikanische Landbrücke ans Licht. Geophysiker vermuten, daß sich vor zwölf Millionen Jahren zunächst eine Schwelle im ozeanischen Boden formte, die von tektonischen Kräften allmählich emporgedrückt wurde und vor 3,2 bis 2,5 Millionen Jahren das Meer endgültig teilte

Ein kolossaler Crash im Miozän verkuppelte die Kontinente



ke“ ab. Tier für Tier verglich er die Struktur bestimmter Erbmoleküle, sogenannter „mt-DNA“.

Lessios fand seine zehn Jahre zurückliegende Arbeit abermals bestätigt: Bei einem der Spezies-Paare geht die „Allozym-Uhr“ um eine Zehnerpotenz langsamer als bei den anderen. Das Werk der „mt-DNA-Uhr“ hingegen arbeitet bei allen Zwillingen im gleichen Takt.

Damit ist das Daten-Dilemma perfekt. Könnte die Allozym-Uhr doch richtig ticken und der Isthmus die Populationen zu ganz unterschiedlichen Zeiten getrennt haben, wie die Kollegen Coates und Jackson vermuten? Von dieser Idee hält Bermingham nichts. „Die molekulare Uhr ist schließlich kein exaktes Metronom“, sagt er beinahe trotzig, als müßte er die Seeigel für ihr Verwirrspiel in Schutz nehmen.

Tatsächlich bringen die Stachelhäuter nicht nur in diesem Punkt Biologen aus dem Konzept. Auch sexuell ist bei ihnen alles anders.

Für gewöhnlich verlieren Populationen derselben Spezies durch eine Trennung ihres Lebensraums nach zig Generationen die Fähigkeit zur gegenseitigen Befruchtung: Die sexuelle Isolation folgt auf die geographische und vollendet den Prozeß der Artenbildung.

Aber auch innerhalb desselben Lebensraums kann eine Spezies sich aufspalten. Dann dient die sexuelle Isolation als Werkzeug dieser „Speziation“: Neue Verhaltensmuster, zeitverschobene Fortpflanzungszyklen oder Änderungen in der Biochemie von Ei- und Spermazellen unterbinden nach und nach den Gen-Austausch der Populationen. Demnach müssen eng verwandte Arten am selben Standort stärkere Mechanismen sexueller Isolation besitzen als Spezies mit getrennten Lebensräumen. So lautet eine Hypothese des 1975 verstorbenen amerikanischen Evolutionsbiologen Theodosius Dobzhansky.

Verwandte in enger Nachbarschaft halten Abstand

Panamaische Seeigel machen auch hierin eine Ausnahme: Bei Befruchtungsversuchen mit reifen Geschlechtszellen dreier Arten der Seeigelgattung *Echinometra* kamen die eng verwandten karibischen Nachbarn *E. viridis* und *E. lucunter* unerwartet gut miteinander aus: Im Reagenzglas gemischt, vereinigten sich mindestens ein Viertel der Ei- und Spermazellen.

Ebenso „bastardisieren“ beide Spezies immer noch mit dem pazifischen

Genetische Fingerabdrücke enthüllen die Regeln der Evolution

Wo äußere Unterschiede fehlen, helfen innere Werte weiter: Um die Verwandtschaftsverhältnisse der täuschend ähnlichen Geschwisterarten bei Garnelen, Seeigeln oder Fischen zu klären, isolieren die Molekularbiologen am STRI Erbsubstanz aus Mitochondrien, den mikroskopisch kleinen Kraftwerken jeder

Zelle. Die Analyse dieser »mt-DNA« erhellet - in Kombination mit Fortpflanzungsversuchen und biochemischen Tests - den Prozeß der Artenbildung. Die Proben lagern bei minus 62 Grad Celsius



Partner *E. vanbrunti* – allerdings mit recht unterschiedlichem Erfolg: Werden etwa Spermien von *E. lucunter* mit Eizellen von *E. vanbrunti* gemischt, beträgt der Befruchtungserfolg nahezu 100 Prozent, im umgekehrten Fall nur neun Prozent.

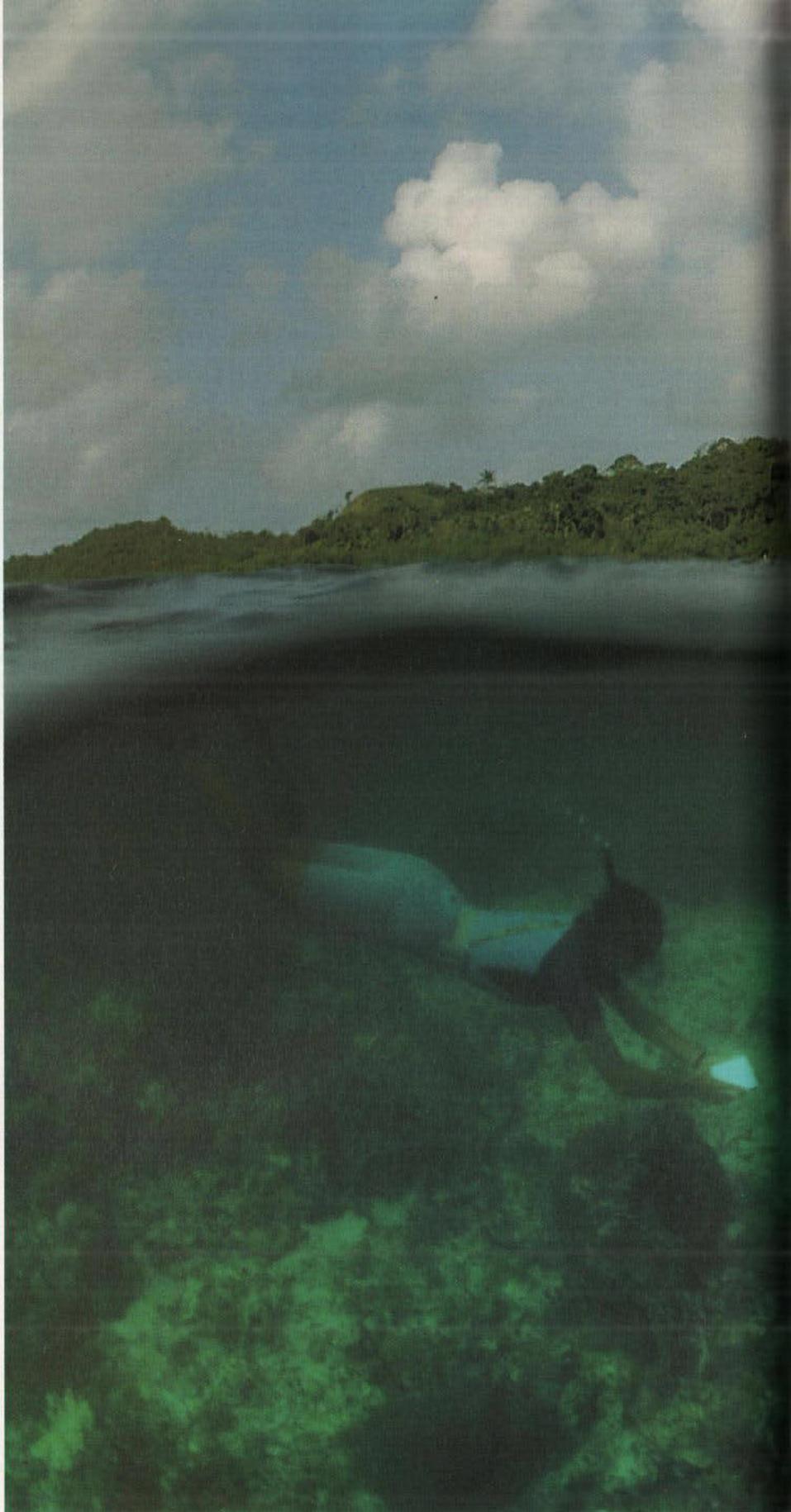
Seeigel der Gattung *Diadema* machen die Konfusion komplett: Die panamaischen Zwillinge *D. antillarum* von der karibischen und *D. mexicanum* von der pazifischen Seite zeugen keine gemeinsamen Nachkommen mehr – obwohl sie sich in Aussehen und Proteinmuster gleichen wie ein Ei dem anderen.

Auch in der Evolution gilt: Nur nicht mehr ändern als unbedingt nötig

„Es gibt bei diesen Seeigeln wahrscheinlich keinen Zusammenhang zwischen der genetischen Divergenz und dem Grad der sexuellen Isolation“, folgert Harilaos Lessios. Offenbar bedürften die Tiere keines aufwendigen genetischen Umbaus, damit eng verwandte Arten sexuell unter sich blieben: Schon wenige Mutationen in der Struktur eines bestimmten Spermien-Proteins oder eines Eizellen-Glykoproteins würden bewirken, daß die Geschlechtszellen einander im Wasser nicht mehr erkennen.

Das ist alles. Kein sensationell neuer Prototyp, kein radikaler Schwenk, den die Evolution nach den dramatischen Ereignissen vor drei Millionen Jahren zu präsentieren hätte. Einfach nur ein paar Beispiele für deren subtile Fähigkeit, nicht stärker zu reagieren als nötig. Ob bei Seeigeln oder Schnecken, Krustentieren oder Fischen: Die panamaischen Zwillinge sind sich so ähnlich geblieben wie ihre Lebensräume. Einige haben die genetische Trennung vollendet, andere erliegen immer noch den sexuellen Reizen ihrer Partner von gegenüber. Und das ist beinahe das spektakuläre Ende der Story.

Ob die Geschwisterarten noch miteinander verkehren können, ist allerdings mehr als nur eine Frage des biologischen Prinzips. Seit den sechziger Jahren liebäugeln die Regierungen Panamas und der Vereinigten Staaten mit der Idee, einen zweiten Panama-Kanal zu baggern – einen schleusenfreien Durchlaß wie den Suez-Kanal. Über den neuen Wasserweg würden nicht nur Schiffe die Landenge passieren: Fische könnten schwimmend, Schnecken, Muscheln und Krebse als festsitzende Mitfahrer an Schiffsrümpfen die Seite wechseln. Als 1965 der damalige US-Präsident Lyn-



Wer das Wechselspiel einer Spezies mit ihrem Lebensraum erforscht, muß



**Auf normalen
Badezimmerkacheln
zeigen sich die Grenzen des
Wachstums**

alle Details erfassen. Deshalb legen STRI-Forscher Fliesen aus, auf denen sie dann das ortsabhängige Wachstum von Algen bestimmen können

LANDTIERE **Nach dem Brückenschlag folgte die große Invasion aus dem Norden**

Für die Bewohner Südamerikas war es vorbei mit der „splendid isolation“ – der herrlichen Abgeschlossenheit –, als die Landenge von Panama verband, was im Lauf der Evolution getrennte Wege gegangen war: die Altwelt-Fauna und -Flora des amerikanischen Nordens, der über die Landbrücke mit Asien an der heutigen Beringstraße in stetem biologischen Austausch gestanden hatte, und die ganz eigenen Pflanzen- und Tiergesellschaften des südlichen Halbkontinents.

Das mehr als 50 Millionen Jahre währende Inseldasein Südamerikas hatte vor allem den Beuteltieren eine immense Artenvielfalt beschert. Diese „Marsupialier“ (lat. Marsupium = Beutel) waren als frühe Formen der Säugetiere vor 100 Millionen Jahren entstanden, als Südamerika, Antarktika und Australien noch verbunden waren. Besonders in Argentinien belegen reichhaltige Fossilienfunde die Formenfülle dieser Tiergruppe: von Beutelratten und -maulwürfen bis zu Gruppen, die Säbelzähntigern, Mardern, Hunden und Hyänen glichen.

Die neue Landbrücke zwischen Nord- und Südamerika entfachte einen strengen Verdrängungswettbewerb zwischen „Einwanderern“ und „Eingeborenen“. Die Beuteltiere etwa gerieten unter den Druck der „Plazentalier“. Dieser modernere Säugertyp, dessen Ungeborene über eine ausgereifte Plazenta versorgt werden und deshalb länger im Mutterleib bleiben, hatte zu Beginn des Tertiärs vor rund 65 Millionen Jahren auf den nördlichen Kontinenten einen entscheidenden Entwicklungsschub erfahren.

Bereits vor der kompletten Schließung der Landbrücke fanden kleine Nager und Primaten als „Inselhüpfer“ den Weg nach Süden. Bald nach-

dem die letzten Lagunen ausgetrocknet waren, kam es zum evolutionären Entscheidungskampf der katzen-, hunde- und bärenartigen Jäger, den die Plazentalier für sich entschieden: Keine der räuberischen Marsupialier-Arten hat überlebt. Ebenso konsequent annektierten die mo-



Erst verdrängte der nordamerikanische Säbelzähntiger sein südamerikanisches Pendant, dann starb er selbst aus

derneren nördlichen Huftiere die Weidegründe ihrer südlichen Pendanten.

Mittelamerika wurde praktisch zur Einbahnstraße: Plazentalier wie Ameisenbären und Faultiere, die schon vor der Vereinigung der beiden



Das Opossum setzte sich als einziges Beuteltier im Norden durch

kontinentalen Teile in Südamerika existierten, drangen über die Grenzen der heutigen mittelamerikanischen Länder kaum hinaus. Ausnahmen sind das Gürteltier, das in den Südstaaten der USA heimisch geworden ist, und der Baumstachler: Das Neuwelt-Stachelschwein hat sich bis zur nördlichen Baumgrenze verbreitet.

Von den zwölf heute noch lebenden Marsupialier-Gattungen stießen vier lediglich bis Mexiko vor. Nur das Opossum schaffte den Weg in die USA. Der typische Vertreter der Beutelratten hat sich – als Kulturfolger – vor allem in den

letzten Jahrhunderten bis nach Kanada verbreitet. Dem Nord- oder Virginia-Opossum kam dabei vermutlich seine Größe zustatten: Es wiegt mit bis zu fünfeinhalb Kilogramm doppelt so viel wie andere Arten und ist mit einem entsprechend günstigeren Verhältnis von Körpervolumen zu -oberfläche besser gegen Kälte gewappnet.

Anders als die nordamerikanische wird die lateinamerikanische Fauna heute überwiegend von den Invasoren geprägt. Auch die Ahnen der für den Halbkontinent so typischen Tapire, Pekaris und Lamas wanderten in den letzten Jahrtausenden aus dem Norden ein. Und der Vormarsch ist noch nicht beendet. Nach neuen Erkenntnissen drängen gegenwärtig einige nordamerikanische Nagergruppen ihre südlichen Konkurrenten ins Abseits. Der mit Abstand aggressivste Eroberer ist jedoch jener Plazentalier, der als einer der letzten vor rund 30 000 Jahren die Landbrücke von Panama gen Süden überschritt – Homo sapiens.

Hinrich Bäsemann

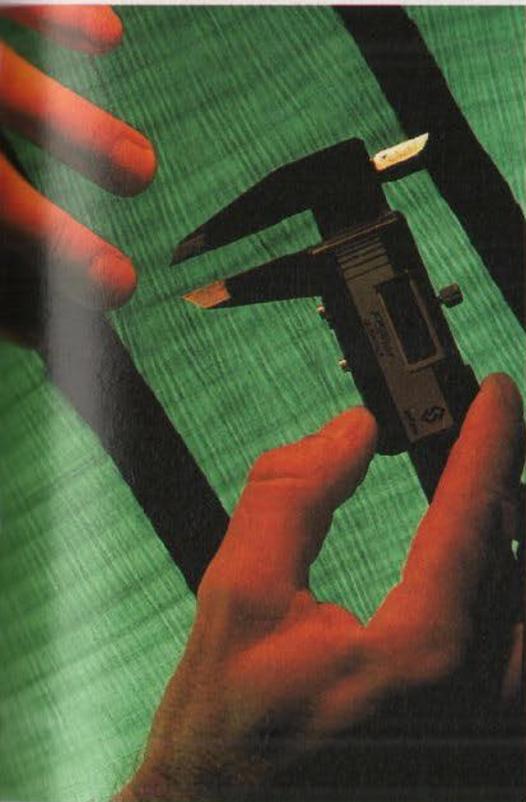
don B. Johnson eine Kommission beauftragte, die Möglichkeiten eines Meeresspiegel-Kanals zu erkunden, entbrannte unter Biologen eine erbitterte Debatte über dessen ökologische Konsequenzen: Einige Pessimisten beschworen das Schreckgespenst von Invasionen herauf, bei denen die Eroberer den Untergang alteingesessener Arten besiegeln würden. Andere sahen sogar karibische Touristen durch gefährliche Giftschlangen aus dem Pazifik bedroht. Optimisten konterten mit einer ebenso kühnen Behauptung: Die Ökosysteme beiderseits der Landenge seien gesättigt und einander zudem so ähnlich, daß Eindringlinge praktisch keine Chance hätten.

Unsicher waren sich die Forscher jedoch, welche Rolle jene Geschwisterarten spielen würden, bei denen sexueller Austausch noch möglich ist. Wenn die Zwillinge nicht nur in der Kulturschale, sondern auch in der Natur noch bastardisierten, würden sie wechselseitig Parasiten übertragen. Keime etwa, mit denen die alte Wirtsspezies sich in Jahrmillionen arrangiert hat, könnten bei der neuen ein Massensterben auslösen. Nur in einem Punkt herrschte Einvernehmen: daß von dem bestehenden Panama-Kanal – wenn überhaupt – eine weit aus geringere Gefahr ausgehe.

Süßwasser im Panama-Kanal verhütet den Vormarsch der Keime

Bei der Miraflores-Brücke, nur ein paar Kanalkilometer von der pazifischen Küste entfernt, spuckt ein schwarzes Maul aus Stahl etwa im Stundenabstand eine tosende, gischende Flut zu Tal: Schleusenwasser, mit dem jedes Schiff, das die Wasserstraße durchfährt, in drei Stufen einen Höhenunterschied von 26 Metern bewältigt. Fast 200 Millionen Liter rauschen bei jeder Passage hüben und drüben ins Meer. Sie stammen aus dem Gatún-Stausee, dem zentralen Teil des Panama-Kanals.

Als Süßwasserbarriere verhindert der See, daß Meeresbewohner die Landenge überwinden. Die achtstündige Reise am Rumpf eines Schiffes in salzlosem Milieu scheint kaum ein wirbelloses Tier zu überstehen. Auch im Seewasser, das Schiffe als Ballast benutzen, gelangt anscheinend nichts Lebendiges auf die jeweils andere Seite. Und von jenen Fischen, die schwimmend dem wechselnden Salzgehalt während der Kanalpassage trotzen können, hat sich seit der Eröffnung des Kanals im Jahr 1914 nur eine karibische Art am anderen Ende



Skelette der Korallen als beredte Zeugen der Vergangenheit



Mit einer Lupe betrachtet der STRI-Biologe Hector Guzman (oben) die Struktur eines Korallenstocks, der präzise Informationen über lokale Umweltbedingungen unter Wasser liefern kann. So wird am Röntgenfilm (links) das Wachstum einzelner Jahrgänge vermessen; chemische Analysen offenbaren Spurenstoffe sowie Schwankungen in Temperatur und Salzgehalt. Die längsten Bohrkern, die STRI-Taucher zutage gefördert haben, dokumentieren 150 Jahre

der Durchfahrt in einem begrenzten Lebensraum etabliert.

Das könnte sich ändern. Derzeit untersucht eine mit US-amerikanischen, panamaischen und japanischen Delegierten besetzte Kommission, ob der künftige Transitbedarf für die noch größere neue Generation von Ozeanriesen einen zweiten Wasserweg rechtfertigt: Die Schleusen des jetzigen Kanals bewältigen nur Schiffe bis zu 65 000 Gewichtstonnen. Gutachter internationaler Universitäten sollen die biologischen Risiken eines Meeresspiegel-Kanals abschätzen.

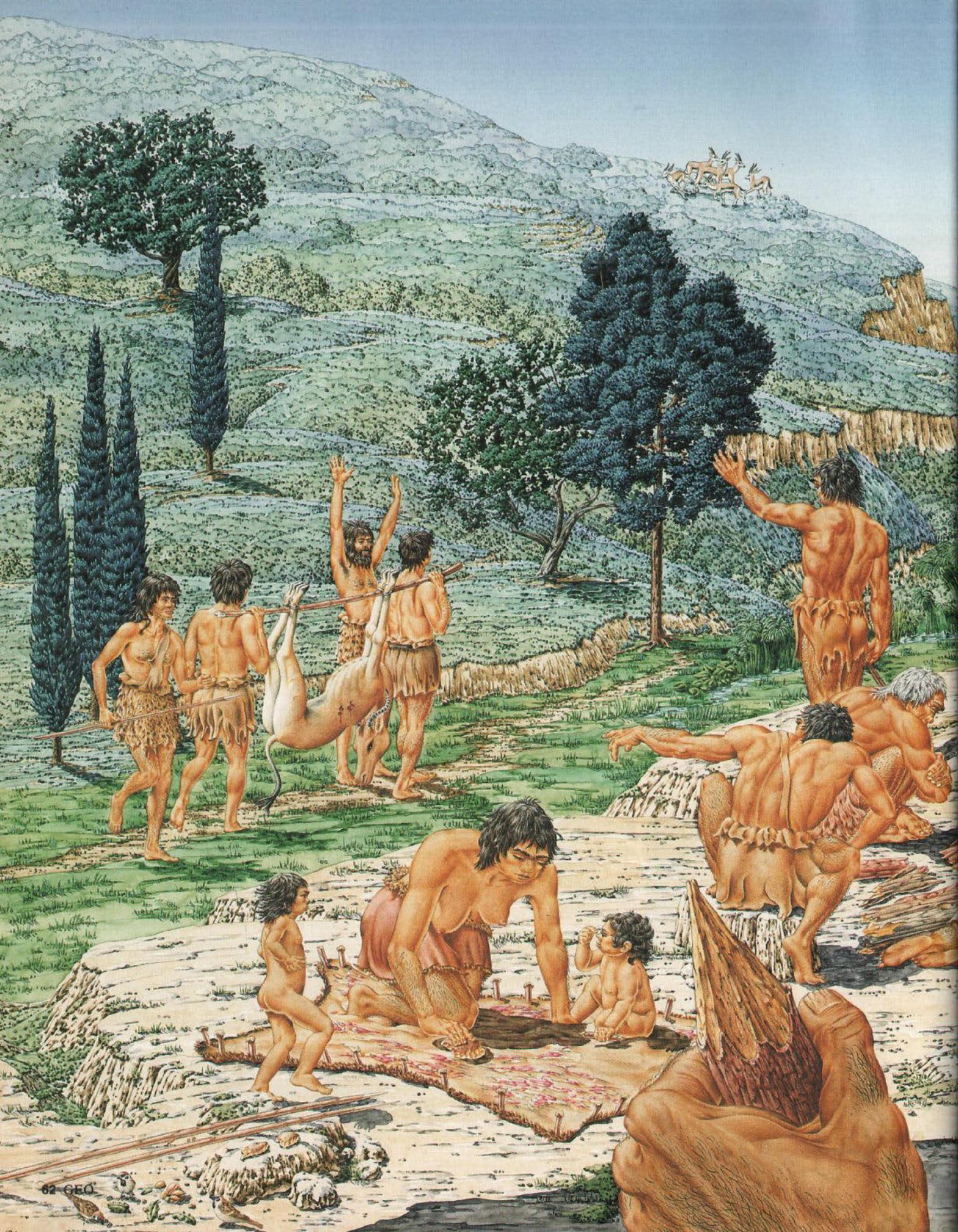
Die Wiedervereinigung der Ozeane wäre ein unberechenbares Experiment

Das halten einige Meeresbiologen am STRI jedoch für unmöglich. Die ökologischen Beziehungen in artenreichen tropischen Küstenmeeren seien viel zu komplex, als daß sie simplen Wenn-dann-Regeln gehorchten. Zudem könne es Jahrzehnte dauern, bis die „jäh Koexistenz“ Auswirkungen zeigt: Das Meeresneunauge beispielsweise brauchte 140 Jahre, um vom Atlantik her über den Erie-Kanal die Großen Seen von Nordamerika zu besiedeln.

„Die Wiedervereinigung der Ozeane wäre ein interessantes, aber völlig unberechenbares Experiment“, schrieb der Meeresbiologe Ira Rubinoff vor beinahe 30 Jahren. Heute dirigiert der US-Amerikaner russischer Herkunft von einem fensterlosen Raum aus das STRI-Orchester von 29 Wissenschaftlern samt Labor- und Verwaltungspersonal. In seiner schummrigen Residenz empfängt er auch Dutzende von Gästen, die jedes Jahr das STRI nutzen, um die Tropen zu erforschen: auf Naos oder auf der instituteigenen Regenwald-Insel „Barro Colorado Island“ im Gatún-See; im Außenlabor von Galeta am Nordende des Kanals; oder in der auf Stelzen im Karibischen Meer stehenden „San Blas Field Station“.

Neben Rubinoffs Schreibtisch wuchert üppiges Grün hinter einer Glasscheibe. „Im Grunde“, sagt der Meeresbiologe und zeigt auf das dampfende Stück künstlich angelegten Regenwaldes, „wissen wir noch viel zu wenig über die ökologischen Zusammenhänge in den Tropen. Wir haben eben nur dieses Institut. Dabei bräuchten wir Hunderte.“ □

GEO-Wissen-Redakteur **Dr. Manfred Pietschmann**, 43, kam bei dieser Geschichte buchstäblich ins Schwimmen. Als versierter Unterwasser-Fotograf war der Amerikaner **George Steinmetz**, 34, für diese Reportage der richtige Mann.



50 000 JAHRE ZWEISAMKEIT

Ohne Probleme passiert die Jagdgruppe anatomisch moderner Menschen das Lager einer Neandertaler-Sippe. Die Szene friedlichen Zusammenlebens beider Menschenformen illustriert, was neue Erkenntnisse belegen: Unsere direkten Vorfahren haben die eiszeitlichen Neandertaler keineswegs schnell verdrängt, sondern lebten mit ihnen im selben nahöstlichen Lebensraum für eine kleine Ewigkeit zusammen



VON GÜNTER BRÄUER;
ILLUSTRATIONEN: BARBARA MICHAEL

Als die Hirschkuh Gefahr wittert, ist es schon zu spät. Die feuergehärtete Holzspitze des Speers durchschlägt ihre Rippen. Ein kurzer, verzweifelter Sprint trägt nur ins nahe Unterholz. Dort beendet der hinterherhastende Jäger das Leben des Tieres mit einem Stich seines Steinmessers.

Ylong, ein schlanker, aber kräftiger Mann, ist mit fast 30 Jahren der Älteste der Jagdgruppe. Er entscheidet, die schwere Beute auf direktem Weg ins Lager der Sippe zu schaffen, durchs Ke'bar-Tal, an der großen Höhle vorbei.

Wenn aber, wirft einer der Männer ein, die E'andr vom Winterlager zurück sind und ihnen die Beute streitig machen? Keine Sorge, beruhigt Ylong, in Jahren wie diesen, wenn es in den R'mel-Bergen genug Früchte und Wild gibt, hätten die E'andr noch nie Ärger gemacht.

Die Jüngeren fügen sich, auch wenn ihnen die Begegnung mit diesen seltsamen Wesen, über deren Kraft Wunderdinge erzählt werden, nicht geheuer ist. Doch Ylong behält recht. Auf seine Handzeichen – „wir kommen in friedlicher Absicht; dürfen wir durch euer Gebiet?“ – signalisiert der bullige Boss des E'andr-Clans ohne Zögern: „Freies Geleit“. Man kennst sich schließlich. Und das seit Menschengedenken.

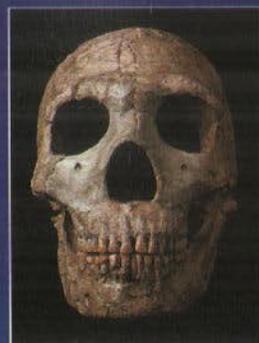
Die Jagdszene aus der Altsteinzeit ist fiktiv, aber keineswegs völlig aus der Luft gegriffen. Seit einigen Jahren häufen sich die Hinweise, daß unsere direkten Vorfahren über mehr als tausend Generationen hinweg Nachbarn jener Menschenform gewesen sind, die wir heute Neandertaler nennen. Und es mehren sich die Indizien, daß diese Epoche, in der zwei so verschiedene Unterarten des Homo sapiens* zur gleichen Zeit lebten, zumindest im Nahen Osten allem Anschein nach friedlich gewesen sein muß: eine Koexistenz über mindestens 50 000 Jahre.

Das neue Bild von der letzten evolutionären Weichenstellung auf dem Weg zum modernen Menschen unterscheidet sich radikal von den Vorstellungen, die Urmenschenforscher noch Mitte der achtziger Jahre hatten. Die Neandertaler wichen keineswegs überall und sofort dem Vorstoß des Homo sapiens sapiens. Nun suchen Paläoanthropologen nach schlüssi-

* Dem aktuellen Stammbaum des Menschen zufolge entwickelte sich vor rund 400 000 Jahren in Afrika und Europa aus dem urtümlichen *Homo erectus* der „archaische“ *Homo sapiens*, aus dem vor mindestens 130 000 Jahren in Europa die Unterart *Homo sapiens neanderthalensis* und in Afrika der *Homo sapiens sapiens* hervorgingen.



Homo sapiens neanderthalensis



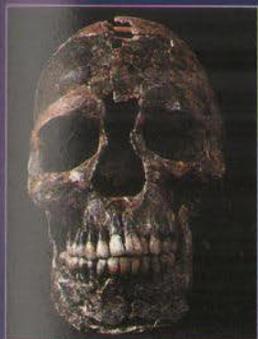
Neandertaler: flache Stirn, Knochenwulst über den Augenhöhlen, langes und vorspringendes Gesicht. Fundort Wadi Amud, Nord-Israel; Alter etwa 45 000 Jahre



Feuerstein-Kern und Abschlag (»Levallois-Technik«); mittlere Altsteinzeit, von Neandertalern wie von modernen Menschen benutzt



Feuerstein-Schaber der »Mousterien-Kultur«; mittlere Altsteinzeit, von Neandertalern wie von modernen Menschen benutzt



Anatomisch moderner Mensch: hohe Stirn, graziöses Gesicht mit Vertiefungen neben der Nasenöffnung. Fundort Qafzeh, Nord-Israel; Alter etwa 100 000 Jahre



Neandertaler waren wahre Kraftpakete: Ein 75 000 Jahre alter Fingerspitzen-Knochen aus dem kroatischen Krapina ist breiter als sein modernes Gegenstück, ein Oberschenkelknochen vom selben Fundort wesentlich dickwandiger als der eines heutigen Menschen

Ein naher Verwandter mit enorm kräftigem Griff

Homo sapiens sapiens



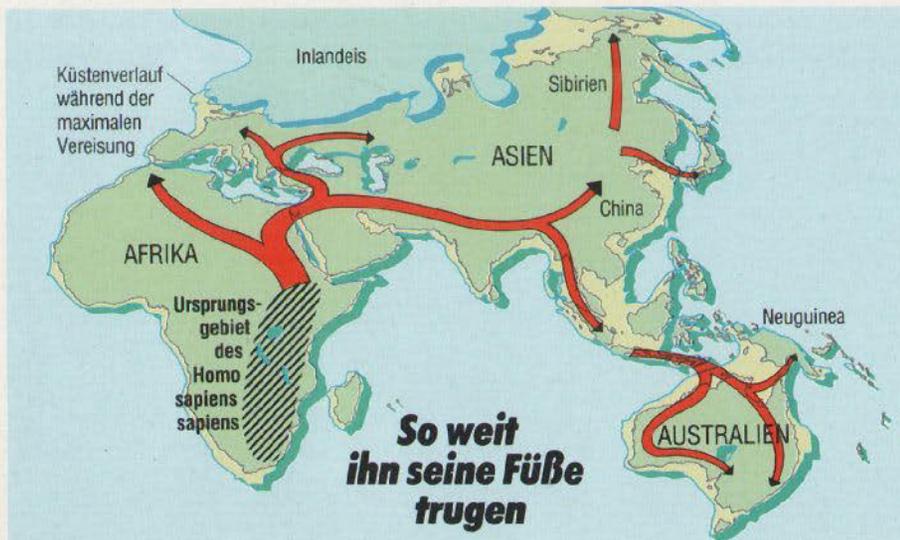
Harpunenspitze aus Geweih; jüngere Altsteinzeit, nur von modernen Menschen benutzt

Elfenbein-Anhänger mit eingeritzten Punkten; jüngere Altsteinzeit (32 000 Jahre), nur von modernen Menschen benutzt

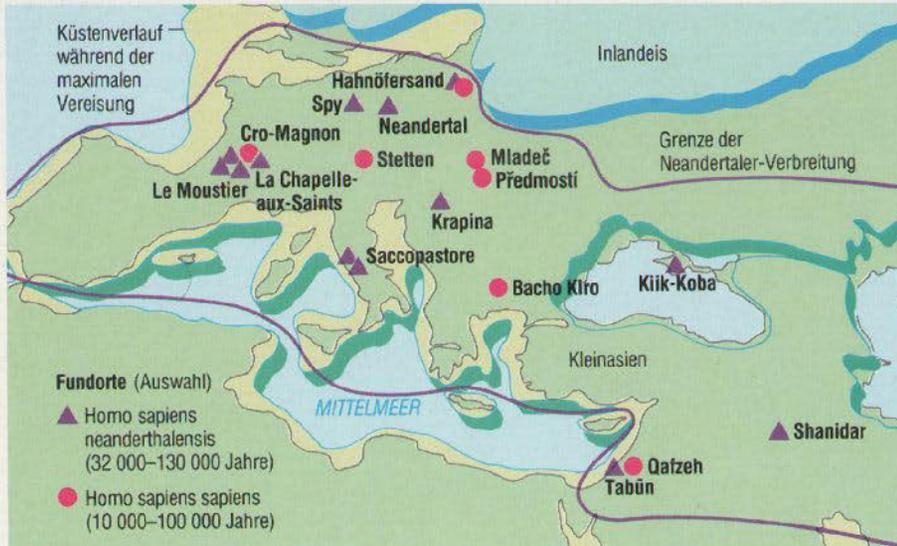


Nadel aus Knochen, noch in der Boden-Matrix eingebettet; jüngere Altsteinzeit, nur von modernen Menschen benutzt





Aus Afrika in alle Welt: Wanderungswege des modernen Menschen bis vor etwa 30 000 Jahren



Treffpunkt Naher Osten: Wo Neandertaler und moderner Mensch aufeinanderstießen



Koexistenz am Karmel-Gebirge: Menschenfunde aus der Zeit vor 45 000 bis 100 000 Jahren

gen Erklärungen, woher beide Menschenformen kamen, warum sie im Nahen Osten so lange nebeneinander existieren konnten – und warum die Neandertaler schließlich doch relativ rasch ausstarben.

Dabei genügt es nicht, nur die Funde menschlicher Knochen und Werkzeuge aus jener Zeit zu deuten. Ebenso wichtig sind Erkenntnisse darüber, in welchem ökologischen Umfeld die beiden Menschenformen lebten, wie geschickt sie jeweils welche Pflanzen und Tiere für ihr Überleben zu nutzen wußten.

Im Brennpunkt der heftig entfachten Diskussion steht vor allem die Region um das Karmel-Gebirge im heutigen Israel. In mehreren Höhlen dieses Gebiets (siehe Karte links unten) haben Wissenschaftler seit Jahrzehnten Knochen und Werkzeuge ausgegraben, die sie dem Neandertaler sowie dem Homo sapiens sapiens zuordnen. Die „primitiveren“ Neandertaler, so deuteten Experten bis vor kurzem die Funde, hätten hier bis vor rund 45 000 Jahren gelebt und seien dann innerhalb weniger Jahrtausende von „höherentwickelten“ modernen Menschen abgelöst worden – ein ähnliches Szenario, wie es einige Jahrtausende später auch für Europa anzunehmen ist.

Neue Erkenntnisse werten die Neandertaler abermals auf

Diese vermeintlich schlüssige Theorie zerstob unter dem Ansturm neuer Altersbestimmungs-Ergebnisse. Ende der achtziger Jahre hatten Forscher zwei neue Datierungsmethoden – die Thermolumineszenz- und die Elektronenspinresonanz-Technik – erstmals eingesetzt, um das Alter von Skelett- und anderen Funden aus der Qafzeh-Höhle bei Nazareth sowie der Skhül- und Tabün-Höhle im Karmel-Gebirge präziser zu bestimmen. Die Resultate lassen keinen Zweifel: Sowohl Neandertaler als auch anatomisch moderne Menschen siedelten dort schon vor gut 100 000 Jahren.

Die neuen Erkenntnisse werten die einst – nach der Entdeckung des namensgebenden Schädels im Jahr 1856 im Neandertal nahe Düsseldorf – als primitive Rohlinge eingestuft Eiszeit-Menschen abermals auf. Eine Fülle von Funden belegt, daß unsere nahen biologischen Verwandten offenbar speziell an das harte Leben im damals viel kälteren Europa und Westasien angepaßt waren. Nur in ihrem südöstlichsten Verbreitungsgebiet herrschte auch während der Phasen starker Vergletscherung recht mildes Klima. Und in eben dieser Region sind sich beide Menschenformen wahrscheinlich erstmals begegnet.

Groß war der Unterschied zwischen ihnen nicht. Beide gingen aufrecht, pflegten ihre Kranken und bestatteten – Kennzeichen eines Kultursprungs – ihre Toten. Würde ein Neandertaler heute, wie es ein US-Zeichner vor Jahren karikiert hat, im Anzug U-Bahn fahren, fiel er kaum auf.

Dennoch gibt es eine ganze Reihe anatomischer Differenzen. Mit den Merkmalen der Neandertaler hat sich Erik Trinkaus von der University of New Mexico besonders intensiv befaßt. Seine Arbeit belegt, daß für diese Menschenform relativ kurze Unterarme und -schenkel typisch waren – ähnlich wie bei heutigen Inuit („Eskimos“). Solche Gliedmaßen strahlen weniger Wärme ab und sind daher für ein Leben in der Kälte vorteilhaft.

Auch die nahöstlichen Neandertaler besaßen relativ kurze Unterarme und -schenkel – im Gegensatz zu den damals im selben Raum lebenden frühen modernen Menschen. Dies legt die Vermutung nahe, daß die einen aus der Kälte kamen, die anderen aber aus den Tropen.

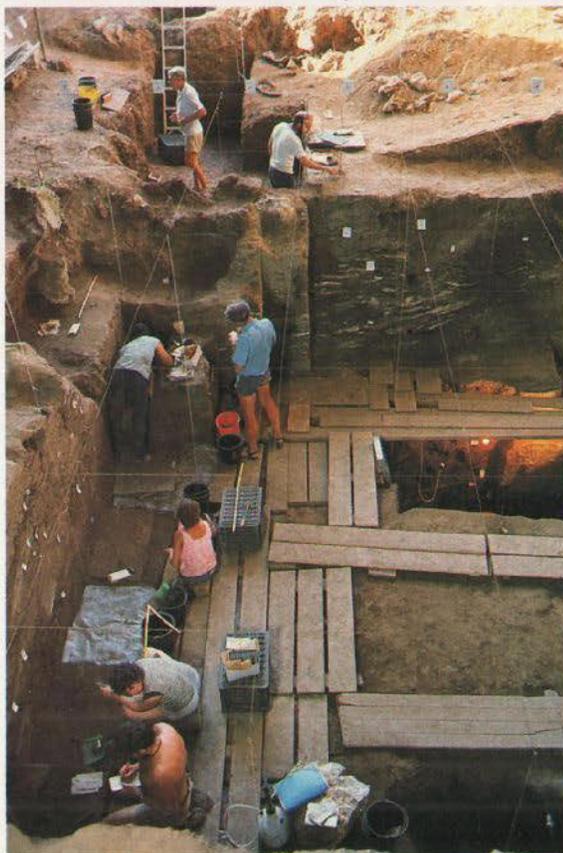
Die stämmigen Neandertaler waren im Durchschnitt etwa 1,65 Meter groß und damit gut zehn Zentimeter kleiner als ihre früh-modernen Zeitgenossen. Die besonders dickwandigen Schäfte ihrer Beinknochen spiegeln enorme Stärke und Ausdauer wider. Ebenso lassen verstärkte Hüft- und Sprunggelenke auf kräftige Beine schließen. Auch die markanten Muskelansatzstellen an Arm- und Fingerknochen sowie am Schulterblatt bestätigen, daß Neandertaler wahre Kraftpakete waren: Sie haben sich, so Trinkaus, offensichtlich viel und lange in offenem Gelände bewegt.

Ihr Handschlag war wohl nicht zu verachten. Das belegen breitere Fingerknochen und dickere -kuppen sowie Daumen mit gleichlangen Gliedern – bei uns ist das Endglied um etwa ein Drittel kürzer.

Am auffälligsten unterscheiden sich jedoch die Köpfe der beiden Menschenformen. Das Gesicht der Neandertaler war groß, breit und vorspringend. Ihre Schädelknochen offenbaren eine weite Nasenöffnung, stark aufgeblähte Oberkieferhöhlen und einen über beide Augenhöhlen ziehenden Knochenwulst.

Obwohl diese Merkmale zum Teil schon bei den mehr als 100 000 Jahre älteren „Ante-Neandertalern“ vorhanden waren, verstärkten sie sich im Lauf der Entwicklung noch. Die wesentliche Ursache hierfür war wahrscheinlich ein Neandertaler-typischer Gebrauch der vorderen Zähne: Vermutlich setzten sie ihr Gebiß als eine Art dritte Hand ein, etwa beim Bearbeiten von Stöcken oder Fellen mit Steinmessern oder -schabern.

Ein Hinweis auf eine solche Schraubstock-Funktion sind die – im Vergleich zu



Unter dem Boden der Höhle beginnt die Reise in die Vergangenheit

Das Feuer vor der Kebara-Höhle im israelischen Karmel-Gebirge erleuchtet den Zugang zu einer bedeutenden Fundstätte für Relikte aus der Zeit, als hier sowohl Neandertaler als auch moderne Menschen lebten. Präzise Grabungen und Altersbestimmungsmethoden erhellen zusehends die überraschend lange Koexistenz der beiden Menschenformen. Ein Fund aus der Höhle ist das Skelett eines jungen Neandertaler-Mannes, der vor rund 60 000 Jahren hier bestattet wurde

den Backenzähnen – auffallend stark und bemerkenswert gerundet abgenutzten Vorderzähne, die durch seitliche Schmelzleisten schaufelförmig wirken. Außerdem weist der amerikanische Anthropologe Fred Smith von der Northern Illinois University auf typische, unter dem Mikroskop sichtbare Kratzspuren auf den Schneidezahnkronen hin. Und am hinteren Schädel verraten ausgeprägte Ansatzstellen für Muskeln, daß der Unterkiefer Schwerstarbeit zu verrichten hatte.

Nicht nur die Muskel-, auch die Gehirnmasse der Neandertaler lag im Schnitt etwas über der unseren. Als Grund dafür sieht Ralph Holloway von der New Yorker Columbia University allerdings nicht eine weitere Steigerung der geistigen Leistungsfähigkeit, sondern eher eine Anpassung an die harten eiszeitlichen Umweltbedingungen, zu denen nicht zuletzt der kräftigere Körper gehörte: War das größere Gehirn eine Kälte-Adaptation? Auch hier zeigen die heutigen Inuit eine ähnliche Tendenz.

Die typischen Merkmale der eiszeitlichen Vetter bildeten sich in Europa

Die bemerkenswert niedrigen und am Hinterhaupt abgeflachten, langen Neandertaler-Schädel deuten Fachleute als Hinweis auf eine – im Vergleich zum Wachstum des Schädels – verzögerte Hirnentwicklung während der Kindheit. Dies könnte auch eine langsamere geistige Entwicklung bedeuten haben.

Alle Indizien sprechen dafür, daß sich diese typischen Merkmale allmählich im eiszeitlichen Europa herausgebildet hatten, wo vor gut 100 000 Jahren ausschließlich frühe Neandertaler lebten. Keines der europäischen und westasiatischen Fossilien aus jener Zeit läßt eine Entwicklungslinie hin zum modernen Menschen erkennen. Deshalb müssen dessen Wurzeln woanders liegen: im tropischen Afrika – dort, wo sich zwei bis drei Millionen Jahre früher auch die allerersten Vertreter der Gattung Homo überhaupt entwickelt hatten.

Seit etwa einem Jahrzehnt legt eine Fülle von Hinweisen den Ursprung unserer Art im Schwarzen Kontinent nahe: Fossilienfunde dokumentieren recht gut eine Entwicklungslinie, die vor etwa 130 000 Jahren im anatomisch modernen Menschen mündete. Dieser hatte schon drei Jahrzehntausende später ganz Afrika besiedelt und über die Sinai-Halbinsel den Nahen Osten erreicht, wo er unausweichlich dem Neandertaler begegnen mußte.

Wie die beiden Menschenformen aufeinander reagiert und wie sie über 50 000 Jahre zusammengelebt haben, muß weit-

gehend Spekulation bleiben. Immerhin ermöglichen moderne Grabungen zusammen mit den präzisen Analysen der Funde, die Rahmenbedingungen der eiszeitlichen Koexistenz zu rekonstruieren. Vor allem solche besonders sorgfältig erforschten Fundstellen wie die Tabün-Höhle, deren Ablagerungen über 200 000 Jahre zurückreichen, geben detailliert Aufschluß über die Entwicklung von Klima, Vegetation und Tierwelt.

Neandertaler-Reste hatten Prähistoriker schon in den dreißiger Jahren in den „Schicht C“ genannten Ablagerungen der Tabün-Höhle gefunden. Bis vor kurzem wurde deren Alter auf 40 000 bis 60 000 Jahre geschätzt. Als diese Schicht 1990 mit der neuentwickelten Elektronenspinresonanz-Methode – sie mißt die Schädigung durch natürliche radioaktive Zerfallsprozesse in elektrisch nicht leitenden Festkörpern oder Mineralien – datiert wurde, ergab sich ein etwa doppelt so hohes Alter: rund 110 000 Jahre. Die darüberliegende „Schicht B“ entstand demnach vor 80 000 bis 100 000 Jahren. Beide Schichten enthalten eine Fülle Tierknochen und pflanzlicher Pollen.

Damals, als sich das Klima in Europa zu verschlechtern begann, war es im Nahen Osten relativ mild, wobei trockenere und feuchtere Abschnitte recht häufig aufeinander folgten. Ausgedehnte Eichen- und Pinienwälder bedeckten das Karmel-Gebirge, durchmischt mit Aleppo-Kiefern, Pistazien und Olivenbäumen – eine typische mediterrane Vegetation mit Arten, die auch heute noch vorkommen.

Jagdbare Tiere gab es durchgehend und reichlich, darunter Auerochsen, Rothirsche und Rehe, Wildschweine, Gazellen und Füchse. Ergiebige Quellen und ausgedehnte Weideflächen zogen Tierherden an, die wiederum Menschen günstige Lebensbedingungen boten. Diese fanden auch ausreichend Feuersteine für die Herstellung brauchbarer Steinwerkzeuge.

Möglicherweise läßt sich die lange Koexistenz der beiden Menschenformen allein mit diesem nahezu idealen Milieu erklären. Aber ganz so einfach ist das Miteinander am Karmel-Gebirge wohl doch nicht zu deuten. „Es ist schon sehr verwirrend“, gesteht der israelische Forscher Ofer Bar-Yosef, der an der Harvard University arbeitet: „Die Steinwerkzeuge, die von diesen beiden unterschiedlichen Bevölkerungen hergestellt wurden, scheinen einander sehr ähnlich zu sein, aber anatomisch waren diese Menschen sehr verschieden“ – beide benutzten das gleiche, für die mittlere Altsteinzeit typische Werkzeugarsenal des „Moustérien“.

Dies besagt keineswegs, daß die Neandertaler sich ebenso erfolgreich behauptet-

Die kreative Revolution kam mit dem Ende der Neandertaler



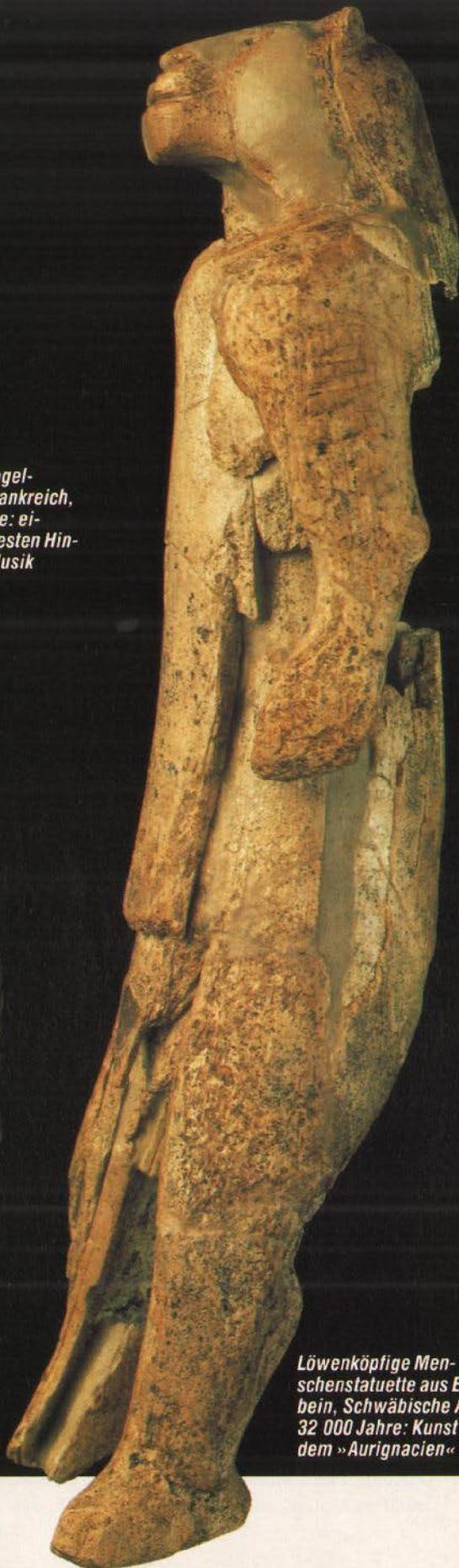
»Venus von Dolní Věstonice«, ČSFR, 25 000 Jahre: die älteste bisher gefundene gebrannte Tonfigur



Flöte aus Vogelknochen, Frankreich, 25 000 Jahre: einer der frühesten Hinweise auf Musik



»Venus von Brassempouy«, Frankreich, 25 000 Jahre: verblüffend modern wirkende Elfenbein-Figur



Löwenköpfige Menschenstatuette aus Elfenbein, Schwäbische Alb, 32 000 Jahre: Kunst aus dem »Aurignacien«

ten wie ihre Nachbarn. Unter den günstigen ökologischen Bedingungen dürften die vielen Unterschiede im Körperbau und Verhalten zunächst nur wenig ins Gewicht gefallen sein. Allmählich könnten sich kleine Nachteile und Unterlegenheiten dennoch summiert und die Neandertaler-Bevölkerung reduziert haben. Dieser Trend wäre selbst dann unaufhaltsam gewesen, wenn sich beide Menschenformen während des langen Zusammenlebens vermischt hätten. Tatsächlich deuten einige Fossilien aus der Skhül- und der Qafzeh-Höhle darauf hin, daß es gelegentlich zu solchen – biologisch wohl problemlos – Liaisons gekommen ist.

Letztlich könnte sich die physische Stärke des Neandertalers als Schwäche erwiesen haben. Die Muskeln seiner Beine, Arme und Hände waren noch kräftiger als die heutiger Spitzensportler, deren leistungsfähiger Körper schon sehr große Nahrungsmengen erfordert.

Im eiszeitlichen Europa, wo diese Robustheit offensichtlich ein Überlebensvorteil war, hatten die Neandertaler oft harte Zeiten zu durchstehen, wie die an ihren Zahnkronen häufig beobachteten Entwicklungsstörungen des Schmelzes nahelegen: Solche Schmelz-Hypoplasien gingen, wie das Team um Marsha Ogilvie von der University of New Mexico argumentiert, auf damals regelmäßig auftretende Nahrungsknappheit zurück.

Der Kampf ums Überleben schlug den eiszeitlichen Kraftmenschen buchstäblich mehr auf die Knochen als ihren anatomisch modernen Zeitgenossen: Ihre Skelette weisen vergleichsweise häufig Verschleiß und Verletzungen auf. So finden sich am Skelett eines mit etwa 40 Jahren gestorbenen Neandertaler-Mannes, das in der irakischen Shanidar-Höhle entdeckt worden ist, Spuren von einer Fülle schwerster Verletzungen: unter anderem Bruch der Augenhöhle, der wahrscheinlich das betreffende Auge erblinden ließ; verkümmertes und gelähmter rechter Oberarm, der zudem zweimal gebrochen und wieder verheilt war; vermutlich erfolgreich amputierter Unterarm; verheilte Bruch eines Mittelfußknochens; Deformierungen am linken Schienbein sowie ausgeprägte – beim Gehen sicher schmerzhaft – degenerative Veränderungen an Knie- und Fußgelenken.

Die Leidensgeschichte des Shanidar-Mannes zeigt jedoch auch, daß Neandertaler schwere Verletzungen und Erkrankungen überleben konnten, weil sie von ihren Angehörigen gepflegt worden sind. Dennoch wurde kaum einer von ihnen, wie Erik Trinkaus bei seinen Untersuchungen herausgefunden hat, älter als Mitte vierzig. Selbst sehr geringe Unter-



Der Namensgeber: Schädeldecke aus dem Neandertal bei Düsseldorf, 1856 entdeckt

schiede in der Sterblichkeit zwischen Neandertalern und anatomisch modernen Eiszeit-Menschen könnten dramatische Folgen gehabt haben: Anhand demographischer Modelle simulierte kürzlich der Anthropologe Ezra Zubrow von der State University of New York in Buffalo, wie die Neandertaler wahrscheinlich völlig undramatisch innerhalb weniger Jahrtausende ausgestorben sind – ohne Krieg und Keulenschwingen, auf ganz natürliche Weise. Bei den frühen Modernen verstärkte hingegen womöglich auch die wachsende Zahl älterer, erfahrenerer Frauen und Männer die Überlebensfähigkeit der jeweiligen Gruppen.

Trinkaus hat auf einen weiteren Unterschied hingewiesen: Neandertaler besaßen ein längeres, flacheres Schambein. Während zunächst auf einen größeren Beckenausgang geschlossen wurde, der wiederum die Geburt größerer Kinder ermöglicht haben könnte, scheint nach der Untersuchung eines Beckens aus der Kebara-Höhle eine andere Erklärung zutreffender: Die Hüftgelenke waren bei den Neandertalern etwas weiter hinten gelegen, was zu einer – wie der israelische Anthropologe Yoel Rak meint – „schlechten Stoßdämpfung“ beim Gehen geführt haben dürfte.

Die Diskussion um die Bedeutung der Schambeinlänge ist ebensowenig abgeschlossen wie der seit langem schwelende Disput, ob die Neandertaler in einem entscheidenden biologisch-kulturellen Merkmal unterlegen waren: in der Sprachfähigkeit. Den Kraftmenschen habe, glaubt Philip Lieberman von der Brown Univer-

Vom modernen Menschen an den Rand gedrängt

sity im US-Bundesstaat Rhode Island, die anatomische Voraussetzung zum artikulierten Sprechen gefehlt. Denn deren relativ flache, wenig gebogene Schädelbasis sowie ein – ähnlich wie bei unseren Säuglingen – wenig abgesenkter Kehlkopf hätten die nötige Mundresonanz nicht ermöglicht. Deshalb wären Neandertaler kaum in der Lage gewesen, insbesondere die Vokale „a“, „i“ und „u“ hervorzubringen.

Yoel Rak dagegen hat das einzige bisher bekannte Neandertaler-Zungenbein, das vor kurzem in der Kebara-Höhle entdeckt worden ist, mit dem entsprechenden Knochen heutiger Menschen verglichen und keine Unterschiede gefunden: Da es ebenso tief im Hals gelegen habe wie unser Zungenbein, hätte der Neandertaler genauso gut sprechen können wie wir. Diesen Schluß, basierend auf einem einzigen Fossil, hält wiederum der führende Paläoanthropologe Clark Howell von der University of California, Berkeley, für gewagt.

Ungeachtet der anatomischen Kontroversen sprechen vielfältige kulturelle und soziale Hinweise dafür, daß Neandertaler sprechen konnten – auch wenn ihre Verständigung vielleicht langsamer und weniger präzise war als unsere. Schließlich

hatten sie jahrzehntausendlang die gleiche Werkzeugtechnik wie die anatomisch modernen Menschen verwendet und wohl auch deren kulturelles Niveau besessen.

Erst vor etwa 45 000 Jahren, als die Neandertaler zu verschwinden begannen, bahnte sich eine neue, feinere Kultur an. Mit Beginn der jüngeren Altsteinzeit zählte nicht mehr Kraft allein, sondern größere manuelle Geschicklichkeit und Abstraktionsvermögen. Die Menschen der – nach einem französischen Fundort so benannten – Aurignacien-Kultur fertigten ihre Werkzeuge nicht mehr vornehmlich aus größeren Abschlägen von Feuersteinknollen, sondern aus feineren, schmaleren Klingen und nutzten so auch das Rohmaterial besser aus. Sie produzierten kunstvolle Gebrauchsgegenstände aus Geweih und Knochen – etwa Nadeln, mit denen sie besser sitzende Kleidung aus Fellen nähen konnten. Scheinbar aus dem Nichts tauchten Schmuck, Skulpturen und Malereien auf, die wir bis heute als modern empfinden.

Die kreative Revolution zeugt davon, daß die – ebenfalls nach einem französischen Fundort benannten – Cro-Magnon-Menschen ihre Welt anders organisierten und mehr zukunftsorientierte Vorsorge-Strategien besaßen. Sie nutzten die natürlichen Ressourcen besser als zuvor, wie zum Beispiel die schnelle Zunahme neuer Siedlungsplätze in Europa belegt.

Damals, vor 35 000 Jahren, waren die verbliebenen Neandertaler wohl in noch unwirtlichere Gebiete des eiszeitlichen Europas und Westasiens abgedrängt worden. Aber es gibt auch Hinweise, daß einige von ihnen dabei waren, Kulturen nach Art des Cro-Magnon-Menschen zu entwickeln. Auch scheinen sie sich zum Teil mit modernen Menschen vermischt zu haben. Doch fünf Jahrtausende später waren die Neandertaler von der Erde verschwunden. Seitdem wird die Geschichte der Gattung Homo von nur noch einer Menschenform bestimmt – von uns. □



Die Kunst der Hamburger Grafik-Designerin **Barbara Michael**, 37, beginnt dort, wo Fotografen mit ihrem Latein am Ende sind. Ihre Illustrationen entstanden in monatelanger Zusammenarbeit mit **Prof. Dr. Günter Bräuer**, 42, vom Institut für Humanbiologie der Universität Hamburg, einem der führenden Paläoanthropologen unserer Zeit. Er ist Mitherausgeber des kürzlich erschienenen Fachbuchs „Continuity or Replacement. Controversies in *Homo sapiens* evolution“.

Romantik zwischen Fattoria und Fjorden. Die Leckerbissen in SAISON.

FRTSCH, HEINE, RAPP, COLLINS



Fotos: N. Kustos

Gibt es ein Florenz abseits der Warteschlangen und Kassenhäuschen? Und wie schafft es ein normaler Mitteleuropäer, an diesem Ort von kulturbedingten Ohnmachtsanfällen verschont zu bleiben? SAISON ist diesen Fragen nachgegangen und hat dabei drei interessante Tage in Florenz erlebt. Ohne Trubel und Hektik. Ruhe auch in der Toskana. Agriturismo heißt das neue Zauberwort: Erholung auf landwirtschaftlichen Anwesen.



SAISON hat sich umgeschaut und zeigt Ihnen die schönsten Weingüter zum Schlafen und Schlemmen. Wenn es Sie jedoch mehr in den Norden

zieht, verspricht eine Reise nach Fjordland und Bergen ein wahrer SAISON-Leckerbissen zu werden. Und damit sind nicht nur Angeltips für frischen Lachs gemeint. Echte Leckerbissen sind übrigens auch die anderen Themen: von der Wanderung durch die französischen Pyrenäen bis zum europäischen Kulturkalender mit den Highlights dieses Sommers. Aber am besten, Sie sehen selbst. Das neue Heft finden Sie jetzt bei Ihrem Zeitschriftenhändler.



SAISON. DAS REISEMAGAZIN VON GEO.

Scheinbar aus dem Nichts tauchen sie auf, die Viren, Bakterien, Pilze, Einzeller und Würmer, die auf Kosten anderer leben. Parasiten sind sie und so vielfältig und formenreich wie die Wirte, die sie befallen. Seit jeher treiben sie mit ihren Opfern ein Spiel auf Leben und Tod. Seit jeher hat auch der Mensch mit neuartigen Schmarotzern zu kämpfen, die bisweilen so plötzlich da zu sein scheinen, daß sie ihrer Beute keine Chance lassen, sich zu wehren.

So konnte auch die Geißel des 20. Jahrhunderts, das Aids-Virus, quasi aus dem Hinterhalt seinen schrecklichen Siegeszug durch die ganze Welt antreten. Der Ursprung des „neuen“ Erregers HIV – Human Immunodeficiency Virus – ist bisher noch unbekannt. Es könnte, so eine jüngere der zahlreichen Thesen, in den zwanziger Jahren bei Versuchen zur Entwicklung eines Malaria-Impfstoffs vom Affen auf den Menschen übertragen worden sein.

Ein weiteres Beispiel demonstriert die Gefährlichkeit von Parasiten, die in „unvorbereiteten“ Organismen ökologische Nischen etablieren können: Im Spätsommer 1967 klagten in Frankfurt und Marburg 20 Tierpfleger und Laborangestellte einer Impfstoff-Firma über Kopfschmerzen und Benommenheit. Nach wenigen Tagen litten sie an hohem Fieber, inneren Blutungen und Bewußtlosigkeit. Schließlich starben fünf Menschen. Sie alle arbeiteten mit Zellkulturen aus Gewebe von Affennieren und wurden Opfer eines bis dahin unbekanntes Virus, der mit einer Lieferung Grüner Meerkatzen aus Uganda eingeschleppt worden war. Die weitere Verbreitung des Marburg-Virus – wie er nachträglich benannt wurde – konnte glücklicherweise gestoppt werden.

Nicht nur in modernen zellbiologischen Labors, sondern an allen Orten und zu allen Zeiten war und ist der Mensch einem gewaltigen Ansturm der Parasiten ausgesetzt. Forscher sehen in den komplexen Beziehungen zwischen Parasit und Wirt eine bisher weitgehend unbeachtete, jedoch wichtige Kraft der Evolu-

tion – einen aggressiven Auslesefaktor für unsere Spezies. Räuber und Beute treiben sich gegenseitig an, ein Vorsprung des einen zwingt den anderen, so schnell wie möglich gleichzuziehen. Sie durchlaufen eine Koevolution, in der sie zugleich Partner und Gegner sind.

Bereits vor Urzeiten haben Lebewesen Abwehrstrategien gegen Angreifer entwickelt, etwa ein ausgeklügeltes Immunsystem, das Eindringlinge erkennt und zu vernichten versucht. Doch auch die Parasiten kämpfen mit immer neuen Tricks ums Überleben. Im Laufe der Zeit führt dieses Ringen um die Oberhand häufig dazu, daß die Wirte resistenter und die Parasiten „zahmer“ werden. Sie gehen sozusagen ein Stillhalteabkommen ein. Denn „der totale Sieg des Erregers“, erläutert die amerikanische Biologin Ursula Goodenough, „ist eine totale Katastrophe. Er bringt beiden Seiten den Tod.“

Am Anfang des Wettlaufs der streitbaren Partner steht der Angriff der Parasiten, die erst einmal alles daran setzen müssen, die Festung Wirt einzunehmen. Die Hauptmethoden der Schmarotzer, dem Immunsystem zu entkommen: Betrug, Tarnung und Unterwanderung.

Meister der Tarnung etwa sind die Geißeltierchen der Gattung *Trypanosoma*, die unter anderem die afrikanische Schlafkrankheit hervorrufen. Der Erreger trägt auf seiner Oberfläche eine bestimmte Molekül-Sorte. Das menschliche Immunsystem erkennt diese fremden Strukturen – die sogenannten Antigene –, prägt sie sich ein und bildet innerhalb von zwei Wochen wirksame Antikörper.

Doch in der Zwischenzeit erscheint bei einigen wenigen Trypanosomen ein anderes Oberflächenmolekül: Die erste Salve zirkulierender Antikörper verfehlt zum Teil ihr Ziel. Bis der Organismus dann aber eine zweite Immunreaktion in Gang gesetzt hat, ist der Einzeller schon wieder einen Schritt voraus. Trypanosomen können bis zu tausend unterschiedliche Gestalten in ihrem „Bäumchen-wechsel-dich-Spiel“ annehmen. Die Folge dieser „Antigen-Varianz“: eine chronische Infektion.

Trypanosomen gehören zudem zu denjenigen Erregern, die



Epstein-Barr-Virus: möglicher Krebserreger



Hunde-Spulwurm: kann auch Menschen befallen

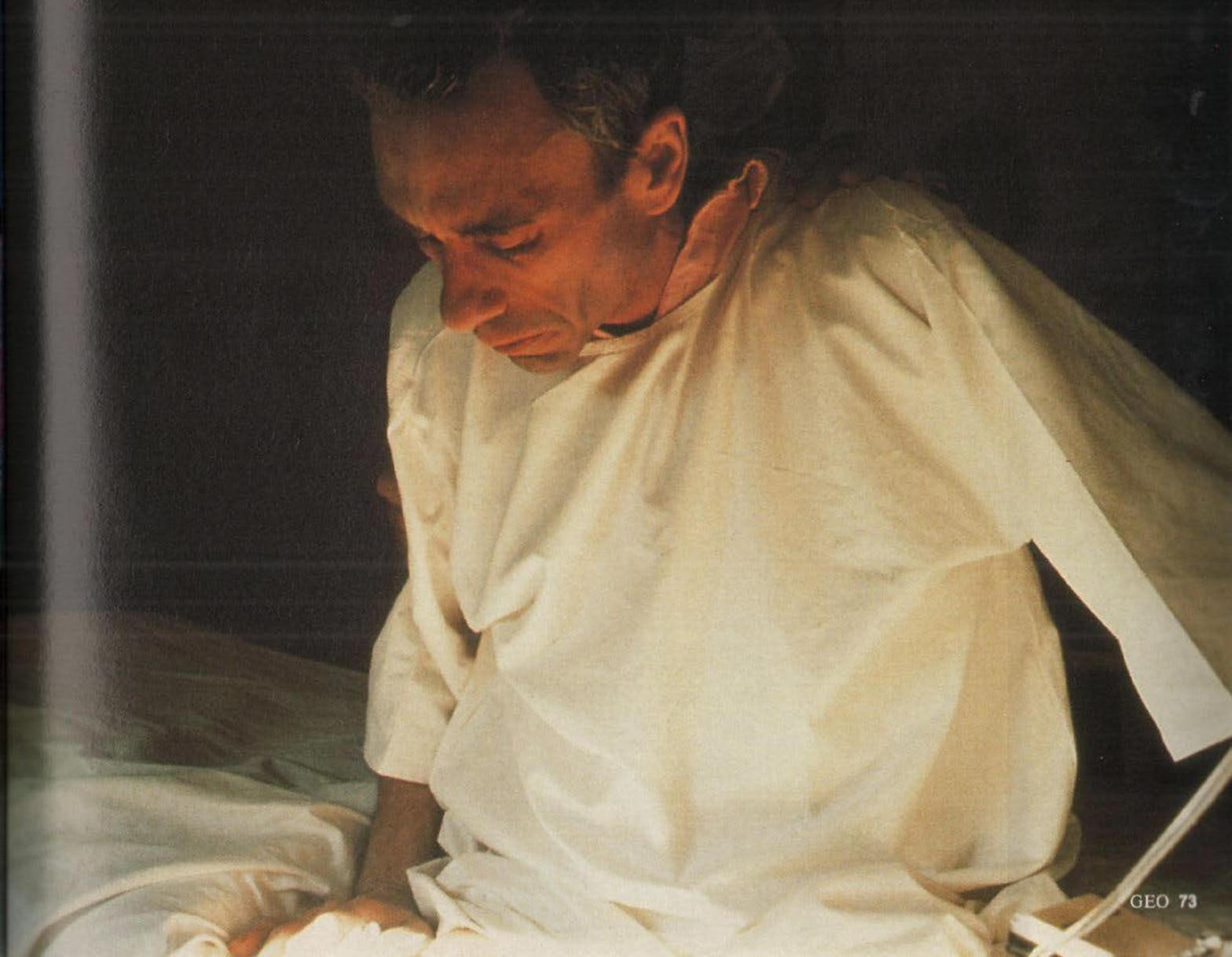


Aids-Viren: Die Erreger attackieren weiße Blutkörperchen und übertragen ihre genetische Information auf die Wirtszelle, die gezwungen wird, neue Viren zu produzieren

Die Not mit dem inneren Feind

PARASITEN

Ein alltäglicher Kampf: Unzählige Krankheitserreger stürmen ständig auf den Menschen ein. Manchmal schließen die ungleichen Gegner eine Art Waffenstillstand - Ergebnis einer langen Koevolution. Doch manchmal, etwa bei Aids, führen sie den totalen Krieg - bis daß der Tod sie scheidet



eine Immunabwehr unspezifisch unterdrücken. Der Mechanismus, der den Körper schwächt, ist vergleichbar mit Sabotage-Akten, die das Verteidigungspotential eines Landes unterminieren: Die Eindringlinge werden zwar wie üblich von den Freßzellen des Immunsystems, den Makrophagen, „verspeist“. Der Erreger zwingt die Makrophagen jedoch auf eine noch unbekannt Weise, Stoffe freizusetzen, die Abwehrkräfte dezimieren.

Der „Ideenreichtum“ der parasitären Angriffsstrategien ist mit den Möglichkeiten der „klassischen“ Gattung *Trypanosoma* noch lange nicht erschöpft. Aids-Viren etwa sind nicht nur Meister der Oberflächen-Variation, sie attackieren das Immunsystem auch auf direktem Wege: Sie befallen gezielt jene Zellen, die ihre Vernichtung steuern sollen. Um unbeschadet in die Zellen zu gelangen, bedienen sie sich eines speziellen Tricks.

Wie alle Viren besitzt der Aids-Erreger eine Art von Anker an seiner Oberfläche, mit denen er an Wirtszellen andockt. Diese Strukturen sind normalerweise ideale Angriffspunkte für die Antikörper des Abwehrsystems. Beim HI-Virus liegen die „wunden Punkte“ jedoch in tiefen Furchen verborgen, in die „sperrige“ Antikörper überhaupt nicht eindringen können.

Der Mensch hat es auf Grund seiner langen Generationsfolgen schwerer, bei der „koevolutiven Rüstungsspirale“ mitzuhalten. Bei Aids etwa, einem „jungen“ Leiden, sind seine Kontermöglichkeiten noch mehr als beschränkt, denn Evolution braucht vor allem eines: Zeit. Bei der „alten“ Plage Malaria – weltweit infizieren sich mehr als 100 Millionen Menschen pro Jahr, 1,5 Millionen erliegen jährlich der „Königin der Krankheiten“ – haben sich im Laufe der Jahrtausende einige Abwehrstrategien entwickelt.

Eine Art Resistenz gegen *Plasmodium falciparum*, den gefährlichsten Malaria-Erreger, auf dessen Konto 95 Prozent aller Todesfälle gehen, ermöglicht eine Erbkrankheit: die Sichelzellenanämie. Sie wird hervorgerufen durch eine Anomalie des Gens, das die Informationen für den Blutfarbstoff Hämoglobin trägt. Da im Menschen die

Gene jeweils in zwei Kopien vorliegen, kann die Krankheit in unterschiedlicher Ausprägung auftreten. Menschen mit zwei defekten Hämoglobingenen in ihren Zellen müssen früh sterben. Wer nur einen deformierten Satz geerbt hat, ist dagegen im Vorteil, denn in seinen sichelförmigen Blutzellen kann sich *P. falciparum* nicht vermehren. So haben vor allem in Afrika natürliche Selektionsprozesse dazu geführt, daß Sichelzellen weit verbreitet sind.

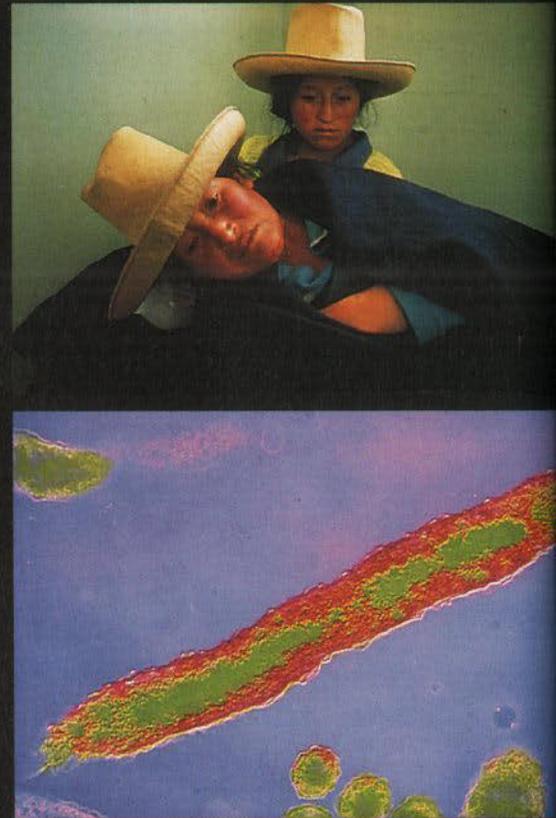
Einen weiteren Beweis für das genetische Nachrüsten des Menschen im Kampf gegen Malaria lieferten vor kurzem britische Wissenschaftler. Sie identifizierten zwei neue Varianten einer bestimmten „Gen-Familie“, deren Mitgliederzahl in die Hunderte geht. Die Produkte dieser Gene stehen sozusagen an vorderster Abwehrfront des Immunsystems. Sie erkennen infizierte Zellen und melden den Eindringling. Besitzen Menschen nun jene zusätzlichen Varianten, sind sie besser vor Malaria geschützt.

Die Forscher nehmen an, daß der Formenreichtum dieser Moleküle des Abwehrsystems auf den permanenten Selektionsdruck der Parasiten zurückgeht. Damit nimmt ein postuliertes Prinzip der Evolution noch schärfere Konturen an: die Vielfalt. Je mehr Gene in unterschiedlichen Ausprägungen innerhalb einer Bevölkerungsgruppe vorliegen, je größer also der „genetische Polymorphismus“ ist, desto besser kann einer Bedrohung begegnet werden.

Das Prinzip der Vielfalt hat, was Aids angeht, bisher vor allem dem Erreger genützt. Durch seine enorm hohe Mutationsrate verändert HIV immer wieder seine Form und erschwert dadurch seine Bekämpfung. Allerdings lassen vage Hinweise hoffen, daß die Koevolution, die Anpassung von Wirt und Parasit, auch hier bereits im Gange ist. Mittlerweile sind Varianten bekannt geworden, die sich weniger aggressiv gebärden – aus evolutionsbiologischer Sicht ein Vorteil für den Parasiten. Doch bisher sei das Virus „nicht clever genug“, kommentiert der amerikanische Medizin-Nobelpreisträger Joshua Lederberg. Es töte noch immer den Wirt, von dem es lebt. □

Vibrio cholerae:

Der Erreger gefährlicher Durchfallerkrankungen verursacht zur Zeit schreckliche Epidemien in Südamerika. Der Mensch ist der einzige Wirt des Bakteriums, das durch verschmutztes Trinkwasser übertragen wird



Winzige Eroberer feiern ungebrochene Triumphe



Plasmodium falciparum: Der Malaria-Erreger - hier eine Zwischenform in einem befallenen roten Blutkörperchen - ist seit Jahren wieder auf dem Vormarsch

Das verzweigte

Rätsel

Sie steigen dem Forst – wie hier im Harz – aufs Dach, bannen Bäume unter Glas und legen den Tropf an sie: Nach allen Regeln der Kunst versuchen Wissenschaftler der Universität Göttingen Licht ins ökologische Dunkel des Waldes zu bringen. Obwohl Menschen in Mitteleuropa seit jeher mit und von dieser dominierenden Vegetationsform leben, ist über deren Werden und Vergehen wenig bekannt. Das

WALD

mußten Forscher beim Studium der neuartigen »Waldschäden« erkennen: Die ersten Versuche, die Ursachen des grassierenden Baumsterbens mit einfachen Ursache-Wirkungs-Modellen zu erklären, griffen zu kurz. Unter Laub- und Nadelkronen, das zeichnet sich nun ab, regieren vielmehr die Gesetze des »Chaos«



Verkehrte Welt im Wald: Unter schützenden Glasdächern regnet es, obwohl sich über ihnen blauer Himmel wölbt. Die Klarsichtkonstruktionen gleichen zwar Gewächshäusern, doch sie beschirmen nicht Tomaten oder Tulpen, sondern Nadelstreu und Wurzelwerk. Holzstöcke und Seile markieren quadratmetergroße Areale, Meßapparaturen stecken in der Erde und hängen an den Bäumen.

Im Solling, einem kleinen Gebirgszug des Weserberglandes, haben Wissenschaftler des Göttinger „Forschungszentrums Waldökosysteme“ (FZW) den Fichtenforst unter Glas gebannt, um Regen und dessen Schadstofffracht exakt dosieren zu können. Sie wollen damit eine mögliche Zukunft simulieren – wenn die Sommer durch den Treibhauseffekt trockener werden und Niederschläge wegen strengerer Umweltnormen weniger Schadstoffe herantransportieren. Das Projekt ist Teil eines ehrgeizigen übergeordneten Ziels: im verwirrenden Durcheinander von Energie- und Nährstoffflüssen, von Wachsen und Zerfallen charakteristische Muster des Ökosystems zu entdecken. Die Sisypusarbeit der Forscher hat aber auch einen praktischen Aspekt: Sie versuchen, den Ursachen des ökologisch wie ökonomisch fatalen Waldsterbens auf die Spur zu kommen und Kriterien für eine naturnahe Forstwirtschaft zu gewinnen.

Den Wirrwarr eines Ökosystems aufzudröseln – sei es Wald oder Wiese, Moor oder Meer – stellt Systemforscher vor eine enorme Aufgabe. In einem Buchenwald zum Beispiel wachsen rund 25 verschiedene Blütenpflanzen und Farne sowie 20 Moosarten. Bis zu 1800 Tierspezies tummeln sich – das Gros in der Moderschicht des Bodens. Und alle Kreaturen hängen – mehr oder weniger direkt – voneinander ab.

Bei der Struktursuche können Wissenschaftler sich für mehrere Schwierigkeitsgrade entscheiden. Sie können sich darauf beschränken, Käfer und Kräuter zu inventarisieren. Oder aber sie versuchen, detailliert die Wechselwirkungen innerhalb des Geflechts nachzuzeichnen – wer wen frißt und wer mit wem um Raum und Nahrung konkurriert, wie der Strom der Sonnenenergie sich im Nahrungsnetz verteilt und über welche Stationen Mineralien kreisen. Beim wohl diffizilsten Vorgehen basteln Natur-Analytiker aus der Datenmasse mathematische Modelle, um damit ökologische Prozesse zu si-

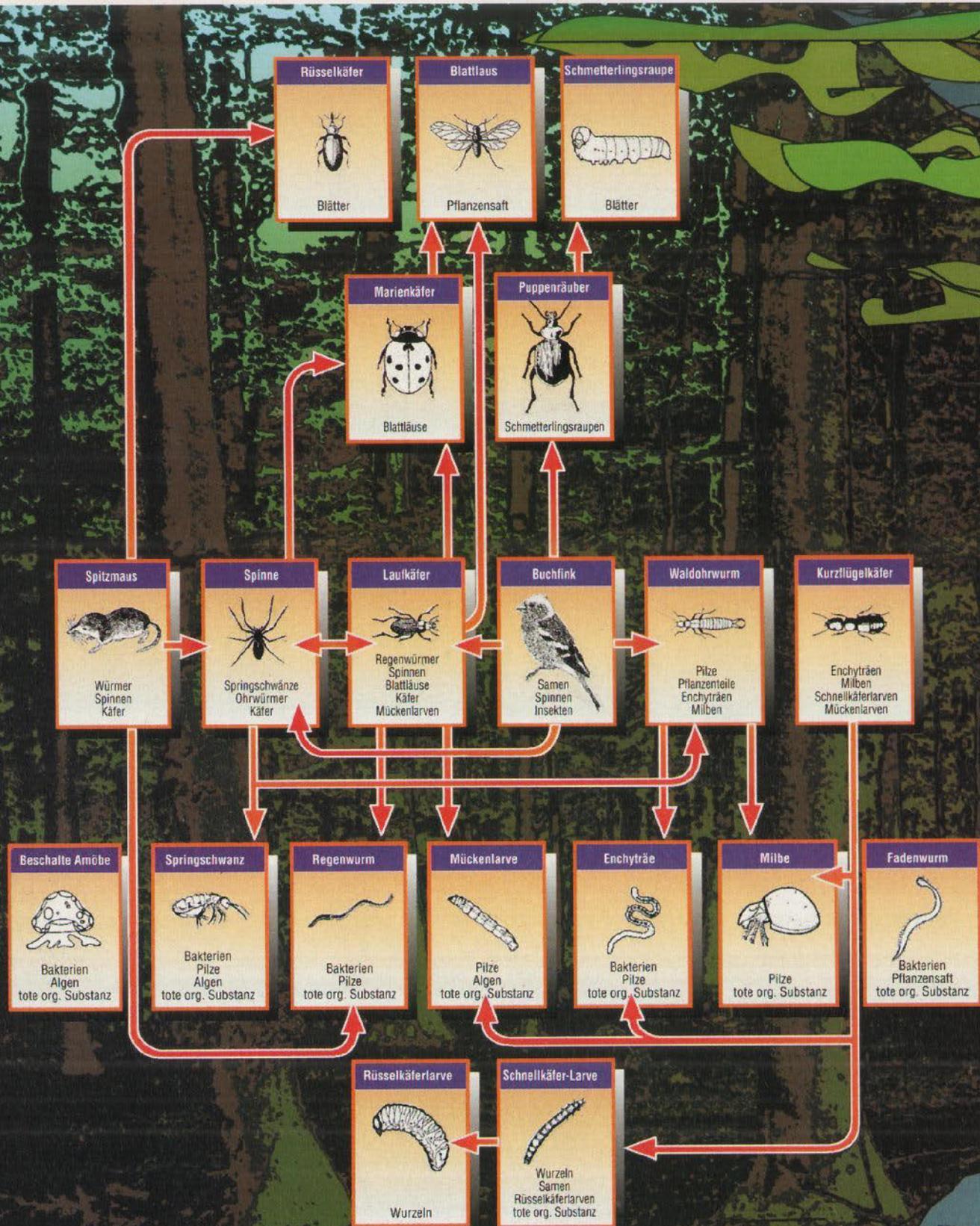


Nur die Fichten durchbrechen die rund 300 Quadratmeter große Glasfläche im Versuchsgebiet So



**Unter gläsernen
Dächern fällt Regen
auf Befehl**

img. Darunter können Forscher Niederschläge und deren Schadstofffracht exakt dosieren - Tests, die den Treibhauseffekt simulieren



GEO-Grafik

Eine gefräßige Gesellschaft im Geflecht des Waldes

Wie komplex Fressen und Gefressenwerden in einem Buchenwald sind, zeigt bereits der vereinfachte Ausschnitt aus dem - nur in groben Zügen bekannten -

Nahrungsnetz. Ökologen haben in dem Wirrwarr zwei miteinander vielfach verknüpfte Hauptstränge gemacht: Der eine beginnt bei frischen Blättern, an

denen sich Schmetterlingsraupen und andere Pflanzenfresser laben; der andere nimmt in Laubstreu und totem Holz seinen Anfang. Diese abgestorbene Biomasse dient



Quelle: Heinz Ellenberg u. a., Ökosystemforschung, Ulmer-Verlag

als Futter für Zersetzer wie Amöben, Würmer und Milben. Das Fraßgefüge variiert im jahreszeitlichen Gang - abhängig von den Lebenszyklen der Pflanzen und Tiere

mulieren und die Folgen menschlicher Eingriffe womöglich zu prognostizieren.

Doch das ist Zukunftsmusik. „Im Moment sind wir nicht etwa damit beschäftigt, Prognosemodelle im Computer zu entwerfen“, gesteht Bernhard Ulrich ein, Professor für Bodenkunde und bis Herbst 1991 Koordinator des Forschungszentrums. „Wir ringen noch um die richtigen Konzepte.“

Die Göttinger Forscher haben bereits langjährige Erfahrung mit dem Ökosystem Wald. Sie waren maßgeblich beteiligt am 1966 gestarteten Solling-Projekt, bei dem in einer Menge Teilstudien erstmals langfristig das Binnenleben von Buchen- und Fichtenwäldern erkundet und verglichen wurde. Das 1984 an der Universität Göttingen gegründete „Forschungszentrum Waldökosysteme-Waldsterben“ widmete sich bevorzugt saurem Regen und dessen fatalen Folgen. Daraus ging 1988 das FZW hervor - neben vergleichbaren Institutionen in Bayreuth, Kiel, Leipzig und München das fünfte vom Bundesforschungsministerium finanzierte Zentrum für Ökosystemforschung hierzulande.

Das Hauptaugenmerk der Göttinger Wissenschaftler gilt dem Energie- und Stoffhaushalt. Sie fanden zum Beispiel heraus, daß ein 130jähriger Buchenbestand mit Hilfe der Sonnen-Energie pro Hektar jährlich rund 11,5 Tonnen Biomasse produziert, davon drei Tonnen Blätter.

Gut die Hälfte der Energie nutzen die Bäume für ihr Wachstum. Der Rest wird konsumiert: 0,5 Prozent von Pflanzenfressern „direkt ab Baum“, 99,5 Prozent kommen den „Zersetzern“ in Form toter organischer Substanz zugute. Diese vornehmlich in der oberen Bodenschicht lebenden Kleintiere - Mückenlarven, Milben, Springschwänze - sowie Pilze und Bakterien ernähren sich von Laubstreu und Wurzelresten, von Totholz und Tierleichen (siehe Grafik). Sie sorgen für das Recycling, indem sie die in toter organischer Substanz gebundenen Nährstoffe wieder freisetzen.

Der stete Energie- und Materiefluß hält das Ökosystem am Leben. Und wenn in dieses Fließgleichgewicht so viel hineinströmt, wie herauskommt, nimmt es einen stabilen Zustand ein. Vergleichbar dem Prinzip einer Traglufthalle: Damit solch ein Gebilde seine Form behält, müssen Maschinen so viel Luft hineinpumpen, wie verlorenght.

Stoff- und Energiebilanzen können deshalb Aufschluß geben über den Status einer dynamischen Lebensgemein-

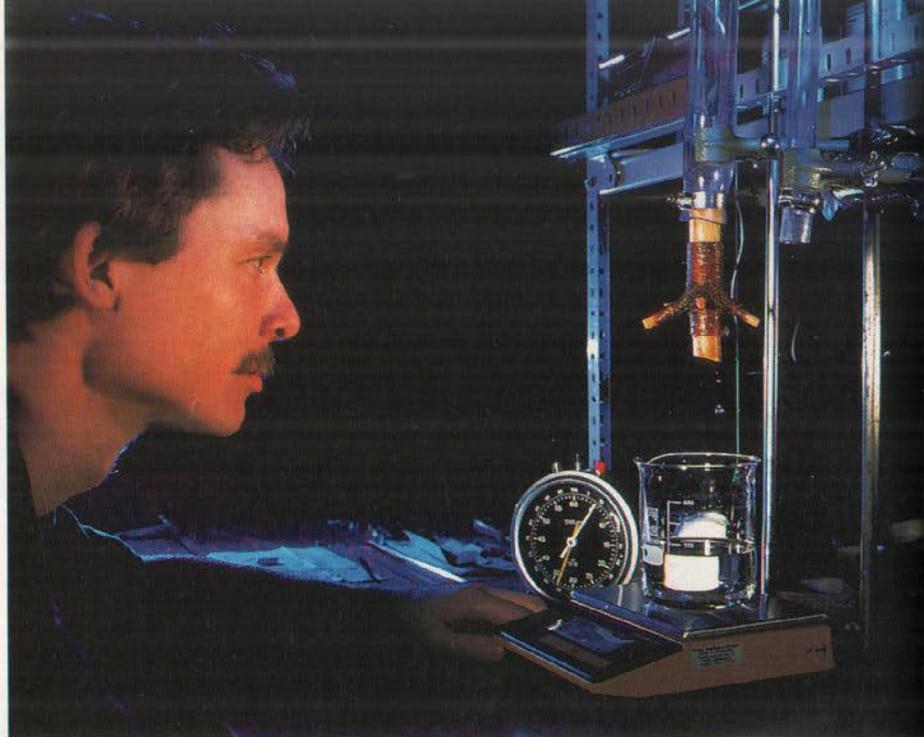
schaft. Zum Beispiel der Saldo des Spurenelements Mangan, das Pflanzen für die Photosynthese benötigen: In einem Buchenwald im Solling werden durch die zunehmende Versauerung jährlich pro Hektar rund fünf Kilogramm des Elements aus den im Boden gespeicherten Reserven ausgewaschen. Die Atmosphäre liefert aber nur 0,7 Kilogramm nach. Ähnlich unausgeglichene Budgets registrierten Wissenschaftler für Schwermetalle wie Chrom, Kupfer und Blei. Nur unter umgekehrten Vorzeichen: Die unerwünschten Stoffe reichern sich im Ökosystem an.

Zur Messung des Gesamt-Imports und -Exports können Biologen des FZW auf ausgereifte Methoden zurückgreifen. Als weit schwieriger erweist sich die Untersuchung, wieviel von den einzelnen Substanzen die jeweiligen Organismen aufnehmen und nach welchem Mechanismus. Gode Gravenhorst vom Institut für Bioklimatologie der Universität Göttingen studiert zum Beispiel die Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Wald, in der Regel, ohne in das System einzugreifen. Um den Austausch von Spurenstoffen auch auf der Ebene von Zweigen zu untersuchen, montieren die Wissenschaftler gläserne Küvetten um Äste und messen in dieser Miniatur-Welt die Stoffflüsse. Douglas Godbold vom Institut für Forstbotanik erforscht mit raffinierten Analyseverfahren, wie Baumsämlinge Nährstoffe aus dem Boden aufnehmen und wie Schadmetalle diesen Prozeß blockieren.

Neues Wissen wirft da auch gängige Vorstellungen über den Haufen. Wie in der vergangenen Dekade, als die Waldschadensforscher einen Ideenwandel vollzogen haben, der exemplarisch ist für das veränderte Verständnis von Ökosystemen. Am Anfang standen einfache Erklärungen für das Baumsterben – nach dem linearen Muster: Die ätzende Fracht der Luft vergilbt Blätter und Nadeln. Säure im Boden zerfrißt die Wurzeln. Und proportional mit der Menge der Schadstoffe steigt das Ausmaß der Zerstörung.

Die Modelle griffen zu kurz. „Der erste Forschungsansatz ist gescheitert“, konstatiert Bernhard Ulrich, „lineares Denken reicht nicht aus, um das Geschehen zu begreifen.“ Ökosysteme funktionieren weit komplexer: Pflanzen, Tiere und unbelebte Welt sind oft mehrfach rückgekoppelt miteinander verknüpft und verhalten sich deshalb nicht-linear. Kleine Ursachen können somit große Wirkungen hervorrufen.

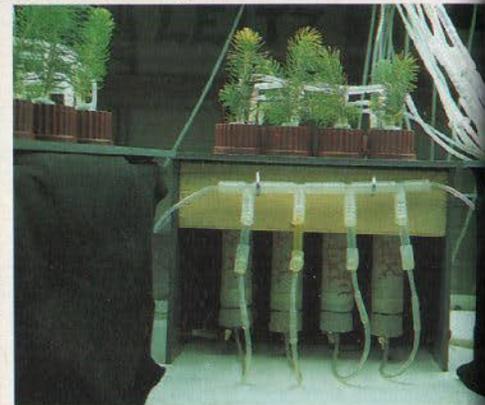
Eine solche Nicht-Linearität entdeckten Biologen und Bodenkundler im Nährstoff-Steuerkreis: Normaler-



Mit Waage und Stoppuhr wird der Wasserfluß durch ein Aststück gemessen



Computersimulation: Wachstum einer Fichte



Kontrollierte Kultur: Fichten am Tropf



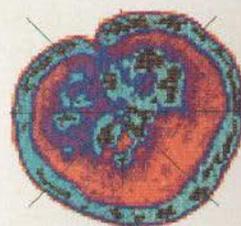
Vor der Analyse wird Holzproben im Trockenschrank das Wasser entzogen



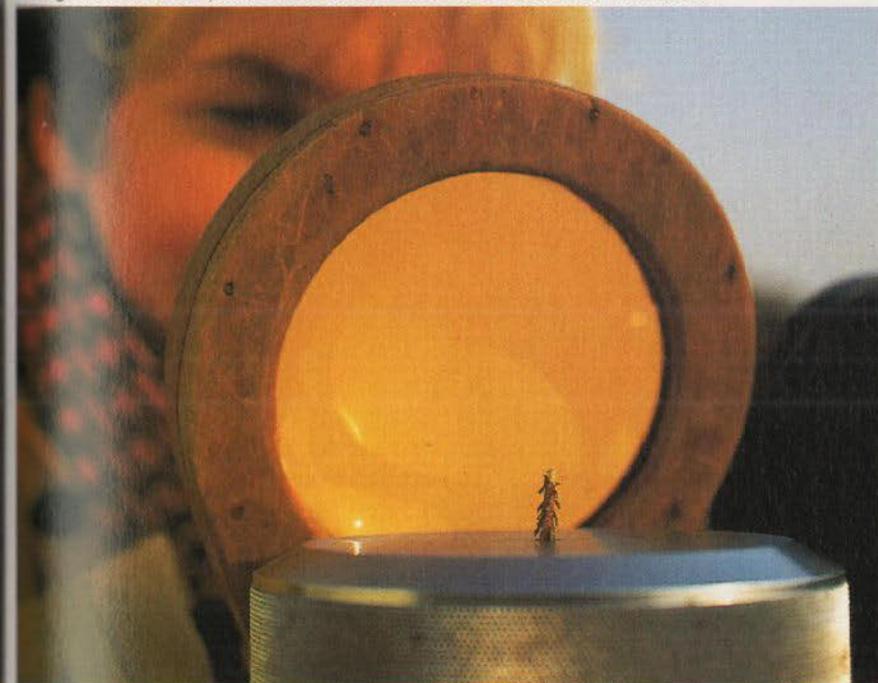
Röntgenstrahlen sollen das Innenleben eines Buchenstammes offenbaren

Stamm und Stengel auf dem Prüfstand

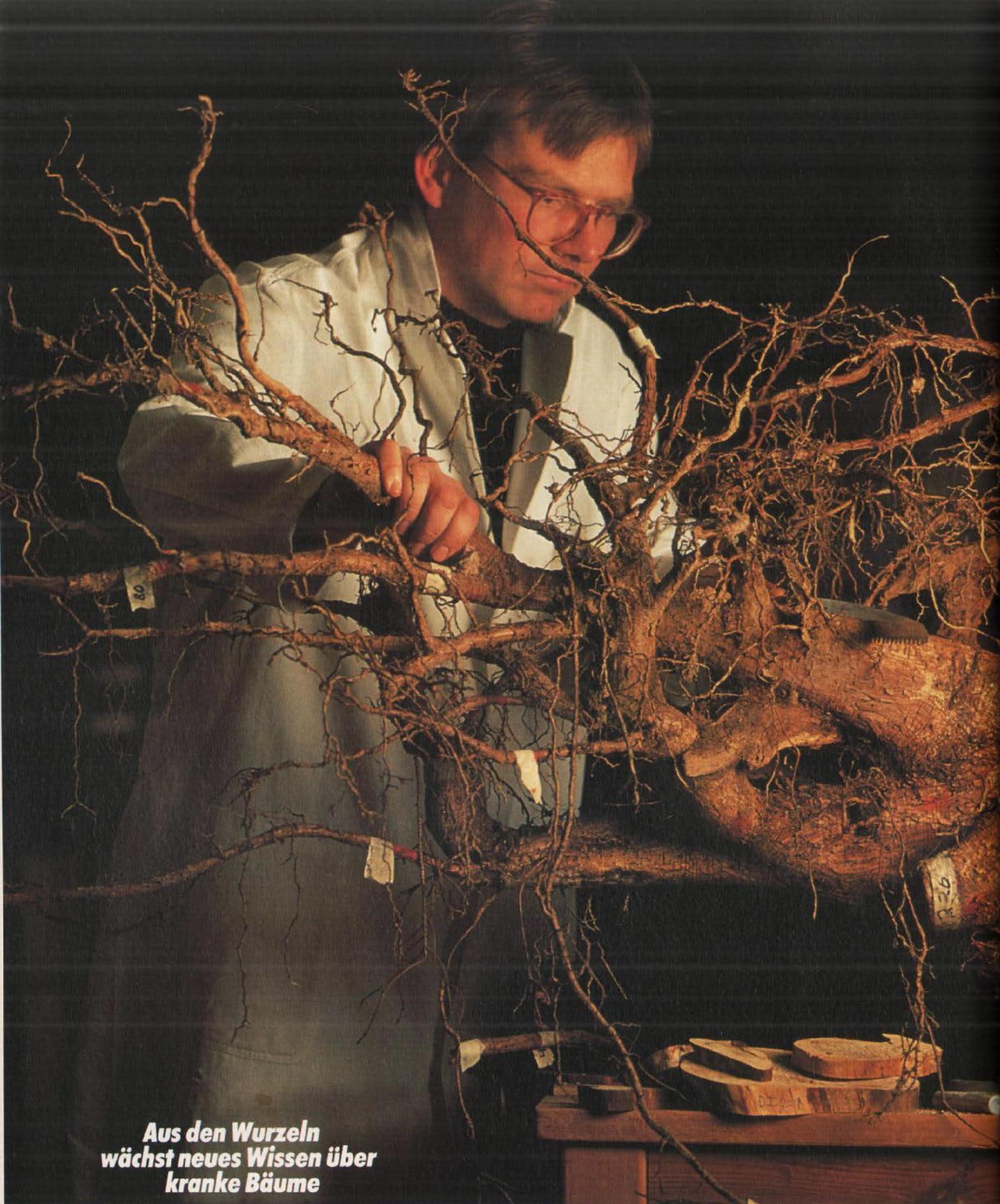
Das noch weitgehend unbekannte Wesen der Bäume versuchen Göttinger Wissenschaftler mit ausgeklügelten Methoden zu enthüllen. Ihr Augenmerk gilt dabei vor allem dem Energie- und Stoffhaushalt: Wieviel Schadstoff absorbieren Nadeln aus der Luft, und wieviel Wasser »schwitzen« sie aus? Auf welche Weise nimmt feines Wurzelgeflecht Mineral-salze auf, und warum stö-



ren Schwermetalle diesen Prozeß? Ob der Wassertransport in die durstige Krone gut funktioniert, verrät eine per Röntgengerät am lebenden Stamm gewonnene Schichtaufnahme: In der High-Tech-Baumscheibe signalisieren Violett, Blau und Schwarz wasserleitendes Gewebe, Rot und Orange trockenes Holz



Höherer Druck im Metallgefäß treibt Tröpfchen aus dem Zweig, die per Lupe sichtbar werden



**Aus den Wurzeln
wächst neues Wissen über
kranke Bäume**

Durch das Studium der bizarren Verästelungen wollen Forstbotaniker herausfinden, wie sehr Säure im Boden die Entwicklung von Wurzeln



weise begrenzt das Stickstoff-Reservoir im Waldboden das Baumwachstum. Da das Nährelement inzwischen jedoch selbst in abgelegenen Regionen im Übermaß vom Himmel regnet, sprießen die Pflanzen, denen nun aber die für ein weiteres Wachstum benötigten Mineralien fehlen – zum Beispiel Magnesium. Die Folge für Fichten: Die Nadeln vergilben. Die Stickstoff-Verbindungen verschärfen den Mangel noch: Sie säuern den Boden an, setzen dadurch Aluminium frei. Und das blockiert die Aufnahme des ohnehin knappen Magnesiums durch die Feinwurzeln.

Solche Rückkopplungen können ein Ökosystem unerwartet plötzlich aus dem Gleichgewicht kippen, aber auch die Folgen gravierender Einflüsse dämpfen: Im versauerten Waldboden etwa zersetzen Kleinstlebewesen weniger tote organische Substanz. Beträchtliche Stickstoffmengen bleiben daher im Humus gebunden, von Überdüngung scheinbar keine Spur. Gutgemeinte Reparaturversuche können da sogar mehr Schaden als Nutzen stiften. Denn verbessern sich die Lebensbedingungen der Zersetzer etwa durch eine Kalkung, werden womöglich gewaltige Mengen Stickstoff frei und ins Grundwasser gespült.

Das komplizierte Geflecht von Wechselbeziehungen bildet eben kein starres Gitter, sondern ein elastisches Netz, das einiges abzufedern vermag. Wann es reißt, ist schwer vorherzusagen. Kopfzerbrechen bereitet den Ökologen vor allem, daß Organismen häufig verzögert auf veränderte Umweltbedingungen reagieren. Flora und Fauna erweisen sich oft als erstaunlich anpassungsfähig – wenn sie ausreichend Zeit haben. Die Göttinger Forscher überwachen deshalb langfristig Energie- und Stoffflüsse, um Trends zu erkennen. Und um eines Tages aus dem Lot geratene Boden- und Biochemie mit der Reaktion der Lebensgemeinschaft verknüpfen zu können.

Wissenschaftler haben inzwischen akzeptiert, daß ein Ökosystem mehr ist als die Summe seiner Teile. Bei vielen Umweltpolitikern scheinen die neuen dynamischen Ideen, die gängige Rezepte erschüttern, allerdings noch nicht angekommen zu sein. „Der Ansatz“, resümiert Bernhard Ulrich, „einen Grenzwert zu ermitteln, oberhalb dessen das System zusammenklappt und unterhalb dessen es heil bleibt, ist hier nicht anwendbar.“ □

Der Göttinger Journalist **Dr. Roland Röhl**, 37, schreibt vor allem über Biowissenschaften und Friedensforschung. **Wolfgang Volz**, 44, hat für GEO-Wissen bereits viele Wissenschafts-Reportagen fotografiert.

hemmt. Von den abgesägten Scheiben können sie deren jährliches Wachstum ablesen

Götter und Geister wohnen – dem traditionellen Glauben der Anrainer zufolge – in vielen Wäldern Asiens und Afrikas. Bis heute hat diese Aura des Heiligen kostbare Relikte ursprünglicher Natur vor der Zerstörung bewahrt, unter anderem ein Stück Dschungel im Westen Indiens



Fromme

Durch dicken Nebel und über schmale Bergpfade sind sie aus umliegenden Dörfern herbeigeeilt. Nun hockt die Riege von etwa 20 Männern vor der niedrigen Hütte den Besuchern aus einer anderen Welt namens Deutschland gegenüber: reglos, skeptisch und zugleich stolz, daß die Wissenschaftler ihretwegen in diesen abgelegenen Gebirgswinkel gekraxelt sind, hoch oben in den indischen Western Ghats. Aus den unbewegten Reihen erhebt sich der gewählte Führer und nutzt die Gelegenheit, die Sorgen seiner Leute vorzutragen: „Seit Jahrzehnten holen wir Früchte und Holz zum Bau von Hütten und Pflügen aus dem Wald. Jetzt wollen sie uns das verbieten.“

Sie, das sind Regierungsbeamte aus Bombay, der Zwölf-Millionen-Metropole des Bundesstaates Maharashtra. 1985 haben sie die Höhenzüge rund um den kleinen Ort Bhimashankar, etwa 80 Kilometer nordwestlich von Poona, unter Naturschutz gestellt – um die letzten Fetzen einer einst dichten Regenwalddecke zu bewahren, samt der typischen Fauna. Doch der Rettungsversuch für Pflanzen und Tiere geht auf Kosten der Mahadeo Koli, der in den Ghats siedelnden Ureinwohner: Sie sollen den Dschungel nicht mehr wie seit Generationen üblich nutzen und drei Dörfer im Reservat räumen. Die Mahadeo Koli sind verbittert: „Schließlich haben wir dazu beigetragen, den Wald zu erhalten“, sagt ihr Anführer, ein schmächtiger Mann mit wachen Augen.

In der Tat ist es den Bergbewohnern zu verdanken, daß wenigstens einige urwüchsige Relikte der Axt ent-

gangen sind: Zwar nutzen auch die Mahadeo Koli – und übernutzen gelegentlich – Dschungelareale, indem sie dort Bauholz, Brennstoff und Bekömmliches ernten. Ausgewählte Bezirke jedoch sind für sie heilig – und damit tabu. Wie in prächtigen Natur-Kathedralen wohnen dort nach dem Glauben der Mahadeo Koli Gottheiten, meist weiblichen Geschlechts, unter deren Schutz die üppigen Wälder stehen.

Nicht nur in den Bergen Indiens bilden ökologische Räson und religiöser Mythos seit jeher eine fruchtbare Allianz. Das Schutzbündnis ist, wie Biologen, Völkerkundler und Religionswissenschaftler in jüngster Zeit mehr und mehr fasziniert feststellen, in Asien und Afrika weitverbreitet: In West- und Ostafrika hat die Aura des Heiligen botanisch reichhaltige Haine vor dem Fällen bewahrt, in der südchinesischen Provinz Yunnan tasten die Einheimischen Bergwälder aus Furcht vor dem Zorn der Götter nicht an, in Thailand, Japan und Äthiopien verbergen sich Tempel oder Klöster in Hainen, die zur Sphäre des Sakralen gehören und eine Vorstellung vermitteln, welche vielfältige Vegetation die Region einst bedeckte. Und der Ginkgo-Baum, dieses eigentümlich fächerblättrige lebende Fossil aus dem Erdmittelalter, hat außer in entlegenen chinesischen Gebirgstälern vor allem in Gehölzen rund um Kultstätten in China und Japan überdauert, bevor er seinen Siegeszug in botanische Gärten und Parks in Europa und Amerika antrat.

Noch halten vielerorts die mythisch begründeten Tabus. Doch ihre Macht schwindet: Das westliche Weltbild kriecht unaufhaltsam in alle Winkel des Planeten und entzaubert den Kosmos der

MYTHEN

fremden Kulturen. Im Gegenzug fragen sich Bürger der Industriestaaten: Können wir von der Spiritualität des Ostens und Südens lernen? Taugt eine „Wiederverzauberung“, taugen alte oder neue Mythen als Rezept wider die rapide Zerstörung der Natur?

Vom Mahadeo-Koli-Dorf Ahupe sind es nur wenige Fußminuten zum nächstgelegenen heiligen Hain oder Deorai, wie es in der Sprache der Einheimischen heißt. Nebel geistert durch den Wald, unter dem Kronendach schäumt sattgrüne Vegetation: Moose, Epiphyten, Kräuter, Flechten. Schlangen gleich schwingen schenkeldicke Lianen an mächtigen Bäumen, Büsche versperren den Weg in die Tiefe des Heiligtums. „Nicht ein einziges Blatt“, begeistert sich Kusum Karnik, seit gut zehn Jahren als „Graswurzel“-Arbeiterin bei den Mahadeo Koli aktiv, „nicht mal ein vertrocknetes, darf entnommen werden.“

Im Gebirge östlich von Bombay liegen rund 200 Gotteshaine

Mit gut zwei Hektar Fläche zählt dieser Deorai zur Mittelklasse. Manche „Sacred Groves“, wie die Gotteshaine im Amtsendgisch Indiens heißen, umfassen nur eine Gruppe von fünf bis zehn, dann meist majestätischen Bäumen, andere bedecken bis zu 100 Hektar. In den zerklüfteten Western Ghats östlich von Bombay sind Vaman Vartak, mittlerweile emeritierter Botaniker eines staatlichen Forschungsinstituts in Poona, und Madhav Gadgil, Biologe am Indian Institute of Science in Bangalore, auf rund 200 Haine gestoßen. Wissenschaftler kennen das Phänomen auch aus anderen Regionen des Subkontinents, doch nirgends ist es so detailliert studiert worden wie in Maharashtra.

Und entsprechend präzise dokumentiert ist der enorme Druck auf die heiligen Über-

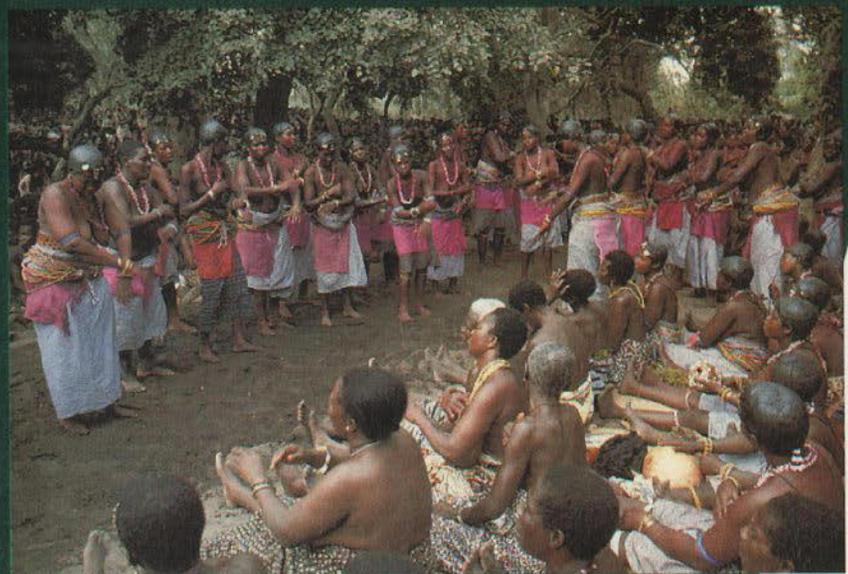
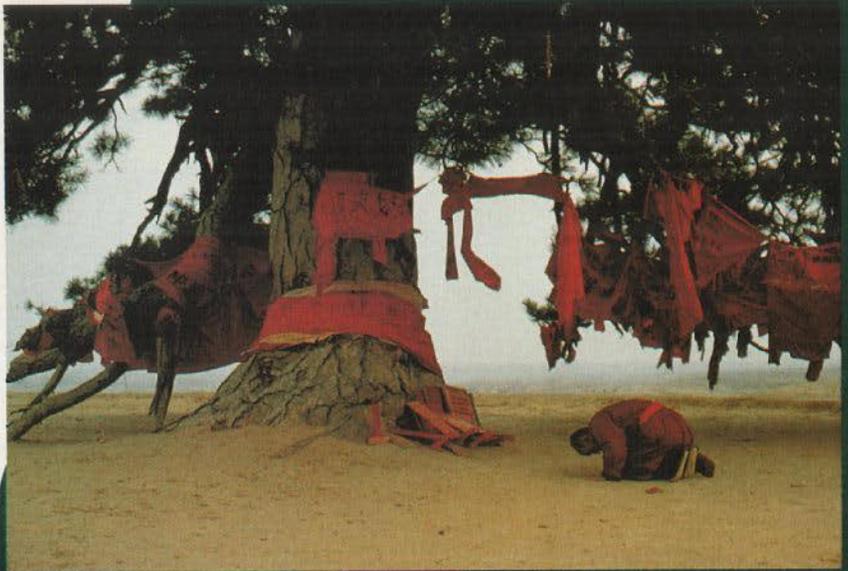
Scheu schützt die Natur

bleibsel: Hier wie anderswo in Indien mit seiner rasch wachsenden Bevölkerung nehmen Kleinbauern notgedrungen immer mehr Land unter den Pflug – zu Lasten des Waldes. Andererseits hängen sie von dieser grünen Rohstoffquelle fast völlig ab: Sie liefert ihnen Früchte und Honig, Brenn- und Baustoff, Futter für die Tiere, Dünger für die Felder. Eine sechsköpfige Familie in den Western Ghats benötigt, so ergab eine Studie der Shivaji University in Kolhapur, pro Jahr durchschnittlich 11,6 Tonnen Holz – zum Kochen, zum Heizen und um Wasser zu erhitzen. Einen mächtigen Holz hunger haben auch die urbanen Zentren entwickelt sowie die aufkeimenden Unternehmen – in Maharashtra vor allem die Zuckerfabriken. Ein mittelgroßer Betrieb verheizt jährlich rund 500 Tonnen.

Ob der weitgehend degradierten Natur im Land preisen Biologen selbst die winzigen Dschungel-Relikte der Groves als „Schatzkammern“. Sie sehen in ihnen kostbare Freiland-Genbanken, die noch die ursprüngliche Mannigfaltigkeit der Flora aufweisen: Bei der pflanzlichen Inventur eines Fünf-Hektar-Heiligtums zum Beispiel entdeckten die Deorai-Pioniere Vaman Vartak und Madhav Gadgil 26 Baum- und sechs Kletterpflanzenspezies – ein Artenreichtum, der zwar bei weitem nicht an die verschwenderische Vielfalt des Amazonas-Regenwaldes heranreicht, aber deutlich größer ist als in den von Fichte oder Buche dominierten Wäldern hierzulande.

Für einen Erhalt der einzigartigen Groves sprechen auch ökonomische Argumente: Die Ureinwohner gewinnen traditionell aus einigen Pflanzen Heilmittel, doch in der „Naturapotheke“ stecken, so spekulieren Wissenschaftler, noch viele unbekannte Drogen mit ungeahnter Wirkung. Obendrein bergen die Haine ein beachtliches genetisches Kapital für die Züchtung neuer holz- oder fruchteliefernder Bäume. Und sie bieten sich an als

Religiöse Verehrung für hölzerne Majestäten: Ein lamaistischer Mönch verbeugt sich in der Inneren Mongolei vor einem 800jährigen, mit Gebetsstüchern geschmückten Baum



Befreiungszeremonie in einem heiligen Hain: Ein Jahr nach dem Tod des Priesters, der über den Wald im westafrikanischen Togo geherrscht hat, werden die ihm symbolisch vermählten Frauen »freigegeben«

Muster oder Keimzelle für Wiederaufforstungen.

Einen halben Hektar messende Deorais zeigen, wie Vaman Vartak und Madhav Gadgil festgestellt haben, bereits viele Merkmale des Urwaldes. Zweifelhaft ist jedoch, ob solch kleine inselhafte Refugien auf lange Sicht den Fortbestand typischer Tier- und Pflanzenbestände

garantieren können. Denn nur Bestände einer – von Spezies zu Spezies variierenden – Mindestgröße können sich einem dynamischen Lebensraum optimal anpassen: Je mehr Individuen, desto vielfältiger das genetische Material, mit dem die Evolution ihr kreatives Spiel treiben kann, und desto geringer das Risiko, daß eine Art durch den

Rost der Selektion fällt und ausstirbt.

Vielen Tieren bieten die meisten Sacred Groves nicht mehr genügend Raum. Jay Samant, Zoologe an der Shivaji University, kam bei einer Bestandsaufnahme der Fauna in 40 Hainen zu einem ernüchternden Ergebnis: Aus nahezu drei Vierteln der Reservate hatte sich die Tierwelt weitgehend zurückgezogen – „aufgrund der geringen Größe und der Nähe zu menschlichen Siedlungen“. Immerhin störten die Biologen „eine beträchtliche Zahl von Schlangen- und Eidechsenarten auf sowie eine große Vielfalt von Vögeln“.

Die Waldgeister schützen das Dorf vor Zerstörung

Auch in den heiligen Wäldern Afrikas dürfte die Großfauna in der Regel kaum ein Auskommen finden. Die Bois Sacrés – so heißen die Haine im französischsprachigen Westen des Kontinents – haben oft nur einige Dutzend Meter Durchmesser. Trotzdem schätzen Biologen die Gehölze: Sita Guinko von der Universität Ouagadougou in Burkina Faso hält die Bois Sacrés des Landes „für natürliche Zeugen der ursprünglichen Vegetation“: von Trockenwäldern, die früher weite Flächen Westafrikas bedeckten, bevor Menschen durch Feuer, Landwirtschaft und Viehzucht die Savanne schufen.

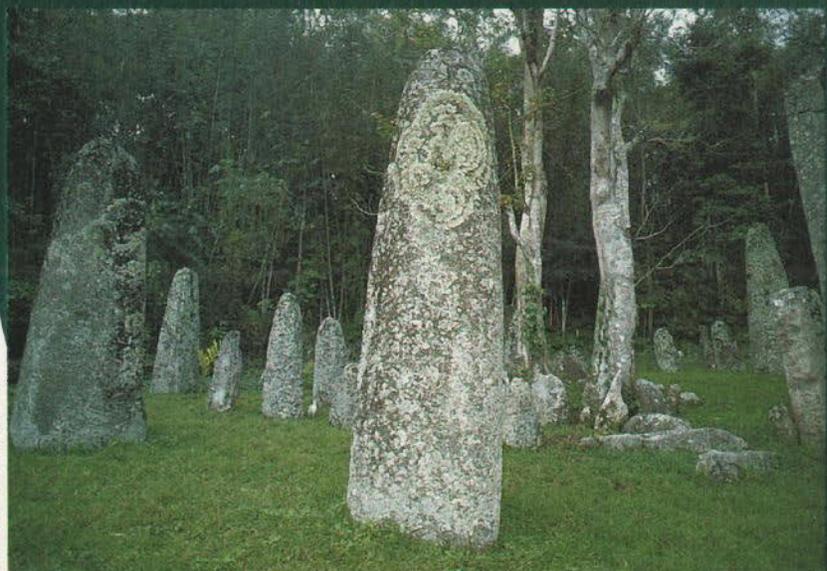
Wahre Kleinodien sind indes vergleichsweise ausgedehnte Baumoasen wie der Pirang-Wald in Gambia – 64 Hektar groß und laut einer ökologischen Studie „sehr artenreich“. Im und um das Reservat beobachteten Ornithologen in relativ kurzer Zeit 40 Prozent der Vogelspezies, die in dem westafrikanischen Kleinstaat insgesamt vorkommen. Auch dieses grüne Relikt verdankt sein Überleben dem traditionellen Glauben an eine beseelte Natur. Im Wald hausen, so geht der Volksglaube, den Bewohnern des nahe gelegenen Dorfes wohlgesinnte Geister. Sie hätten die Siedlung in vielen Jah-

ren vor einer Zerstörung bewahrt.

Ähnlich beeindruckend wie die biologische ist die religiöse Vielfalt, die mit den heiligen Hainen verbunden ist. In den Bois Sacrés der einen Region treiben den Afrikanern zufolge die Geister der Ahnen oder zwerghenähnliche Buschdämonen ihr ehrfurchtgebietendes Wesen. Bei anderen Ethnien, vor allem im Volta-Gebiet, dienen die Gehölze als der Erde geweihte Kult-

stätten: „Erdpriester“ opfern in diesen „Erdschreinen“ Tiere und Feldfrüchte, bitten damit um reiche Ernten oder suchen einen Verstoß gegen religiöse Gebote zu sühnen. Auch der sakrale Charakter variiert von einer ethnischen Gruppe zur anderen: Mal dürfen nur Priester die Wäldchen betreten, mal ist es den Dorfbewohnern erlaubt, Früchte, Heilpflanzen oder Totholz zu sammeln. Wer jedoch die Axt an einen Baum

Sakrales heiligt auch die Umgebung: Totempfähle der Haida-Indianer bilden auf den westkanadischen Queen-Charlotte-Inseln das Zentrum eines Naturheiligtums



Vom Totengedenken profitiert die belebte Natur: In einem heiligen Wald bestattet das Volk der Toraja auf der indonesischen Insel Sulawesi seine Verstorbenen



Ein Tempel weiht die angrenzende Vegetation: Wie auf diesem Gelände eines Schinto-Klosters verbergen sich Kultstätten in Japan häufig in Wäldern. Und die Ehrfurcht bewahrt deren ursprünglichen Charakter

legt oder einen Bois Sacré anzündet, den trifft nach dem traditionellen Glauben der Zorn der übernatürlichen Mächte. Sie töten den Frevler oder schlagen seine Familie mit schwerer Krankheit.

Die Alten geben die Regeln der Erdschreine an die Jungen weiter – mit Erzählungen wie jener, die Sabine Steinbrich, Ethnologin an der Universität Münster, bei den Lyela im

westlichen Burkina Faso gehört hat: Ein junger Mann legt in einem heiligen Hain gegen den ausdrücklichen Rat seines alten Vaters ein Feld an. Zunächst helfen die dort wohnenden Geister ihm sogar beim Roden, Säen und Unkrauthacken. Die Hirse gedeiht gut, der Bauer wähnt sich vor einer reichen Ernte. Doch im letzten Moment fallen die Geister über ihn her

und brechen ihm die Knochen.

Gottheiten der indischen Haine gebärden sich ebenso grausam. Als ob sie nicht vom prallen pflanzlichen Leben getrennt werden wollten, strafen viele angeblich sogar jene ergebenen Anhänger, die einen Tempel für ihr Abbild bauen. Dies sind menschenähnlich modellierte Statuetten oder in der Form von Reiskörnern geschliffene, bis zu einem halben Meter große Steine.

Mit Bäumen verknüpfte Mythen sind nicht auf indische oder afrikanische Religionen beschränkt. In der Vergangenheit bildeten sie auch im Glauben europäischer Völker wesentliche Elemente. Die Griechen meinten aus dem Rauschen der heiligen Eichen in Dodona den Willen des Zeus herauszuhören. Die Opferpraktiken der Germanen in geweihten Waldbezirken schildert der römische Geschichtsschreiber Tacitus ausführlich in seiner 98 n. Chr. erschienenen Schrift „Germania“.

Drakonische Strafen für »heidnischen Zauber«

Der Kult um heilige Haine oder imposante, von Göttern oder Geistern beseelte Einzelbäume erwies sich als langlebig – sehr zum Mißfallen der römischen Kirche. Deren Päpste und Bischöfe belegten vor allem vom 6. Jahrhundert an den „heidnischen Zauber“ mit drakonischen Strafen. Christliche Missionare versuchten rigoros, die Symbole des „Aber“glaubens und damit zugleich diesen selbst zu Fall zu bringen – wie Bonifatius, der im Jahr 723 die Donarseiche von Geismar umhauen ließ.

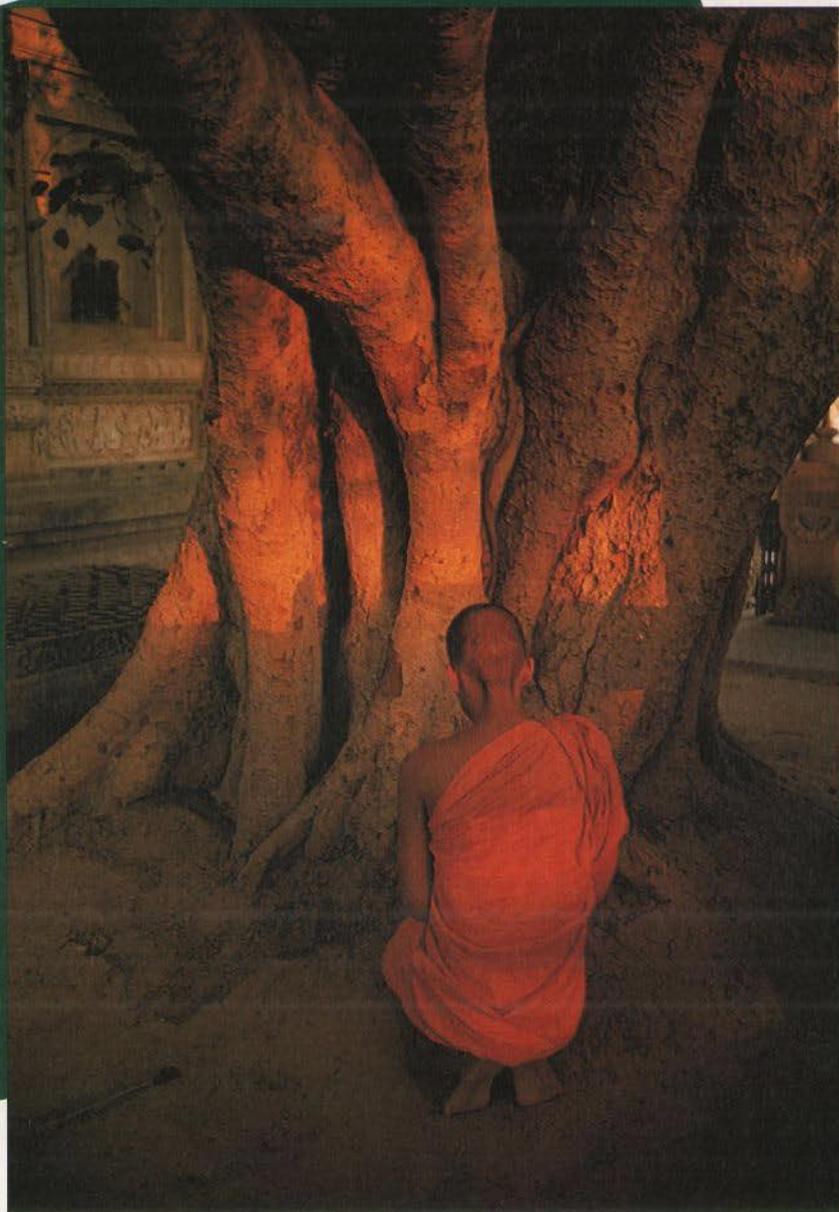
Die Aufklärung vertrieb die spirituellen Mächte endgültig aus der Natur. Die mechanistische Deutung der Welt – von der aufblühenden Naturwissenschaft vertreten und vorangetrieben – begann sich durchzusetzen. Mythen galten fortan, wie Friedrich Engels spottete, als „waldursprünglicher Blödsinn“. Völ-

lig tabu waren solche Weltbilder in Deutschland nach 1945: Reaktion auf die furchtbare Barbarei der Nationalsozialisten, die sich auf den Mythos der arischen Herrscherrasse berufen hatten.

Seit einigen Jahren jedoch wird das Phänomen auch hierzulande wieder diskutabel. „Das Wiederaufleben ‚romantischer‘ Denkfiguren in der Gegenwart“, analysiert

der Philosoph Christoph Jamme von der Ruhr-Universität Bochum, „zeigt Proteste gegen eine Verkümmern des aufklärerischen Vernunfttypus an; die Mythen scheinen eine Denk- und Handlungsorientierung zu bieten, die den wissenschaftlichen Weltbildern fehlt.“ Der rumänische Religionswissenschaftler Mircea Eliade hielt Mythen gar für eine anthro-

Respekt vor dem Baum des Erleuchteten: Ein buddhistischer Mönch betet beim indischen Dorf Bodh Gaya vor dem heiligen Feigenbaum. Er gilt als Abkömmling des Baumes, unter dessen Schatten der Religionsstifter Buddha seine Eingebung empfangen haben soll



pologische Konstante. Ohne sie bleibe das menschliche Bedürfnis nach Sinn und Bedeutung unbefriedigt.

Das bislang gültige Vernunft-Monopol bröckelt auch, da mittlerweile gerade die enormen Erfolge der Rationalität und deren Tochter, der Naturwissenschaft, sowie deren Enkelin, der Technik, die Lebensgrundlagen des Menschen zu zerstören drohen. Ließe sich der Raubbau nicht bremsen, so fragen manche, wenn die säkularisierte Natur wieder sakralisiert, „verzaubert“ würde?

Solche Ideen fallen auf fruchtbaren Boden. Das zeigen die Reaktionen auf die nach der altgriechischen Erdgöttin Gaia benannte Theorie des britischen Naturforschers James Lovelock, der die Gesamtheit des Lebens auf unserem Planeten als eine Art Superorganismus beschreibt. „Zwei Drittel der Briefe, die ich erhielt“, wundert sich Lovelock, „beschäftigten sich mit der Bedeutung von Gaia in religiösem Zusammenhang.“

Ein weiteres Indiz für die wachsende Attraktivität eines religiös inspirierten Naturschutzes ist das Aufkommen einer „ökologischen Theologie“. Deren Protagonisten möchten uns Menschen das selbstherrliche Bild von „der Krone der Schöpfung“ nehmen, billigen auch anderen Kreaturen – unabhängig von deren Verwertbarkeit für den Menschen – ein Lebensrecht zu. Oder sie wollen die im Christentum verschütteten Mythen wieder freilegen – zum Beispiel mit Hilfe der Psychoanalyse wie der katholische Theologe Eugen Drewermann. Am Rande dieser Strömung gedeihen allerdings auch bizarre Entwürfe, die auf Okkultismus und Hexenglauben zurückgreifen.

Eine ganze Reihe von Denkern warnt indes vor einer „Re-Mythisierung“: Sie fürchten für die mit der Aufklärung errungene Freiheit des Denkens, Entscheidens und Handelns, wenn die Erben Immanuel Kants wieder der Erdgöttin, den Baumgeistern oder Quellnymphen hul-



Ehrfurcht zügelt die Axt: Der Hain auf der Hawaii-Insel Molokai blieb erhalten, weil er das Grab eines berühmten Sehers birgt

digten. Der Philosoph Jürgen Habermas etwa erkennt in den Mythen „den schärfsten Kontrast zu dem Weltverständnis, das in modernen Gesellschaften herrscht“. Die Ursache der Rationalitätskrise sei „nicht ein Zuviel, sondern ein Zuwenig an Vernunft“.

Wenn es kein Zurück zu archaischen Mythen gibt, dann also vorwärts zu neuen? Eher denkbar erscheint es da, die naturschützerischen Potentiale der großen Religionen auszuerschöpfen. Denn soviel ist selbst strenger Rationalität verpflichteten Wissenschaftlern klar: Um Menschen mehr Respekt vor der „Mitwelt“ einzuflößen, reichen ökonomische Zwänge und rationale ökologische Argumente allein nicht aus. So appellierten im Januar 1990 rund 30 renommierte Forscher vor allem aus den USA dringend an eine Welt-Versammlung religiöser und politischer Führer in Moskau: „Anstrengungen, die Umwelt zu schützen und zu schätzen, müssen mit der Kraft des Heiligen versehen werden.“

Doch auch die Kraft religiös und mythisch fundierter Tabus ist begrenzt. Im Römischen Reich verband sich die

Heiligkeit von Hainen, Quellen und Bergen mit einer aggressiven Naturbeherrschung: Die Kaiser ließen die Höhen von Italien bis Spanien entwalden – für den Bau von Kriegsflotten und für die Ziegeleien, in denen Steine nicht zuletzt für kaiserliche Prachtbauten gebrannt wurden. In Japan konnte der Schintoismus, nach dem die Natur von heiligen Mächten beseelt ist, nicht die fahrlässige Zerstörung der Umwelt verhindern, etwa die Vergiftung der Minamata-Bucht mit Quecksilber-Verbindungen in den fünfziger Jahren. In Indien bewahrte der Hinduismus, der in der belebten und unbelebten Natur das „Eine Göttliche“ walten sieht, die reichen Wälder nicht vor der Axt.

Pflanzen der »Sacred Groves« sollen die Erosion stoppen

Nackt und erodiert liegen deshalb die Höhen der Western Ghats, die – rund hundert Kilometer entfernt von den Dörfern der Mahadeo Koli – den Panshet-Stausee umschließen. Wie dort sind auch hier fast nur die Sacred

Groves übriggeblieben. Etwa ein Dutzend tiefgrüner Tupfen auf den verdorrten braunen Hängen säumen das türkisfarbene Wasserreservoir, aus dem die Millionenstadt Poona ihren unbändigen Durst stillt.

Nahe dem mächtigen Erdamm zieht sich eine etwa zwölf Hektar große Pflanzung die Bergseite hinauf – der bescheidene Versuch der Ökologischen Gesellschaft aus Poona, durch Aufforstung auch mit Samen aus den Sacred Groves die Erosion zu stoppen. Zum Erstaunen der Biologen hat sich dabei binnen weniger Jahre eine beachtliche Pflanzen-Vielfalt eingestellt – vorausgesetzt, die Flächen wurden sorgsam geschützt: vor Rindern und Ziegen, die frei herumlaufen und junge Triebe von den Büschen knabbern, vor Bauern, die Flächen roden, um darauf Reis oder Hirse zu kultivieren.

„In einem derart dichtbevölkerten Land wie Indien“, meint Prakash Gole von der Ökologischen Gesellschaft, „Natur um ihrer selbst willen zu bewahren und den Menschen auszuschließen wirkt

große Probleme auf.“ Denn um den Hunger ihrer wachsenden Familien zu stillen, holen Kleinbauern aus Wald und Feld in der Regel das Letzte heraus.

Die Menschen hoch oben in den Bergen tragen ein besonders schweres Los: Die Böden sind karg, effektive Bewässerungssysteme existieren nicht. Wilden Honig oder im Wald gesammelte Nüsse müssen sie zum Verkauf oft in stundenlangem Fußmarsch zum nächsten Marktflecken schleppen. Ähnlich weit haben sie es häufig zu einer Krankenstation.

An den Grenzen der modernen Zivilisation lebend werden die Bergbewohner auch politisch an den Rand gedrängt. Sie konnten die Planung des Panshet-Reservoirs nicht beeinflussen, obwohl es das Leben vieler Bauern einschneidend veränderte: Ihre Dörfer verschwanden in den Fluten. Der Erfolg der grünen Restauration, folgert Prakash Gole, hängt deshalb entscheidend ab von sozialen Reformen.

Die miserablen Lebensbedingungen der Mahadeo Koli will die Graswurzelorganisation „Maharashtra Arogya Mandal“ verbessern, für die sich Kusum Karnik und ihr Mann Anand Kapoor engagieren. In den vergangenen Jahren haben die beiden behutsam eine Art Bürgerkomitee initiiert. Dort beraten die Mahadeo Koli gemeinsam alle Projekte – die Einrichtung von Kindergärten, die Konstruktion sicherer und breiter Fußwege zwischen den verstreuten Weilern, den Aufbau einer medizinischen Grundversorgung.

Die einheimischen Entwicklungshelfer setzen vor allem auf angepaßte Anbaumethoden und die schonende Nutzung neu angepflanzter Wälder. So könnten die Mahadeo Koli, hoffen Kusum Karnik und Anand Kapoor, genug Erntbares erzeugen, ohne die Regenerationskraft der Natur zu überfordern. Denn Mythen mögen zum Naturschutz beitragen, doch der Mensch lebt eben nicht vom Spirituellen allein. □

Die Russen kommen!

Ein Drama mit ungewissem Ende: 150 Millionen Menschen aus 100 Völkern versuchen einen neuen Anfang. GEO-Special beobachtet die vorsichtigen Gehversuche des Adels, das neue Selbstbewußtsein der Gläubigen und den sozialen Absturz der Bergarbeiter. Sie erfahren, was die Opfer des Gulag jetzt zu sagen haben, begegnen sibirischen Rentierzüchtern und entdecken den Zauber der Petersburger Schlösser. Neu-reiche Unternehmer verraten, wie man zu Geld kommt und die Mafia läuft wie geschmiert. Die Russen kommen – GEO-Special stellt sie Ihnen vor.



The cover of the GEO Special magazine for Russia. The title 'GEO' is in large white letters, with 'SPECIAL' in smaller white letters below it. The main headline is 'RUSSLAND' in green. Below the headline is a photograph of a crowd of people. Text on the cover includes: 'Kaltstart in den Kapitalismus', 'Blick zurück nach vorn', 'Vier Zimmer vier Familien', 'Von Flaschen und Menschen', and 'Die Mafia macht mobil'. At the bottom, a red banner contains the text 'Wladiwostok: Woher, Russland?'. In the top right corner of the cover, there is a small code 'C1334F' and some smaller text.

GEO-Special RUSSLAND
Jetzt bei Ihrem Zeitschriftenhändler



Immer wieder greift die Natur selbst das Leben auf der Erde an. Doch sogar das äscherne Leichentuch, das der philippinische Vulkan Pinatubo über blühendes Land ausgebreitet hat, wird urwüchsigen Kräften weichen: In wenigen Jahren erholt die Vegetation sich wieder. Attackiert jedoch der Mensch das Geflecht des Lebens, das auch ihn hervorgebracht hat und bis heute erhält, droht nicht nur der Natur Schaden auf unabsehbare Zeit: Je mehr wir deren Selbstheilungskraft überfordern, desto sicherer werden wir Opfer unserer eigenen Unvernunft

**... und
dennoch keimt die
Hoffnung**



Feuer gilt als Inbegriff der Zerstörung. Heute jedoch heißt es häufig: »Let it burn«. Denn nach Erkenntnissen von Ökologen fördern Brände die Regeneration des Waldes. Die Zapfen des Mammutbaums etwa öffnen sich oft erst durch große Hitze. Die Strategie, natürlichen Feuern ihren Lauf zu lassen, wurde 1988 zum Politikum, als Teile des Yellowstone-Parks in Flammen standen

Ein Inferno wird zur Verjüngungskur









**Die Flut
bringt Leben
und Tod**

Überschwemmungsgebiete wie in Bangladesch verdanken ihr breites Biospektrum der Dynamik des fließenden Wassers. Die Menschen jedoch leben hier immer am Rande der Katastrophe, die nach Prognosen von Klimaforschern heute noch kaum vorstellbare Ausmaße annehmen könnte. Der durch das Wirken des Menschen verstärkte Treibhauseffekt stört den steten Wechsel von Werden und Vergehen

Trauriger Triumph einer Spezies

So grundverschieden läßt sich das Natürlichste der Welt beschreiben – das Kinderkriegen: Nach nüchterner Arithmetik kommen jede Sekunde zu den derzeit rund 5,4 Milliarden drei weitere Menschen hinzu. Macht an einem Tag 260 000, in einem Jahr rund 95 Millionen. Die kühlen Zahlen in eine Metapher übersetzt: Eine Bevölkerungsbombe tickt. Bei Pflanzen und Tieren regulieren normalerweise natürliche Faktoren die Vermehrung. Wo etwa nahrhafte Früchte oder Beute knapp werden, sinkt die Fortpflanzungsrate. Der Bestand stabilisiert sich auf einem konstanten Niveau oder nimmt ab. Anders beim *Homo sapiens sapiens*: Dank der Errungenschaften einer rasanten kulturellen Evolution konnte er die Grenzen des Wachstums hinauschieben. Mit Ackerbau und Viehzucht lieben sich viel mehr hungrige Mäuler stopfen als mit Jagen und Sammeln. Später vermochten Menschen sich mit besserer Hygiene und moderner Medizin vor Infektionskrankheiten zu schützen. Ob der enormen Fruchtbarkeit sind allerdings Konflikte programmiert – zwischen Gruppen der eigenen Art, da Reichtum und Ressourcen keineswegs gleich verteilt sind. Aber auch zwischen der Spezies Mensch und anderen Kreaturen des Planeten Erde. Je mehr Menschen, desto gravierender ihr Einfluß auf die Umwelt – so simpel umreißt der vom Bevölkerungsfonds der Vereinten Na-



Durch sein Verhalten und seine enorme Fruchtbarkeit ist der Mensch zur ökologischen Gefahr Nummer eins geworden

tionen herausgegebene Weltbevölkerungsbericht 1990 das Problem der ungebremsten Vermehrung. Zu simpel: Denn nicht allein die reine Zahl der Erdbewohner ist ausschlaggebend. Als fatal erweist sich heute in erster Linie deren Verhalten – wenn sie die Lebensräume vieler Pflanzen und Tiere dramatisch einschränken oder ganz zerstören, Wasser verschwenden und Meere verschmutzen, durch den Ausstoß gigantischer Mengen Kohlendioxid die Balance der Erdatmosphäre stören. Fast alle länderübergreifenden Umweltkrisen wurzeln in den satten Industrienationen – obwohl deren Bürger nur etwa ein Viertel des Multimilliarden-Weltvolks stellen. Ein US-Amerikaner belastet in seinem Leben die ökologische Tragfähigkeit des Globus – gemessen an Energie- und

Rohstoffansprüchen – so stark wie zwei Schweden, wie 35 Inder, 140 Kenyaner oder 280 Nepalesen, Haitianer oder Rwandesen. So gesehen ist eigentlich der reiche Norden überbevölkert. Während wir die natürlichen Ressourcen maßlos für unseren Wohlstand verschwenden, treiben Subsistenzbauern im armen Süden Raubbau, schlicht um zu überleben: Sie roden Wälder, übernutzen Böden, lassen ewighungrige Rinder fressen, was sie kriegen. Dennoch mangelt es in Entwicklungsländern mehr als 550 Millionen Menschen am täglich Brot. Dabei könnten allein die Ackerflächen in der Dritten Welt im Prinzip 33 Milliarden Menschen ernähren, stellten die Welternährungsorganisation FAO und der Bevölke-

rungsfonds der UN vor zehn Jahren fest. Doch bereits die beeindruckenden Ertragssteigerungen in den vergangenen Dekaden wurden erzielt zum Preis einer Industrialisierung der Landwirtschaft.

Ohne den kostspieligen Aufwand mit Hochertrags-Sorten, mehr Dünger, mehr Pflanzenschutzmitteln hätten nicht nur in Afrika und Asien, sondern weltweit permanent Hungersnöte geherrscht.



Ein US-Amerikaner belastet die ökologische Tragfähigkeit des Globus so stark wie 280 Nepalesen

Die Schattenseite des Triumphs: In Entwicklungsländern sind Böden ausgelaugt, die Verwüstung schreitet voran. Auf der nördlichen Halbkugel dehnen sich öde Agrarsteppen, belasten Pestizide Erdreich und Trinkwasser. Naturschützer haben die moderne Agrarwirtschaft als eine Hauptursache des Artenschwundes ausgemacht.

Die Bevölkerungsexplosion verstärkt auch den Druck auf die Energie-Ressourcen. Nach den letzten Schätzungen der FAO waren 1981 weltweit mehr als zwei Milliarden Menschen zum Kochen und Heizen auf Holz angewiesen. Mittlerweile dürften es erheblich mehr sein. Jeder neue Erdenbürger ist da ein Konkurrent um die knappen Vorräte. Den zunehmenden Brennstoffmangel bekommen in erster Linie Frauen zu spüren: In manchen Regionen Afrikas brauchen sie sechs Stunden, um Reisig für die Zubereitung einer warmen Mahlzeit zu sammeln.

Öl oder Gas können sich die meisten Menschen im Süden nicht oder nur selten leisten. Wenn sie allerdings fossile Brennstoffe so großzügig verpulvern würden wie die Bewohner der Industriestaaten, hätte das verheerende Folgen. Die Kohlendioxid-

Konzentration in der Atmosphäre würde noch schneller steigen. Und damit auch die Temperatur im Treibhaus Erde.

Kostbarer als Energie wird, so vermuten Experten, die Ressource Wasser werden. Nur drei Prozent des Wassers auf der Erde sind genießbar, fast 80 Prozent davon im Eis gebunden. Vielerorts belasten den lebensnotwendigen Trank zunehmend Krankheitserreger, Pestizide, Schwermetalle und Dünger – Ursachen für schwere Erkrankungen mindestens einer Milliarde Menschen. Das World Resources Institute in der US-Hauptstadt Washington schätzt, daß schon heute zwei Drittel der gut 5,4 Milliarden Menschen mit weniger als 50 Liter Wasser pro Tag auskommen müssen. In Mitteleuropa wird pro Einwohner etwa das Achtfache verbraucht.

Problem erkannt heißt aber nicht gebannt: Bislang haben alle Erfahrungen gezeigt, daß Menschen selbst durch professionelle Aufklärungskampagnen kaum davon abzuhalten sind, viele Kinder in die Welt zu setzen. Ebensowenig wie sie sich durch ökologische Argumente dazu bringen lassen, einen verschwenderischen Lebensstil aufzugeben. *Kirsten Brodde*

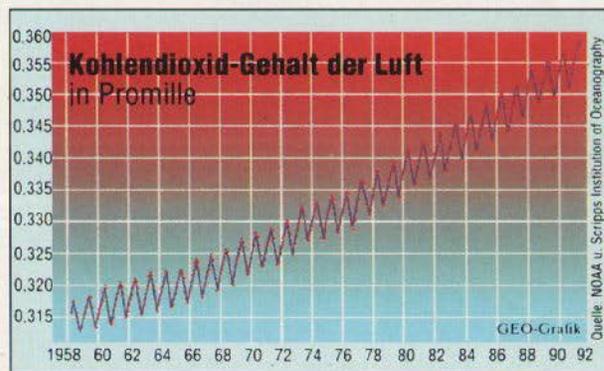
TREIBHAUSEFFEKT

Der große Treck nach Norden

Verwundert starrten die Forscher auf die Ladung roten Tang. Zwischen den Algen, die der Taucher der Biologischen Anstalt Helgoland (BAH) aus dem Meer gefischt hatte, saß eine in dieser Region fremde Nacktschnecke: ein „Seehase“ der Art *Aplysia punctata*, wie sich bei genauer Prüfung herausstellte.

die droht, wenn Menschen weiterhin Kohlendioxid und andere Treibhausgasen in die Atmosphäre blasen? Nicht unbedingt, meint der Hamburger Meeresökologe Klaus Janke. In der Vergangenheit habe das flache europäische Meer mehrfach einen Warm-Kalt-Zyklus durchlaufen. Doch die Entwicklung in der Nordsee ist kein Einzelfall. Korallenriffe rund um den Globus bleichen aus und sterben langsam ab. Als wichtigste Ursache dieses „coral reef bleaching“ haben Biologen erhöhte Wassertemperaturen im Verdacht. Auch

bal um ein bis fünf Grad Celsius höher ausfallen. Auch im US-Bundesstaat Michigan ist aus der Vergangenheit einiges über die mögliche Zukunft zu lernen: Im Gebiet um den Douglas-See hat sich seit 1950 etwa ein Dutzend Tiere und Pflanzen geographisch umorientiert. Ökologen der University of Michigan, die den Wandel penibel dokumentiert haben, führen ihn auf eine langfristige Klimaveränderung zurück. So ist etwa die Hirschmaus völlig aus der Region verschwunden. Die Südgrenze ihres Verbreitungsgebiets verläuft heute rund 50 Kilo-



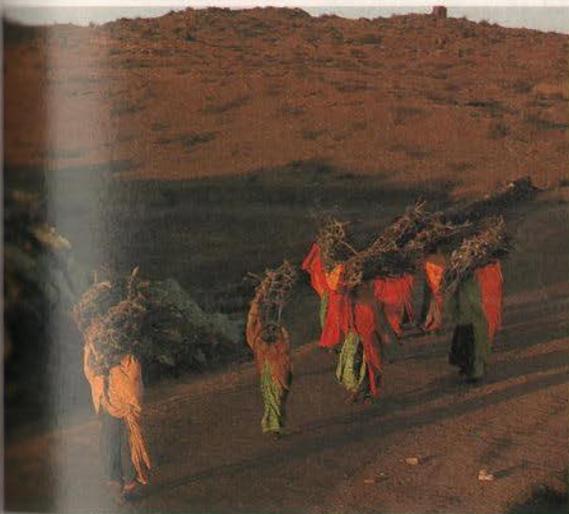
Wie sehr der Kohlendioxid-Gehalt in der Luft wächst, zeigen Messungen auf Hawaii. Jeder Punkt gibt den monatlichen Durchschnittswert des Treibhausgases an. Das saisonale Pflanzenwachstum läßt die Kurve jeweils im Sommer zurückfallen und im Winter ansteigen – seit Beginn der Messungen jedes Jahr höher

Das 1990 vor der deutschen Küste aufgetauchte Weichtier ist nicht der einzige Neubürger in der Nordsee: Seit 1987 schwimmen hier mehr und mehr Staatsquallen der Spezies *Muggiaea atlantica*. Eine Borstenwurm- und eine Wasserflohart sind eingewandert, obendrein diverse Algenspezies sowie eine Fischart, die Dicklippige Meeräsche. Sie alle kommen normalerweise im Ärmelkanal oder noch weiter südlich vor.

Die marinen Zuzügler könnten, so vermuten Biologen, Vorboten eines Floren- und Faunenwandels sein, der durch eine Erwärmung der Nordsee ausgelöst wird. Sind dies erste Anzeichen der globalen Klimaveränderung,

auf dem Festland dringen wärmeliebende Arten nach Norden vor: So hat sich der früher nur im Rheintal vorkommende Tintenfischpilz inzwischen bis an die Ostsee vorgearbeitet. Die Stinkmorchel ist vielerorts zur regelrechten Plage geworden, während andere Pilzarten wie Pfifferling und Grünling seltener zu finden sind. Diese Befunde beweisen zwar noch nicht den Treibhauseffekt. Doch sie vermitteln eine Vorstellung davon, welch drastische ökologische Verschiebungen dieser anstoßen könnten. Und darin sind sich die meisten Klimaforscher einig: Sollte der Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre sich bis zum Ende des nächsten Jahrhunderts – wie zu erwarten – verdoppeln, werden die Durchschnittstemperaturen glo-

meter weiter nördlich. Auch zwei Fischarten und die hitzeempfindliche Orchidee *Calypso bulbosa* haben sich in kühlere Gefilde zurückgezogen. Hingegen sind etliche wärmeangepaßte Spezies auf dem Vormarsch nach Norden: das Virginia-Opossum, Gürteltiere, Rote Kardinal, Spottdrosseln, mehrere Maus- und Rattenarten sowie der orange-gefleckte Sonnenfisch. Entscheidend für den Wandel eines Ökosystems ist häufig allerdings nicht eine erhöhte Durchschnittstemperatur. Viel gravierender können sich, wie der Marburger Ökologe Hermann Remmert betont, veränderte Werte in den einzelnen Jahreszeiten auswirken. Manche Arten benötigen beispiels-



Milliarden Menschen sind auf das vielerorts rare Holz angewiesen, während Industriestaaten Energie für Luxusgüter verschwenden

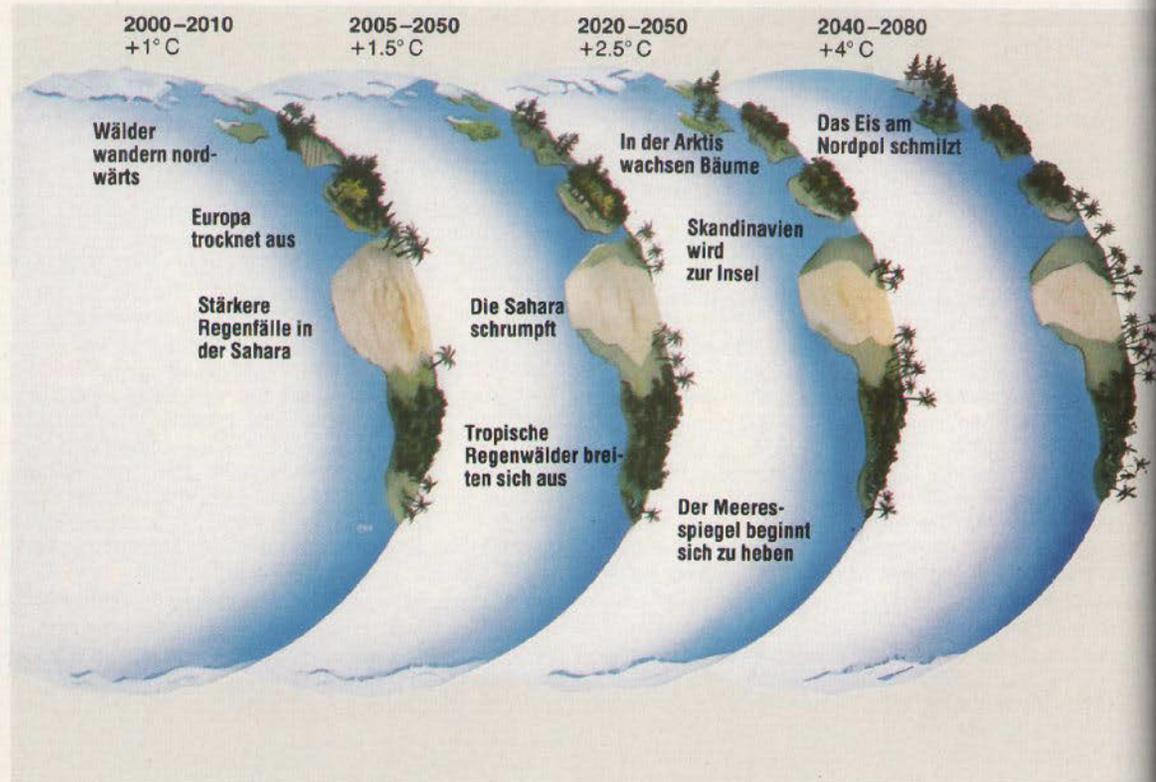
weise einen richtig warmen Sommer – wechselwarme Tiere wie Insekten oder Reptilien können erst dann ihre volle Aktivität entfalten.

Dagegen scheint es kaum eine Rolle zu spielen, wenn im Dezember und Januar minus 39 statt minus fünf Grad herrschen. Tiere und Pflanzen in der Winterruhe verbrauchen Rummert zufolge deshalb nicht mehr Energie. Milde Winter mit Temperaturen über null Grad seien indes tödlich für viele Arten. Da die Körperfunktionen entsprechend wenig gedrosselt werden, reichen die Energiereserven nicht bis ins Frühjahr.

Das passierte Borkenkäfern in den beiden milden Wintern 1988/89 und 1989/90 – zur Erleichterung der Forstleute. Denn heftige Frühjahrsorkane hatten den gefräßigen Insekten ideale Vermehrungsbedingungen beschert und eine Plage erwarten lassen.

Auf geringe jahreszeitliche Temperaturschwankungen führt Rummert sogar die Armut der britischen Inseln an schönen Schmetterlingen und anderen Insekten zurück. Auf dem Kontinent gebe es – bei der gleichen Jahresmitteltemperatur – eine erheblich reichere Flora und Fauna.

Auch in der Vogelwelt dürfte eine Erwärmung



der Erdatmosphäre einigedurcheinanderbringen. Von milderen Wintern und zeitigeren Frühjahrsprofitieren, so meint der Verhaltensphysiologe Peter Berthold von der Vogelwarte Radolfzell, vor allem Standvögel – also jene Tiere, die wie Elstern oder Hausperlinge das Brutgebiet im Winter nicht verlassen. Teilzieher – bei ihnen fliegen nicht alle Tiere gen Süden – haben ebenfalls

gute Chancen, sich auf die neuen Verhältnisse einzustellen und zu Standvögeln zu werden. Ausgeprägte Weitstreckenwanderer drohen dagegen ins Hintertreffen zu geraten. Wenn sie im März oder April aus Afrika nach Mitteleuropa zurückkehren, sind die meisten Reviere von den Daheimgebliebenen bereits besetzt. Völlig verändert werden sich in einer wärmeren Welt die Alpenwälder

Manche Klimaforscher entwerfen dramatische Szenarien einer wärmer werdenden Erde: Einigen Berechnungen zufolge werden heute florierende Agrargebiete in den kommenden Jahrzehnten veröden und karge Landstriche aufblühen. Völkerwanderungen und Krisen wären die Konsequenz

präsentieren – jedenfalls nach den Computersimulationen von Felix Kienast. Der Geograph von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft in Birmensdorf prognostiziert, daß sich rund drei Grad höhere Durchschnittstemperaturen und zehn Prozent mehr Niederschläge binnen 100 Jahren auswirken.

Dann werden Laubbäume wie Rotbuche, Spitzahorn, Hainbuche oder Linde vermehrt auftreten, während der Fichtenbestand dramatisch schrumpft. Trockenstandorte könnten wegen verstärkter Verdunstung noch trockener werden, und durch zunehmende Erosion gehen vermutlich wachsende Mengen fruchtbarer Bodens zu Tal.

Solche Simulationen und Prognosen dürfen allerdings nicht über eines hinwegtäuschen: Sie erfassen nur wenige Komponenten eines Ökosystems. Dessen Kennzeichen jedoch ist eben gerade die Komplexität. Henning Engeln



Korallenriffe rund um den Globus bleichen aus. Mögliche Ursache: wärmere Wassertemperaturen



In manchen Gebieten werden Oasen durch die wachsende Verwüstung verschwinden

Die Not der nackten Erde

Das Kreischen der Sägen kündigt vom Untergang: Binnen Minuten gehen über Jahrhunderte standhafte Baumriesen zu Boden und werden per Bulldozer aus dem Regenwald gezogen. Auf den zerstörerischen Spuren der Holzfäller dringen landhungrige Siedler und Wanderfeldbauern vor, die für ein paar Hektar karges Ackerland die einzigartige Vegetation abbrennen.

Die oft vor pflanzlicher und tierischer Vielfalt strotzenden Tropenwälder der Erde schrumpfen rapide: seit 1980 jährlich um etwa 17 Millionen Hektar (siehe Grafik Seite 104) – eine Fläche, knapp halb so groß wie Deutschland. Am rücksichtslosesten plündern Menschen derzeit das grüne Erbe in vielen Regionen Südostasiens. Nach Schätzungen des Worldwatch-Institute in Washington bedecken noch etwa 1,5 Milliarden Hektar naturnaher Wälder den Planeten – kühle Klimazonen eingeschlossen. Vor der Erfindung des Ackerbaus, also vor 10 000 Jahren, waren es vermutlich viermal soviel.

Der Verlust der schützenden Baumdecke löst eine Kaskade ökologischer Effekte aus – von der lokalen über die regionale bis zur globalen Ebene. Und je weiter Ursache und Wirkung auseinanderliegen, desto mehr Mühe haben Experten, dem Zusammenhang auf die Spur zu kommen.

Lokale Konsequenzen sind recht genau dokumentiert. In Nigeria etwa verglichen Wissenschaftler das Mikroklima eines bewaldeten und eines angrenzend abgeholzten



Brandrodung: Überlebensstrategie armer Länder, die mittelfristig zum Untergang führt



Fleischproduktion: Der Wald weicht für die Steaks der reichen Länder

Areals: Auf der Lichtung war es tagsüber um drei bis sechs Grad Celsius wärmer als im Wald. Noch in 50 Zentimeter Tiefe registrierten die Forscher einen Temperaturanstieg um drei Grad. Nachts kühlte die Luft über der kahlen Fläche stärker ab als im Schutz der Bäume, wo die Temperaturen lediglich um ein halbes Grad variierten. Derart deutliche Schwankungen bedeuten das Aus für viele, an gleichförmige Bedingungen angepasste Bodenorganismen.

In der regionalen Sphäre bringen Kahlschläge den

Wasserkreislauf durcheinander. Klimatologen nehmen an, daß im tropischen Regenwald Amazoniens die Hälfte der Niederschläge durch Verdunstung in nächster Nachbarschaft entsteht. Von nackter Erde aber verflüchtigen sich 20 bis 50 Prozent weniger Feuchtigkeit als von einem großflächigen Blätterdach. Die Folge: Es regnet seltener. Wenn es aber einmal regnet, stürzt das Wasser – weitere Konsequenz großräumiger Abholzung –

meist wolkenbruchartig vom Himmel.

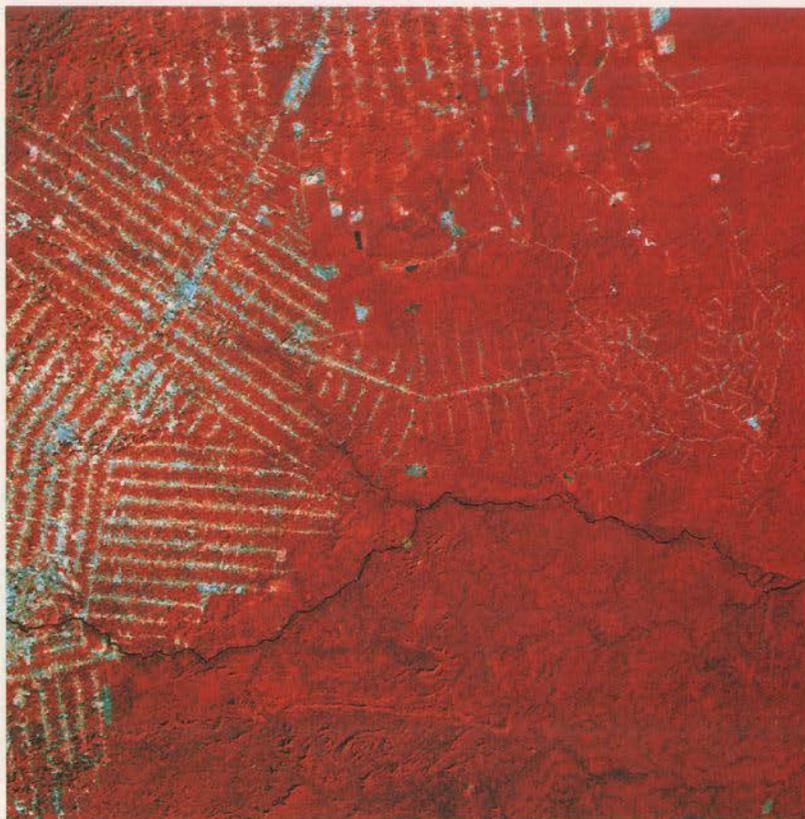
Wegen der fehlenden dichten Kronenschicht prasseln Tropfen ungebremst mit voller Wucht auf die blanke Erde und sprengen Erdkrumen ab, die Bodenporen verstopfen: Der Regen kann nicht mehr versickern, das Erdreich, das die Feuchtigkeit sonst aufsaugt wie ein Schwamm, trocknet aus. Da deshalb der Grundwasserspiegel sinkt, versiegen Quellen und Brunnen.

An der Oberfläche nimmt das Desaster seinen Lauf: Die abfließenden Niederschläge reißen wertvollen Boden mit, der Flüsse

und Stauseen verschlammten läßt. Der Wind fegt trockene Krume davon. In den Tropen gehen durch Erosion jährlich bis zu 330 Tonnen Erde je Hektar verloren. Das entspricht einer Schicht von 24 Millimetern – neu bilden sich oft nur 0,1 Millimeter pro Jahr.

Regenwaldböden sind ohnehin häufig nährstoffarm. Das Gros der lebenswichtigen Mineralien ist in der üppigen Vegetation gebunden. Mit den gefälltten Stämmen verschwinden daher auch die Nährstoffe. Und einmal

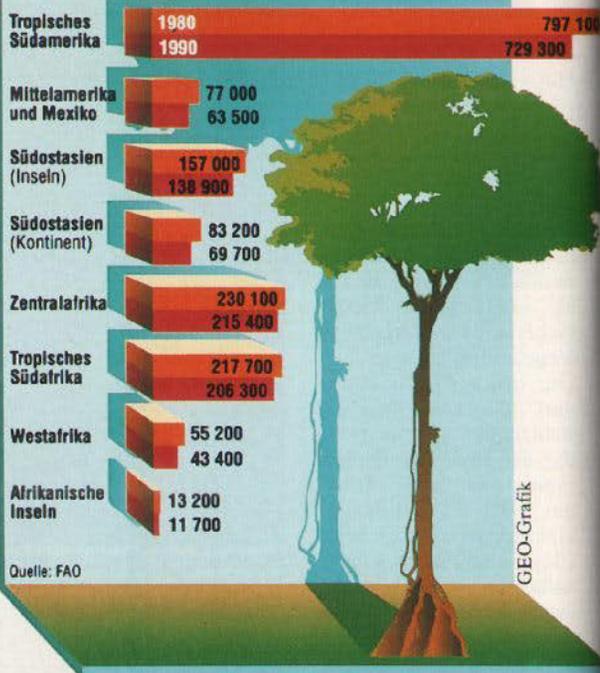
Jedes Jahr schrumpft der Tropenwald etwa um die halbe Fläche Deutschlands. Aufforstung kann nicht Schritt halten



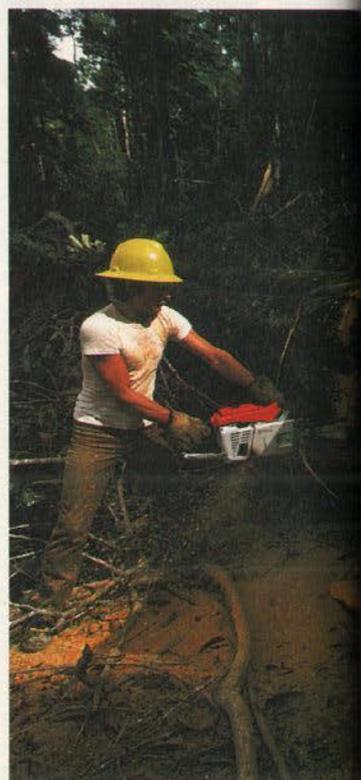
»Eroberung« mit System: Die Infrarot-Satellitenaufnahme macht Schneisen (blau) im brasilianischen Urwald sichtbar

Der Untergang der »grünen Giganten«

(Tropische Waldfläche in 1000 Hektar)



Vorläufiges Ende einer Trasse, die immer tiefer in das Herz der Tropen geschlagen wird



freigelegt, laugt die zehn bis 20 Zentimeter dicke Humusschicht rasch aus. Die Chance auf eine Regeneration des Waldes sinkt damit drastisch.

Erosion durch Entwaldung ist indes nicht auf die Tropen beschränkt. Auch in Mitteleuropa hinterläßt sie ihre Spuren. In den Alpen etwa donnern seit 1945 vermehrt Lawinen aus Schnee, Schlamm oder Steinen zu Tal, weil der schützende Bergwald aufgrund der Luftbelastung stirbt oder Skipisten und Seilbahnen weichen mußte.

Globale Folgen zieht die Zerstörung der „grünen Giganten“ nach sich, da diese außer Wasser und Nährstoffen auch Unmengen Kohlenstoff speichern. Holz und Rinde sind zu etwa 50 Prozent aus diesem chemischen Element aufgebaut. Die irdischen Wälder enthalten, so haben Wissenschaftler kalkuliert, fast ebensoviel Kohlenstoff wie die Atmosphäre in Form von Kohlendioxid.

Abholzung wie Brandrodung greifen dieses Reservoir an. Allein die Zerstörung der Regenwälder setzt jährlich etwa eine Milliarde Tonnen Kohlenstoff als CO₂ frei – fast ein Fünftel der insgesamt vom Menschen in die Luft geblasenen Menge dieses potenten Treibhausgases.

Der Club of Rome empfiehlt in seinem jüngsten, 1991 erschienenen Lagebericht Aufforstungen als Gegenmittel. Doch sogar wenn viele Länder diesem Rat folgen, kann zeitaufwendige Regeneration mit dem Schwund nicht Schritt halten. Die zum Beispiel in Portugal, Spanien, Brasilien und Indien weit verbreiteten Plantagen schnellwachsender Eukalyptus-Bäume erwiesen sich überdies als ökologischer Fehlschlag: Die Pflanzen saufen so viel Wasser, daß der Grundwasserspiegel sinkt. Und das Fallaub wird so langsam kompostiert, daß das Leben im Boden erstickt.

Kirsten Brodde

OZON

Harter Beschuß aus dem All

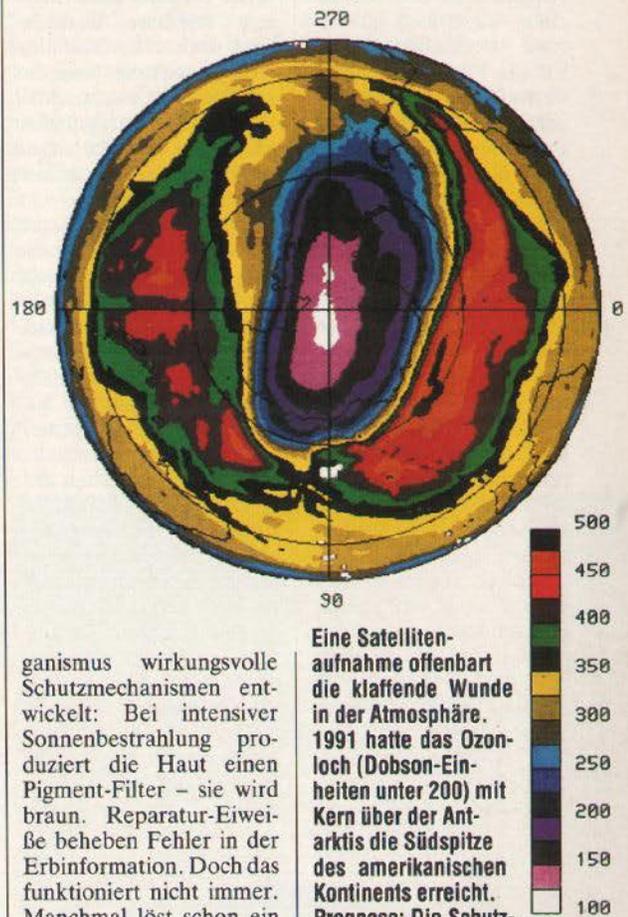
Im Oktober 1991 beschlich viele Einwohner der südchilenischen Stadt Punta Arenas ein beklemmendes Gefühl. Wie seit Mitte der achtziger Jahre regelmäßig bei Frühlingsbeginn, dünnte sich die schützende Ozonschicht über ihren Köpfen aus – um sich Wochen später wieder zu verdichten. Doch diesmal hatte das mit menschlichen Sinnen nicht wahrnehmbare Phänomen eine neue erschreckende Qualität: Der zarte Schutzschleier schrumpfte so stark, daß sich erstmals zu Recht behaupten ließ, das Ozonloch mit Kern über der Antarktis habe die Südspitze des amerikanischen Kontinents erreicht.

Die meisten Wissenschaftler bezweifeln mittlerweile kaum noch, daß vor allem die als Treibgase und Kühlmittel geschätzten Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW) den alljährlichen Ozonschwund verursachen. Die äußerst langlebigen Substanzen haben die komplizierte Chemie der Atmosphäre allerdings nicht nur über dem eisigen Kontinent auf den Kopf gestellt. Wie jüngste Messungen der Nasa belegen, droht das aus drei Sauerstoffatomen aufgebaute Ozon in der Stratosphäre auch in den mittleren Breiten drastisch zu schwinden.

Falls der Schutzschleier in zwölf bis 40 Kilometer Höhe zunehmend durchscheinend wird, befürchten viele Wissenschaftler katastrophale Folgen für Menschen, Tiere und Pflanzen. Ein Prozent weniger Ozon bedeutet, das hat Peter Fabian vom Institut für Bioklimatologie und Meteorologie der

Universität München berechnet, eine etwa zwei Prozent höhere UV-B-Intensität auf der Erde. Die energiereichen Strahlen können wichtige Zellbausteine schädigen: die Erbsubstanz Desoxyribonukleinsäure (DNA), Membranen oder Eiweißstoffe. Im Lauf der Evolution hat der menschliche Or-

tumsphase“, warnt Eckhard Wellmann, Botaniker an der Universität Freiburg, „wird bei einigen Nutzpflanzen zu spürbaren Ernteeinbußen führen.“ Ähnlich der menschlichen Haut bauen Landpflanzen einen – allerdings weniger anpassungsfähigen – Pigment-Schild auf. Und wie Humanzellen



Eine Satellitenaufnahme offenbart die klaffende Wunde in der Atmosphäre. 1991 hatte das Ozonloch (Dobson-Einheiten unter 200) mit Kern über der Antarktis die Südspitze des amerikanischen Kontinents erreicht. Prognose: Die Schutzschicht wird weiter schrumpfen

ganismus wirkungsvolle Schutzmechanismen entwickelt: Bei intensiver Sonnenbestrahlung produziert die Haut einen Pigment-Filter – sie wird braun. Reparatur-Eiweiße beheben Fehler in der Erbinformation. Doch das funktioniert nicht immer. Manchmal löst schon ein einziger DNA-Treffer einen Tumor aus.

Im Auftrag des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) haben Experten die gesundheitlichen Folgen des erwarteten UV-B-Bombardements kalkuliert. Demnach werden am Ende des Jahrhunderts weltweit zusätzlich 1,6 Millionen Menschen pro Jahr an grauem Star erkranken, 300 000 an Hautkrebs.

Die Strahlenattacke schadet dem Menschen auch indirekt – durch die Konsequenzen für die Landwirtschaft. „Schon eine zehnprozentige Steigerung der Strahlenbelastung während der Wachs-

verfügen Gräser und Kräuter über Reparaturenzyme für DNA-Fehler. Intensive UV-B-Strahlung hemmt indes, wie neuere Untersuchungen Wellmanns gezeigt haben, ausgerechnet ein wichtiges Ausbesserungsenzym. Je nachdem, wie viele Zellen defekt sind, wächst die Pflanze langsamer, wirft Blätter ab oder verdorrt. Die Widerstandskraft eines Gewächses hängt



Baumriesen, in Hunderten von Jahren gewachsen, fallen in Minuten

überwiegend von dessen genetischer Ausstattung ab. Getreidearten sind hart im Nehmen, einige Sojabohnensorten dagegen reagieren sehr empfindlich auf UV-Licht.

Auf Grund der unterschiedlichen Sensibilität der Flora könnte sich, vermuten Biologen, das regional jeweils typische Artenspektrum der natürlichen Vegetation gravierend verschieben. Folgen für die Fauna wären unabweichlich: Grünpflanzen bilden das wichtigste Fundament jeder terrestrischen Nahrungspyramide. Doch stärkere UV-Strahlung bedroht auch das Meeresleben. Ein Fünftel des weltweit wachsenden Phytoplanktons – jener pflanzlichen Miniorganismen, die am Anfang mariner Nahrungsketten stehen – gedeiht in den besonders durch UV-Strahlen belasteten Gewässern rund um die Antarktis.

Den meisten Algen und Kleinstlebewesen fehlen Schutzpigmente. Bei grellem Licht tauchen sie ab – aber oft nicht weit genug: Die schädlichen Strahlen können bei klarer Luft und ruhiger See bis 65 Meter tief in sauberes Wasser eindringen. Das UV-Bombardement macht viele der winzigen Lebewesen „blind“, und

„lahm“. Nach Untersuchungen des Erlanger Biologen Donat-Peter Häder werden bei Geißeltierchen der Art *Euglena gracilis* und manchen Mikroalgen jene Enzyme zerstört, die der Wahrnehmung von Licht dienen und Bewegungen steuern: *Euglena*, einer der empfindlichsten Organismen, verlor bei einer um 20 Prozent erhöhten Bestrahlung nach zehn Minuten die Orientierung. Nach einer Stunde schwebten die Winzlinge völlig regungslos im Wasser. Einmal angeschlagen, bleichten sie aus und gingen zugrunde.

Auch schon bei weniger intensiver UV-Bestrahlung zeigt Phytoplankton Wirkung: Das Vermögen, durch Photosynthese aus Kohlendioxid und Wasser organische Stoffe aufzubauen, geht drastisch zurück – die Kleinstlebewesen gedeihen schlechter. So war das Wachstum des Phytoplanktons im Meer rund um die amerikanische Palmer-Antarktis-Station im November 1988 um ein Viertel geringer als in den siebziger Jahren. Weniger Plankton bedeutet weniger Krebse und das wiederum kleinere Fischschwärme. Die Fischer von Punta Arenas müssen um ihre Fänge fürchten. *Rüdiger Braun*

DÜNGER

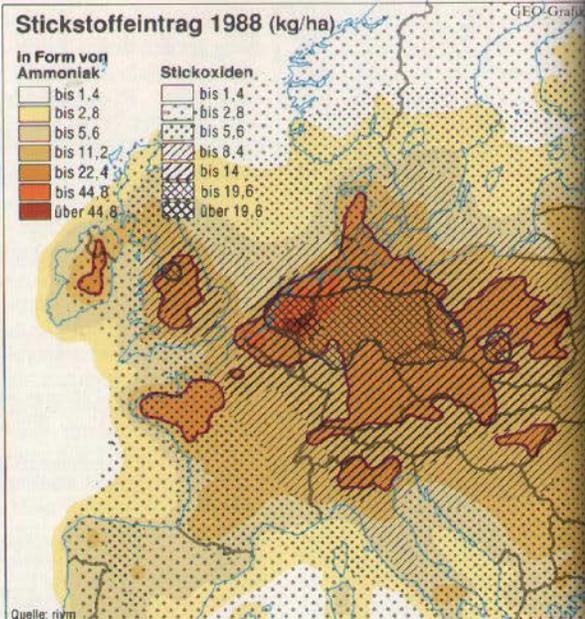
Armut durch den Überschuß

Aus solchem Stoff sind Sommerträume: in einer mit bunten Blüten übersäten Wiese liegen – umgaukelt von Schmetterlingen, umsummt von Bienen. Doch derart blühende Phantasien lassen sich mittlerweile nur noch schwer realisieren. Denn an Kräutern und Krabbeltieren reiches Grünland ist selten geworden in Mitteleuropa.

Die paradoxe Erklärung: Viele Böden enthalten Nährstoffe en masse – sie sind eutroph, wie Biologen sagen. Und die meisten Pflanzen, die das Erscheinungsbild faszinierend vielfältiger Blumenwiesen prägen, lieben es mager. Ein Überangebot vor allem an Stickstoff und die dadurch ausgelösten Veränderungen in der Bodenchemie lassen nicht nur die sehr artenreichen Halbtrockenrasen schwinden, sondern bedrohen eine Reihe weiterer einzigartiger Biotope: trockene Heideflächen, feuchte Streuwiesen, moosgepolsterte Hochmoore.

Nach Ansicht von Hermann Ellenberg, Ökologe an der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft in Hamburg, „ist die Eutrophierung allmählich zum gravierendsten Problem für den Naturschutz in Mitteleuropa geworden“. Die Rote Liste der in Deutschland gefährdeten Flora zeigt, weshalb: Drei Viertel der in den Katalog aufgenommenen Arten können sich nur auf stickstoffarmen Standorten behaupten. Bei besserer Ernährungsbasis überwuchern schneller und höher wachsende Wettbewerber die „lichtbedürftigen Hungerkünstler“.

Verursacher der Eutrophierung ist in erster Linie die Landwirtschaft: Bau-

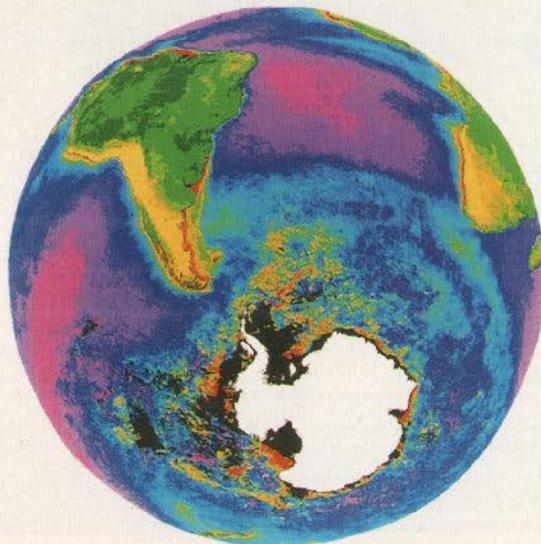


In Form von Stickstoffverbindungen regnet Dünger heutzutage regelrecht vom Himmel. Die Linien begrenzen Regionen, in denen Waldschäden durch Nährstoffe aus der Luft zu erwarten sind

ern streuen allzu großzügig Mineraldünger auf die Felder und leiten bedenkenlos die in der Viehmast anfallende Gülleflut auf Äcker und Grünland. Die Pflanzen dort können den Nährstoffschwall längst nicht mehr verarbeiten. Der größte Teil des Überschusses bleibt zunächst im Boden, ein anderes Quantum wird davon geschwemmt – auf angrenzende Flächen, in Bäche, Flüsse und Meere. Etwa ein Drittel entweicht, so schätzen Wissenschaftler, in die Luft. Sogar in Regionen fernab intensiver Agrarwirtschaft können Nährstoffe vom Himmel regnen. Rund um die Zentren der Mastviehhaltung in Nordwestdeutschland und Holland sind die Niederschläge allerdings viel nährstoffhaltiger als im Süden der Republik (siehe obige Karte).

Felder, Wiesen und Weiden sind indes nicht die einzigen Quellen des Düngerdunstes. Kraftwerke, Autos und Heizanlagen blasen Unmengen Stickoxide in die Atmosphäre. Lange Zeit haben Wissenschaftler diese schädliche Luftfracht unterschätzt. Am Beispiel Ostsee wird das erschreckende Ausmaß deutlich: Auf dem Luftwege gelangen jährlich mindestens 400 000 Tonnen Stickstoff in dieses Meer – etwa die Hälfte des Gesamteintrags an diesem Náhrelement. Als Folge wuchern Algen ungebremst.

Viele der von Eutrophierung bedrohten Lebensräume sind menschengemacht. Heideflächen etwa waren auch deshalb chronisch mager, weil Bauern sie regelmäßig „abplaggen“: Sie schälten die oberen Bodenschichten ab und nutzten sie als Stallstreu. Mit den Plaggen transportierten sie auch die im Humus gebundenen Nährstoffe ab. Extensiv genutztes Grünland wie Trockenrasen und feuchte Streuwiesen wurden nie gedüngt, aber jährlich gemäht und verarmten dadurch auf Dauer ebenfalls an den wichtigen Mineralien. Ohne Eingriff des Menschen hätte die natürliche Sukzession ihren Lauf genommen, wäre



Chlorophyll-Verteilung in der südlichen Hemisphäre. Ozean: von Rot (große Dichte) über Gelb, Blau bis zu Rosa (geringste Dichte). Land: von Dunkelgrün bis Hellgelb



Paradies für Quallen: eutrophierte Nordsee

dort wieder Wald entstanden. Schon eine geringe zusätzliche Nährstoffdosis kann die komplizierten Gefüge dieser Ökosysteme umkrepeln. Akribisch verfolgten Biologen der Universität Freiburg zum Beispiel den Wandel von Magerrasen in fettere Glattgraswiesen: Typische „Hungerleider“ gingen deutlich zurück, andere Kräuter und Gräser wuchsen dichter und höher. Dies hat unmittelbare Konsequenzen für die Tierwelt: Arten, die es warm und trocken lieben, fühlen sich in dem schattigen und feuchten Kleinklima nicht mehr wohl – etwa

Heuschrecken, aber auch Reptilien wie Zaun- und Smaragdeidechsen. Der auffällige Schwund der Blütenpflanzen wird besonders Schmetterlingen zum Verhängnis, die Halbtrockenrasen scharenweise bevölkern. Insgesamt 56 tagfliegende Arten zählten Zoologen auf einer 4000 Quadratmeter großen, extensiv genutzten Fläche am Kaiserstuhl. Die bunten Insekten sind oft ausgeprägte Spezialisten: Sie können nur aus Kelchen Nektar saugen, auf deren Form und Größe ihr Rüssel zugeschnitten ist. Außer als Nahrungsquelle dienen manchen Faltern Blumen

auch als Rendezvous-Plätze. Die Bluttröpfchen beispielsweise finden paarungsbereite Partner meist an den bevorzugten blau- bis rotvioioletten Landstellen.

Der Düngerregen bringt Naturschützer in die Zwickmühle. Wenn sie nach der gängigen Philosophie eine artenreiche Wiese oder ein Hochmoor-Relikt sich selbst überlassen, werden die erhaltenswerten Biotope über kurz oder lang ihren Charakter verändern. Um die Artenverarmung zu bremsen, glauben sie mit Hacke, Schaufel und Sense eingreifen zu müssen. Sie mähen zum Beispiel gefährdete Schutzgebiete, um dem Ökosystem die wachstumstimulierenden Mineralien zu entziehen. Durch ausgeklügeltes Management läßt sich jährlich, schätzen Ökologen, eine Belastung von 25 Kilogramm Stickstoff pro Hektar zumindest teilweise kompensieren. Doch die „Abmagerungskur“ hat ihre Tücken: Am effektivsten wäre die Mahd eines Magerrasens im Juni, wenn die Vegetation sattgrün gedeiht. Genau dann allerdings blühen die Orchideen. Die aber sollen geschützt und nicht geschnitten werden.

Rüdiger Braun

Manche sind dem Gift gewachsen

Sogar über diese Schweinerei wuchs buchstäblich Gras: Nahe der kanadischen Stadt Sudbury hatten die giftigen Abgase einer Nickelhütte in den sechziger Jahren auf Hunderten von Quadratkilometern pflanzliches Leben ausgelöscht. Die Erde war stocksauer und von Schwermetallen durchdrungen. Doch von 1972 an keimte in der Industrielandschaft zartes Grün. Eine äußerst widerstandsfähige Variante der Rasenschmiege, einer Süßgrasart, füllte das Vakuum. Bald bedeckte ein dichter Pflanzenteppich das vormals öde Terrain.

Nicht überall offenbart sich die Verwüstung so deutlich wie bei Sudbury. Doch mit schädlichen Spuren unserer industriellen Tätigkeit müssen Flora und Fauna sogar in abgelegenen Regionen des Planeten fertigwerden. 1,5 Milliarden Tonnen Erze, Kohle und Öl werden jährlich aus der Erdkruste zutage gefördert und in den weitverzweigten Kreislauf der Metall- und Chemie-Industrie gespeist sowie zur Energieversorgung verbraucht.

Was abfällt oder nach Gebrauch übrigbleibt, belastet – fein verteilt – die Biosphäre: jedes Jahr weltweit allein 3500 Tonnen Quecksilber, mehr als 300 Millionen Tonnen organischer Verbindungen, davon eine Million Tonnen Pestizide. Viele Tier- und Pflanzenarten gehen in der Schadstoffflut zu-



Möwen, die sich aus Müllhalden ernähren, können sich einigermaßen an die verseuchte Umwelt anpassen. Sie verfügen über ein biochemisches Entgiftungssystem

grunde. Andere hat die erfinderische Evolution mit Mechanismen ausgestattet, dank derer sie sogar stärksten Umwelt-Stress verkraften. Trickreich nutzen etwa Mikroorganismen eine chemische Eigenart von Schwermetallen zu deren Entschärfung: Cadmium, Kupfer oder Quecksilber verbinden sich mit dem nach faulen Eiern riechenden und selbst giftigen



Bienen-Ragwurz



Frühlings-Adonisröschen



Heidenelke

Wiesenblumen, die es mager mögen, werden von Gräsern geradezu erstickt, die von der Überdüngung des Bodens profitieren



Hundswurz



Gewöhnliche Kutschelle

Ob aus brennenden Ölquellen oder rauchenden Industrieschloten, Abertonnen unterschiedlichster Giftstoffe gelangen fortwährend in die Biosphäre und belasten Flora und Fauna. Manche Arten erweisen sich jedoch als Überlebenskünstler



Schwefelwasserstoff zu harmlosen Salzen. Mit einer solchen Schwefelwasserstoff-Abwehr verhindern etwa Faulschlamm-bakterien, daß Schwermetalle überhaupt in die Zelle eindringen.

Andere Mikroorganismen profitieren sogar von Ausscheidungen der Industriegesellschaft. Ausgerüstet mit passenden Enzymen können sie zum Beispiel Mineralöl „verdauen“: Sie spalten die langen Ketten- und komplizierten Ringmoleküle in Bruchstücke. Die aus Kohlenstoff aufgebauten Fragmente dienen ihnen dann als „Futter“ für ihren Zellstoffwechsel.

Solche „Ölfresser“ nähren bereits einen stattlichen Industriezweig. Unternehmen sanieren mit diesen hilfreichen Mikroorganismen ölhaltige Altlasten, die im Boden unter Tankstellen oder stillgelegten Chemie-Anlagen das Grundwasser gefährden.

Auch Algen können giftige Schwermetalle bereits im Vorfeld abwehren. Sie sondern organische Moleküle ab, die sich als Schadstofffänger an die Metalle heften. Der sperrige Komplex vermag die Zellwand nicht mehr zu passieren. Wenn aber doch einmal Schadstoffe eindringen, fangen biochemische Sonden sie ab und deponieren sie in der Zellwand oder im Zellkern. Wie rasch widerstandsfähige Grünalgen sich durchsetzen können, belegen eindrucksvoll Laborversuche mit *Scenedesmus*- und *Chlorella*-Spezies: Biologen züchteten die Wasserbewohner in Lösungen mit wachsendem Gehalt von Nickel- und Kupfersalzen. Die nach acht Generationen überlebenden Algen hielten doppelt so hohe Schadstoff-Konzentrationen aus wie ihre Vorfahren.

Höhere Pflanzen blocken, wie Wissenschaftler herausgefunden haben, Gift-Attacken mit mehreren Strategien ab. Bei einigen erschweren Veränderungen der Zellmembran-





eigenschaften das Eindringen. Andere, darunter einige Gräser, bauen Schwermetalle wie Blei oder Zink in Zellwände ein und ziehen sie damit aus dem Verkehr. Da die vor allem über den Boden angreifenden Schadstoffe bereits in den Pflanzenwurzeln abgewehrt werden, bleibt der oberirdische Rest eines Gewächses weitgehend unbelastet. Meist beschränkt sich derart außergewöhnliche Toleranz allerdings auf einen Schadstoff. Wie die in Sudbury gedeihende Rassen-Schmiele gleich mit mehreren Umweltgiften fertig wird, ist Botanikern nach wie vor ein Rätsel.

Anpassungen an die verseuchte Umwelt hat auch die Tierwelt parat. Bei Lachmöwen entdeckten Wissenschaftler ein biochemisches Entgiftungssystem: Eine Kette von Enzymen zerlegt organische Schadstoffe wie Pestizide in harmlose Bruchstücke. Bei Tieren, die sich ihr tägliches Menü aus Müllhalden im Binnenland herausklauben, arbeiten diese Abbaumechanismen effektiver als bei weniger belasteten Artgenossen an der Küste.

Drastisch gewandelte Lebensbedingungen rufen aber nicht nur zelluläre Effekte hervor. Manche Organismen ändern ihr Verhalten – wie die Wasserassel der Spezies *Asellus aquaticus*. Tiere in einem verschmutzten Bach brachten weitaus weniger, dafür größere Nachkommen hervor als Artgenossen in sauberen Gewässern. Die Hypothese der Forscher: Ob des schmälern Nahrungsangebots im Schmutzwasser haben die stattlicheren Varianten der Jungkrebse bessere Überlebenschancen – sie kommen bereits robuster auf die Welt, und sie müssen das knappe Futter mit weniger Konkurrenten teilen. *Bernhard Bauske*

Obwohl viele Seen in Schweden derart übersäuert sind, daß kein Fisch mehr darin lebt, gelingt es einer Seerosen-Art, in einem solchen Milieu zu existieren. Am Boden saurer Gewässer können Teppiche von blaugrünen Algen wuchern, die sich durch aufsteigende Sumpfgase aufwölben

In Ökologiestationen steht »Natur« auf dem Stundenplan. Dort lernen viele Großstadt-Kinder



VON SUSANNE PAULSEN · FOTOS: JÖRG WISCHMANN

Vierundzwanzig Drittklässler, fröhlich und in Wohlstand aufgewachsen, schauen einen Apfel an. „Da ist Gift drin“, ruft Marco voller Stolz. Annelore Zeyn-Risch, Pädagogin an der Ökologiestation Bremen, schweigt. Kein Erwachsener läßt sich gern daran erinnern, daß neben der heilen Kinderwelt eine kaputte existiert. Doch in einem Umweltzentrum passiert das natürlich Tag für Tag.

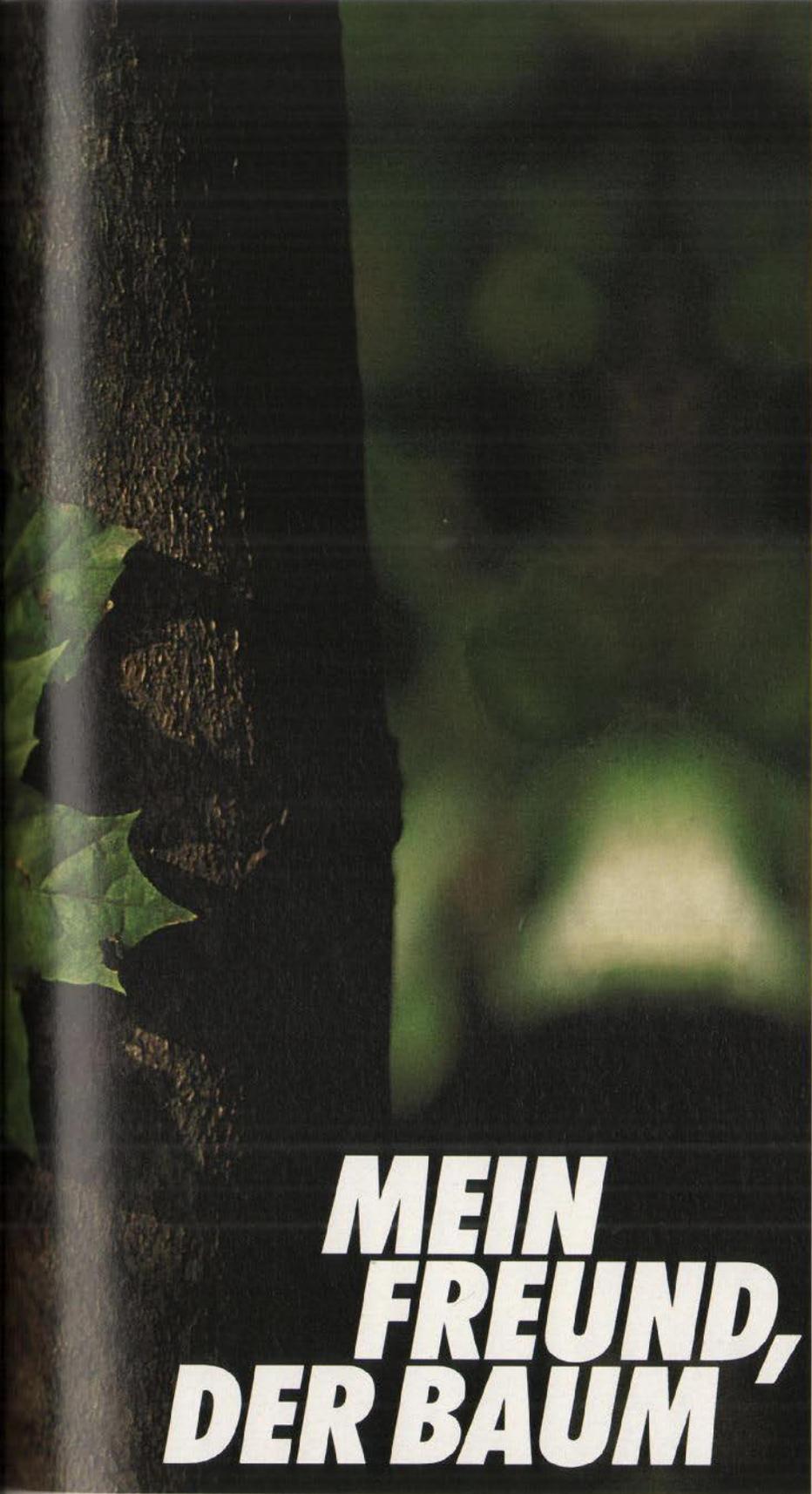
Der Apfel glänzt. „Ungesund ist der“, sagt Fatma und lacht, als hätte sie vergessen, daß sie eben selbst einen gegessen hat. Sandra ergänzt „schädlich“ und „gespritzt“. Marco murmelt wieder was von Gift. Der Himmel ist blau, das Gras ist grün, Wälder kränkeln, und manche Früchte schaden der Gesundheit. Selbstverständlichkeiten heutzutage.

Gut 40 Prozent der deutschen Sechsbis Vierzehnjährigen nehmen an, daß es, wenn sie erwachsen sind, um die Erde schlechter bestellt sein wird als heute. Die meisten begründen ihre Einschätzung mit dem Hinweis auf Umweltverschmutzung und Naturzerstörung. Sandra könnte zu diesen Pessimisten gehören: Sie kauert auf ihrem Stuhl, als lasteten Säcke voller Giftobst auf ihren Schultern.

„Ein, zwei Supermarkt-Äpfel pro Tag machen natürlich nicht krank“, tröstet Annelore Zeyn-Risch. Dann zeigt sie ungespritztes Obst und erzählt von Eulen, Mäusen und Schmetterlingen in giftfreien, „naturnahen“ Gärten. Sie will die Kinder wappnen für das Leben mit der Öko-Krise. Nur zu gern gäbe sie ihnen das Rüstzeug mit, um unsere Umweltprobleme auch zu lösen.

Solche Träume haben nicht nur Pädagogen. Seit über zehn Jahren betonen Politiker und Wissenschaftler, wie wichtig es sei, Kindern das rechte Umweltverständnis zu vermitteln. Allein Erziehung, schrieb beispielsweise der „Club of Rome“ 1979, könne die Veränderungen herbeiführen, die der Menschheit das Überleben sichern. Die bundesdeutschen Kultusminister setzen große Hoffnungen in den Schulunterricht. Sie verankerten 1980 die „Umwelterziehung“ in den Lehrplänen – allerdings nicht in einem Fach, sondern als „fächerübergreifendes Prinzip“, das „den gesamten Unterricht durchdringen“ sollte.

Erwünscht sind alle Bildungsanstrengungen, die im weitesten Sinne „die Umwelt“ zum Thema haben – Einführungen in den Bio-Obstbau, Jagd nach Köcher-



MEIN FREUND, DER BAUM

fliegen-Larven, die sauberes Bachwasser anzeigen, oder Debatten über das Ozonloch. Die Lehrer sollen nicht nur ökologische Zusammenhänge erklären, sondern auch die Lebenshaltung der Schülerinnen und Schüler beeinflussen: Den Kindern, schreiben die Minister, müsse die Bereitschaft erwachsen, „Naturgüter verantwortungsvoll zu nutzen“ und „Gefährdungen der Lebensgrundlagen abzuwehren“.

Die Schule hat diese Erwartungen bisher nicht erfüllt. Auch wenn engagierte Lehrer mit ihren Schülern Ökoteiche anlegen und Mülltrennung oder Wasserverschmutzung auf den Stundenplan setzen, werden die meisten Kinder eher selten mit der Umweltproblematik konfrontiert. Das Kieler „Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften“ zählte 1988 durchschnittlich acht Umwelt-Stunden pro Jahr in der Grundschule und 20 in den höheren Klassen. Die Lehrer behandeln das Thema vorwiegend in Sachkunde, Biologie, Chemie und Geographie. Doch normaler Schulunterricht, klagen die Experten, vermittele nur wenig „umweltrelevantes Wissen“. Er helfe den Kindern nicht, positive Gefühle zur lebendigen Natur aufzubauen. Nur äußerst selten wecke er die Bereitschaft, sich aktiv für den Schutz natürlicher Lebensräume einzusetzen.

Als Gegenmodelle zur schwerfälligen Institution Schule verstehen sich sogenannte Umweltzentren. Diese auf „Umweltbildung“ spezialisierten Schulungsstätten für Kinder und Erwachsene sind meist in den achtziger Jahren entstanden, in der Hochzeit der „grünen“ Bewegung. Viele wurden zunächst größtenteils von kleinen oder großen Vereinen getragen. Heute beteiligen sich häufig Gemeinden und Landesbehörden mit – meist knappen – Zuschüssen an der Finanzierung.

Die Schule vermittelt nur wenig »umweltrelevantes« Wissen

Viele der über 200 deutschen Umweltzentren bieten Schülern Vormittage „mit Erlebnischarakter“ an – „Schultage“ im Freien, die ausnahmsweise nicht in Fachstunden zerstückelt sind. Die Mitarbeiter entwickeln Konzepte, wie Umweltwissen und -gefühl besser zu vermitteln seien. Da sie nur einen Bruchteil aller Schüler direkt erreichen, geben sie ihre Erfahrungen in Lehrer-Fortbildungsveranstaltungen weiter. Darüber hinaus verschaffen sie „aktionswilligen“ Kindern oft Kontakte zu den lokalen Jugendgruppen der verschiedenen Umweltorganisationen.

Die Ökologiestation Bremen, an der Annelore Zeyn-Risch unterrichtet, gehört zu den größeren Zentren. Doch selbst hier müssen interessierte Schulklassen Wartezeiten bis zu drei Monaten in Kauf nehmen. Der Run auf die Umweltzentren zeigt, daß sehr viele Lehrer Anre-

gungen für guten „Öko-Unterricht“ suchen. Dennoch werten manche Umwelt-erzieher die Tendenz, Klassen tageweise an Spezialisten abzugeben, als Indiz für eine gewisse Hilflosigkeit im Umgang mit dem brisanten Thema. Dabei läßt sich der – zumindest für jüngere Schüler – wichtigste Programmpunkt im Repertoire der Umwelt-Pädagogen leicht verwirklichen: Naturerfahrung halten viele Experten angesichts des von Technik geprägten Alltags heute für viel wichtiger als ausgefeilten theoretischen Unterricht.

Annelore Zeyn-Risch führt die Drittklässler nach der kurzen Einführung einfach nach draußen. Sandra vergißt ihre Beklemmung, als sie im Garten Obst auf-

lesen und pflücken darf. Auch ihre Mitschüler sind begeistert. Drei Jungen stoßen mit der Harke die „Gravensteiner“ von den Ästen, so grob, daß es der Gärtnerin graust. Die anderen sammeln. Ralf findet einen Matschpfel und schleudert ihn zurück ins Gras. Karin schiebt eine Schnecke mit dem Zeigefinger von ihrer Birne. Später schreitet Hamid stolz wie ein Pfau hinter der Schubkarre durch den Wald. Er transportiert den kleinen Obstberg zur Most-Pressen.

Nur wenigen Kindern ist die lebendige Welt derart fremd wie den Schülern aus der Hochhaussiedlung Osterholz-Tenever, die einen Kollegen von Annelore Zeyn-Risch so erschreckt haben: Als er

Wo die Natur selbst Lehrerin ist, schwinden die Berührungs



Frei-Stunde: Im Schulbiologiezentrum Leverkusen lernen die Kinder auf der grünen Wiese



Handarbeit: Durch Tasten und Reiben erkennen die Schüler »ihren« Baum

mit ihnen in den Obstgarten gegangen war, blieben sie stocksteif stehen. „Das sind Äpfel, die kann man pflücken“, mußte er ihnen erklären, bevor sie ein wenig aus ihrer Starrheit erwachten. Aber auch viele andere Jugendliche haben nie erlebt, was Garten, Wald und Wiese einem Menschen bedeuten können.

Unerfahrenheit gebiert Berührungsangst, leicht zu diagnostizieren am sicheren Abstand zu krabbelnden Käfern oder faulenden Früchten, an spitzen Fingern und leisem Ekel, an der übergroßen Furcht, daß Erde den Anorak verschmutzen könnte. Doch was soll ein Asphalt-Kind, das gerade noch den Sand in der Buddelkiste kennt, auch mit Waldboden

anfangen? Es wäre ein Zeichen mangelnder Vorsicht, wenn es keinen Abstand zu Hundertfüßern oder Asseln hielte. Daß es als Erwachsener wahrscheinlich nicht mit dem Herzen dabei ist, wenn es gilt, Böden vor Umweltgiften zu bewahren, liegt nahe.

Deshalb lassen viele Umwelterzieher erst einmal alle Theorie fallen. Spielend sollen besonders die kleineren Kinder ihre Scheu vorm Anfassen verlieren. Diese Form des Umwelt-Unterrichts – gezielter als etwa Obst sammeln oder der Waldspaziergang – wurde in den sechziger Jahren in den USA entwickelt.

Auch Fritz Heidorn, der sein Grüppchen trotz Nieselregens durch den Bu-

chenhain der Ökostation führt, verwendet Elemente dieser „Naturerlebnispädagogik“. Vom Waldschrat hat der Pädagoge seinen Schutzbefohlenen erzählt und sie in das Geheimnis eingeweiht, wie man Nesseln anfaßt, ohne sich zu brennen. Sonja, Peter und die anderen folgen ihm neugierig zu den „Fühlkästen“. Die sind in Kinderkopfhöhe auf Holzpfehlen befestigt, sehen aus wie Vogelhäuser für kleine dicke Eulen und sollen eine Fähigkeit schulen, die durchweg zu verkümmern droht: aufmerksames Tasten.

Jeder kommt dran, darf sich die Augen verbinden und von einem anderen von Kasten zu Kasten führen lassen. Nacheinander schieben die Kinder ihre Hände in die Fühl-Löcher, beherzt oder zurückhaltend je nach Vertrauen zur Welt und zur Begleitperson. Erst bröseln sie Erde zwischen den Fingern weg und zerfällt. Knochentrockene Buchenblätter kratzen und knistern, vermodernde schmiegen sich weich an die Handfläche. Ein Stück Plastik im letzten Kasten beendet das Fühl-Spiel: Raschelt anders, rottet nicht. Fritz Heidorn läßt sich nicht anmerken, ob ihm Kommentare zum Müllproblem auf der Zunge brennen.

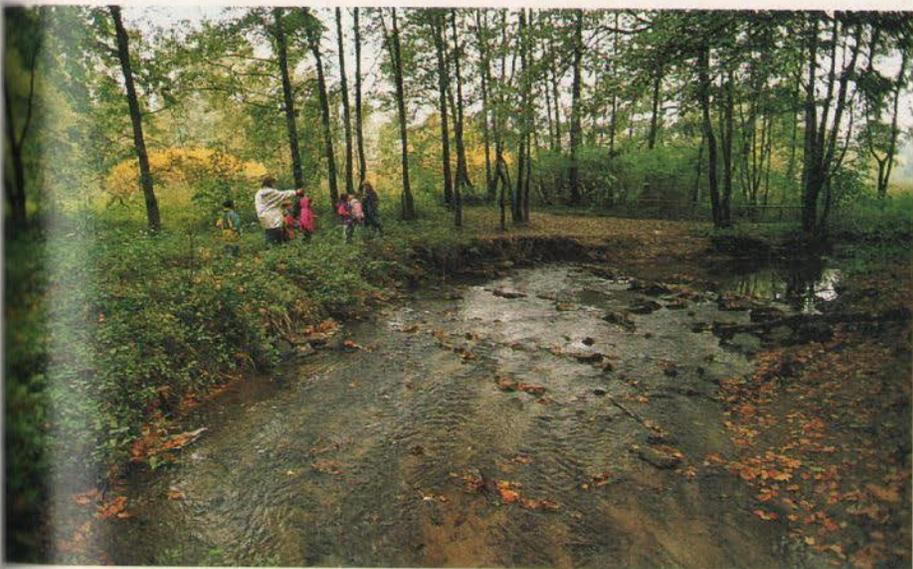
Beim »Ausflug einer Raupe« werden auch Rabauken ruhig

Viel zu viele Erwachsene, so eine Erkenntnis von Umweltpädagogen, ziehen aus ihrer berechtigten Sorge um die Umwelt die falsche Konsequenz: Sie übertreiben. Sie knallen Abc-Schützen heute Horrorgeschichten über den abgeholzten Tropenwald an den Kopf und ertränken sie morgen in Arbeitsblättern über Giftverklappung. Beim Waten im Bach warnen sie vor Schwermetallen. Sie halten den Kleinen Moralpredigten über umweltgerechten Schultaschen-Inhalt, bis einige fälschlich annehmen, ihre geliebten Duft-Radiergummis seien schuld an der Misere der Welt.

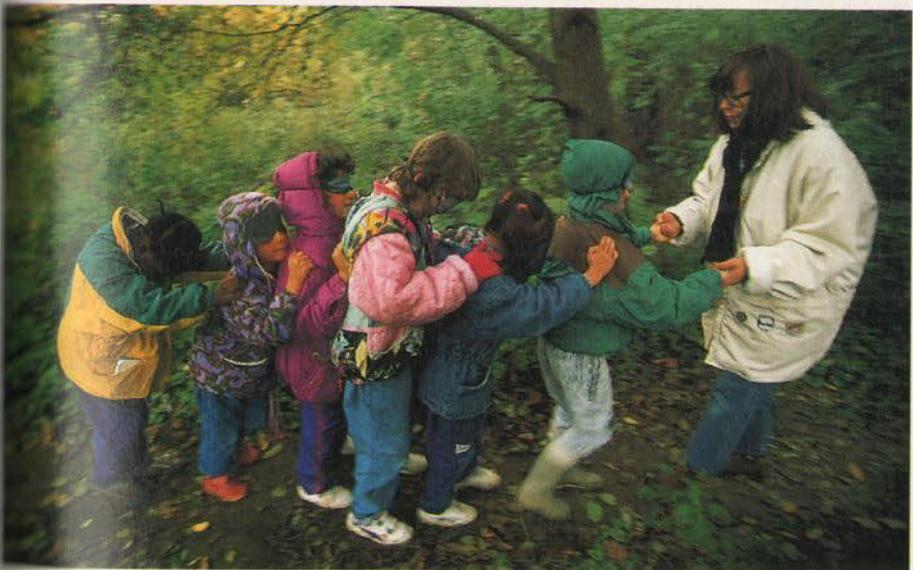
Von einer Beschränkung allein auf das handgreifliche Erleben von Natur hält Heidorn allerdings auch nichts. „Was nützt der schönste Schulgarten“, sagt der Pädagoge, „in dem die Kinder wegen des radioaktiven Fall-out von Tschernobyl das Gemüse nicht ernten dürfen?“ Die Umwelterziehung der neunziger Jahre stehe nun mal vor der Herausforderung, die unsichtbaren Risiken der modernen Industriegesellschaft – Strahlung oder Schadstoffe in Lebensmitteln – für Heranwachsende verständlich zu machen. Letztlich, meint er, müßten Lehrer sehr genau überlegen, was sie Kindern intellektuell und gefühlsmäßig zumuten können.

Als nächstes legen alle Kinder Augenbinden an und spielen „Ausflug einer Raupe“. Beim Hintereinander-Aufstel-

ängste der Schüler schnell



Lernfluß: Statt langweiliger Erklärungen zeigen die Lehrer den Bach einfach vor



Gemeinschaftskunde: Mit verbundenen Augen tippelt eine Kinder-Raupe durch den Wald

len quietschen und kreischen sie, doch als sie einander die Hände auf die Schultern legen, werden sie ruhig. Die Raupe tippt auf 18 Kinderbeinen durchs Unterholz, mit dem Pädagogen als sehendem Kopf. Sie schleppt sich einen Erdbuckel hinauf, der Sonja „hoch wie ein Berg“ vorkommt, schrammt an einem Fichtenstamm entlang, matscht durch ein Schlammloch und kehrt zurück auf festen, federnden Boden. „Die Kinder“, steht in der Spielanleitung, „sollen dabei versuchen, soviel wie möglich von der Umgebung zu erfassen.“

Umwelterzieher müssen sich manchmal vorwerfen lassen, sie mißbrauchten die Natur als „glucksende und zwitschernde Heilanstalt“. Jutta Röthinger vom Schulbiologiezentrum Leverkusen kann über solche Kritik nur lachen. Für sie sind Spiele – inszeniert in und mit der Natur – einfach ein Mittel, um möglichst viele Schüler zu faszinieren. Begeisterung erleichtert den Zugang zu Tieren, Pflanzen, Wasser oder Erde. Wenn die Spieler danach anfangen, im Park nach Wildnis Ausschau zu halten: um so besser.

Die engagierte Umweltpädagogin macht aus ihrer Entrüstung über die „supersterile Welt“ keinen Hehl. Sie schimpft über unsere Städte, in denen viele Kinder „ohne Bezüge zu Wasser und Dreck“ aufwachsen. Daß manche die Zitronenmelisse „Spüli-Pflanze“ nennen, findet sie gar nicht komisch.

Erwachsene müssen oft mit Tricks geködert werden

Gut für Jutta Röthinger, daß fast alle Kinder bereit sind, auch Nie-Gedachtes auszuprobieren. Sie lassen sich von ihren Klassenkameraden in die Laubdecke des Waldbodens eingraben und Kinn, Mund, Nasenrücken und Stirn mit Stöckchen bedecken, bis nur noch die Augen durchs „Erdfenster“ blicken. Sie versuchen sogar einen Purzelbaum bergauf. Danach wissen sie, wie mühevoll sich Fichten am Steilhang halten.

Die meisten Erwachsenen sind da ganz anders. Jutta Röthingers Kollegin Andrea Böcker lächelt ein wenig kläglich, als sie über eine Gruppe von Lehrerinnen und Lehrern berichtet, die sie über Umwelterziehung informieren wollte. Dabei hatte Frau Böcker ihnen nur das „Baumbegegnungsspiel“ vorgestellt und berichtet, daß es ihr selbst „einen anderen Zugang zu ihrer Birke“ eröffnet hätte. Sich mit verbundenen Augen zu einem Baum führen lassen und ihn abtasten, lautet die Spielregel, ihn reiben und umfassen, so daß man ihn später wiederfinden kann. Andrea Böcker findet das Spiel „toll“ und erinnert sich heute noch deutlich an die weichen und harten Stellen in der Rinde. Daß sie die Gruppe

nicht zur Baumbegegnung überreden konnte, bedauert sie. Inzwischen versucht Frau Böcker, Erwachsene mit einem Trick zu ködern, wenn sie sich gegen die Naturerfahrungsspiele sperren. Sobald sie Widerstand spürt, schlägt sie zum Beispiel eine „Sensibilisierung der Sinne“ vor, statt „dem Baum zu begegnen“. Und wenn die Teilnehmer dann doch noch weich werden und eine Eiche, Buche oder Birke in den Arm nehmen, freut sie sich über ihren Erfolg.

Aber dürfen Menschen sich überhaupt noch gönnen, Naturgenuß zu kultivieren? „Oh, diese Illusion“, seufzt eine Spaziergängerin, die das Gelände des Schulbiologiezentrums Leverkusen

durchstreift. Sie verweilt ein wenig auf der Brücke und kommt sich vor „wie im Urwald“, als sie hinunter in den zugewachsenen Graben schaut. Doch sobald sie wieder aus dem Schatten der Bäume tritt, wird sie ihre Vorstellung fallenlassen. Das Gelände, wo Andrea Böcker, Jutta Röthinger und Kollegen für ihre Schulklassen spannende Spiele organisieren, ähnelt eher einem riesigen Garten mitten in der Stadt. Es ist wunderschön, aber durchkonstruiert bis ins Detail.

Jutta Röthinger kommt sich manchmal vor wie eine Museumspädagogin. Wenn, wie so oft, mehrere Klassen gleichzeitig betreut werden, bleibt zum Toben nicht

»Naturerlebnis-Pädagogik« soll bei Kindern und Erwachsenen



Arbeitsblätter: Frische und vertrocknete Pflanzenteile zeigen die Vielfalt des Waldes



Kunsterziehung: Aus einem Rindenabdruck und zwei Blättern entsteht das Bild einer Buche

viel Platz. Zwischen Hoch-, Hügel- und Frühbeeten, Demonstrationsbiotopen, „wilden“ Muster-Vorgärten und Pflanzen-Schonflächen kann man sich die Zukunft ausmalen: Naturnaher Spiel-Raum wird Mangelware. Dazu wird sicher das Bevölkerungswachstum beitragen, die Wasserverschmutzung, der Müllberg, das Waldsterben, vielleicht die Klimakatastrophe. Was werden später jene Erwachsene fühlen, die jetzt als Kinder Natur noch kennen- und liebenlernen: Werden sie sich nicht angstvoll gelähmt in das scheinbar Unvermeidliche fügen?

Nicht unbedingt, sagen Wahrnehmungspsychologen. Denn Angst kann mitunter auch Flügel verleihen. Ihre Er-

kenntnis gewannen sie auf der Suche nach Beweggründen für die Mitarbeit in Bürgerinitiativen. Die verbreitete Annahme, daß genügend „umweltrelevantes“ Wissen quasi von allein zur Tat führe, erwies sich dabei als falsch. Bewußte Zukunftsangst dagegen scheint den Sprung vom Wissen zum Handeln zu erleichtern. So fühlen sich Menschen, die in Umweltschutzgruppen aktiv werden, sehr viel stärker durch zukünftige Entwicklungen bedroht als Inaktive.

„Angst“, sagt auch der Bremer Umweltpädagoge Hans Stuijk, „hat im Grunde eine lebensrettende Funktion.“ Natürlich dürften die Älteren Jüngere nicht mit „Katastrophenpädagogik“ verschrecken.

Sie müßten im Gegenteil Kindern helfen, reale von irrealen Ängsten zu trennen. Wenn also eine Neunjährige die Kuwaiter Ölquellen auf dem Fernsehschirm brennen sieht und sich sorgt, weil der Qualm den Himmel schwärzt: Weiß sie überhaupt, daß über ihrem Spielplatz morgen noch die Sonne scheinen wird?

Mehr geben als das Geschenk geteilten Schreckens

Doch weder ehrlich noch sinnvoll sei es, Kindern ihre Furcht vor Umwelttrisen wegzureden. Engagierte Erzieher sollten vielmehr ihre eigenen realen Ängste mit Jugendlichen teilen. Dazu müßten sie allerdings erst einmal mit „ihrem Ich umgehen lernen“ – eine, so Stuijk, „bisher völlig vernachlässigte Qualität des Lehrer-Seins“. Kein Wunder: Wer kindliche Ängste wirklich mitfühlen und auffangen will, muß die bequeme Illusion der eigenen Angstfreiheit aufgeben.

Viele Umweltpädagogen wollen Kindern mehr geben als Naturerlebnis und das Geschenk geteilten Schreckens. Wenn etwa die Bremer Grundschullehrerin Dorothee Helm mit ihrer Umwelt-Arbeitsgemeinschaft den Supermarkt durchkämmt, will sie den Schülern auch konstruktiven Umgang mit Andersgesonnenen beibringen. Auf der Suche nach dem umweltschädlichsten Produkt sind die Jungen und Mädchen hin- und hergerissen. Thomas plädiert für „Air fresh lufti“. Lars hat die Silberfischchen-Köderbox im Visier: „Tötet Ameisen, das Scheißzeug“. Erst das Styropor-verpackte Frischfleisch eint sie. Pappe, verständigen sie sich, wäre besser. Mit ihrer Lehrerin besuchen sie den Marktleiter. Höflich unterbreiten sie ihm ihren Vorschlag. Gerührt verspricht er, die Anregung aufzunehmen. Die Kinder sind stolz, und Dorothee Helm freut sich über ihren Schritt auf dem Weg zu mündigen Verbrauchern.

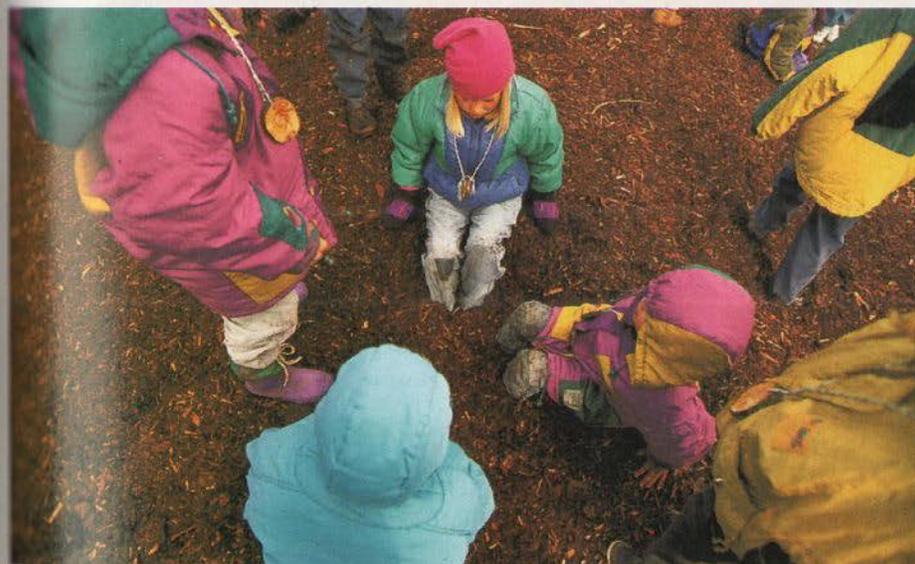
Aber was kann eine kleine befreiende action schon ändern am Lauf der Welt? Hans Stuijk jedenfalls scheint sich bei der Arbeit manchmal zu fühlen wie der Rattenfänger von Hameln, der sein Kindergrüppchen mit Flötenklängen ins Verderben begleitet. „Aus der Sicht eines Biologen“, sagt er, „zeigt die Weltuhr eigentlich längst halb eins.“ Warum also der nächsten Generation überhaupt noch beibringen, wie man Bäume umarmt? Er hoffe noch ein bißchen, antwortet Stuijk. Und außerdem habe es für einen Pädagogen immer „fünf vor zwölf“ zu sein. □

Susanne Paulsen, 30, von der Hamburger Autorengruppe „Signum“ hat hiermit ihre vierte GEO-Wissen-Reportage erarbeitet. Dem Hamburger Fotografen **Jörg Wischmann**, 28, verdankt GEO-Wissen bereits die „Optik“ zum Thema „Epilepsie“ (Nr. 4/1991).

Bewußtsein für Umweltprobleme wecken



Naßforschen: Um einen Teich zu begreifen, müssen Kinder auch mal ihre Hand hineinhalten



Sitzenbleiben: Der Mulch-Haufen ist gemütlicher als jedes Schulmöbel

Gewagter Schritt ins Freie

VON HANS HALTMEIER

Es tut mir leid. Horrorszenarien können wir Ihnen hier nicht bieten“, sagt Walter Klingmüller mit einem Anflug von Ironie, als er die schwere Isoliertür ins Schloß zieht. Der hagere Professor für Genetik an der Universität Bayreuth tritt in das trübe Neonlicht einer kleinen, fensterlosen Kammer, zieht unter einem Stahlregal einen weiß emaillierten Blecheimer hervor und hebt den Deckel ab. „Das ist ganz normale Erde“, erklärt er. „Die holen wir hier von einem Acker auf dem Institutsgelände, da, wo wir unsere Testfreisetzung planen.“ Demonstrativ greift er in den braunen, klammen Haufen und zerreibt einen Klumpen zwischen Daumen und Zeigefinger. Was ist harmloser, soll das wohl heißen, als ein paar Krümel Lehm.

Mit „ganz normaler Erde“ proben Klingmüller und seine Mitarbeiter hinter verschlossenen Labortüren den gewollten Ernstfall: die Freisetzung genmanipulierter Bakterien auf einem Acker. Denn dort, im kaum erforschten Ökosystem Boden, würden die „transgenen“ Mikroben auf Myriaden natürlicher Bakterien treffen. Was die Produkte aus der Retorte unter ihrer wilden Verwandtschaft anrichten, weiß bislang niemand so genau.

Seit Wissenschaftler vor zwei Jahrzehnten gelernt haben, das Erbgut von Lebewesen in seine Bausteine, die Gene, zu zerlegen und neu zu kombinieren, entzweit das Thema Sicherheit die Fachwelt.

Die einen sehen in der Möglichkeit, Lebewesen mit gänzlich neuen Eigenschaften zu züchten, nicht mehr als eine Art beschleunigtes Naturverfahren: Auch in der Evolution, argumentieren sie, würden durch zufällige Veränderungen des Erbguts laufend neue „Gebrauchsmuster“ in Umlauf gelangen.

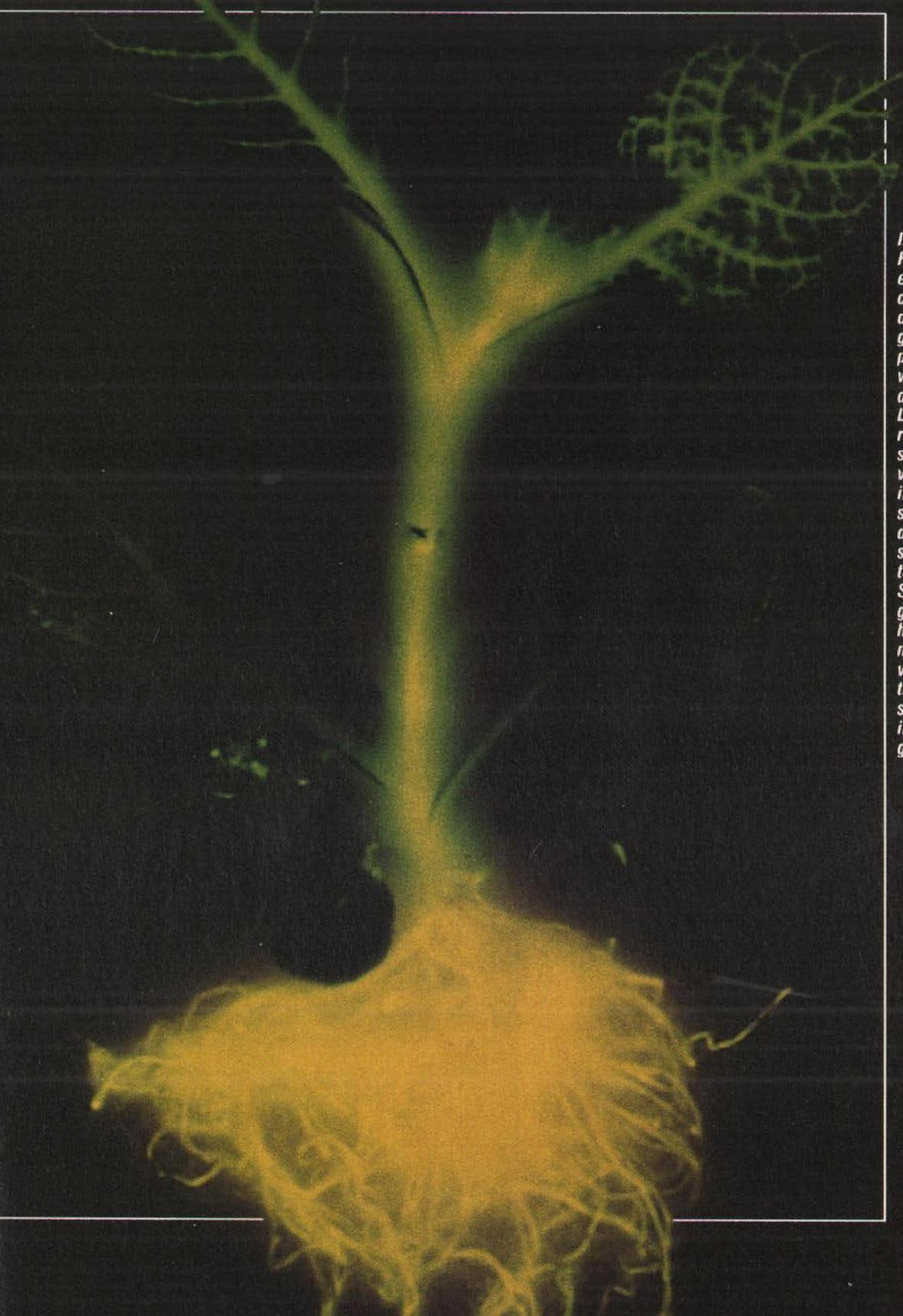
Genau an diesem Punkt machen Kritiker einen prinzipiellen Unterschied aus: Anders als bei den für gewöhnlich langsamen Anpassungsprozessen in der Natur würden die Laborwesen jäh und zudem massenhaft in die Freiheit gelangen, ohne daß sie sich dort im natürlichen Wechselspiel von Mutation und Selektion evolutiv bewährt hätten. Vor Freilandversuchen müßten deshalb die Folgen für die betroffenen Ökosysteme umfassend erforscht werden.

Unberührt von dem Disput kämpfen Gentechnik-Firmen welt-

weit um die Marktzulassung ihrer Schöpfungen. Bereits rund 500mal wurden transgene Pflanzen und Mikroorganismen nach Tests in Labors und Gewächshäusern in kontrollierten Versuchen unter freiem Himmel ausgesetzt. Mit weiteren 500 Freilandexperimenten rechnet die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit (OECD) allein 1992. Große wirtschaftliche Hoffnungen setzen die Unternehmen auf Bakterien: Sie sollen etwa chemieverseuchte Böden entgiften oder Nutzpflanzen vor den Folgen von Frühjahrsfrösten bewahren.

Ökologen sehen besonders der bevorstehenden Massenfreisetzung transgener Mikroben mit gemischten Gefühlen entgegen. Auch wenn Genetiker beharrlich darauf verweisen, daß die Funktion jedes einzelnen zusätzlich eingebauten Gens und dessen Eiweißproduktes – des Proteins – bekannt





Im Dienst der Forschung bringt ein Glühwürmchen-Gen, das in das Erbmaterial gewöhnlicher Tabakpflanzen eingefügt wurde, eines der Gewächse zum Leuchten. Andere Neuschöpfungen stehen sogar schon vor ihrem Einsatz in der Landwirtschaft. Doch trotz des raschen Fortschritts in der Gentechnik ist die Sicherheitsfrage ungeklärt: Wie verhalten sich die genetisch gezielt veränderten Kreaturen, wenn sie aus dem Labor in die Freiheit gelangen?



Risikoforschung: Bevor genmanipulierte Viren unter freiem Himmel zur Bekämpfung von Insektenlarven eingesetzt werden, prüfen Biologen die Methode in einer Versuchskammer an Tomatenpflanzen (oben). Die Raupen nehmen die Erreger beim Fressen auf

sei: Welche Mißklänge neue „Ensemblemitglieder“ mit fremden „Instrumenten“ im Konzert eines Ökosystems erzeugen können, ist damit noch nicht gesagt. Und mit Risikoeinschätzungen, die ihre Kollegen von der Genetik in molekularen Detailfragen präsentieren, können Ökologen kaum etwas anfangen. Deshalb enden interdisziplinäre Diskussionen immer gleich: Die Molekularbiologen scheinen alles zu wissen, die Ökologen nichts.

So schnell wird sich daran auch nichts ändern. In den Jahren 1990 bis 1993 fließen knapp 40 Millionen Mark – magere 3,5 Prozent des



«Gentechnisch veränderte Pflanzen geben»

deutschen Biotechnologie-Etats – in die „Biologische Sicherheitsforschung“. Und selbst wenn es mehr Geld gäbe: Nur wenige Wissenschaftler der relevanten Fachgebiete begeistern sich für die ungewohnte Thematik. Einige immerhin kommen aus den Reihen der Molekularbiologen; Ökologen hingegen sind nur schwach vertreten, Evolutionsbiologen fehlen ganz.

Solange genetisch veränderte Mikroben nur für den Laborgebrauch bestimmt sind, können die Geningenieure selbst für Sicherheit sorgen. Neben technischen Schutzvorrichtungen verfügen sie über biologische: Sie verstümmeln das Erbgut der Bakterien, so daß diese nur in speziellen Nährlösungen überleben können. Im Freiland indes, wo Leistung und Stärke gefragt sind, bringen die Laborkrüppel keinen Nutzen. Je robuster Gentechniker ihre Retortenprodukte aber kreieren, desto größer ist die Gefahr, daß sie ihren natürlichen Vettern gefährlich werden.

Kein gentechnisches Verfahren kann bislang sicher verhindern, daß solche Mikroorganismen auf Feld und Flur Amok laufen. Genetiker gehen allerdings davon aus, daß natürliche Konkurrenten, sogenannte „Wildtypen“, sich langfristig als überlegen erweisen. Wahrscheinlich werden sie tatsäch-

lich in den meisten Fällen ihre Labor-Verwandten verdrängen – etwa weil deren Vermehrungsrate durch den mitgeschleppten Gen-Ballast gehemmt wird. Das Argument bietet allerdings nur statistische Sicherheit. Sollte sich ein eingebautes Gen unerwartet als Trumpfkarte im Spiel der Evolution um ökologische Nischen erweisen, dann könnten sich die umprogrammierten Lebewesen im Freiland etablieren, vielleicht sogar ein Ökosystem radikal verändern.

Heißer Wasserdampf soll alle Keime töten

„Hundertprozentige Sicherheit kann keine Technik garantieren“, hält Klingmüller entgegen, als er die düstere Kammer mit den Bodenproben wieder verläßt. Am Ende des Ganges gräbt ein Mitarbeiter genervt in seiner Tasche nach dem Schlüssel für die stets verschlossene Eingangstür des Instituts. Überall warnen gelbschwarze Aufkleber vor „Biogefährdung“. Jeder hier arbeitet unter sterilen Bedingungen. Handschuhe, Kulturschalen und Plastikröhrchen, die mit Bakterien oder deren Erbgut in Berührung gekommen sind, landen in aufgestellten Plastiksäcken. Bevor sie den Sicherheitsbe-

reich verlassen, wandern sie durch heißen Wasserdampf, der alles Leben tötet.

Vom Kulturgefäß bis zum Institutsacker will sich Klingmüllers Team mit Simulationen Schritt für Schritt vortasten. Doch je weiter sich die Wissenschaftler von definierten Laborbedingungen entfernen, desto mehr unbekannte Größen fließen in ihre Experimente ein. Draußen treffen die manipulierten Zellen überdies auf eine vielfältige Mikrobengesellschaft, in der ein reger Austausch von Genen praktiziert wird. Das haben Kollegen der Bayreuther Forscher herausgefunden.

Um mehr über diesen Markt für Erbinformationen zu erfahren, haben die Bayreuther „Mikrokosmen“ geschaffen – faustgroße Glaskolben, gefüllt mit je 50 Gramm Erde. In jede Miniaturwelt spritzen Klingmüllers Mitarbeiter eine Milliarde genetisch manipulierter Mikroben und vermengen sie mit den natürlichen Bodenkeimen. Was dann passiert, steht unter dem Titel „Konjugation“ in jedem Genetik-Lehrbuch: Spendermikroben injizieren einen beweglichen DNA-Ring – ein „Plasmid“ – in Empfängerzellen.

Unter kontrollierten Laborbedingungen ist diese Art von primitiver Sexualität bei Bakterien seit langem bekannt. Ob und wie häufig Konjugationen auch im Bayreuther Ackerboden vorkommen, konnte Klingmüllers Team in den letzten Jahren klären. Dazu hatten die Forscher verschiedene Markierungs-Gene in das Plasmid des natürlichen Bodenkeimes *Enterobacter* eingeschleust, unter anderem ein Leucht-Gen. Es enthielt die Bauanleitung für ein Insekten-Eiweiß, das „Biolumineszenz“ erzeugen kann. Bei geglücktem Gentransfer sollten die Mikroben leuchten wie Glühwürmchen in einer lauen Sommernacht.

Das Experiment brachte buchstäblich Licht in das „Sexualleben“ freilebender Bodenbakterien: Nur



Im Farbttest stellt sich heraus, ob eine Raupe durch das gentechnisch veränderte Virus getötet worden ist: Ein ins Erbgut des Erregers eingebautes »Marker-Gen« produziert ein Eiweiß, das im Test blau wird



Pflanzen-Kreationen aus den Genlabors wachsen in hermetisch abgeschlossenen Gewächshäusern, bevor sie im Freien erprobt werden dürfen. An ganz normaler Ackererde untersuchen Forscher, ob und wie genmanipulierte Mikroben das Ökosystem »Boden« verändern



eines von einer Million Bakterien vollzog den Transfer mit Erfolg. Allerdings läßt sich diese „Impotenz“ im halb-natürlichen Mikrokosmos nur schwer in „Sicherheit“ umrechnen. Schon das Geschick und die Routine der beteiligten Wissenschaftler im Labor variieren

das Ergebnis. Womöglich werden die Art des Bodens, die Witterung, die Eigenschaften des Plasmid-Spenders und potentieller -Empfänger die Übertragungsrate noch viel gravierender beeinflussen.

„Das System Boden ist eben wahnsinnig komplex“, gesteht

EXOTEN **Vom Pionier zur Pest**

Manchmal kommt das dicke Ende schnell. Als 1957 Nilbarsche in den ostafrikanischen Victoria-See eingesetzt wurden, hofften die Fischer auf rasche Vermehrung der schmackhaften Raubfische. Doch der Erfolg wurde zum Fiasko: Die Barsche plünderten ihr neues Revier derart, daß binnen weniger Jahre mehrere alteingesessene, nur in diesem Gewässer existierende Fischarten praktisch ausstarben. Noch heute gilt der Fall „Nilbarsch“ unter Ökologen als katastrophalstes Beispiel ökologischer Ignoranz.

Meist holt das Schicksal langsamer aus. Im 17. Jahrhundert kam die „Spätblühende Traubekirsche“ aus ihrer nordamerikanischen Heimat nach Europa. Über 250 Jahre zierte der Baum Parks und Alleen, ohne sein gepflegtes Ambiente zu verlassen. Um die Jahrhundertwende entdeckten dann norddeutsche und niederländische Förster die Pflanze für ihre Zwecke: Das Laub der schönen Exotin sollte die sauren Sandböden ihrer Reviere mit Humus anreichern. Nach einer „Starthilfe“ durch großangelegte Pflanzungen besiegelten schließlich Reh und Hirsch die Wandlung der Spätblühenden Traubekirsche von der Gartenzier zur Waldpest: Die überhegten Wildbestände verbissen die einheimische Konkurrenz, rührten die Immigrantin aber nicht an. Heute bildet die Pflanze in manchen Wäldern ein undurchdringliches Dickicht. Von mindestens 12 000 Zier- und Nutzpflanzen, die mit Völkerwanderungen aus fernen Ländern nach Mitteleuropa eingeschleppt wurden, konnten sich fast 400 etablieren. Auf ihren Zügen durch Eurasien verfrachteten Siedler Tiere und Pflanzen über Tausende von Kilometern, überwandern Bergmassive und Meerengen. Damit hoben sie deren oft Jahrmillionen alte Funktion als ökolo-

»Keine Technik kann hundertprozentige Sicherheit garantieren«

gische Barriere auf. Der zu Beginn der Neuzeit aufblühende Überseehandel und die späteren Massentransportmittel Eisenbahn, Kraftwagen und Flugzeug beschleunigten den globalen Artentransfer.

Nicht in allen Regionen der Erde können Exoten neue Lebensräume gleich leicht besiedeln: In der Pflanzenwelt Javas stellen Einwanderer nur sieben Prozent, in Neuseeland dagegen fast jede zweite Art. Generelle Regeln, welche Gesellschaft Widerstand leistet, scheinen nicht zu existieren: Intakte, artenreiche Ökosysteme können genauso unterwandert werden wie triste Ödländer. Noch weniger ist über den „optimalen Einwanderer“ bekannt. In den Genen allein scheint die Durchsetzungskraft jedenfalls nicht programmiert zu sein: Die Haustaube eroberte von den Küsten Europas, Asiens und Nordafrikas aus die gesamte Nordhalbkugel und Teile der südlichen Hemisphäre; ihre nahe Verwandte, die Ringeltaube, kam indessen aus ihrer nördlichen Heimat nie heraus.

Bisweilen entwickeln sich harmlose Einwanderer im neuen Terrain zu aggressiven Invasoren: Das nordamerikanische Marschgras *Spartina alterniflora* tauchte in der Alten Welt zuerst nahe der britischen Hafenstadt Southampton auf, wo es sich zunächst nur mühsam halten konnte. Noch vor 1870 bildete die Pflanze mit ihrer britischen Verwandten *Spartina mari-*

tima eine genetische Mischform. Der Hybride war zwar steril, konnte sich jedoch durch ungeschlechtliche Vermehrung allmählich über die Küsten Südkaliforniens verbreiten. Erst als ein zufälliger Fehler während der Zellteilung die Anzahl der Chromosomen auf 122 verdoppelte, entstand *Spartina anglica* – eine fruchtbare, robuste Pflanze, die Südkalifornien und später die Küsten des europäischen Kontinents im Sturm eroberte.

Manche Ökologen sehen im Schicksal der Fremdlinge einen Modellfall für die Freisetzung manipulierter Lebewesen. Denn mit üblichen Labormethoden lassen sich ökologische Konsequenzen, die manchmal Jahrhunderte auf sich warten lassen, nicht einmal annähernd abschätzen. Erfahrungen mit eingeschleppten Pflanzen liefern zumindest grobe Richtwerte: Unter tausend Spezies etablieren sich im Durchschnitt etwa zehn am neuen Standort. Davon wird eine dem bestehenden Ökosystem gefährlich.

Auf üppige Lebensgemeinschaften treffen die Exoten – kommen sie nun aus fernen Kontinenten oder aus dem Labor – in Mitteleuropa nur noch selten. Zersiedelung und moderne Landwirtschaft, aber auch schon die Eiszeiten haben Lücken in die Ökosysteme gerissen. Solche unbesetzten Planstellen der Natur erleichtern den Einwanderern die Ansiedlung.

Die nordamerikanische Bisamratte etwa gelangte erst 1905 im Reisegepäck eines passionierten Jägers nach Europa. Rasch nahm sie eine ökologische Nische ein, die zwischen dem Biber und der Schermaus klaffte, seit sich die letzten Gletscher aus dem Tiefland zurückgezogen haben. Binnen weniger Jahrzehnte konnten sich die Wasserratten so über ganz Mitteleuropa verbreiten und unterwühlen Uferbefestigungen und Hochwasserdämme – zum Leidwesen der Wasserbau-Ingenieure. Den letzten Ottern sind sie indes willkommen – als rettende Nahrung, seit es in den versauerten Bächen kaum noch Fische gibt. *Hans Haltmeier*

Klingmüller ein. Es vollständig aufzuklären ist in absehbarer Zeit unmöglich. Auf generelle Aussagen über das Schicksal genetischer Informationen in der Umwelt mag sich der Genetiker deshalb nicht einlassen. Und schon gar nicht über den Einfluß der Gentechnik auf die natürliche Evolution spekulieren: „Wir wissen darüber doch noch so gut wie nichts“, sagt er und fügt rasch hinzu: „Es gibt viel dringendere Probleme als solche hochtheoretische Fragen, nämlich die ökologische Sicherheitsforschung.“

In der Tat nähern sich die deutschen Gentechniker dem Schritt aufs freie Feld vorsichtig – zumindest im internationalen Vergleich. Bevor sie transgene Organismen testweise freisetzen, studieren sie deren Verhalten in den Mikrokosmen im Labor. Diese Risikoforschung kostet Klingmüller wertvolle Zeit, die viele seiner ausländischen Kollegen für das Rennen um potentielle Produkte und Patente nutzen. Vor allem in den Vereinigten Staaten haben Wissenschaftler für seine Annäherungen an die ökologische Realität des Ackers allenfalls ein Lächeln übrig. Dort erleichtert längst eine reibungslose Genehmigungsroutine die Sicherheitstests im Freiland. Deutsche Forscher klagen dagegen über langwierige Formalitäten und werfen dem Gesetzgeber vor, die Anwendung der Gentechnik totzuregulieren.

Wohl deshalb hat es in Deutschland bislang kaum Freisetzungen gegeben. Klingmüllers eigener Antrag steckt seit eineinhalb Jahren im Getriebe der Gentechnik-Bürokratie. Und das Kölner Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung, das noch vor kurzem mit zwei Test-Pflanzungen transgener Petunien Schlagzeilen machte, hat nicht zuletzt wegen des aufwendigen Genehmigungsverfahrens zunächst auf weitere Versuche unter freiem Himmel verzichtet.

Wilfried Wackernagel ist jedoch optimistisch. „Das kommt, da gibt



Kudzu, eine rasch wachsende asiatische Kletterpflanze, eroberte in gut 100 Jahren weite Teile Nordamerikas

Das erste Freisetzungsexperiment mit gentechnisch veränderten Organismen: In Kalifornien sprühten Wissenschaftler 1987 »Eis-minus-Bakterien« auf Erdbeerpflanzen. Die im Reagenzglas gezüchteten Mikroben sollen Frostschäden verhindern



zerstörerischen Enzym-Attacken: Die Erbinformation blieb zumindest für eine Weile intakt. Seither glaubt der Oldenburger Genetiker, daß Erde ein „extrazellulärer Gen-Pool“ ist. Nach seiner Hypothese füllen die Erbinformationen abgestorbener Mikroben ein ständiges Informations-Depot auf, aus dem lebende Bodenbakterien sich bedienen können. Dabei lösen sie die DNA von den Mineralpartikeln und übernehmen den darin gespeicherten genetischen Erfahrungsschatz.

Evolutionsbiologisch ist die „postmortale Vererbung“ ebenso erfolgversprechend wie die Konjugation, bei der Bakterien Plasmide auf direktem Wege austauschen. Beide Varianten der „DNA-Infektion“ könnten entstanden sein, weil Mikroorganismen, die bei abrupt veränderten Umweltbedingungen schnell über Erbinformationen anderer Mikroben verfügten, im Kampf ums Überleben entscheidende Selektionsvorteile besaßen.

Mikroben picken DNA aus dem Boden auf

Diese Hypothese hat Wackernagel mitten in die Diskussion um die Sicherheit von Freisetzungsexperimenten katapultiert. Sowohl Gegner als auch Verteidiger der Gentechnik nehmen seine Thesen in Anspruch. Natürliche Mikroben, argumentieren Kritiker, könnten künstliche Gene aus dem Zwischenlager Boden aufpicken, mit deren Hilfe sie das herrschende ökologische Gefüge zerstören. Aktuelle Forschungsergebnisse einer Arbeitsgruppe um den Berliner Genetiker Otto Schieder legen nahe, daß nicht nur Bakterien DNA austauschen: Die Forscher konnten nachweisen, daß der Pilz *Aspergillus niger* unter Laborbedingungen das Erbgut abgestorbener Pflanzen aufnimmt.

„Experimente mit der Evolution“ nennen Gentechnik-Gegner die Entlassung transgener Organis-

es kein Zurück“, verkündet er, als wollte er die Genbranche ermutigen. Der Genetik-Professor an der Universität Oldenburg prophezeit Labormutanten eine große Zukunft: „In zehn Jahren wird es auf vielen Feldern gentechnisch veränderte Pflanzen geben.“

Der dynamische Gentechnik-Verfechter gibt sich gleichwohl als „Sicherheitsforscher aus Überzeugung“. Als er Mitte der achtziger Jahre begann, das Schicksal bakte-

riellen Erbgutes in Mikrokosmen zu untersuchen, galt das Freiland als feindliches Milieu für freie Erb-moleküle. Die Fachwelt war sich einig, daß bestimmte Enzyme im Boden DNA zerstückeln, sobald die schützende Hülle der Bakterien zerfällt.

Wackernagels Experimente zeigten das Gegenteil: In seinen Mikrokosmen bewahrten Ton, Feldspat oder Quarzkörnchen die empfindlichen DNA-Moleküle vor

ohne zu wissen, ob das Wasser tief genug ist«

men in die Umwelt. Denn die Gentechnik beseitigt die natürlichen Hürden, die etwa die sexuelle Vermehrung bei höheren Pflanzen oder die Konjugation bei Bakterien auf nah verwandte Arten beschränken. Im Labor kann Spender-Erbgut oder auch synthetische DNA prinzipiell auf beliebige Empfänger übertragen werden. Dabei entgingen, so die Kritiker, die transgenen Lebewesen der natürlichen Auslese. Zwar seien sie deshalb meist schlechter für den Konkurrenzkampf im Freiland gerüstet, könnten ihre natürliche Verwandtschaft aber allein dadurch verdrängen, daß sie massenhaft freigesetzt werden. Bei derartigen Großoffensiven versage die Selbstregulation des Ökosystems. Das „Gendepot Boden“ etwa werde – frei nach Wackernagel – von fremder DNA überschwemmt.

In diesem Punkt fühlt sich der Genetiker mißverstanden und verinnahmt. Für ihn weisen die Ergebnisse seiner Forschung genau in die entgegengesetzte Richtung: Sobald die manipulierten Lebewesen zersetzt seien, gelange in den Boden, was die Evolution ohnehin seit Jahrmillionen liefere – Stücke freier DNA, die den Kräften der Mutation und Selektion unterliegen, sobald sie von natürlichen Bakterien aufgenommen werden. „Die Gentechnik ist nichts konzeptionell Neues“, folgert er, „deshalb wird sie auch auf die natürliche Evolution keinen besonderen Einfluß haben.“

„Ich sehe keine neue Qualität des Risikos“, sagt auch Walter Klingmüller. Forschungslücken, besonders beim Verständnis ökologischer Zusammenhänge, räumen beide Wissenschaftler immerhin ein. Und sie glauben zu wissen, wie sie zu schließen sind: „Mit Testfreisetzungen“, sagt Wackernagel, „möglichst schnell.“ Die Diskussion dreht sich im Kreis.

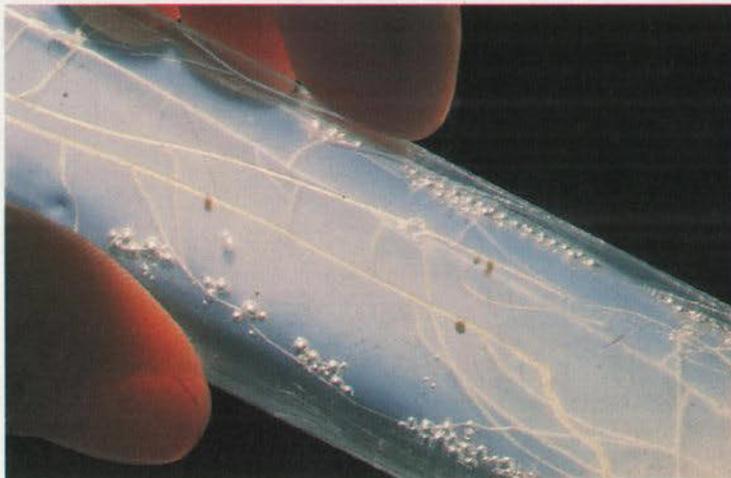
Klingmüller glaubt fest an die Beherrschbarkeit der Gentechnik. Er stöhnt verhalten über die Flut

von Formularen, die er für jedes neue Projekt ausfüllen muß, beklagt das „schiefe Gentechnik-Bild“ in Deutschland und plädiert treuherzig für mehr Vertrauen in den gesunden Menschenverstand der Molekularbiologen: „Niemand würde kopfüber in einen trüben See springen, ohne zu wissen, ob das Wasser tief genug ist.“

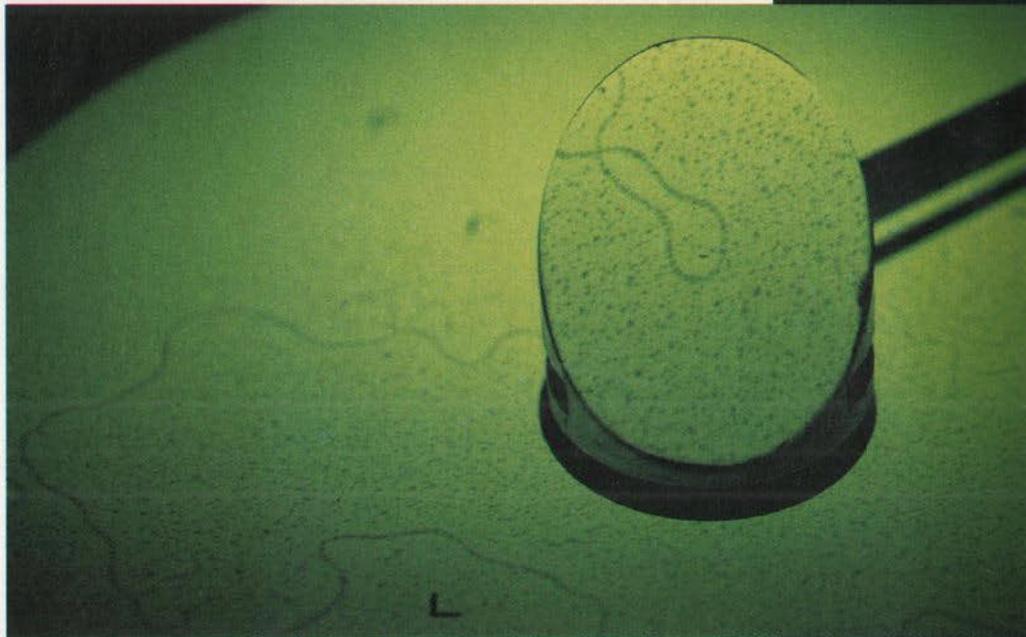
Daß sein eigener Freisetzungsantrag in den Schubladen des Bun-

desgesundheitsamtes und dessen Gutachter ruht, trägt Klingmüller mit Fassung. „Politisch gesehen“, sagt er, „sind diese Testfreisetzungen ja heiße Kartoffeln. Und die holen derzeit die Amerikaner für uns aus dem Feuer.“ □

Der Biologe **Dr. Hans Haltmeier**, 32, lebt als freier Journalist in München und schreibt seit Nr. 1/91 „Altern + Jugendwahn“ für GEO-Wissen.



Knöllchen-Bakterien in den Wurzelhaaren von Leguminosen (links) können Stickstoff aus der Luft pflanzenverfügbar machen. Züchter möchten diese Fähigkeit gern auf Getreide übertragen. Dies scheiterte bislang jedoch am Zusammenspiel der 17 »Stickstoff-Gene«, die im DNA-Molekülladen (unten) weit auseinanderliegen



Von der trockenen Theorie zur alternativen Hoffnung

VON ALBERT GERDES

Die bange Ahnung wird an einem trüben Herbstsonntag wahr. Über Jahre hinweg hat sie sich fast unmerklich in den Köpfen der Bürger eingenistet. Nun, an diesem 25. November 1973, ist sie Realität: Wachstum hat doch Grenzen.

Sonntagsfahrverbot in der Bundesrepublik Deutschland! Das Auto, Symbol der Freiheit, liegt an der Kette arabischer Ölscheichs. Kudamm und Königsallee gehören Radfahrern und Fußgängern.

Auch wenn der Sprit bald wieder ungehemmt fließt: Der Lieferboykott der arabischen Ölexportierenden Länder ist mehr als nur eine politisch motivierte „Ölkrise“. Er ist ein Exempel, wohin der leichtfertige Umgang mit begrenzten natürlichen Ressourcen führen kann: zu Abhängigkeit, zu Erpreßbarkeit, zur Krise.

Hatte nicht gerade ein Jahr zuvor der „Club of Rome“ mit seiner Studie über die „Grenzen des Wachstums“ vor den langfristig katastrophalen Folgen des Raubbaus an Rohstoffen und der globalen Umweltverschmutzung gewarnt? Hatte sich nicht im gleichen Jahr 1972 die Welt zur ersten UN-Umweltkonferenz in Stockholm getroffen? Hatte nicht schon ein Jahrzehnt zuvor die amerikanische Biologin Rachel Carson vor dem „Stummen Frühling“ gewarnt, verursacht durch Pestizide wie DDT und anderen „Elixieren des Todes“?

Die Stimmungslage der Nation ist gekippt. Die Pro-

pheten des Untergangs haben Konjunktur. Herbert Gruhl, CDU-Bundestagsabgeordneter, macht in seinem Buch „Ein Planet wird geplündert“ die „Schreckensbilanz der Politik“ auf. Und der Schriftsteller Carl Amery fordert nicht weniger als „eine neue wissenschaftliche Sicht“.

Die Wortführer der mächtig anschwellenden Umweltbewegung geben das Signal für den kometenhaften Aufstieg der Ökologie: Das zuvor eher belächelte Feld-, Wald- und Wiesenfach mausert sich binnen kurzem zur neuen Leitwissenschaft.

Ökologie als Stein der Weisen?

Nicht nur Biologen reiben sich die Augen. Ist diese wundersam gewandelte Disziplin nicht Teil eben jener Naturwissenschaften, in denen Zivilisationskritiker die Wurzel des Übels „Industriegesellschaft“ sehen? Haben nicht gerade deren Erkenntnisse die Unterwerfung der Natur im Namen des Fortschritts ermöglicht?

Ökologie heißt – als „Haushaltslehre der Natur“ – präzise Forschung im Detail. Ökologie reflektiert für viele aber auch politisch-weltanschaulich motivierte Sorge um die Natur. Ökologie ist offensichtlich ein wandelbarer Begriff, dessen Wurzeln zurückreichen bis zum Beginn der Neuzeit.

Galileo Galilei und René Descartes sprechen, im Stil ihrer von mechanischen Uhren faszinierten Zeit, im 17. Jahrhundert vom Räderwerk der Natur, von einer „machina mundi“: Die Geheimnisse dieser Weltmaschine seien mit Hilfe experimentell-ma-



René Descartes, 1596–1650



Galileo Galilei, 1564–1642



»Die Vielfalt reduzieren«: Isaac Newton, 1643–1727 (oben). »Auf der Stufenleiter der Natur«: Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646–1716, am Hof der Kurfürstin Sophie von Hannover



»Guayaba«: Blatt aus dem »Tierbuch« des Zacharias Wagner, entstanden 1634–1637 in Brasilien



Naturwissen-
schaft verschärft
den alten Kon-
flikt zwischen dem
Teil und dem
Ganzen: »Lilie«
von Georg Flegel,
1560–1638

thematischer Methoden dem menschlichen Entdeckergeist zugänglich, ihr Ganzes lasse sich in Einzelteile zerlegen.

Der Schöpfer als Uhrmacher, als Konstrukteur des Weltenlaufs findet sich auch beim deutschen Mathematiker und Philosophen Gottfried Wilhelm Leibniz: Seinen Vorstellungen zufolge hat die „Vorsehung“ jedem Ding einen Platz auf der „scala naturae“, der Stufenleiter der Natur, zugewiesen. Auf der obersten Sprosse dieser gottgewollten Hierarchie platziert Leibniz den Menschen.

Die Vielfalt schwilt mit jeder Ent- deckungsreise an

Während Wissenschaftler wie Leibniz' Zeitgenosse Isaac Newton die Naturerscheinungen in der Tradition Galileis auf möglichst wenige physikalische Gesetze zurückzuführen suchen, entdecken Naturforscher die ungeheure Vielfalt des Lebendigen. Diese Vielfalt schwilt mit jedem Blick durch das gerade erfundene Mikroskop, mit jeder Entdeckungsreise weiter an. Neue, nie zuvor gesehene Pflanzen und Tiere gelangen nach Europa. Ein botanisches Werk aus dem Jahr 1623 führt rund 6000 verschiedenartige Gewächse auf; eine Arbeit von 1694 verzeichnet 10 146 Arten, nur zehn Jahre später sind es schon 18 655. Herbarien und Naturalienkabinette quellen über, Sammlungen verkommen zu Sammelsurien.

Der schwedische Naturforscher Carl von Linné und seine Zeitgenossen versuchen Mitte des 18. Jahrhunderts, das Durcheinander zu ordnen. Linnés System, Tier- und Pflanzenarten jeweils mit einem lateinischen Doppelnamen zu klassifizieren, erweist sich als brauchbar. Seine „Ständeordnung“ der Pflanzenwelt hingegen, in der



Exotisches aus aller Welt:
»Passionsblume«
von Jean Joubert,
um 1720

Beschreibt als
erste den Kosmos
tropischer Natur:
Maria Sibylla
Merian, 1647-1717,
aus Frankfurt
am Main



»Blühende Banane«: Kupferstich
nach Maria Sibylla Merian,
skizziert in Surinam,
1699-1701



Baumfürsten über adelige Kräuter, bauerliche Gräser und ärmliche Moose herrschen, fällt – ganz wie ihr realpolitisches Gegenstück im absolutistischen Frankreich des Jahres 1789 – revolutionären Umwälzungen zum Opfer: Naturforschung als Verzeichnis „der zu dem Naturreiche gehörigen Körper“, ohne daß ein Übergang von einem „Stand“ zum anderen angenommen wird, erweist sich als zu starres Konzept. Die offensichtliche Dynamik der belebten Welt erzwingt eine geistige Wende hin zur veränderlichen Geschichte der Natur.

Die große Verkettung der Ursachen und Wirkungen

„Wie die Narren laufen wir bis jetzt umher“, beschreibt Alexander von Humboldt im Jahr 1799, zu Beginn seiner südamerikanischen Reise, die Verwirrung ob der exotischen Vielfalt des Lebens. „In den ersten Tagen können wir nichts bestimmen, da man immer wieder einen Gegenstand wegwirft, um einen anderen zu ergreifen.“

Humboldt macht am Fuß des 6310 Meter hohen Chimborazo im Sommer des Jahres 1802 Skizzen für seine „Ideen zu einer Geographie der Pflanzen“. Die Besteigung des schneebedeckten Andenriesen ist einer Reise vom Äquator zum Pol gleichgekommen: An den Abhängen des Vulkans sind viele Vegetationszonen dieser Welt auf engem Raum versammelt. Diese Erkenntnis beruht auf einer grundlegend neuen Wahrnehmungsweise. Humboldt kommt es auf den „Totaleindruck einer Gegend“ an, denn es sei vor allem die Vegetationsform, die den ästhetischen Charakter einer Landschaft bestimme.

Zuvor ist jede Pflanze, die in den Botanisiertrommeln der Sammler verschwand, buchstäblich aus ihrem natürlichen Zusammenhang gerissen worden. Nun beginnen Botaniker, ihre Beobachtungen im Licht des humboldtschen Leitsatzes von der großen Verkettung der Ursachen

und Wirkungen zu interpretieren: Vegetationsformen sind Ausdruck der am jeweiligen Standort herrschenden Umweltbedingungen.

Auch Zoologen eignen sich die neue Sichtweise an. Ihr Pionier ist der in Paris lehrende Anatom Georges Cuvier. Er glaubt zwar im Prinzip an die aus der Bibel abgeleitete Konstanz der Arten, postuliert aber in seiner „Katastrophen-theorie“, daß gewaltige Desaster – darunter die Sintflut – in einzelnen Regionen immer wieder alles Leben ausgelöscht hätten (siehe Kasten „Evolution“, Seite 169). Wie eine längst ausgestorbene Tierart gelebt habe, ließe sich aber anhand der verbliebenen Fossilien – etwa durch die Form eines Knochens – rekonstruieren.

Zur gleichen Zeit belegen Geologen wie der Schotte Charles Lyell akribisch, daß die Erde viel älter sein muß, als es die wortwörtliche Auslegung der Bibel nahelegt. Damit postulieren sie jene riesigen Zeiträume, ohne die eine allmähliche Entwicklung der Pflanzen und Tiere undenkbar ist.

Gut drei Jahrzehnte nach Humboldts Besteigung des Chimborazo geht im September 1835 Charles Darwin auf den Galápagos-Inseln an Land. Der 26jährige, Gast des Kapitäns an Bord des britischen Forschungsschiffs „Beagle“, ist von der Tierwelt, den Schildkröten, Leguanen und Vögeln des Archipels fasziniert. Dem scharfen Beobachter fallen die dort beheimateten Finkenarten auf: Könnte es sein, notiert er, daß „aus einer ursprünglich geringen Anzahl von Vögeln dieser Inselgruppe eine Art herausgenommen und zu verschiedenen Zwecken abgewandelt worden ist“?

Darwins Vermutung, durch eine Fülle weiterer Beobachtungen verstärkt, mündet in die Evolutionstheorie, die er 1859 in seinem Buch „Über die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl“ veröffentlicht. Dieselben Schlüsse hat zur gleichen Zeit – aber unabhän-

gig von Darwin – dessen Landsmann Alfred Russell Wallace nach eingehenden Naturbeobachtungen auf dem malayischen Archipel gezogen: Lebewesen erzeugen gewöhnlich eine Überzahl an Nachwuchs mit unterschiedlichen Eigenschaften, wobei sich die den jeweiligen Umständen am besten angepassten Individuen eher durchsetzen und ihrerseits vermehren. Dieses opportunistische Wechselspiel zwischen angebotener Vielfalt und umweltbedingter Selektion ist die eigentliche kreative Kraft der Evolution.

Das Modell vom Räderwerk der Natur, Sinnbild eines ewigen Kreislaufs, geht zu Bruch. Leibniz' Vision einer gottgewollten Harmonie in Natur und Gesellschaft zerplatzt: Altes ist vergänglich, Neues unvermeidlich. In der Heimat Darwins tobt der Klassenkampf; im Vaterland Humboldts gerät die Natur im Rausch der Gründerjahre unter die Räder.

Die Wissenschaften aber florieren. 1866 gibt Ernst Haeckel, Zoologie-Professor an der Universität Jena und Darwins wortgewaltigster Herold in Deutschland, einer weiteren biologischen Disziplin ihren Namen: Ökologie ist „die gesamte Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Außenwelt“.

Die Gründerjahre der Haushaltslehre der Natur

In kurzer Folge erscheinen die frühen Klassiker des neuen Fachs. 1877 prägt Karl Möbius in seiner Studie über „Die Auster und die Austernwirtschaft“ den Begriff Biozönose, drei Jahre später veröffentlicht Karl Semper sein Werk über „Die natürlichen Existenzbedingungen der Thiere“, 1896 Eugenius Warming sein „Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie“. 1908 erfindet Möbius' Schüler Friedrich Dahl den Begriff „Biotop“ für Gewässer- und Geländearten. Ein Jahr vor Ausbruch des Ersten Weltkriegs wird die

Führte die Klassifizierung der Tier- und Pflanzenarten mit lateinischen Doppelnamen ein: der schwedische Naturforscher Carl von Linné, 1707–1778, hier in lappländischer Tracht

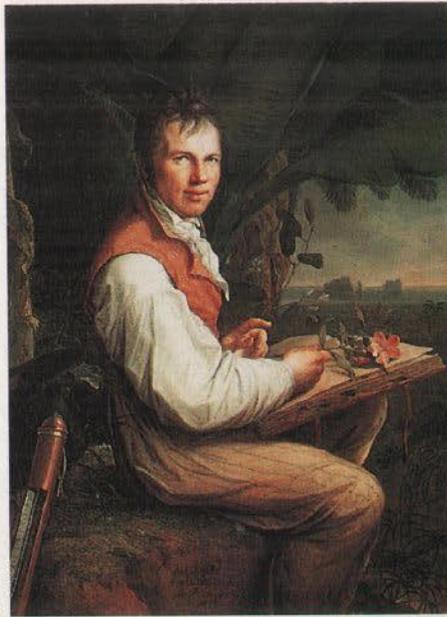


Romantisch überhöhte Ahnungen: »Klosterruine Eldena«, Gemälde von Caspar David Friedrich, 1824/25



Die offensichtliche Dynamik der belebten Welt erzwingt eine geistige Wende hin zur veränderlichen Geschichte der Natur: »Die Landschaft in Venezuela«, Gemälde von Ferdinand Bellermann, 1866

Alexander von Humboldt, 1769 bis 1859, skizziert am Fuß des 6310 Meter hohen Anden-Vulkans Chimborazo im Sommer des Jahres 1802 seine »Ideen zu einer Geographie der Pflanzen«



britische „Ecological Society“ gegründet, ein Jahre danach ihr US-amerikanisches Gegenstück. Die Ökologie hat sich als Wissenschaft etabliert.

Die breite Öffentlichkeit diesseits und jenseits des Atlantiks kümmert sich darum herzlich wenig. Ihr Blick auf den Elfenbeinturm der Wissenschaft ist von rauchenden Fabrikschlotten vernebelt. Industrieanlagen bestimmen das Weichbild der Städte, die ins Land hinaus wuchern, wo bäuerlich gewachsene Fluren im Dienst der Großagrarier „bereinigt“ werden.

Der Beklemmung des Bildungsbürgertums vor der Industrialisierung hat Goethe in „Wilhelm Meisters Wanderjahre“ schon früh Worte verliehen: „Das überhandnehmende Maschinenwesen quält und ängstigt mich, es wälzt sich heran wie ein Gewitter, langsam, langsam; aber es hat seine Richtung genommen, es wird kommen und treffen.“

Je mehr die düsteren Ahnungen des Verlustes von Natur und Heimat sich bestätigen, desto stärker wird das Bedrohte romantisch überhöht. „Nicht in der Gesellschaft“, schreibt der Amerikaner Henry David Thoreau 1842, „wirst du das Heil finden, sondern in der Natur.“

Ein umfassendes Gegenprogramm zu den technischen Zwängen

Mit romantischem Pathos allein, das ist Thoreau und seinen Mitstreitern bewußt, läßt sich bedrohte Natur nicht retten. Deshalb fordern sie nationale Schutzgebiete, „enthaltend Mensch und Tier in der ganzen Wildheit und Frische ihrer natürlichen Schönheit“, mit „eingeborenen Indianern, in ihrem klassischen Schmuck, auf ihren wilden Pferden galoppierend“ als Staffage, für die „überfeinerten Bürger und für die Welt“ – die Natur als Freilandmuseum. Und sie haben Erfolg: 1864 wird das Yosemite-Tal als kalifornischer Staatspark unter Schutz gestellt, acht Jahre

später folgt die Geysir-Region am Oberlauf des Yellowstone als erster Nationalpark der USA.

Diesseits des Atlantiks entwerfen frühe Ökologiebewegungen wie die jugendbewegten „Wandervögel“, ihr proletarisches Pendant „Die Naturfreunde“ und andere Lebensreformer ein umfassendes Gegenprogramm zu den technischen Zwängen der wilhelminischen Ära: Naturheilkunde, naturgemäße Landwirtschaft und gesunde, sprich vegetarische Ernährung sollen Individuum und Gesellschaft wieder mit der Natur versöhnen.

Naturschutz im Reiche Wilhelms II. ist ein zwiespältiges Unterfangen. Im kaiserlichen Deutschland prägen vor allem jene „überfeinerten“ Bildungsbürger die Naturschutzbestrebungen, die sich 1904 im „Deutschen Bund Heimatschutz“ organisiert haben. Als konservativer Gegenpol zur ökologisch und sozial fortschrittlich gesinnten Wandervogel-Bewegung schwärmen sie von einer ständisch organisierten Natur: „Baumfürsten“, zu Naturdenkmälern verklärt, erscheinen ihnen als schützenswertes Sinnbild der althergebrachten Ordnung schlechthin, als Bollwerk gegen die Gleichmacherei in Politik und Gesellschaft.

Vor dem Weltkrieg weisen die Behörden einzelne Schutzgebiete aus: 1907 den „Naturschutzpark“ Lüneburger Heide, 1910 den „Pflanzenschonbezirk“ Königsee in den Berchtesgadener Alpen und 1914 fünf „Schonbezirke“ im Bayerischen Wald. Bis die beiden Gebirgsregionen allerdings Nationalparks werden, sollen mehr als sechs Jahrzehnte vergehen.

In der Katastrophe des Ersten Weltkriegs erlischt die von konservativen Schwärmern geschürte „heilige Glut der Romantik“. Ihrer Asche entsteigt ein neues biologisches Leitbild für Wissenschaftler und Naturschützer: der Organismus. In Gestalt des knorrigen Baumriesen hatte er zwar schon der Heimatschutz-Bewegung Modell

Charles Darwin, 1809-1882, geht 1835 auf den Galápagos-Inseln an Land. Die unterschiedlichen Schnabelformen der 13 dort beheimateten Finkenarten wecken in ihm erste Vermutungen über »die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl«



gestanden. Doch wer nach dem großen Krieg von einem „lebendigen Ganzen“ spricht, meint die Lebensgemeinschaft – den „Superorganismus“ – und „ganze Landschaftsstellen“, die es zu schützen gilt.

Schon Thoreau hat sich gefragt, warum auf einem abgeholzten Waldstück Schößlinge von Laubbäumen keimen, wo vorher nur Kiefern wuchsen. Eugenius Warming deutet diesen Vegetationswandel, von Thoreau „Sukzession“ genannt, später als – frei nach Darwin – Kampf der Arten in der Natur.

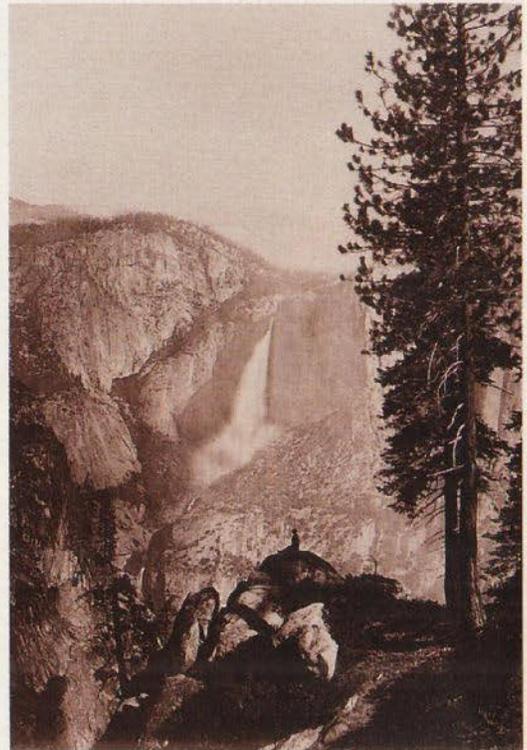
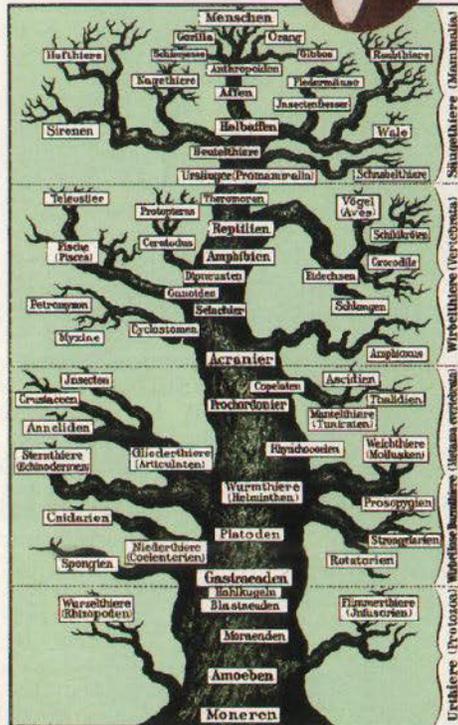
Der »Untergang des Abendlandes« gilt als unausweichlich

Einen Schritt weiter geht im Jahre 1916 der amerikanische Botaniker Frederic Clements. Ihn faszinieren weniger einzelne Gewächse als vielmehr Pflanzen-Gemeinschaften. Er setzt die Lebensgeschichte etwa einer Feuchtwiese mit dem Werden und Vergehen eines einzelnen pflanzlichen Organismus gleich. Solch ein Superorganismus strebe unweigerlich auf ein Endstadium – die „Klimax“ – zu, in dem Artenreichtum und Stabilität ihren Höhepunkt erreichten. Danach breche er zusammen und der Kreislauf beginne von neuem.

Clements Theorie gedeiht in der vorherrschenden ideologischen Großwetterlage. Der Fortschrittsglaube der Vorkriegszeit ist längst verflogen. Am gesellschaftlichen Horizont dräuen dunkle Wolken, der „Untergang des Abendlandes“ scheint unausweichlich wie der Verfall eines Superorganismus nach der Klimax.

Als die Nazis in Deutschland an die Macht kommen, sieht es so aus, als sollten die Kulturpessimisten recht behalten. Widerstandslos lassen sich staatlicher und privater Naturschutz sowie die Wissenschaft gleichschalten und in den Dienst des „Volkskörpers“ stellen. 1935 wird das Reichsnaturschutzgesetz beschlossen. Die Propaganda

Ernst Haeckel, 1834-1919, begründet 1866 die Ökologie als »die Lehre vom Naturhaushalt«. Er popularisiert den »Stammbaum des Menschen«



Natur als Freilandmuseum: 1890 wird das Yosemite-Tal in Kalifornien als US-Nationalpark unter Schutz gestellt



»Der Traum«, Gemälde von Henri Rousseau, 1910: »Nicht in der Gesellschaft wirst du das Heil finden, sondern in der Natur« (Henry David Thoreau)



Lebende Bilder: Wandervogel spielen 1927 die »sieben Schwaben«



Papierabfälle, 1925 am Berliner Strandbad Wannsee noch verbrannt, werden im Krieg begehrter Rohstoff



Bauchlandung der Wachstumseuphorie: Autobahn am Frankfurter Flughafen während des Sonntagsfahrverbots vom 25. 11. 1973

tönt: „Kampf ist leitendes Gesetz in der Natur“. Deren „heroischer Sinn“, die Überlegenheit der „nordischen Rasse“ im bevorstehenden Kampf der Völker, soll in Reservaten „ungehemmter Natur“ demonstriert werden.

Nach der Nazi-Katastrophe, nach dem millionenfachen Morden im Namen biologistisch verbrämter Unmenschlichkeit, kann die fällige Neubesinnung auch in der Ökologie kaum von den einst tonangebenden deutschen Wissenschaftlern kommen. Angelsächsische Kollegen hatten längst die Wortführerschaft übernommen. Die Weichen auf dem Weg zu einer „neuen Ökologie“ sind bereits 1927 gestellt worden: Damals hat der britische Zoologe Charles Elton von der Cambridge University erstmals Nahrungsketten beschrieben und das Funktioniieren von Tiergemeinschaften untersucht. 1935 hat Arthur Tansley, Botaniker und Präsident der British Ecological Society, den Begriff „Ökosystem“ geprägt, dem der amerikanische Zoologe Raymond Lindeman von der Yale University sieben Jahre später mit einer bahnbrechenden Untersuchung Leben einhauchte.

Lindeman erforschte Nahrungsflüsse – und damit letztlich Energieflüsse – sowie die Produktivität des Ökosystems Süßwasser-See. Pflanzen und Tiere interessierten ihn allerdings nur in ihrer Funktion als Produzenten und Konsumenten im Nahrungsgeflecht: Seine Meisterleistung war, erstmals die Energieflüsse zwischen den einzelnen Stufen einer Nahrungskette zu berechnen.

Die „neue Ökologie“ weckt Hoffnung, den höchst verwinkelten Lebensgemeinschaften wenn schon nicht über individuelle Beobachtungen, so doch über Nahrungsnetze und Energiebilanzen auf die Schliche zu kommen: Erlauben exakte Messungen und experimentelle Untersuchungen – also streng naturwissenschaftliche Methoden – endlich einen Vergleich zwischen unterschied-

lich komplexen Ökosystemen?

Der neue systematische Ansatz läßt Forschungsgelder reichlich fließen – mitunter aus ungewöhnlichen Quellen. So fördert die US-amerikanische Atomenergiebehörde von 1958 an eines der weltweit größten Ökosystemprogramme, um der Wirkung radioaktiver Strahlung auf pflanzliche und tierische Lebensgemeinschaften auf die Spur zu kommen. In den sechziger Jahren löst das Internationale Biologische Programm einen ähnlichen Forschungsschub aus: Ökosystemforschung ist zur „big science“ aufgestiegen, wird als „ökologisches Ingenieurwesen“ verstanden.

In diesen akademischen Disput platzt die erwachende Umwelt- und Öko-Bewegung, deren Leitmotto „small is beautiful“ lautet. Ihre Protagonisten greifen Erkenntnisse der ökologischen Wissenschaft wie Heilsbotschaften auf und verbreiten sie, teils schrecklich vereinfacht, mit messianischem Eifer. Die Behauptung etwa, nur artenreiche Ökosysteme seien stabil, läßt sich wissenschaftlich zwar nicht belegen, gehört aber gleichwohl seit Beginn der siebziger Jahre zum „Allgemeinwissen“ in Wohngemeinschaften, Redaktionsstuben und Plenarsälen.

»Ökologe ist fortan im Grenzfall jedermann«

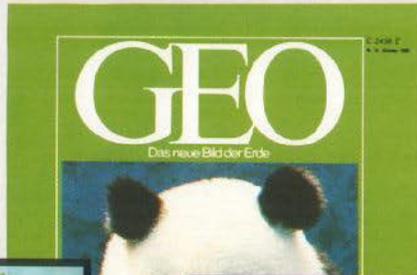
Ökologie mutiert zum politischen Begriff, zum Schlagwort einer Weltanschauung. Sie ist das wissenschaftlich verbrämte Kredo der Grünen, die in der Bundesrepublik von 1977 an als politische Partei antreten und sich über Kreis- und Landtage bis 1983 in den Bundestag vorarbeiten.

Ökologie wird in allen Schichten gesellschaftsfähig. „Ökologe ist fortan“, wie Hans Magnus Enzensberger bereits im Jahr des Sonntagsfahrverbots vorausgesehen hat, „im Grenzfall jedermann“: der SPD-Mann Peter Glotz, der die „ökologische

Angebot mit 3 Vorteilen

- Gratis zur Begrüßung eine aktuelle GEO-Ausgabe
- Gratis 4 außergewöhnliche GEO-Farbdrucke
- Ca. 15% Preis-Vorteil = DM 1,50 pro Heft gespart gegenüber Einzelpreis

Detail-Garantie auf der Rückseite



Bitte mit 60 Pfennig freimachen, falls Marke zur Hand

Antwort-Postkarte

GEO
Leser-Service
Postfach 10 25 25

W-2000 Hamburg 1

GEO-VISION: Faszination aus Wissenschaft und Forschung auf Video

Exklusiv für unsere Leser gibt es GEO-Videos zu den Themen von GEO-WISSEN. Erleben Sie Höhepunkte aus den Bereichen Forschung, Wissenschaft und Technik »live« – Experimente, Recherchen und neueste Erkenntnisse. GEO-VISION berichtet über »Die Geburt der Materie« – eine beeindruckende Dokumentation über das Schicksal unseres Universums. Mit den großartigen Leistungen unseres Immunsystems beschäftigen sich der »Angriff aus dem Mikrokosmos« und die »Rückkehr der Seuchen« – Themen, wie sie aktueller nicht sein könnten! GEO-VISION – eine faszinierende Kombination aus wissenschaftlichen Berichten und Unterhaltung.



Bitte mit 60 Pfennig freimachen, falls Marke zur Hand

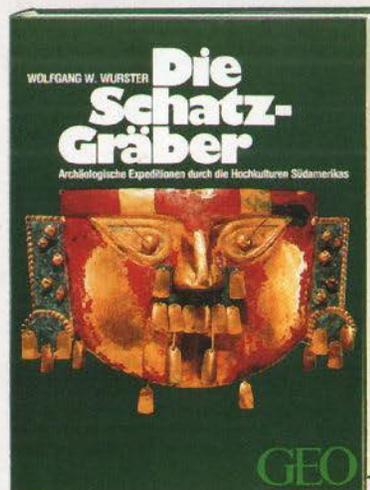
Antwort-Postkarte

GEO-VISION
Versand-Service
Postfach 600

W-7107 Neckarsulm

Bücher von GEO – so farbig und fesselnd wie unsere Welt

In den Büchern von GEO wird unsere vielgesichtige Welt auf neue Weise erlebbar; sie widmen sich faszinierenden Themen, vermitteln Information und Wissen aus erster Hand. Inhalt, Ausstattung und Umfang entsprechen der hohen GEO-Qualität: Bücher von GEO haben 350 Seiten und mehr, im Format 20,5x28 cm, Leineneinband und farbigen Schutzumschlag sowie 250 bis 500 fast immer farbige Abbildungen.



Bitte mit 60 Pf freimachen, falls Marke zur Hand

Antwort-Postkarte

GEO
Presse-Versand-Service
Postfach 600

W-7107 Neckarsulm

Abruf-Karte für ein GEO-Abonnement

JA, ich nehme Ihre Einladung an.

Schicken Sie mir bitte kostenlos die GEO-Begrüßungs-Edition, dazu 4 GEO-Farbdrucke und die GEO-Dokumentation. Ich darf diese Geschenke auch dann behalten, wenn ich mich nicht für GEO entscheide. Nach Erhalt habe ich 14 Tage Zeit, GEO kennenzulernen. Nur wenn mich GEO überzeugt und ich nicht widerrufe, möchte ich GEO jeden Monat per Post frei Haus beziehen: Für nur DM 9,- statt DM 10,50, also z. Zt. mit ca. 15% Preis-Vorteil. Ich kann keine Kündigungsfrist versäumen, denn ich darf jederzeit kündigen, mit Geld-zurück-Garantie für bezahlte, aber noch nicht gelieferte Ausgaben.

Name/Vorname _____

Straße/Nr. _____
 W- _____
 O- _____
 Postleitzahl Wohnort _____

Telefon-Nummer für evtl. Rückfragen _____

Datum / _____ Unterschrift _____

Widerrufgarantie: Diese Vereinbarung kann ich binnen einer Frist von 14 Tagen nach Erhalt des Probeheftes schriftlich widerrufen. Zur Wahrung der Frist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs an GEO-Leser-Service, Postfach 102525, W-2000 Hamburg 1. Ich erlaube Ihnen, mir interessante Zeitschriftenangebote auch telefonisch zu unterbreiten (ggf. streichen)

Datum / _____ Unterschrift _____

Wenn ich bei GEO bleibe, bezahle ich bequem und bargeldlos durch ¼jährliche Bankabbuchung DM 27,-

Bankleitzahl (bitte vom Scheck abschreiben) _____

Meine Kontonummer: _____

Geldinstitut: _____

Ich möchte statt ¼jährlicher Bankabbuchung lieber eine Jahresrechnung (12 Hefte DM 108,-).

Bitte ankreuzen, falls gewünscht:

Auslandspreise: Schweiz: Fr. 8.50 statt Fr. 10.50 Einzelpreis.
 Österreich: S 65,- statt S 80,- Einzelpreis.
 Sonstiges Ausland: DM 9,- zuzüglich Porto. 50261 N1

Detail-Garantie

- Gratis zur Begrüßung eine aktuelle GEO-Ausgabe und dazu 4 außergewöhnliche GEO-Farbdrucke, 21x15 cm groß: die 900jährige Bavaria-Buche. (Abbildung auf der Vorderseite.) Beide Geschenke gehören in jedem Fall Ihnen.
- Dazu: eine umfangreiche Dokumentation über GEO, die Ihnen zeigt, welche Themenbreite GEO bietet.
- Ca. 15% Preis-Vorteil, wenn Sie sich für GEO entscheiden. Sie sparen DM 1,50 pro Ausgabe gegenüber Einzelpreis.
- Sie können keine Kündigungsfrist versäumen, denn Sie dürfen jederzeit absagen, mit Geld-zurück-Garantie für bezahlte, aber noch nicht gelieferte Ausgaben.

Abruf-Karte für GEO-VISION

JA, bitte liefern Sie mir gegen Rechnung folgende Videos von GEO (Anzahl bitte eintragen):

»Die Geburt der Materie«
 (G 0609) DM 49,80

»Angriff aus dem Mikrokosmos«
 (G 0615) DM 49,80

»Rückkehr der Seuchen«
 (G 0616) DM 49,80

Alle Preise zuzüglich DM 3,- Versandkosten-Anteil pro Lieferung.

Ausland: Lieferung nur gegen Vorkasse per Scheck zuzüglich DM 5,-.

Name _____

Vorname _____

Straße/Nr. _____

W- _____
 O- _____
 Postleitzahl Wohnort _____

Datum/Unterschrift _____

»Die Geburt der Materie«

In unterirdischen Großexperimenten suchen Physiker den Urknall und das Schicksal des Universums zu ergründen. Ein Dokumentarfilm über eines der großen Abenteuer der Physik. Ca. 40 Min.

»Angriff aus dem Mikrokosmos«

Volker Arzt stellt das raffinierte Verteidigungssystem des Körpers vor: unersättliche Freßzellen, die Eindringlinge einfach auffressen. Oder das phantastische Gedächtnis des Immunsystems, das ein Leben lang Erreger wiedererkennen und bekämpfen kann. Ca. 45 Min.

»Rückkehr der Seuchen«

Hier setzt Volker Arzt das zentrale Thema »Immunsystem« fort. Durch die zunehmende Resistenz der Erreger wird die Suche nach neuen, wirksamen Medikamenten immer dringlicher. Diese und andere (lebens-)wichtige Themen behandelt dieses GEO-Video. Ca. 45 Min.

Bitte beachten Sie, daß GEO-Videos nur für das System VHS lieferbar sind.

50262

Bestell-Karte für die Bücher von GEO

JA, bitte liefern Sie mir gegen Rechnung und mit 10 Tagen Rückgaberecht folgende Bücher von GEO (Anzahl der gewünschten Exemplare bitte eintragen):

»Die Schatzgräber«
 (X 1000) DM 118,-

»Die Wüste«
 (X 1665) DM 118,-

»Tibet«
 (X 1721) DM 118,-

»Die Sonne«
 (X 1720) DM 118,-

»Geburt eines Ozeans«
 (X 7030) DM 118,-

»Die amerikanische Reise«
 (X 7029) DM 118,-

»Naturvölker«
 (X 4742) DM 118,-

»Der Mensch«
 (X 1639) DM 118,-

»Die Affen«
 (X 3985) DM 118,-

»Der Planet der Meere«
 (X 2058) DM 118,-

»Regenwald«
 (X 4572) DM 118,-

»Islam«
 (X 6210) DM 118,-

»Mensch + Kosmos«
 (X 3470) DM 118,-

»Die Alpen«
 (X 2380) DM 118,-

»Inseln in der Zeit«
 (X 1639) DM 118,-

»Der vermessene Planet«
 (X 3471) DM 118,-

»GEO Guide USA - Nationalparks«
 (G 0651) DM 39,80

»GEO-Satellitenbildatlas Deutschland«
 (G 0680) DM 98,-

Name/Vorname _____

Straße/Nummer _____
 W- _____
 O- _____
 Postleitzahl Wohnort _____

Datum / _____ Unterschrift _____

Ihre Garantie, wenn Sie Bücher von GEO jetzt bestellen:

- Sie können jedes Buch 10 Tage lang kostenlos zu Hause prüfen und sich so Ihr eigenes Urteil bilden.
- Sie gehen mit dem Abruf des Buches keinerlei Verpflichtungen ein.
- Sie haben das Recht, jedes Buch innerhalb von 10 Tagen nach Erhalt ohne Begründung an den GEO-Pressen-Versand-Service, Postfach 600, W-7107 Neckarsulm, zurückzuschicken. Damit ist alles für Sie erledigt.

Bestellmöglichkeit für GEO Guide USA-Nationalparks

Alle Preise inkl. MwSt., zuzüglich DM 3,- Versandkosten-Anteil pro Lieferung. **Ausland:** Lieferung nur gegen Vorkasse per Scheck zuzüglich DM 5,-.

50263

Modernisierung der Industriegesellschaft“ propagiert; der Vorstandsvorsitzende, der den betrieblichen Umweltschutz zur Chefsache erklärt; der PR-Strategie, der den FCKW-freien Zylinder anannonciert. So wird der alternative Elan der Protestbewegung von deren Gegnern aufgesogen, wird die einst von Carl Amery eingeforderte „neue wissenschaftliche Sicht“ zur beliebigen Heilslehre verwässert.

Was bleibt, ist die Rolle des Menschen als zusehends entscheidender Teilnehmer im Spiel des Lebens. Hier hat nicht nur die weltanschaulich definierte Ökologie ihre Unschuld verloren: Auch der Traum von einer exakten Haushaltslehre der Natur, die mit ingenieurwissenschaftlicher Präzision technische Wege aus dem Dilemma plant, ist zerplatzt. Naturwissenschaftlern gilt heute die Entwicklung von Ökosystemen als typisches Beispiel für die „Selbstorganisation“ der Natur – für Prozesse, die zwar im Rahmen strenger Gesetzmäßigkeiten ablaufen, aber dennoch in ihrem individuellen Lauf nicht vorherbestimmbar sind.

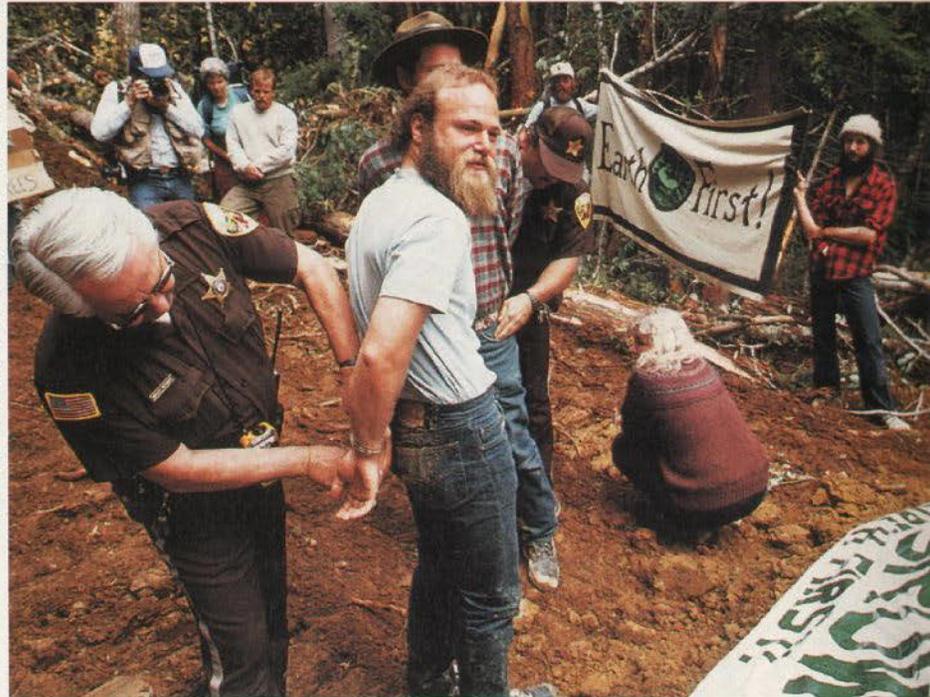
Erfolgreich können Forscher dagegen nach den ökologischen Rahmenbedingungen suchen, den „limitierenden Faktoren“. Und die werden mehr denn je von menschlichem Handeln bestimmt. So wird die Janusköpfigkeit unserer Rolle unübersehbar: Menschen sind untrennbarer Bestandteil und Veränderer von Ökosystemen, Nutznießer und Opfer, Handelnde und Beobachter zugleich.

Womit die Verwirrung eine neue, höhere Ebene erreicht hat. Wir wissen, daß wir nicht wissen können, wohin die ökologische Reise geht. Und wir wissen, daß wir auf dieser Reise nicht aussteigen können. Da hilft auch kein Sonntagsfahrverbot. □

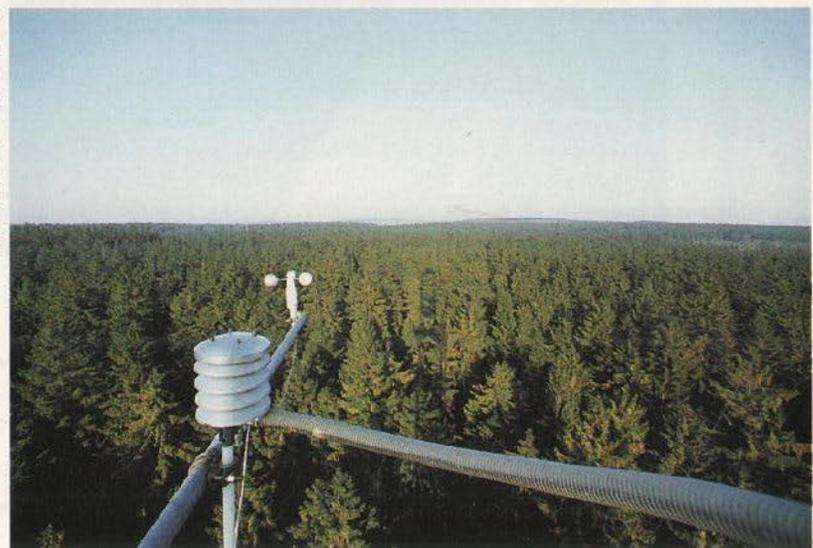
Albert Gerdes, 41, freier Wissenschaftsjournalist und Fotograf aus Bremen, hat für GEO-Wissen schon die Geschichte der Polarforschung (Nr. 4/1990) und der Landwirtschaft (Nr. 3/1991) beschrieben.



Ökologie mutiert zum politischen Begriff: »Greenpeace« demonstriert am 25. 5. 1991 in Kassel gegen den Autoverkehr; »Robin Wood« besetzt am 17. 9. 1990 einen Schornstein der Norddeutschen Affinerie in Hamburg; die US-Organisation »Earth First!« protestiert am 4. 5. 1987 im Siskiyou National Forest in Oregon gegen Abholzungspläne



Ökologische Wacht über den Wipfeln: Wissenschaftler der Universität Göttingen haben im Fichtenwald des Solling einen 50 Meter hohen Meßturm errichtet



**Den Tropenwald gibt es
nicht aber im Papier.**



**Helfen Sie
dem Tropischen
Regenwald!**

Bis ins kleinste
Detail haben Zeichner
für GEO jeweils ein
beispielhaftes
des Tiefland-
regenwalds an
(links) und
Bergland
in Costa

bei uns nur auf,

SPIESS ERMISCH ABELS



Die Urwaldriesen aus dem Tropenwald werden nicht zu Papier verarbeitet.

Die Erhaltung der Tropenwälder ist eine der wichtigsten Umweltschutzaufgaben für alle Menschen.

Auch die deutschen Papierfabriken bekennen sich zu ihrer Mitverantwortung dafür. Hauptursache für die Zerstörung der Urwälder sind Überbevölkerung, Armut und Hunger. Nach Erhebungen der UNO-Landwirtschaftsorganisation FAO wird der Urwald vor allem gerodet, um Brennholz zu gewinnen und um über Brandrodung landwirtschaftliche Nutzflächen zu erhalten. Von dieser Brandrodung des Urwalds können aber nur 25 Menschen pro km² leben. Die Brandrodung könnte gestoppt werden durch Einführung einer geordneten Land- und Forstwirtschaft, die mehr als 500 Menschen pro km² ernährt. Zu dieser zählt zum Beispiel auch der Anbau geeigneter Bäume, der in bestimmten Regionen unter Beachtung der ökologischen Gegebenheiten eine weitere Erwerbsmöglichkeit bietet. Damit bleiben auch die wichtigen Klimaschutzfunktionen des Waldes wie CO₂-Bindung, Luftreinigung und Wasserspeicherung erhalten. Wo der Boden mit den darauf wachsenden Bäumen eine Lebensgrundlage auf Dauer bildet, wird sein Wert erkannt, und es entfällt die Notwendigkeit, ständig neue Urwaldflächen zu roden. Durch die Verwertung der in Kulturen gewachsenen und stets auch wieder nachwachsenden Bäume können die Zellstoff- und damit indirekt auch die Papierhersteller helfen, den noch vorhandenen Tropenwald im größtmöglichen Umfang zu erhalten.

Wollen Sie mehr über Papier wissen? Rufen Sie uns bitte an. Zum Nulltarif:

01 30-83 73 53 Die Initiative Umwelt und Papier informiert Sie gerne.

PAP|ER
Kultur aus Natur

...m, was da
...nt und wächst,
...was da krecht und
...fliegt. Beide Zeich-
...nungen sind als P-
...im Format 52 x
...Zentimeter zu
...- und gleich-
...damit dem
...zu helfen
...so: Wer
...Seite

PANDA, REGENBÖGEN & CO.

VON BERNDT BARSCH

Am Eingang zum deutschen Büro des „World Wide Fund for Nature“ (WWF) im Frankfurter Stadtteil Sachsenhausen mahnt höflich ein Zettel: „Liebe Kollegen, bitte an die Stechuhr denken!“ Drinnen lächeln Sekretärinnen. Man siezt sich. Mann trägt Krawatte.

Die deutsche Zentrale von „Greenpeace“ am Hamburger Hafen verschanzt sich hinter Türen, die durch elektronische Codenummern-Schlösser versperrt sind. Auf fünf Stockwerken drängen sich Ikea-Regale und Computer. Die Räume sind verrauch. Die Mitarbeiter gereizt.

In den bundesdeutschen Schaltstellen der weltweit bedeutendsten Umweltlobbyisten haben die Angestellten nichts vom Gummistiefel-Charme einer lokalen Krötenschutzgruppe. Kein Hinweis auf den Dilettantismus einer Bürgerinitiative oder die Vereinsmeierei traditioneller Öko-Organisationen. WWF und Greenpeace haben sich zu „Multis“ der Umweltszene gemauert. Zu schlagkräftigen, multinationalen Unternehmen mit professioneller Führungsstruktur, an die Hunderttausende von Spendern per Einzugsermächtigung ihr Engagement für den kranken Planeten delegieren. Der WWF verfügt über einen Jahresetat von mehr als 300 Millionen Mark und ist in 28 Ländern präsent; bei Greenpeace arbei-

ten 39 Büros in 26 Staaten mit einem jährlichen Budget von 160 Millionen Mark.

Solche Imperien vermag anscheinend nur aufzubauen, wer der Basisdemokratie abschwört. Über Greenpeace herrscht ein kleiner, eingetragener Verein, der die Spender im Jargon „Fördermitglieder“ – zwar zahlen, aber nicht mitreden läßt. Beim WWF führt der Vorstand in Absprache mit der Geschäftsführung die Regie. „Wir entscheiden alles selbst“, erklärt Arnd Wünschmann, der Geschäftsführer von WWF-Deutschland, „dazu brauchen wir keine großen Versammlungen.“

So sehr sich die Strukturen der beiden Multis ähneln, so sehr unterscheiden sich ihre Strategien. Greenpeace und WWF haben sich – ohne je darüber verhandelt zu haben – auf eine Arbeitsteilung geeinigt und ganz unterschiedliche Nischen der Öko-Szene besetzt. Die einen hat ihre Kompromißlosigkeit, die anderen ihre Kompromißbereitschaft groß gemacht.

Mit einem klapprigen, ausgeliehenen Fischtrawler brach die kleine Gruppe der kanadischen Greenpeace-Gründer im September 1971 auf, um Atomtests auf einer Insel vor Alaska zu stoppen. Auch in ihren weiteren Aktionen gaben sich die „Regenbogenkämpfer“ erfolgreich als freche Davids, die gegen übermächtige Goliaths antreten: Sie warfen sich mit Schlauchbooten Walfangflot-

ten entgegen, manövierten halsbrecherisch vor Flugzeugträgern und stiegen Chemie gigantanten aufs Dach und auf den Schornstein.

Greenpeace, dessen Umwelt-Guerilleros sich nach wie vor mediengerecht in Szene zu setzen wissen, stellt die heutige Industriegesellschaft prinzipiell in Frage. Keine Rede davon beim „World Wide Fund for Nature“. Den WWF gründeten britische Lords, betuchte Geschäftsleute und Wissenschaftler 1961, um den Schutz bedrohten Großwilds in Afrika

zu finanzieren. Die Abkürzung stand damals noch für „World Wildlife Fund“. Als Hauptsitz wählte die Stiftung eine Villa am Genfer See, als Symbol das stilisierte Abbild des Pandabären „Chi Chi“ aus dem Londoner Zoo. Ihr erster Präsident war Prinz Bernhard der Niederlande, ihr heutiger heißt Prinz Philip, Herzog von Edinburgh.

Geld steckt die Stiftung vor allem in pragmatische Natur- und Artenschutzprojekte. Sie finanziert die Bewachung von Seeadlerhorsten, entzieht Feuchtwiesen der landwirtschaftlichen Nutzung oder unterstützt den Ankauf von Regenwaldparzellen. Die WWF-Macher glauben daran, daß sich Umwelt und Natur rücksichtsvoll „managen“ lassen. Sie lehnen neue Autobahnen nicht immer rundweg ab, sondern schlagen statt dessen eine „sensible Trassenführung“ vor.

„Greenpeace macht es sich zum Prinzip, Fenster einzuschlagen“, vergleicht Arnd Wünschmann, „wir wollen noch durch die Tür gehen können.“ Pressesprecher Thomas Immelmann verweist stolz auf die „gepflegteren Kontakte“



Lange Zeit beschränkte sich der WWF vornehm auf den Schutz bedrohter Tiere und Pflanzen. Jetzt will der Panda auch Zähne zeigen und etwa den Kampf gegen Treibhausgase aufnehmen

des WWF, auf die „entsprechenden Persönlichkeiten aus Industrie und Adel“, die seine Organisation mit Geld und guten Worten unterstützen. Und der Vorstandsvorsitzende Carl-Albrecht von Treuenfels stellt den WWF wie ein modernes Dienstleistungsunternehmen dar, das sich auf das Marktsegment Naturschutz spezialisiert hat. Der 53jährige Jurist, der früher mal für eine Werbeagentur tätig war, spricht von „Know-how-Transfer“, von „EDV-unterstützten Planungsgruppen“ und vom „USP“ der Organisation. Was „unique selling proposition“ heißt – „einzigartiges Verkaufsangebot“.

Während Greenpeace bislang praktisch jede Kooperation mit der Industrie verweigert hat, vermeidet der WWF eher die Konfrontation. Er begrüßt das „Sponsoring“ durch Firmen wie Opel oder IBM, berät gern Unternehmen, die ein Defizit an Umwelt-Ethik verspüren, und vergibt gegen Geld die Lizenz, den WWF-Panda werbewirksam zu vermarkten. Etwa für Schulhefte, Unterhosen, Mineralwasserflaschen oder Klorollen, die nicht einmal aus Altpapier bestehen müssen. Ein dicker, bunter Katalog des „Panda-Versands“ bietet vom formaldehydfreien BH bis zum wassersparenden „Turbo-Duscher“ eine breite Produktpalette feil.

Bei so vielen Differenzen bleiben Spannungen zwischen den beiden Multis nicht aus. Obwohl die Greenpeacer selbst mit Utensilien handeln, auf denen das Regenbogen-Logo prangt, verspottet Greenpeace-Führungskraft Susanne Kopte die Broschüren des Panda-Versands als „Otto-Kataloge“ und belächelt das „konservative Naturverständnis“ ihrer Spenden-Konkurrenten. WWF-Vertreter hingegen lamentieren, Greenpeace säße auf



Durch waghalsige Aktionen haben sich die Regenbogen-Krieger Ansehen erworben. Seit kurzem versucht Greenpeace überdies, Auswege aus der Öko-misere vorzuschlagen, zum Beispiel bei der Papierproduktion

Rücklagen von zig Millionen und lege keinen Wert auf Zusammenarbeit. „Die Tatsache aber, daß der WWF ihr erstes Schiff, die ‚Rainbow Warrior‘, mitfinanziert hat“, klagt Carl-Albrecht von Treuenfels, „ist in der Öffentlichkeit wenig bekannt.“

Solche Spitzen werden heute allerdings nur noch hinter vorgehaltener Hand geäußert. Denn beide Organisationen stecken in der Krise, von der die gesamte Umweltbewegung gebeutelt wird. Das Interesse der Öffentlichkeit erlahmt. Im Westen erscheint die Umweltverschmutzung weniger sichtbar, im Osten allzu erdrückend. In den Medien, die den Mythos Greenpeace mit aufbauen halfen, wird Kritik laut. Die Spenden brechen ein. Und nun, da die beiden Multis um ein neues Image ringen, beginnen die Grenzen zwischen ihnen zu verschwimmen.

„Womit wir bislang glänzen konnten, war das Simple. Doch die Umweltprobleme werden immer komplexer“, sagt Susanne Kopte. „Sich mit dem Schlauchboot zwischen Wal

und Harpune zu schieben, das war noch machbar. Sich vor das Ozonloch zu ketten ist aber unmöglich.“

Immer lauter erklingt deshalb auf internen Strategie-Diskussionen die Forderung, nicht nur die ökologische Misere anzuprangern, sondern auch neue Wege zu weisen. „Wir müssen uns“, postuliert der Greenpeacer Christoph Thies, „in die Niederungen der Suche nach Problemlösungen begeben.“ Seine eigene Kampagne machte vor, wie es geht: Mit dem „Plagiat“, einer Kopie des Nachrichtenmagazins „Der Spiegel“, produzierte Thies das erste Tiefdruckmagazin auf Papier mit chlorfrei gebleichtem Zellstoff.

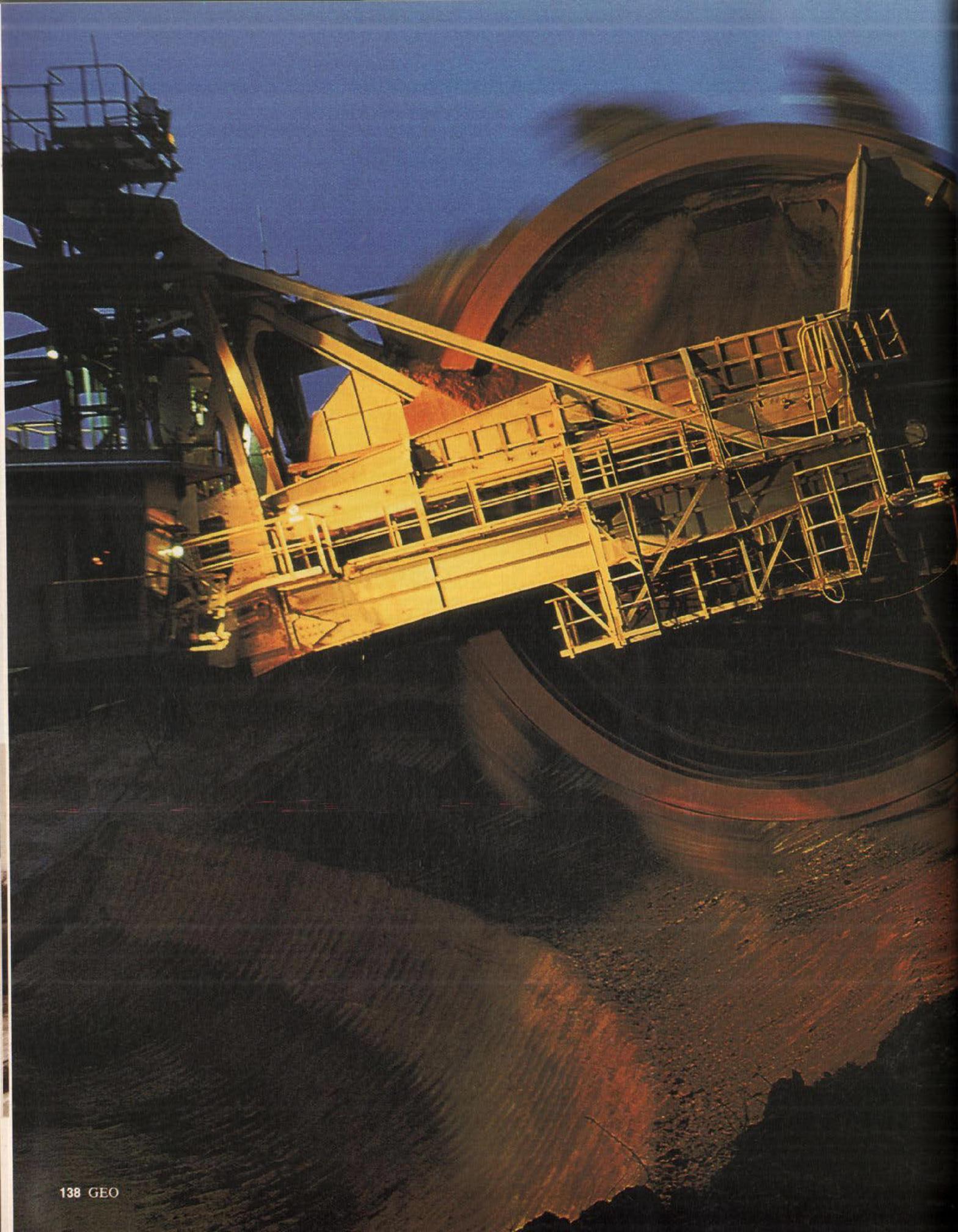
Der WWF hingegen will weg von seinem „VIP-Image“ und dem Ruf, der Rolls-Royce unter den Umweltschützern zu sein. „Der Panda soll Zähne zeigen“ lautet die Devise. Mit

der Umbenennung in eine Stiftung „für die Natur“ hat die Organisation signalisiert, daß sie sich nicht allein des klassischen Artenschutzes, sondern beispielsweise auch des Klimas und der Meere annimmt. Selbst Aktionen à la Greenpeace stehen neuerdings auf dem Programm. „Den Verkehr behindern und Transparente entrollen“, erklärt Arnd Wünschmann, „das können wir auch.“

Eine Form des Engagements wird – bei allen Strategiediskussionen – weder bei Greenpeace noch beim WWF in Frage gestellt: die intensive Lobbyarbeit. Sie ist zwar wenig spektakulär, aber vielleicht gerade deshalb oft um so wirksamer. „Wenn in einem Parlament oder auf einer internationalen Konferenz eine Entscheidung ansteht“, erzählt Andreas Bernstorff, Greenpeace-Experte für Müllexporte, „dann heißt es für uns: hinfahren und trommeln. Wir heizen Politiker an.“ Die Umweltorganisationen versuchen, Bewegung in die Konferenzen zu bringen. „Wir schlagen beispielsweise Indien vor, einen Antrag zu stellen“, erläutert Bernstorff, „Marokko geht mit. Schließlich wird ein Dokument verabschiedet, das wir erzeugt haben.“

Auf das Ziel, die Politik direkt zu beeinflussen, verwenden beide Organisationen den größten Teil ihrer Arbeit. Dafür organisieren sie ihre teuersten Recherchen und stellen die dicksten Dokumentationen zusammen. So gesehen sind direkte Aktionen und Pressekonferenzen oft nicht mehr als die – allerdings notwendige – Begleitmusik zu ihrem zähen Wirken hinter den Kulissen.

Zuweilen schaltet der Naturschutzbund Deutschland in Zeitschriften eine Anzeige mit dem Slogan: Die Natur hat keine Lobby. „Das stimmt nicht“, sagt Arnd Wünschmann vom WWF. „Sie hat uns.“ □



Wo die Schaufelräder wirbeln, weichen Felder und Wälder, fliehen Dörfer. Der Braunkohlentagebau, der die Energie für 20 Prozent des in der alten Bundesrepublik verbrauchten Stroms liefert, prägt Leben und Landschaft zwischen Aachen und Köln. Die hinterlassene Ödnis versuchen Planer mit Grün vom Reißbrett zu kurieren. Doch wie »natürlich« kann Natur aus zweiter Hand sein?

Ein grüner Deckel für die Grube



Revier der Riesenbagger: der Tagebau »Inden« südwestlich von Jülich

Einen toten Baumstumpf hat er ausgegraben und an anderer Stelle versenkt, drei große Behälter voller Roter Waldameisen darüber ausgeleert und ein Kilo Zucker auf das aufgeregte Gekrabbel gestreut. Ferdinand Piel ist kein okkultistischer Priester, der Akt kein mystisches Ritual, sondern der Förster siedelt einen *Formica-polyctena*-Staat um. „Ameisen, Kröten und Frösche gehen von selber von ihrem Standort nicht weg“, erklärt Ferdinand Piel. Und warum sollten sie ihn verlassen? Weil dieser „Standort“, der eben noch Wald war, bald ein riesiges Loch sein wird.

Denn hier, zwischen Köln, Aachen und Mönchengladbach, ist das Herrschaftsgebiet der Braunkohlenbagger, und jeder, der überleben will, sollte rechtzeitig machen, daß er fortkommt. Etwas Zucker hilft bei der Umgewöhnung, zumindest bei den Krabbeltieren.

Alltag im Notstandsgebiet: Menschen ziehen um; Vögel fliehen; Fuchs und Reh wechseln das Revier. Und Schnecken, Käfer, Regenwürmer? Ferdinand Piel, der sich um Rekultivierung und Naturschutz kümmert, ist froh, daß er wenigstens den Ameisen und ein paar anderen seltenen Arten helfen kann. Er lagert Froschlaich und Gewächse wie Schwertlilien, Igelkolben oder Binsen in einem Forstamts-Teich, um sie irgendwann in ein neu angelegtes Gewässer zu setzen. Er steckt Holzstöcke mit verschiedenen großen Bohrlöchern in die Erde, um Insekten Unterschlupf zu bieten.

„Wir könnten auch die unter Naturschutz stehenden Arten abbagern, ohne uns strafbar zu machen“, sagt Piel in trotziger Solidarität mit seinem Dienstherrn, der Rheinbraun Aktiengesellschaft – kurz Rheinbraun. Geschlecht weiblich, Betonung auf der zweiten Silbe. Die Rheinbraun ist der Riese im Revier. Sie hat auf einem 2500 Quadratkilometer großen Stück Deutschland das Monopol für den Abbau der Kohle.

3,5 Prozent davon – fast so groß wie die Insel Sylt – sind derzeit „Betriebsfläche“. Und dort darf die belebte Natur außer Dienst gestellt werden.

Vortübergehend, versichert die Firma und verweist auf ihre Anstrengungen zur Renaturierung der wüsten Löcher. Zum Beispiel im „Südrevier“ bei Brühl, dem heute kein Laie ansieht, daß es vor ein paar Jahrzehnten eine offene Wunde in der Landschaft war. Die riesigen Erdkuhlen, die Gruben mit Namen wie „Bergeist“, „Donatus“, „Mariagluck“ hinterlassen haben, wurden in die Ville-Seenplatte verwandelt, eine Attraktion für Erholungssuchende aus der Region Köln. 75 Hektar stehen unter Naturschutz. Hier brütet eine Kolonie Sturmmöwen. Mitunter rasten Fischadler und Eisvögel auf dem Durchzug. Pfifferlinge wachsen im dichten Wald.

Aufforstung hat Tradition in der Braunkohlenregion. Schon 1784 lautete

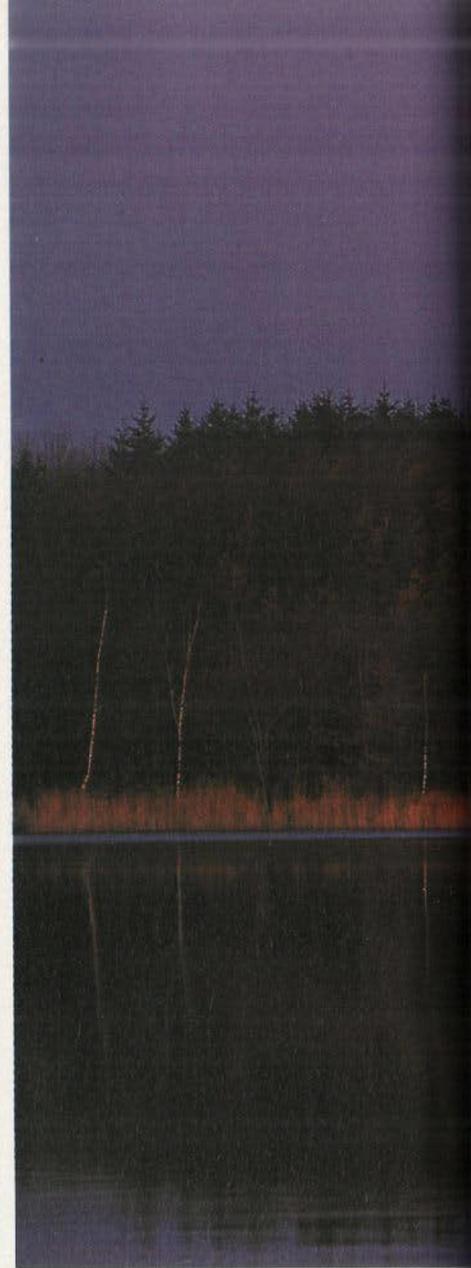


ein kurfürstliches Gebot, „die Turffkaulen nach geschehener derenselben Ausleerung auf Ort und Plätzen, wo es thunlich, ungesäumt wieder zuwerfen, ausfüllen und mit denen daneben gelegenen Plätzen aufs neue zu bepflanzen“. Damals buddelten die Bergleute im Miniatur-Maßstab. Das Industriezeitalter ließ die Löcher groß, größer, gigantisch werden. Schaufelradbagger von heute sind die größten eigenbeweglichen Landmaschinen der Welt: knapp 13 000 Tonnen schwer, 225 Meter lang und mit 96 Metern Höhe „mehr als halb so hoch wie der Kölner Dom“, wie die Besitzer stolz anmerken. Ein einziges Stahlmonster kann mit fünf Mann Besatzung Tag für Tag unvorstellbare 240 000 Tonnen

aus der Erde holen, soviel wie 40 000 Mann per Hacke und Schaufel.

Wenn er die Auswirkungen des Braunkohlentagebaus beschreibt, fallen Ferdinand Piel nur Naturkatastrophen als Vergleich ein: „Vulkanausbruch, Erdbeben, Überschwemmung“. Wunden dieser Art heilt die Zeit, weiß er. Und ist überzeugt, daß auch Kohlenkrater genesen. Durch eine Renaturierung sei sogar eine „Bereicherung der Landschaftsstruktur“ möglich.

Für solche Vision ist allerdings viel Phantasie nötig. Denn nicht die Gruben allein verschandeln diesen Landstrich. Weiträumig dehnt sich die Rübenfelder-Tristesse, unterbrochen von einem Übermaß an Autobahntrassen, Schorn-





steinen und Kühltürmen der Großkraftwerke.

Die Rheinbraun setzt auf technischen Gigantismus. Routiniert verlegen ihre Planerstäbe Flußbetten, versetzen Berge. Landkarten von gestern verwirren. Gotteshölfe? Vom Erdboden verschwunden. Obermerz? Weg. Pattern? Abgebaggert. Inden? Steht noch, inklusive Postamt, Sparkasse, Schule, Gastwirtschaften, Kirche und Friedhof. Wird auch bald zum Fraß der Bagger. Die Einwohner der betroffenen Ortschaften haben keine Wahl. Allein im Erftkreis sind 30 000 seit 1945 verpflanzt worden. Etwa 15 000 weitere sollen im gesamten Revier in den nächsten vier Jahrzehnten folgen. Wer nicht weichen



Das Idyll über der früheren Mondlandschaft bei Brühl entpuppt sich auf den zweiten Blick als eintönig: Die Bäume etwa, deren Wachstum Förster akribisch registrieren (links außen), sind gleich alt und gleich groß. Renaturierung, beim Wort genommen, muß mehr sein als das Spiel mit Teilen aus dem Modellbaukasten des Landschaftsgärtners

**Es lächelt
der See, wo einst ein
Krater gähnte**

will, wird enteignet und entschädigt. Wer freiwillig geht, schneidet häufig besser ab. Selbst Umzugsbeihilfen für Katzen wurden schon gewährt.

„Die Leute hier lassen sich alles abkaufen“, schimpfen Naturschützer. „Die Leute sind kaputt und resignieren“, klagen Pfarrer. „Die Leute sind größtenteils zufrieden“, findet Rheinbraun. Die „Leute“ selbst äußern sich ungerne. „Nu schrieve Se doch nit esu vill op!“ zitiert eine Studie einen Geschäftsmann. „Wenn Rheinbraun herauskriegt, wer das gesagt hat . . . dann bin ich gleich auf der schwarzen Liste.“

Natürlich feilschen alle um einen guten Preis fürs Eigentum, natürlich sind sie auch resigniert, natürlich versuchen sie trotzdem, sich mit dem neuen Ort zu arrangieren. Auch wenn es Alte gibt, die das Leben dort mit „Sibirien“ vergleichen. Auch wenn Kinder vor dem Umzug Rotz und Wasser heulen. Die Kohle ist König. Verlorene Heimat läßt sich durch keinen Trick zurückzaubern. Durchwühlte Flächen wieder nutzbar zu machen, öde Landschaften wiederzubeleben scheint eher möglich zu sein.

Die spektakulärste Rheinbraun-Schöpfung wurde vor 14 Jahren kreiert. Aus dem Plattland der Jülicher Börde taucht die 1,3 Milliarden Kubikmeter mächtige Sophienhöhe auf und überragt mit 299 Metern alles im weiten Umkreis.

Berge ergeben sich als Gegenstück zu den Gruben: Je tiefer der Trichter, desto höher der Hügel. Im Fall der Sophienhöhe stammt das Material aus dem bereits „ausgekohlten“ Teil des Hambacher Lochs. Das Kunstgebilde – etwa 500mal so mächtig wie die Cheopspyramide – lockt mit Rodelbahnen, Grillplätzen, Schutzhütten. Ein Wanderwegenetz von 73 Kilometern führt durch jungen Wald.

Ist das schon Wald? Im Anfang wirkt ein neuer Forst wie ein in Reih und Glied aufgestelltes Heer gleichaltriger, gleich großer Rekruten. Modellbau-Fans kennen das. Wenn sie Bäumchen aus der Packung mit Schaumstoff-Floken oder Streupulver belauben und in ihren mit „Granumix-Streugras“ begrünten Spielzeuglandschaften aneinan-

derreihen, garantiert das noch keine Ähnlichkeit mit „echter“ Natur. Erst Bäume „in verschiedenen Größen ergeben“, rät ein Hersteller, „ein natürliches Gesamtbild.“

Der Ernstfall ist komplizierter. Wo sollen die Rheinbraun-Förster verschiedene große Bäume hernehmen? Jahrhunderteichen gibt es nicht zu kaufen. Ferdinand Piel und seine Kollegen sind auf Baumschulmaterial angewiesen, zwei bis drei Jahre alt, 120 bis 140 Zentimeter hoch. Jedes Jahr nehmen sie eine Million neuer Kleinpflanzen unter ihre Obhut. Im Tausenderpack bestellen sie Hainbuchen, Linden, Erlen, Eschen, Lärchen oder Douglasien. Von November bis April rollen am frühen Morgen Lastwagen mit 60 000 Bäumchen ohne Ballen an. Eile ist geboten. Bündel abladen, nachzählen, sortieren und so lagern, daß keine Luft an die Wurzeln kommt. Dann die Einzelladungen, mit



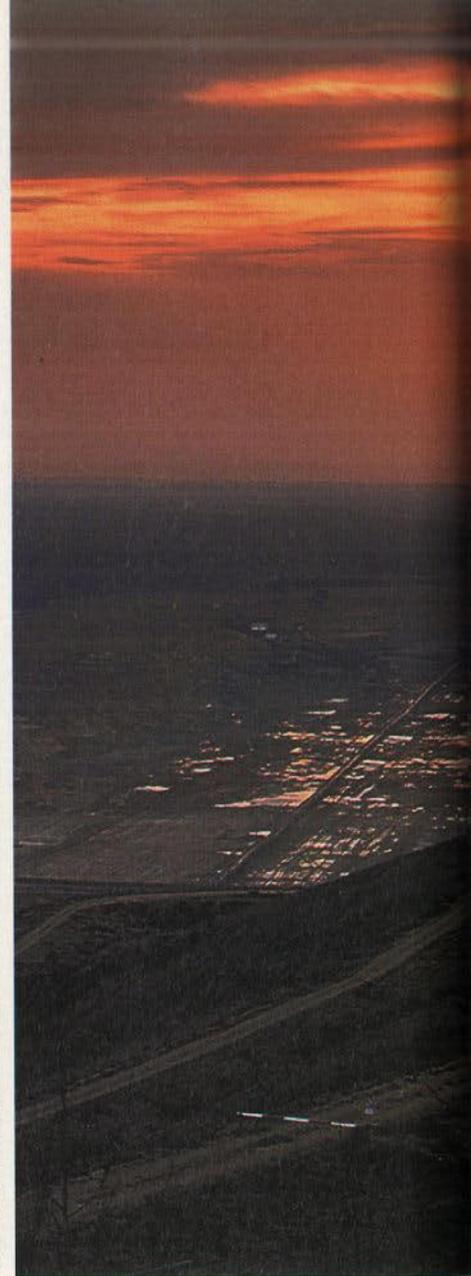
feuchten Tüchern abgedeckt, zum Ort des „Kulturplans“ bringen.

Für die Forstarbeiter folgt Knochenarbeit: zwei Schläge mit der Hacke, Pflanze in der Mulde versenken. An einem Achtstundentag können geübte Hände 500 bis 700 Bäume in Reih und Glied postieren. 8000 kommen auf den Hektar, 200 sollen nach dem Durchforsten übrigbleiben. Geduld tut not. Wenn Ferdinand Piel in 25 Jahren in Rente geht, werden die Eichen der ersten Sophienhöhen-Generation 15 Meter hoch sein.

Die 70 Mitarbeiter der Rekultivierungs-Abteilung haben mit den Unzulänglichkeiten von Secondhand-Natur zu kämpfen. Das fängt beim Boden an.

Ein aufgeschüttetes Gemisch aus Löß und Kies hat mit natürlich gereiftem, von Mikroorganismen wimmelndem Mutterboden nichts zu tun. Doch auch auf „Forstkies“ regt sich bald Leben. Der Wind weht Pilzsporen herbei, Insekten schleppen Samen ein. 1979, ein Jahr nach der „Geburt“ der Sophienhöhe hatten 30 Pflanzenarten den Abraumhügel erobert; die jüngste botanische Inventur ergab knapp 300 Spezies. Der Flora folgt Fauna, Spatz und Karnickel siedeln sich an, aber auch Pirol und Nachtigall.

Weltweit versuchen sich Wissenschaftler in „ökologischer Restauration“. In Neot Kedumim, einem „biblischen Garten“ im Hochland von Sa-





maria, bemühen sie sich, Landschaften den im Alten Testament beschriebenen nachzugestalten. In den USA basteln Ökologen an der Wiederherstellung ursprünglicher Prärien und Marschlandschaften. Oft scheitern die Experimente. Ein Ökosystem ist eben mehr als die Summe der bekannten Teile.

Ulf Dworschak, ein junger Biologe im Rheinbraun-Forstamt, hält nichts von starrer Imitation der Vergangenheit: „Der Wald, so wie er war, ist nicht wieder hinzukriegen“, sagt er. „Das ist auch nicht unser Ziel. Wir versuchen, die Grundlagen für eine neue vielgestaltige Lebewelt zu schaffen. Eine Rote-Liste-Art verlieren wir; eine andere wandert ein. Den Mittelspecht wird es hier vor-



**Je tiefer die
Kuhlen, desto höher
die Halden**

Der Blick in die Abgründe des Tagebaus Hambach eröffnet sich von der Sophienhöhe. Auf dem 299 Meter hohen Hügel, aus 1,3 Milliarden Kubikmeter Abraum aufgeschüttet, haben Planer ein »Feuchtbiotop« (links außen) eingerichtet. An dessen Rand gedeiht sogar der Ginster, der sonst in der Region nicht mehr vorkommt

erst nicht mehr geben, aber dafür den Wiesenpieper.“ Naturkundler denken in Jahrhundert-Fristen. Dworschak arbeitet daran. „daß wir in 200 Jahren hier wieder eine ausgereifte Waldgesellschaft vorfinden, die ihren eigenen Wert hat“.

Natur überrascht auch Experten. Auf dem Jülicher Kopf, einem der drei „Gipfel“ der Sophienhöhe, fanden sich – unverhofft und doch folgerichtig – Schwalbenschwänze zum „Hilltopping“ ein: Die Schmetterlingsart sucht sich für das Paarungsritual jeweils den höchsten Punkt ihres Reviers. Und im Frühjahr blüht gelb der Ginster, dessen Samen 150 Jahre im aufgeschütteten Boden überdauert hatten.

Doch woher sollen „migrationsunwillige“ Arten wie flugunfähige Insekten einwandern, wenn sich im Umkreis kilometerweit rot-braune Wüste dehnt? Neuerdings verschonen die Bagger Restwälder, um dem Getier einen Weg zu bahnen zu Neupflanzungen. Außerdem haben Wissenschaftler auf Versuchsflächen mit Eimer und Schaufel Originalboden aus dem Hambacher Forst aufgetragen, damit sich Waldinsekten schneller ansiedeln. Sie stellten „Fallen“ beispielsweise für Laufkäfer auf, markierten 4322 Individuen und berechneten Auswanderungsquoten. Erfreut berichteten sie, daß ihr „beimpfter“ Boden die im Wald heimischen Schulterkäfer beherbergte, während auf den üblichen Forstkiesflächen zunächst der für Brachland typische Kanalkäfer „superdominant“ war.

Im Vergleich zur nackten und toten „Verkippung“ von einst ist die Sophienhöhe heute fast ein Wildwuchs-Paradies. Nur die Form wird ein für allemal an den technischen Ursprung erinnern. Dabei wirke der Berg bereits viel weniger ingenieurmäßig als früher angelegte Hügel, meint Wolfgang Säger aus der Rheinbraun-Pressstelle. Neuerdings verzichten die Planer sogar fast ganz auf Planierraupen.

Bei Rheinbraun regiert eher Stolz als Selbstkritik. Er speist sich aus dem Strom von Fachleuten, die aus der gan-

zen Welt ins Rheinland pilgern, um die ehemaligen Tagebauflächen zu studieren – als vorbildliches Beispiel für Reaktivierung.

Das Stadium davor macht augenfällig, wie schwierig es ist, neues Grün in die Landschaft zu zwingen. Ortstermin auf Sohle 5 im Tagebau Hambach, rund 100 Meter unter dem Meeresspiegel: Ödnis von Horizont zu Horizont, eine Welt aus totem Boden, Gummi, Stahl. Wie ein merkwürdiges Insekt mit langen Tentakeln kriecht der Schaufelradbagger Nr. 285 auf 16 Raupenfüßen durch das Gelände. Er trägt die letzte Deckschicht über der Kohle ab. Ans Licht kommen Erinnerungsstücke an die üppigen Urwälder, die hier vor 15 bis 20 Millionen Jahren die Braunkohle gebildet haben: schwarze, nicht völlig verkohlte Baumstrünke, sogar ein kaum zersetztes Blatt in Form eines Palmwedels.



Am Kraterrand werden Bauern in ein paar Jahren wieder Rüben ernten. Rot blinkend wartet der Rotationslaser „Spectra physics“ auf einem schon fertigen Stück Oberfläche 20 Meter vom Abgrund entfernt. Das High-Tech-Instrument sorgt dafür, daß eine Planierraupe ein brettebenes Anschlußstück mit einem Gefälle von höchstens 1: 66,5 modelliert. Wie Landwirte es wünschen und wie in Planungsskizzen festgelegt.

Der Boden ist wohlbedacht geschichtet. Unten die „Rohkippe“ aus „Abraum“, der Masse, die in den Gruben zwischen Oberboden und Kohle liegt. Dann vier Meter durchlässiges Material wie Kies als Drainage. Obenauf rieseln von einem Förderband zwei Meter

orangebrauner Löß. Auf dem Nachbarfeld – vor 18 Monaten auf die gleiche Weise angelegt – sprießt zaghafte Grün. In einem künstlich angelegten See spiegelt sich ein Reiher. Bussarde und Turmfalken haben sich an die „Sitzkrücken“ gewöhnt – Holzstangen mit Querstrebe, die als Baumersatz am Wegesrand dienen.

Besucher aus der Lausitz rühmen nach der Besichtigung des Rheinischen Reviers die „weitgehend harmonische Ehe zwischen Bergbau und Umweltschutz“. Sie wissen aus leidvoller Erfahrung, wozu „Restlöcher“ einladen. Manche Gruben im Osten Deutschlands stecken nicht voller Abraum, sondern voller Müll, auch giftigem. Auf dem Pa-



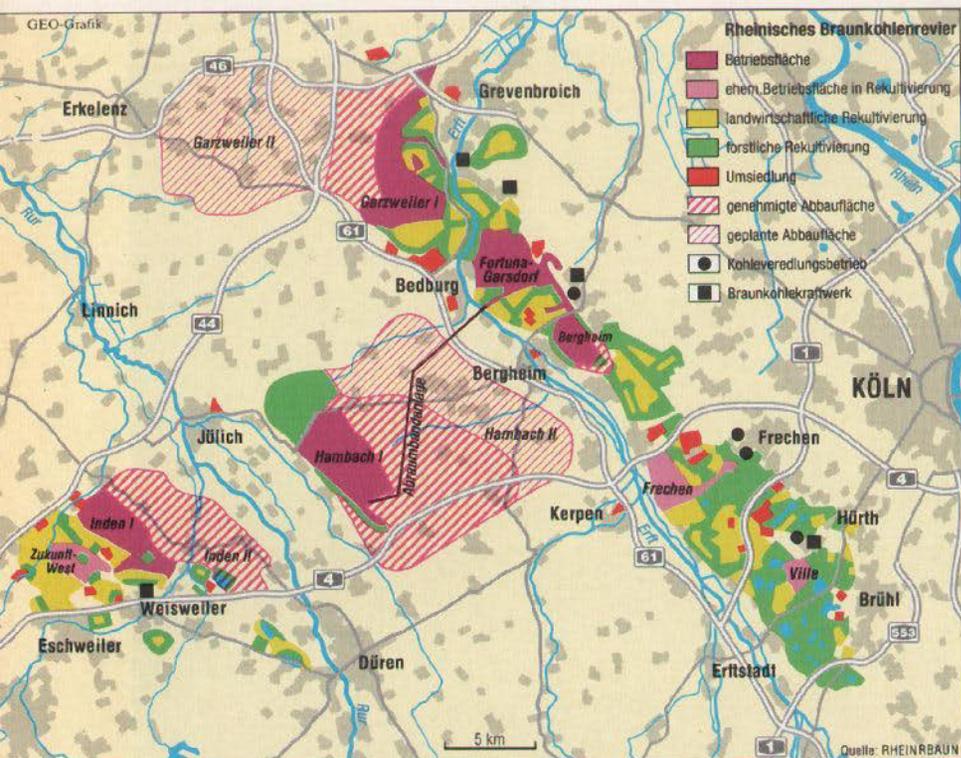
pier war in der Ex-DDR eine „gesunde und effektive Bergbaufolgelandschaft“ projektiert. Jetzt gilt die Region als sanierungsbedürftige Altlast. Ehemalige Beschäftigte des Tagebaus erproben in Arbeitsbeschaffungsmaßnahmen Natur-Reparatur unter erschwerten Bedingungen.

In der westlichen „Plan“-Wirtschaft sollen Rechnungen beweisen, daß die Rekultivierungs-Gleichung aufgeht: Vorher wurden 1778 Hektar vermessen, davon 86 Prozent Äcker und Grünland, 1 Prozent Wald, 3 Prozent Wasserfläche, 10 Prozent Siedlungen, Straßen und Wege. Nachher sollen entstehen: 90 Prozent Ackerbaufläche inklusive Grünland, 5 Prozent Wald, 2 Prozent



Die neue Heimat: steril wie aus dem Katalog

Für üppiges Grün haben Planer und Einwohner von Ersatzdörfern wie Neu-Garzweiler offenbar wenig Sinn. Eine Kampagne, bei der die Firma Rheinbraun Pflanzen für Gärten und Fassaden verschenkte, fand wenig Resonanz. Von Alt-Garzweiler (links außen) stehen nur noch wenige, meist verlassene Häuser



Eine Fläche fast so groß wie die Insel Sylt bedecken die Tagebaue der Firma Rheinbraun



Rein in den Traktor und immer geradeaus: Mit brettebenen Äckern, ganz nach dem Geschmack hocharbeitsorientierter Bauern, haben Landschaftsarchitekten das ehemalige Südrevier nahe Hürth rekultiviert

Felder, mit dem Lineal geplant



Wasserflächen, 1 Prozent Straßen und 2 Prozent „Grünflächenauflockerungen“. 100 Prozent = 100 Prozent.

Doch zwischen Anspruch und Realität bleibt eine Kluft. Technischer Jargon prägt das Naturverständnis. Da ist von „abwechslungsreicher Trassierung der Wirtschaftswege“ die Rede, von „Eingrünung der Siedlungsränder“ und landschaftsgerechter „Modellierung“. Nicht einlösbare Versprechen wie im 1990 verabschiedeten Braunkohlenplan Inden II sind an der Tagesordnung: Rekultivierung habe „nicht nur die Wiederherstellung der früheren Nutzung, sondern auch einen gesteigerten Freizeit- und Erholungswert sowie eine ökologische Regeneration des Abbaubereichs zum Ziel“, heißt es da forsch.

Wie soll die friedliche Koexistenz von Surfern und Molchen, von Ackerchemikalien und Wildkräutern aussehen? In den rekultivierten Zonen herrscht harte Konkurrenz: Platz für Felder, Wohnsiedlungen, Gewerbebetriebe, neue Straßen, Mülldeponien muß her. Der „Erholungsdruck“ der Städter nimmt zu. Sie drängen „ins Grüne“ und meinen damit Picknickplätze, Joggingstrecken oder Wassersport-Areale, den Parkplatz am besten nebenan.

Früher genoß der Freizeitwert der Natur bei Landschaftsplanern hohe Priorität. Mittlerweile jedoch gilt ihnen Erholung als eine Nutzung wie andere auch. Und viele möchten lieber der belebten Natur größere Schonflächen einräumen, auf denen sie sich ungestört entfalten kann. Der Konflikt mit den Erholungsuchenden ist programmiert.

Das verbindliche Fundament für die Zukunft jedes Tagebaus ist und bleibt der Braunkohlenplan. Dessen Werdegang beginnt in den Büros der Rheinbraun. Auf der Basis einer dort ausgefüllten Vorlage formuliert der Braunkohlenschauf, dem Parteien, Arbeitgeber, Landwirte und Gewerkschafter angehören, einen Entwurf. Das Gremium holt Anregungen und Bedenken der Öffentlichkeit ein und entscheidet schließlich. Naturschützer haben dabei kein Stimmrecht. Die Lobby der Steinkäuze und Spechte kann nur beklagen, daß Höhlenbrüter in der Reißbrett-Natur über lange Zeit kaum noch Lebensraum finden werden.

Das langfristige und starre Planungsverfahren erschwert nachträgliche Verbesserungen. „Es ist“, klagt Max Busch, Leiter des Planungsamts im betroffenen Erftkreis, „als ob wir uns gegenwärtig danach richten sollten, was sich jemand 1940 ausgedacht hat.“ Weil „morgen die Maßstäbe von heute nicht mehr gelten“,

UMWELTGESETZE **Das gleiche Recht für alle Kreaturen**

Pech für den Kapitän und seinen leitenden Ingenieur: Wasserschutzpolizisten erappten die beiden Seeleute aus Nahost, als sie ein klebriges Öl-Wasser-Gemisch aus der Ölwanne des Schiffsmotors in die Elbe pumpeten. Hamburger Richter verhängten eine ungewöhnlich hohe Strafe: jeweils 300 Tagessätze, was bei dem für deutsche Verhältnisse geringen Einkommen der Verurteilten insgesamt 15 000 Mark ergab. Doch diese Strafe ist ein Klacks im Vergleich zu den Summen, die das Beseitigen solcher Umweltschäden kostet.

Obwohl Umweltkriminalität hierzulande rapide zunimmt, klagen Staatsanwälte nach wie vor nur selten an. Sie sind häufig überlastet, die meist schwierigen Fälle verlangen neben juristischem auch wissenschaftlich-technischen Sachverstand. Und wenn ein Verfahren eröffnet wird, endet es oft mit einem Freispruch, weil die Angeklagten die Umweltsünden mit Billigung überlasteter oder unfähiger Aufsichtsbehörden begangen und deshalb nicht rechtswidrig gehandelt haben. Oder sie werden nicht bestraft, weil ihre Schuld nicht eindeutig nachzuweisen ist. Und ohne individuelle Schuld keine Strafe.

Nicht nur bei Strafprozessen mangelt es notorisch an Beweisen, sondern meist auch in Zivilverfahren: wenn zum Beispiel Menschen, die sich durch Holzschutzmittel ihre Gesundheit ruiniert haben, auf Entschädigung klagen oder wenn die Anwohner mit Pestiziden besprühter Äcker wegen Allergien Schadensersatz fordern.

Der Mißstand offenbart eine prinzipielle Schwäche des Umweltrechts: In komplexen biologischen Systemen läßt sich ein Schaden nur selten auf eine einzige unmittelbare Ursache zurückführen, wie das Gesetz es fordert. Ein Fischer, dessen Fanggründe verseucht sind, geht deshalb leer aus, weil die Richter keinem der

vielen Betriebe, die alle zur Belastung beitragen, einen konkreten Schaden allein anlasten können.

Dabei können sich die deutschen Umweltgesetze im internationalen Vergleich durchaus sehen lassen. Seit den sechziger Jahren haben mehrere Bundestage aus einer Vielzahl von Bestimmungen wie dem Pflanzenschutz-, Immissionsschutz- und Umweltchemikaliengesetz ein imposantes, allerdings verwinkeltes Rechtsgebäude gezeitert.

Und die Entwicklung geht weiter. Um die Orientierung in dem Wirrwarr komplizierter Vorschriften zu erleichtern, hat das Bundesumweltministerium den ersten Teil eines zusammenfassenden Um-

Viele Umweltdesaster bleiben deshalb ohne juristische Konsequenzen:

- Erstens, weil die Gesetze zum Schutz der Natur nach gängiger Rechtsprechung dem allgemeinen, nicht aber dem individuellen Interesse an einer gesunden Umwelt dienen. Folglich kann niemand vor dem Verwaltungsgericht rügen, eine Einleitung von Giften in Wasser oder deren Ausstoß in die Luft verletze ihn in seinen Rechten.

- Zweitens, weil Umweltverbänden wie Greenpeace und WWF in der Regel noch immer versagt ist, Gerichte per Verbandsklage zugunsten der bedrohten Natur anzurufen. Lediglich fünf Bun-

ren Kreaturen als – vernunftlosen – Rechtsobjekten geht zurück auf den französischen Naturwissenschaftler und Philosophen René Descartes sowie den deutschen Philosophen Immanuel Kant. Für Descartes war alles außer dem menschlichen Geist unbeseelte Materie; Kant sprach von Tieren als seelenlosen Reflexautomaten.

Zumindest sprachlich hat sich dieses Schema nicht durchgesetzt. Begriffe wie „Angsthase“, „Affenliebe“ und „leiden wie ein Hund“ drücken aus, daß Tiere genauso wie Menschen Gefühle haben. Am weitesten wagte sich das bundesdeutsche Parlament denn auch im Tierschutz vor. Das entsprechende Gesetz soll „aus der Verantwortung des Menschen für das Tier als Mitgeschöpf dessen Leben und Wohlbefinden schützen“. Und seit 1990 steht im Bürgerlichen Gesetzbuch eindeutig: „Tiere sind keine Sachen“. In der Praxis allerdings behandeln Juristen sie weiterhin als solche.

Neben Umweltschützern und Rechtswissenschaftlern plädieren auch die Kirchen für ein Eigenrecht der Natur. Der biblische Auftrag „Machet Euch die Erde untertan“ rechtfertigte, betonten sie, nicht die hemmungslose Ausbeutung des Planeten. „Alle Mitgeschöpfe haben ihren eigenen Wert“, heißt es in einer gemeinsamen Erklärung der Arbeitsgemeinschaft christlicher Kirchen vom Oktober 1988. „Die Ehrfurcht vor dem Leben verbietet es, Tier- und Pflanzenwelt vornehmlich unter dem Gesichtspunkt der Verwertbarkeit für den Menschen zu sehen.“

Trotz Eigenrechten für die Natur werden Menschen, darin sind sich die Protagonisten dieser Idee einig, weiterhin Tiere züchten und schlachten, Wald roden und Korn mähen müssen. Wir werden uns aber stets von neuem fragen müssen, meint der Schweizer Rechtswissenschaftler Jörg Leimbacher, ob ein Eingriff wirklich nötig ist: „Brauchen wir die neue Straße? Brauchen wir das Produkt S.? Wir werden unsere Interessen immer und immer wieder denjenigen der Natur unterordnen müssen.“

Martin Klingst



weltgesetzbuches entwerfen lassen. In Bonner Schubladen liegen ein neues Naturschutzgesetz und ein schärferes Umweltstrafrecht. Oben auf der Tagesordnung steht auch die Verankerung des Umweltschutzes im Grundgesetz.

Alle Regelungen orientieren sich dabei an einem fundamentalen Prinzip: dem Schutz des Menschen, seines Lebens, seiner Gesundheit und seines Eigentums. Pflanzen und Tiere, Boden, Wasser und Luft profitieren allenfalls mittelbar. Diesen Grundsatz belegen zum Beispiel die im Wasserhaushaltsgesetz formulierten Ziele: „Die Gewässer sind als Bestandteil des Naturhaushalts so zu bewirtschaften, daß sie dem Wohl der Allgemeinheit und im Einklang mit ihm auch dem Nutzen einzelner dienen und daß jede Beeinträchtigung unterbleibt.“

desländer haben dieses Rechtsinstrument verankert – in sehr eingeschränkter Form.

Publikumswirksam legten Umweltorganisationen 1988 im Namen der in der Nordsee dahinsiechenden Robben Widerspruch ein gegen Verklappungs- und Verbrennungslizenzen. Später stellte sich zwar heraus, daß in erster Linie ein Virus die verheerende Tierseuche auslöste und die schleichende Vergiftung des Meeres die Robben allenfalls anfälliger gemacht hatte. Doch Hamburger Verwaltungsrichter schmetterten die Anträge ab: Vor Gericht stehen könne nur der Mensch. Allein er sei Träger von Rechten, weil er sich „kraft seines Geistes von der unpersönlichen Natur“ abhebe.

Die strikte Trennung zwischen dem Menschen als – vernünftigen – Rechtssubjekt und ande-

hat der engagierte Beamte schon vor Jahren mit einer Gruppe von Landschaftsplanern, Architekten und Ökologen ein flexibles Modell mit eingebauten Korrekturschritten durchzusetzen versucht. Vergebens. Geplant ist geplant.

Projekte wie der heftig umstrittene Tagebau Garzweiler II sind bis ins Jahr 2045 konzipiert. In umfangreichen Studien haben Ingenieure die „Machbarkeit“ untersucht. Anhand hydraulischer Modellrechnungen haben sie zum Beispiel simuliert, wie der Naturpark Maas-Schwalm-Nette an der niederländischen Grenze in Zukunft sinkendes Grundwasser verkraften könnte. Fazit: Feuchtgebiete sollen an den Tropf, sollen künstlich bewässert werden. „Was versauen wir uns alles, wenn wir so weitermachen wie bisher?“ fragt Max Busch, der seit 1962 im Amt ist.

Das Wasserproblem steht mit an erster Stelle, nicht nur in Garzweiler: Seit Jahrzehnten pumpt Rheinbraun unvorstellbare Mengen Grundwasser ab, sogenanntes Sumpfungswasser, um die Gruben für die Bagger trockenzulegen. In den siebziger Jahren waren es jährlich 1,2 Milliarden Kubikmeter, heute bei gefallenem Grundwasser-Niveau immer noch mehr als 600 Millionen Kubikmeter. Diese Wassermenge, die etwa den Kölner Bürgern immerhin gut siebeneinhalb Jahre reichen würde, fließt größtenteils ungenutzt ab.

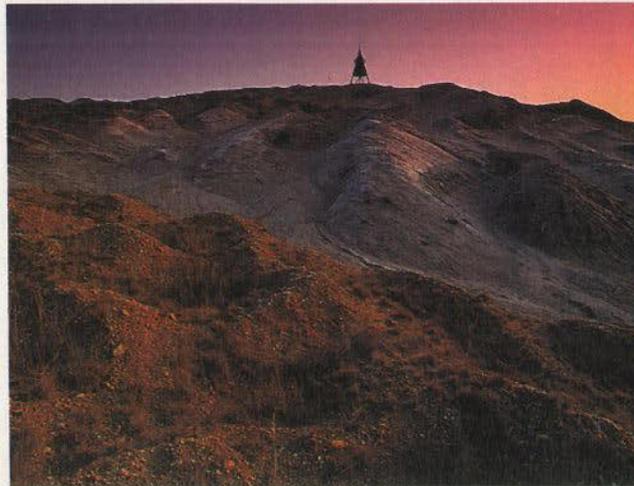
Heute verdursten die Pflanzen. Morgen werden die Menschen auf dem Trockenen sitzen. Nach Bergrecht gilt Braunkohle als Bodenschatz, Wasser nicht. Die pro Tonne Kohle abgeleiteten sechs Tonnen Wasser kosten die Betreiber lediglich die Energie für die Pumpen. Bodenbakterien und Veilchen haben keinen materiellen Wert. Die Schleiereule, die noch in einem alten Gemäuer in Bettendorf brütet, ist nicht entschädigungsfähig. Deshalb bleibt Braunkohle eine billige Energiequelle.

Protest gegen die gewaltige Naturzerstörung, die der Rekultivierung vorausgeht, verhallt weitgehend ungehört. Außerhalb der Region Köln und Aachen nimmt kaum jemand wahr, daß

Kritiker „verheizte Heimat“ fluchen. Braunkohle? Ist das nicht allein ein Problem der Ex-DDR? Tagebaunamen wie „Fortuna/Bergheim“ oder „Zukunft/Inden“? Nie gehört. Die wenigsten im Westteil der Republik wissen, daß 1990 fast 20 Prozent des Stroms aus Braunkohle stammten.

Die Kombination aus geringem Brennwert und hohem Kohlendioxid-Ausstoß der Kraftwerke sei im Treibhauszeitalter fatal, sagen die Gegner. Braunkohle schaffe Brot und Arbeit und sei ein Weg, sich vom Atomstrom zu lösen, entgegnet eine große Koalition aus Gewerkschaften, Bergbaubehörden, stromhungriger Industrie und regierenden Sozialdemokraten. Stromsparen widerspricht dem Neon-Zeitgeist, Alternativen fehlen, die Bagger fressen weiter Natur.

Wer trauert um die Streuobstwiesen, die traditionell die alten Dörfer um-



säumten? Mit dem Geld, das Umsiedler für den Verlust solcher Wiesen erhalten, säen sie in ihren neuen Weilern Rassen, auf dem Vieh nichts verloren hat. Ziertannen garnieren die Vorgärten; Äpfel kaufen die Menschen im Supermarkt. „Kein Dorfteich, kein Zentrum, nichts“, schimpft ein Mitarbeiter des Naturschutzbundes Deutschland, „es gibt keine Schwalben mehr in diesen Orten. Die Ställe sind dicht.“ „Katalogdörfer“ nennt er die neuen Anwesen und spottet über die „Pseudobäumchen“ vor der Tür: „Steriler kann man Vorgärten nicht machen.“

Die Rheinbraun hat ein Projekt „Ökologische Anreicherung von Weilerstandorten“ aus der Taufe gehoben

und schenkt den Dorfbewohnern Nistkästen, landschaftstypische Obstbäume, Pflanzen für die Fassadenbegrünung. Die Resonanz ist jedoch gering. Wer sich damit abgefunden hat, den Boden unter den Füßen zu verlieren, ist offenbar nicht mehr so recht für wilden Efeu und Fledermäuse zu begeistern.

Stellen, wo Natur sich selbst überlassen bleibt, sind selten. Auf ein kleines Areal der Sophienhöhe haben die Rheinbraun-Ökologen nährstoffarme Sande und Tone geschüttet. Verschont von weiteren Eingriffen sollen sich Flora und Fauna hier entwickeln und im Laufe der Zeit ein vielfältiges Ökosystem formen. Bei Spaziergän-





gern stößt die Fläche auf Unverständnis: „Unordentlich, nicht richtig aufgeräumt“, murren sie. Was nicht genutzt wird, ist wertlos. Tagebau-Anlieger haben sich an diese Regel gewöhnt. Sie schätzen vor allem die „Erholungsnutzungen“ im ehemaligen Bergbaurevier. Für den Blausteinsee, der sich als Restloch bei Eschweiler im Jahr 2003 mit Wasser füllen soll, haben Segelfans bereits einen Verein gegründet. □

Die Hamburger Journalistin **Hanne Tügel**, 38, ist Mitglied der Autorengemeinschaft „Signum“. Für GEO-Wissen Nr. 1/1992 „Risiko“ hat sie die Münchener Rückversicherung portraitiert. Der Dortmunder Fotograf **Thomas Pflaum**, 35, gibt mit dieser Reportage sein Debüt für GEO-Wissen. Für GEO hat er gemeinsam mit Hanne Tügel bereits die Themen Altlasten und Müll erarbeitet.



Leben unter den Kathedralen der Kohlekraft

Im Schatten der Braunkohle haben sich, wie hier in Gustorf, die Bürger an die Regel gewöhnt: Was nicht genutzt wird, ist wertlos. Auf Unverständnis stößt deshalb bei vielen Spaziergängern das »un gepflegte« Areal auf der Sophienhöhe (links außen): Hier sollen sich Flora und Fauna ungestört entwickeln können

Was nutzt die Rote Liste der bedrohten Arten, Herr Blab?



Prof. Dr. Josef Blab, 43, leitet das Arbeitsgebiet Biotop-schutz an der Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie in Bonn-Bad Godesberg und ist Mit-herausgeber der Roten Liste für die Bundesrepublik.

Eine ganze Menge. Die Kataloge gefährdeter Tiere und Pflanzen, die in den vergangenen zwei Jahrzehnten für einzelne Regionen und das gesamte Bundesgebiet ausgearbeitet worden sind, haben mitgeholfen, das Umweltbewußtsein der Bevölkerung zu wecken, und damit auch Politiker auf den Plan gerufen. Sie haben viele Wissenschaftler bewogen, sich mit dem Artenschwund genauer zu befassen. Und sie liefern wertvolle Argumente, um zum Beispiel neue Naturschutzgebiete durchzusetzen oder aber Eingriffe etwas umweltverträglicher zu planen. Aber wir sollten nicht glauben, mit diesem Instrument allein die nach wie vor expansiven Ansprüche unserer Gesellschaft abbiegen zu können.

Wie lang ist die Rote Liste mittlerweile?

Die letzte Bilanz für die gesamte Bundesrepublik stammt aus dem Jahr 1984.

Danach sind 35 Prozent der rund 7700 heimischen Pflanzen gefährdet und etwa die Hälfte der Arten aus den bislang bearbeiteten Tiergruppen. Derzeit stecken wir mitten in der Novellierung. Daß die Bundesrepublik Deutschland inzwischen knapp 110 000 Quadratkilometer größer geworden ist, erschwert die Inventur natürlich. Die nächste Ausgabe wird aber voraussichtlich 1994 erscheinen.

Warum ist die Zahl der gefährdeten Arten immer größer geworden, trotz aller Anstrengungen im Naturschutz?

Unter anderem weil die Kenntnis über viele Artengruppen gewachsen ist und damit auch Gefährdungen aufgefallen sind. Insbesondere aber, und das ist der Punkt, weil wir unsere Landschaft nach wie vor tiefgreifend verändern. Außerdem haben biologische Prozesse eine eingebaute Verzögerung: Viele Konsequenzen der in den siebziger und achtziger Jahren vorgenommenen Eingriffe treten

erst jetzt in ihrer gesamten Tragweite zutage.

Was sind die Hauptursachen des Artenschwundes?

Ganz pauschal ist es die Lebensraumkonkurrenz des Menschen. Und die hat erstens eine räumlich-strukturelle Dimension: Menschen widmen jede Menge ursprüngliche Biotope in Nutzflächen um, auf denen sie jeweils wenige Pflanzen unter wirtschaftlichen Aspekten kultivieren. Zum Beispiel hat sich der Versiegelungsgrad der Flächen in den alten Bundesländern innerhalb der letzten 30 Jahre etwa verdoppelt.

Zweitens hat die menschliche Konkurrenz eine chemisch-physikalische Dimension, das „chemische Klima“ fast aller unserer Biotope hat sich oft entscheidend gewandelt: Das Waldsterben hat deutlich vor Augen geführt, welchen Effekt eine Veränderung der Bodenchemie hervorrufen kann. Bleibt drittens noch die biologische Dimension: Durch die Zerschneidung über Jahrhunderte eingespielter Lebensräume entflechten wir Tier- und Pflanzenbestände. Stabileren Konkurrenzsysteme werden drastisch verändert, auch können die Populationen oft keine Erbinformation mehr austauschen. Ich halte diese Faktoren insgesamt sogar für die schwerwiegendsten, auch wenn unser Kenntnisstand hier vergleichsweise gering ist.

Die Fixierung mancher Naturschützer auf das Mini-Biotop vor der eigenen Haustür hilft da wohl kaum weiter.

Da ist viel Engagement und Geld in falsche Kanäle geflossen. Aber das liegt zum Teil daran, daß Naturschutz in hohem Maße von persönlicher Betroffenheit lebt. Wenn jemand nahe seines Wohnorts beobachtet, daß von ihm geschätzte Arten durch menschlichen Eingriff schwinden, dann kämpft er für den Erhalt des Biotops an eben dieser Stelle. Ein übergeordnetes, weiträumiges Schutzkonzept spielt für ihn kaum eine Rolle.

Macht Naturschutz denn nur dann Sinn?

Ohne so ein Konzept geht es zumindest nicht, aber Naturschutz darf in der Regel ohnehin nur reagieren. Anders als beim Städte- und Straßenbau gibt es keinen vorausschauenden Naturschutzplan, der festlegt: Hier brauchen wir einen großen Schonraum, also reißen wir diese Autobahn weg. Umgekehrt ist es ja gang und gäbe. **Wo lassen sich in einem dicht besiedelten Land wie der Bundesrepublik große Schonräume einrichten?**

Da klemmt es. Denn wenn wir der Dynamik von Ökosystemen Rechnung tragen wollen, benötigt Naturschutz weit mehr Raum, als ihm heute zugestanden wird. Nehmen Sie beispielsweise das aktuelle Konzept der Metapopulation, nach dem ein Tierbestand in mehreren Biotopen verteilt lebt. Wenn eine Teilpopulation ausstirbt, können Indivi-

duen aus einem anderen Raum zuwandern und den Bestand neu begründen. Das bedeutet, daß ein Biotoptop, in dem die Art gerade nicht existiert, langfristig intakt bleiben muß. Da beißt sich die Katze in den Schwanz: Denn heutzutage müssen Naturschützer zunächst vielfach das Auftreten möglichst vieler Rote-Liste-Spezies anführen, um die Behörden von der Bedeutung eines Lebensraumes zu überzeugen. Eine gewisse Chance für „große Schonräume“ bieten allerdings die neuen Bundesländer mit jetzt für mitteleuropäische Verhältnisse oft noch grandiosen Naturlandschaften, dem Tafelsilber der deutschen Einheit, wie es einmal genannt wurde, beispielsweise in Mecklenburg-Vorpommern oder in Brandenburg.

Es sieht also insgesamt nicht unbedingt rosig aus?

Leider ja. Naturschutz braucht sein eigenes Recht, braucht – verteilt über das Land – große Flächen, wo er absoluten Vorrang hat, braucht in vielen Räumen eine gleichberechtigte Position mit und neben den anderen Raumnutzern, die vielbeschworene Versöhnung zwischen Ökonomie und Ökologie. Auch dann bleiben noch genug Flächen mit Vorrang für ökonomische Nutzungen. Nicht klappen aber kann Naturschutz, wenn man auf fast jedem Hektar unseres Landes ausprobiert, wieviel Nutzung und Zivilisierung der Naturhaushalt erträgt. □

Wann schließt der Mensch Frieden mit der Natur, Herr Meyer-Abich?



Der Naturphilosoph Prof. Dr. Klaus Michael Meyer-Abich, 56, arbeitet am Kulturwissenschaftlichen Institut des Wissenschaftszentrums Nordrhein-Westfalen und lehrt an der Universität Essen. Sein jüngstes Buch trägt den Titel „Aufstand für die Natur – Von der Umwelt zur Mitwelt“.

„Frieden mit der Natur“ ist der Friede des Teils mit dem Ganzen. Wir sind ein Teil der Natur, der seit etwa 200 Jahren durch Zerstörung der natürlichen Mitwelt auf Kosten des Ganzen der Natur lebt. Die Industriegesellschaften leben außerdem auf Kosten der Dritten Welt und der künftigen Generationen. Wenn wir es wollen, wäre dieser Krieg noch in diesem Jahrzehnt zu beenden. Wann wir es wollen werden, weiß ich nicht.

Wie könnte der Frieden aussehen?

Es käme darauf an, die Regeln unseres Wirtschaftens in Einklang zu bringen mit der Ordnung der Natur. Das hieße, der natürlichen Mitwelt nicht mehr zu nehmen, als wir ihr geben und als sie uns geben kann, sie also nicht zu überfordern, möglichst viele Kreisläufe einzurichten, alle Güter nach Gebrauch wiederzuwerten etc.

Aber das geht doch nicht ohne menschliche Eingriffe?

Eingreifen und Einklang schließen sich nicht aus. Es kommt nicht darauf an, daß wir die Erde so wieder verlassen, als seien wir gar nicht dagewesen. Menschen haben verheerende Fehler begangen. Aber sie haben der Welt auch etwas gegeben: die Kunst, die ägyptischen Pyramiden, Venedig und Rom oder die mitteleuropäische Kulturlandschaft des 19. Jahrhunderts. Dieses Mosaik aus Feldern und Wäldern war eine ästhetische Bereicherung und hat zudem einer großen Zahl vorher nicht hier ansässiger Tier- und Pflanzenarten einen neuen Lebensraum eröffnet.

Dann ist der Mensch also doch die Krone der Schöpfung?

Nein, der Mensch kann Krönendes beitragen, aber als eine Kreatur unter anderen. Das lehrt die Abstammungsgeschichte. Wir sollten uns nicht einbilden, wir seien das Zentrum der Welt. Die Anthropozentrik ist eine Überheblichkeit der Neuzeit.

Aber können wir denn anders denken und handeln als anthropozentrisch, mit dem Menschen im Mittelpunkt der Welt?

Es gilt zu unterscheiden zwischen anthropozentrisch und anthropomorph. Anthropomorph, also menschenförmig, ist unvermeidlich alles, was wir tun und sagen. Auf der Ebene des Individuums entspricht dies der Persönlichkeit. Nicht jedes persönliche Verhalten

aber ist egozentrisch, und ebensowenig braucht sich die Menschheit anthropozentrisch zu verhalten. Zur Persönlichkeit gehört, daß wir uns in Mitmenschen hineinversetzen, sogar uns von ihnen aus sehen können. Das ist eine beachtliche evolutionäre Errungenschaft. Gleichermaßen vermögen wir uns mehr oder weniger auch in andere Lebewesen hineinzudenken und hineinzu fühlen – etwa in ein Huhn, das in einem engen Käfig hockt. Wer sich darauf einläßt, kann leicht nachvollziehen, daß Massentierhaltung nicht artgerecht ist.

Was schulden wir dem Huhn, der gesamten Natur?

Wir sollten ihren Eigenwert anerkennen. Die anderen Kreaturen sind nicht nur Material für unsere Zwecke. Wir sollten sie erst einmal als unsere naturgeschichtlichen Verwandten wahrnehmen. Ich unterscheide zwei Stufen der Aufklärung: Mit dem ersten Schritt im 18. Jahrhundert ist die Mitmenschlichkeit aller Menschen erkannt worden. Nun wird es Zeit, die Aufklärung zu vollenden und im zweiten Schritt das Mitsein der übrigen Welt anzuerkennen. Im Christentum sind uns beide Schritte aufgegeben.

Wie können wir dem Eigenwert der natürlichen Mitwelt Geltung verschaffen?

Ein politischer Weg, den ich im modernen Rechtsstaat für richtig halte, ist, der natürlichen Mitwelt Rechte zuzuerkennen. Wenn zum

Beispiel ein Bach regelmäßig über die Ufer tritt, Anlieger sich dadurch geschädigt fühlen und beantragen, das Gewässer zu verrohren, dann sind bislang stets nur menschliche Interessen bei der Entscheidung berücksichtigt worden. Ich finde: Auch der Bach sollte mitreden dürfen, vertreten durch einen Menschen.

Was kann die Ökonomie beitragen, den Eigenwert der natürlichen Mitwelt durchzusetzen?

Ökonomen hatten schon viele kluge Einfälle, um den Raubbau des Menschen in der Natur zu bremsen. Denkbar sind Abgaben für Wasserverbrauch und Kohlendioxidausstoß oder Zertifikate, die wie Aktien gehandelt werden und nur noch zu einer begrenzten Belastung der Mitwelt berechnen. Die Instrumente sind nicht das Problem. Wir scheitern daran, daß die Ziele nicht gewollt werden.

Liegt der Schwarze Peter bei den Politikern?

In der Demokratie haben sie ihn erst dann, wenn der Bürgerwille ihnen das Mandat gibt. So wie die meisten Bürger sich verhalten, wollen sie den Frieden mit der Natur noch nicht. Zwei Drittel des Bruttosozialprodukts fließen durch unser aller Taschen. Wir alle sind also auch an der damit verbundenen Zerstörung beteiligt. Beispielsweise fahren noch immer zwei von drei Bürgern hierzulande regelmäßig Auto. Dabei ist dieses Verkehrsmittel über alle Maßen gewalttätig gegen Mitmenschen und gegen die Mitwelt.

Wo können wir den nötigen Respekt vor der Natur lernen?

Am besten im Elternhaus, schon vor der Schulzeit. Ich hatte Glück. Mein Vater war auch Naturphilosoph, und meine Mutter kam vom Lande. Doch heute haben ja schon die meisten Erwachsenen kein sensibles Verhältnis zur natürlichen Mitwelt mehr. Und in der Schule fehlt ein Kopf und Herz bildender Naturkunde-Unterricht. Mit Naturkunde meine ich nicht nur, Pflanzen identifizieren zu können und deren botanische Namen zu kennen. Wichtig ist, es mit anderen Lebewesen, wie man auf deutsch so schön sagen kann, zu tun zu haben.

Ist das ein Plädoyer für Haustiere?

Es müssen ja nicht nur Hunde und Hamster sein. Vor allem aber auch ein Plädoyer für Gärten. Eine für die natürliche Mitwelt sensiblere Gesellschaft hätte viel früher gemerkt, wie viele Tier- und Pflanzenarten hier verschwinden. Meine Grundhypothese lautet: Wir beginnen uns erst aufzuregen, wenn die Umweltzerstörung schneller voranschreitet als die Verkümmern unserer Wahrnehmungsfähigkeit.

Es war doch auffällig, daß ausgerechnet das Waldsterben soviel Empörung ausgelöst hat. Da sterben Lebewesen, die wir noch identifizieren können, und wir sind dafür verantwortlich! Wenn dieser Schrecken uns allen ins Herz führe, wäre der Frieden mit der Natur nicht mehr so fern. □



Warum vertragen sich Ökologie und Ökonomie so schlecht, Herr Steger?

Der Wirtschaftswissenschaftler Prof. Dr. Ulrich Steger, 48, ist im Vorstand der Wolfsburger Volkswagen AG verantwortlich für Umwelt und Verkehr. An der European Business School in Oestrich-Winkel im Rheingau hat er einen Lehrstuhl für Ökologie und Unternehmensführung.

Die Ökonomen haben dafür eine relativ simple Erklärung: Naturgüter wie reines Wasser oder saubere Luft kosten zu wenig. Und wenn etwas unter Preis verkauft wird, ist die Nachfrage übermäßig groß. Deshalb haben wir die natürlichen Lebensgrundlagen bislang über Gebühr strapaziert.

Aber statt Öko-Abgaben oder -Steuern zu erheben, arbeitet die Umweltpolitik mit Grenzwerten und Verböten.

Dieser Ansatz hat zwei Schwachstellen: Erstens erzeugt er einen irren bürokratischen Aufwand, der für die Unternehmen im Moment schmerzhafter ist als die geforderten technischen Standards. Zweitens fördert diese Methode „end-of-pipe“-Technologien. Da wird an einen Motor halt noch ein Katalysator drangehängt oder an ein Kohlekraftwerk eine Rauchgasentschwefelung. Statt nach Techniken zu suchen, die von vornherein Schadstoff-Emissionen vermeiden.

Welche Kriterien müssen sinnvolle Öko-Abgaben erfüllen?

Sie sollen Allokationseffekte erzielen, also eine effiziente Zuweisung und Nutzung der natürlichen Ressourcen. Sie dürfen keine verdeckten Steuern sein, mit denen der Finanzminister nur seine Kassen füllen will. Außerdem sollten die Abgaben zeitlich gestaffelt eingeführt werden: Wenn Politiker von heute auf morgen ein Produkt mit einer Abgabe belegen, können die Unternehmen gar nicht so schnell reagieren. Wich-

tig sind, deshalb klar definierte Vorgaben, wie etwa in Kalifornien: 1997 müssen dort zwei Prozent der neu zugelassenen Autos äußerst strikte Abgaswerte einhalten, bis zum Jahr 2003 soll der Anteil auf 15 Prozent steigen. Bei solch langfristigen Perspektiven können die Ingenieure die Aufgaben bewältigen. Ein klarer europäischer Standard wäre deshalb ein Segen.

Wann setzen Sie sich für eine Öko-Steuer auf Benzin ein?

Auch von einem ethisch veranlagten Automobil-Manager läßt sich nicht verlangen, daß er öffentlich einen Benzinpreis von zum Beispiel fünf Mark je Liter fordert. Dann bekämen wir einen Mordskrach mit unseren Kunden. Die Steuern festzusetzen ist Aufgabe der Politik. Letztlich können nur die demokratisch legitimierten Gremien entscheiden, wieviel Umweltschutz wir uns leisten wollen.

Welche Macht hat der Konsument, eine schonende Produktion zu erzwingen?

Eine ganz beachtliche. Für eine Reihe von Produkten oder darin enthaltener Stoffe ist der Markt sehr schnell eng geworden, als die Verbraucher sie nicht mehr wollten: etwa Formaldehyd oder Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe als Treibgase in Spraydosen.

Aber hört nicht, wenn Umweltschutz Geld kostet, das Engagement rasch auf?

Jein. Verbraucher öffnen ihr Portemonnaie nur zö-

gernd, wenn sie damit ein Kollektivgut wie saubere Luft schützen. Warum soll ausgerechnet ich ein teures Auto mit Katalysator kaufen, sagen sie sich, solange Millionen andere weiterhin die Luft verpesten. Der Konsument meint in diesem Fall, keinen persönlichen Nutzen aus seinem Engagement zu ziehen. Wenn er aber einen unmittelbaren individuellen Vorteil etwa für seine Gesundheit erkennt, zahlt er bereitwillig mehr.

Viele Unternehmen hierzu-lande haben sich Umweltschutz nicht ausdrücklich zum Ziel gesetzt. Warum verschlafen Manager die Zeichen der Zeit?

Sie haben aus zwei Gründen noch nicht reagiert. Zum einen bestimmte bislang immer der Staat die Umweltschutz-Normen. Deshalb haben sich viele Unternehmensführer zurückgelehnt und gesagt: Wenn die Politik Vorschriften erläßt, erfüllen wir sie. Und damit hat es sich. Zum anderen bringen umweltschädliche Produkte und Produktionen massive Wettbewerbs-Nachteile erst seit Mitte der achtziger Jahre, als Verbraucher sich an ökologischen Kriterien zu orientieren begannen.

Einige Unternehmen versuchen sich mit großem Werbeaufwand ein „grünes“ Image zu verschaffen. Läßt sich aus solchen Kampagnen Profit schlagen?

Wer den Umweltschutz nur wie die Monstranz bei einer Prozession vor sich herträgt, wird über kurz oder lang auf die Nase fallen. Die Bürger sind nicht blöd und die Jour-

nalisten auch nicht. PR-Gags müssen auch eingelöst werden.

Ist die Berufung eines für Umwelt und Verkehr zuständigen Vorstandsmitglieds ein PR-Gag von VW?

Als ich in den achtziger Jahren Wirtschaftsminister der ersten rot-grünen Koalition in Hessen war, wurde mir immer bestätigt, ich sei sehr konfliktfreudig. Da wird doch niemand glauben, daß ich mich jetzt mit einem PR-Alibi begnüge. Mir untersteht ein vollwertiger Geschäftsbereich. Ich muß zum Beispiel dafür sorgen, daß die einzelnen Werke die Umweltschutzvorschriften einhalten, daß VW nicht in einen Produkt- oder Müllskandal verwickelt wird.

Sie sind seit vier Monaten im Amt. Was haben Sie seither bewegt?

An einer Reihe von Entscheidungen war ich nicht ganz unbeteiligt: 1993 ein Golf-Modell anzubieten, dessen Dieselmotor weniger als fünf Liter auf 100 Kilometer verbraucht, oder der Verpflichtung, stillgelegte Wagen zurückzunehmen und zu recyceln. Ein Riesenunternehmen wie VW läßt sich nicht binnen kurzem verändern. In zehn Jahren allerdings sollte Umweltschutz so selbstverständlich sein, daß der Konzern dafür kein eigenes Vorstandsressort mehr benötigt. □

Während die Wildnisse der Erde unter Pflug und Beton verschwinden, packen die Zoos eine neue Aufgabe an: das gemeinsame Management von rund 2000 bedrohten Arten. Doch was retten sie tatsächlich, wenn sie wilde Populationen mit Zuchtprogrammen und künstlichen Habitaten erhalten? Und was geht verloren?

ÜBERLEBEN IM EXIL

VON UTA HENSCHEL · FOTOS: JAMES BALOG

Es gibt Einrichtungen, die uns in die Zukunft sehen lassen. Eine befindet sich in der Riehler Straße in Köln und erlaubt einen Blick auf die Tierwelt des Jahres 2192: Aus dem Grasdickicht flackert das Fell Sibirischer Tiger, Staubwolken explodieren unter den Hufen einer Przewalski-Herde, Schwarzweiße Varis rufen, die weißen Halskrausen gebläht, wie Pappmaché hüpfen die plattigen Leiber trabender Panzernashörner – animalisches Präsen wie seit Jahrmillionen, bewahrt vor dem Artensterben des 20. Jahrhunderts.

Es gehört Zuversicht dazu, in den Tier-Individuen des Zoologischen Gartens Köln von heute die Sibirischen Tiger, Przewalski-Pferde, Varis, Panzernashörner des Jahres 2192 zu erkennen. Sie sind Wunschtiere einer Krisenwissenschaft, Ergebnis eines auf die nächsten zwei Jahrhunderte angelegten Artenzucht-Konzepts der „Conservation Biology“. Mit ihr wollen Zoologen seit den achtziger Jahren einen relevanten Beitrag zur Rettung der Biodiversität, der biologischen Vielfalt unseres Planeten, leisten.

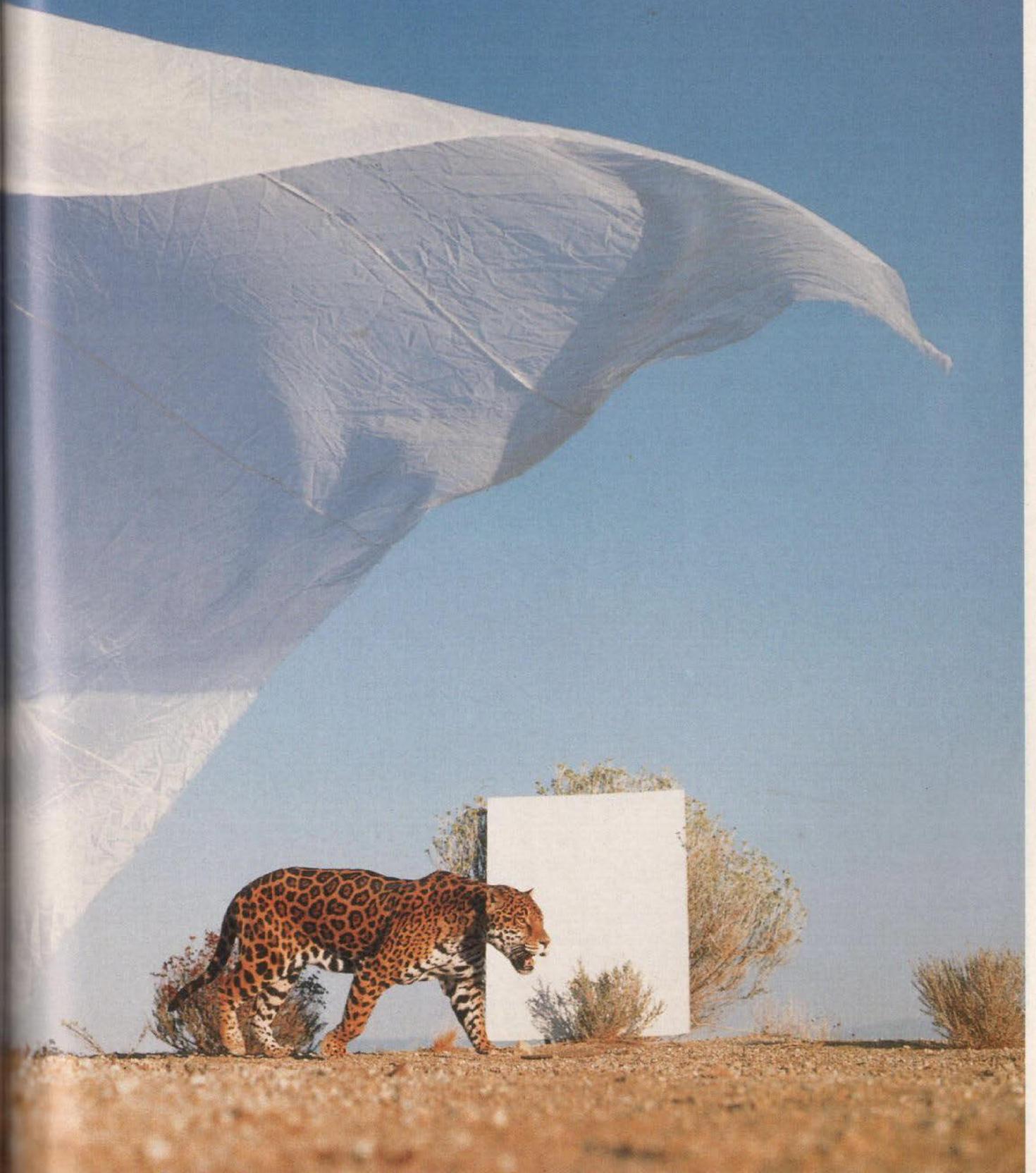
Während der beiden letzten Jahrzehnte brachten Ökologen, Genetiker und Populationsforscher schlechte Nachrichten aus dem Freiland mit: Biotopschutz allein genügt nicht, größere Wirbeltierarten vor dem Aussterben zu retten. Langfristige Zählungen legen nahe, daß der tödliche Trend sogar in großen Nationalparks anhält. Geschwächte Populationen leben dort wie auf Wildnis-Inseln in einem Meer genutzter Landschaft. Welche Folgen das hat, zeigen die

Jaguar: in der Wildnis bedroht.

Um *Panthera onca* steht es schlecht. Niemand weiß jedoch, wie schlecht. Denn Bestandszahlen gibt es weder für seinen Lebensraum – die Tropenwälder Mittel- und Südamerikas – noch für die Zoos insgesamt. Zuchtbücher und -Programme existieren nicht.

Die ungewöhnlichen Tier-Portraits auf diesen Seiten begründet der US-Fotograf James Balog so:
»Ich verspüre keine Lust, die romantischen Illusionen der traditionellen Tierfotografie fortzuführen.

Statt dessen habe ich Bildnisse von Tieren im Exil von einem verlorenen Eden geschaffen.«



Ergebnisse der „Population Vulnerability Analysis“, eines statistischen Modells, mit dem sich so etwas wie die Aussterberate einer Population errechnen läßt: Kleine Fortpflanzungsgemeinschaften verlieren, wenn keine neuen Tiere hinzukommen, im Laufe der Zeit ihre genetische Variabilität und damit die Fähigkeit, sich an Veränderungen ihrer Umwelt anzupassen.

In diese Krise geraten um so mehr Tierarten, je explosiver die Erdbevölkerung wächst und je kleiner die Wildnisräume werden. Ein Weg der Rettung soll in die Zoos führen. Dort können gefährdete Arten, argumentiert Michael Soulé, Genetiker von der University of Michigan in Ann Arbor, den „demographischen Winter“ überstehen, das große Sterben tierischer Spezies, das der Wissenschaftler für die nächsten 200 Jahre vorhersagt.

„Zoos und ähnliche Einrichtungen“, fordert der Protagonist der Conservation Biology, „müssen ihr Bestes tun, um möglichst große, lebensfähige Populationen höherer Wirbeltiere zu erhalten, die in ihren Habitaten vom Aussterben bedroht sind.“ In Zoos weiß er vorhandene Gehegeflächen und in Jahren gewachsenes Know-how, um bedrohte Arten zu halten und zu vermehren. Eine „Zuchtkolonie“ mit künstlichen Biotopen und gelenkter Fortpflanzung soll an die Stelle der Wildnis treten.

Eine Aussicht, die manchen Menschen schlimmer erscheint als der Tod. Biologen wenden ein, daß Wildtiere ohne die Umwelt, die sie hervorgebracht hat, zu lebenden Museumsstücken verkommen. Proteste von Naturschutzverbänden in Amerika und in Deutschland gipfelten in der Aufforderung, Wildtiere lieber in Würde sterben zu lassen.

18 Schwarzfußiltisse, zu Zuchtzwecken in hölzernen Brutboxen untergebracht, also unter Umständen, die für ein Wildtier eher unwürdig sind, zeigten allerdings keine Neigung zu sterben. Den eleganten Kleinräubern, einstmals in zwölf Staaten der USA zu Hause, wurde es zum Verhängnis, daß Menschen ihre bevorzugte Beute, die Prairiehunde, dezimierten. 1986 brachten Naturschützer die letzten wildlebenden Exemplare vor einer Staupe-Epidemie in Sicherheit. Die Iltisse vermehrten sich. 1991 waren es 325 Tiere. Da der Staat Wyoming ihre Zucht finanziert hatte, durfte Gouverneur Mike Sullivan die ersten 49 Kleinräuber in die Freiheit entlassen. Er wählte für den Anlaß ein Bibelzitat: „Seid fruchtbar und mehret euch!“

Solches Selbstbewußtsein ist so jung wie die Anstrengungen internationaler Zooverbände, die seit etwa zehn Jahren ihr Konkurrenz-Verhalten abgelegt und gemeinsam Verantwortung für das Überleben bedrohter Arten übernommen haben. Vor allem für die Tiere in ihren eigenen Gehegen, denen sie am meisten schulden.



Indischer Elefant: in der Wildnis bedroht.
Elephas maximus
konkurriert mit Bauern um Nahrung. Seine Rückzugsgebiete im tropischen Asien schrumpfen. Noch gibt es schätzungsweise 45 000 Tiere. In Zoos sind regionale Zuchtbücher vorhanden. Ein »Species Survival Plan« (SSP) existiert, die Art wurde ins »Europäische Erhaltungszucht-Programm« aufgenommen



Denn wie in kleinen, isolierten Wildnis-Populationen sind viele der zu Zuchtgruppen erklärten Bestände nicht einmal fit genug, um im Zoo auf Dauer zu überleben.

Die Wende zum Besseren begann mit dem Goldgelben Löwenäffchen, einer in Brasilien vom Aussterben bedrohten Art. Ein Computerausdruck verrät, daß der Kölner Zweig ihres Stammbaumes das Ergebnis internationaler Zusammenarbeit ist: Zehn Tiere sind hier am Rhein geboren, eines in Jersey, eines in Frankfurt und eines im National Zoo in Washington. Gleichwohl blieben alle Tiere Leihgaben des National Zoo, bis sie am 1. Januar 1991 nominell der brasilianischen Regierung übergeben wurden, faktisch aber in Köln blieben.

Die Ausgangssituation“, sagt Zoodirektor Gunther Nogge, „war denkbar schlecht. Es gab kaum Löwenäffchen-Nachwuchs in den Zoos. Man orderte bei Tierhändlern immer wieder nach, bis Ende der sechziger Jahre nur noch etwa 200 Exemplare in der Wildnis existierten.“ 1974 entschlossen sich die Zoos zum Handelsverzicht, erklärten ihre letzten 80 Tiere zum gemeinsamen Pool und begannen, koordiniert vom National Zoo, mit einer sogenannten Erhaltungszucht. Wer Teile der Population übernahm, um sie nach Plan zu vermehren, mußte bestimmte Voraussetzungen in Hinsicht auf Personal, Futter und Gehege erfüllen. Besitzansprüche waren aufgehoben, auch für den Nachwuchs. Von 1984 bis 1989 wurden die ersten 91 Äffchen in ein Regenwald-Reservat ausgewildert. 30 überlebten. Die Population gilt inzwischen als stabil.

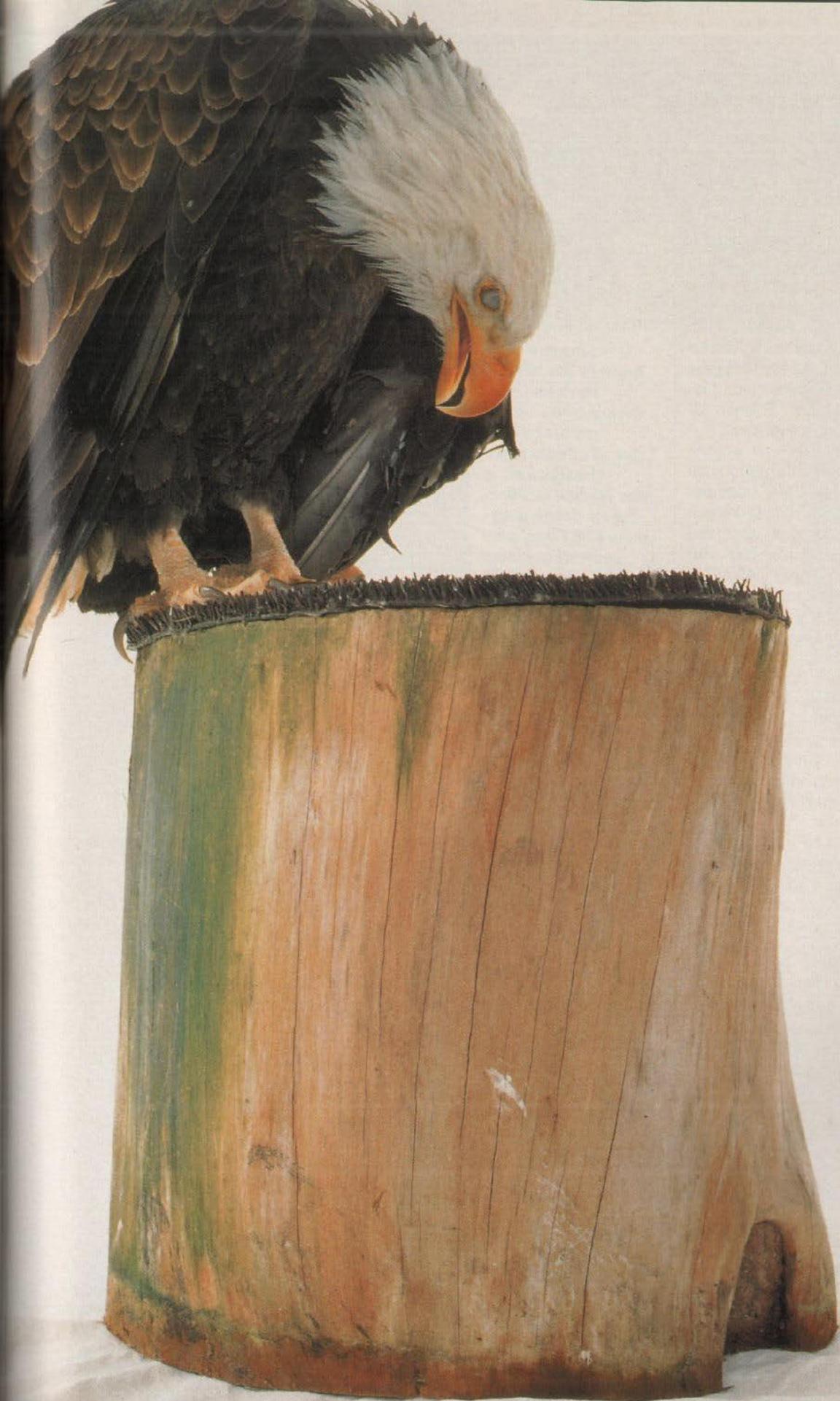
„Ich erzähle diese Geschichte immer gern“, erklärt Gunther Nogge, „weil sie zeigt, wie sich die Einstellung der Zoos nach diesem Pilotprojekt für koordiniertes Zuchtmanagement gewandelt hat.“ Kölns Zoodirektor verfügt über das, was der Genetiker Michael Soulé zur Voraussetzung der Conservation Biology erhebt: Optimismus. Gunther Nogge ist ein Schrittmacher für neue Entwicklungen in deutschen Zoos. 1985 war er Mitbegründer des Europäischen Erhaltungszucht-Programms (EEP) nach dem Vorbild der amerikanischen Species Survival Plans (SSP). Heute managen 250 europäische Zoos ihre Tierbestände als gemeinsamen Pool, jeder in den eigenen Gehegen. Zusammen erhalten sie 67 bedrohte Arten. Dabei stimmen sie ihre Arbeit mit internationalen Gruppen ab, etwa mit den Amerikanern, die Programme für 109 Arten betreiben, den Australiern mit 52, den Briten mit 42, den Japanern mit 35.

„Zoos, die in diesem Zusammenschluß nicht mitarbeiten, verlieren im Laufe der Jahre ihren gesamten Bestand“, erläutert Gunther Nogge. „Denn wie wollen sie ihre typischen 1,2-Gruppen – vorm Komma männliche, hinterm Komma

**Weißkopf-See-
adler: in der Wild-
nis bedroht.**

***Haliaeetus leucocephalus, früher in
48 US-Staaten ver-
breitet, wurde
durch DDT beinahe
vom Himmel ge-
holt. Heute hat sich
die Population
wieder erholt, die
Zahl der Brutpaare
wächst kontinuier-
lich. Der Zoobestand
ist so groß, daß
er nicht mehr doku-
mentiert wird***





weibliche Tiere – ohne die Leihgaben anderer Zoos anreichern?“ Handel mit wildlebenden Arten soll nämlich, obwohl noch immer Verstöße vorkommen, endgültig der Vergangenheit angehören. Die Bestände der EEP-Zoos aber werden durch Tausch reicher, ohne daß es die Direktoren einen Pfennig kostet.

„Früher, als Zoos konkurrierten, wurden Tiere in Geldwert kalkuliert und gehandelt. Durch den Verkauf von Nachwuchs amortisierte man die Kosten. Eine absurde Einstellung. Die Tiere gehören uns nicht.“ Gunther Nogge hat diese Überzeugung längst verinnerlicht. Sein Vorbild, Dick van Dam, ehemals Zoodirektor in Rotterdam, „behandelte seinen Bestand als Leihgabe der Natur und schickte uns kostenlos einen Gorilla zum Aufbau unserer Gruppe“. Solcher Altruismus soll Standard in allen Zoos werden.

Damit in Fleisch und Blut umgesetzt werden kann, was die nationalen und internationalen Arbeitsgruppen beschließen, ist ein Kommunikationsgeflecht entstanden. Es vernetzt weltweit 400 Zoos und hält die Beteiligten über den Standort von 150 000 Tieren, deren Herkunft und Verwandtschaftsgrade auf dem laufenden. Mit Mikrofiche-Lesegerät, Computer und dem traditionelleren Ordnungssystem der Zuchtbücher sind die Planer praktisch allgegenwärtig im Kosmos der Tiergärten, allwissend über Geburten, Todesfälle, Paarungen, Standortwechsel, kurz: die Entwicklung der Populationen von 4000 in Zoos gehaltenen Arten. Und sie sind, wenn es ins Programm der Zoogemeinschaft paßt, allmächtig, zwei Tiere von irgendwoher auszuwählen, damit ein Koordinator mit ihnen die nächste Erhaltungszucht begründen kann.

Zuchtbücher bleiben die Klassiker der genealogischen Buchführung. Sie enthalten für jeweils eine Art die Stammbäume sämtlicher von Zoos in Vergangenheit und Gegenwart gehaltener Individuen mitsamt Geburtsdaten, Gewicht, Name, Eltern, Fortpflanzungspartner, Zahl und Geschlecht der Nachkommen. Viele ihrer Daten sind inzwischen schnell und überall zugänglich, weil sie in Computer-Programme einfließen, deren Abkürzungen schon die Botschaft sind: Arks, Medarks, Sparks und Noah.

Mit Sparks, dem „Single Population Analysis Record Keeping System“, läßt sich die Entwicklung einzelner Populationen über Jahre verfolgen. Es gibt Auskunft, auf wie viele Gründertiere eine Population zurückgeht und wie verwandt deren Mitglieder heute sind. Medarks ist ein veterinärmedizinisches Programm. Noah, „National On-Line Animal History“, „ein regionales Datenregister, das von englischen und holländischen Zoos für den schnellen Bestandsüberblick im eigenen Lande entwickelt worden ist“, erklärt die Ethologin Lydia Kolter, die in Köln die mei-



Sumatra-Nashorn: in der Wildnis stark bedroht. *Dicerorhinus sumatrensis* ist eine Art, die heute kaum Chancen hat, in der Wildnis zu überleben. Schätzungsweise 800 Tiere, zersplittert in kleine Populationen, sind in Südostasiens Tropenwaldresten isoliert. Zoos führen seit 1990 ein Zuchtbuch; ein SSP sieht vor, daß mit 32 Gründertieren eine Reserve-Population aufgebaut wird



ste Erfahrung mit den neuen Programmen hat. Über diesen speziellen Systemen schafft ISIS, die Mutter aller Zooregister, Ordnung. Das „International Species Information System“, 1974 am Minnesota Zoo in Minneapolis begonnen, greift über Kontinente und Ländergrenzen hinweg. Alle sechs Monate gehen Up-Dates an die Mitglieder in aller Welt. Aus der ISIS-Liste, erklärt die Wissenschaftlerin Lydia Kolter, „lese ich den Bestand jedes Zoos ab, der diesem Informationssystem angehört, erfahre Alter, Geschlecht und Standort eines Tieres, für das ich mich interessiere. Ich finde heraus, ob die Eltern im Zoo geboren wurden oder Wildfänge sind, und wie viele Tiere die gesamte Population hat.“

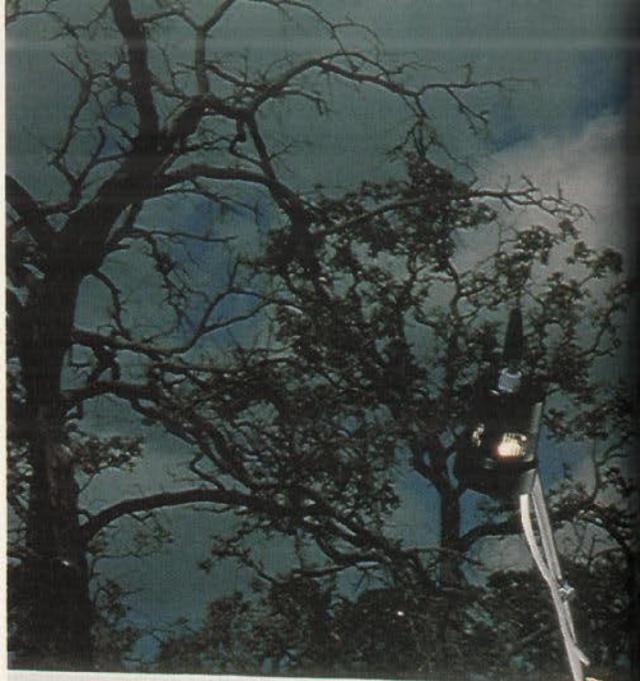
Solche Buchführung ist auf mehr angelegt als die 200 Arten, mit deren Erhaltungszucht Zoos zur Zeit befaßt sind. 2000 Arten großer Landwirbeltiere sieht das Conservation-Konzept von Michael Soulé vor. Er hat das Bild der rettenden Arche flottgemacht. Aber die Zeiten der Irrfahrten von 400 Noahs auf 400 konkurrierenden Kursen sollen vorbei sein. Zoodirektoren sind Gen-Pool-Manager und alle demselben Kurs verpflichtet. Und der heißt genetische Vielfalt.

Wie viele Passagiere mit auf die Reise müssen, errechnen Genetiker anhand von Populationsmodellen. Wird die vorhandene genetische Vielfalt mit 100 Prozent angesetzt und soll die betreffende Population nach 200 Jahren noch über 90 Prozent verfügen, ergibt sich eine Mindestzahl von Individuen, die mit an Bord müssen: zum Beispiel 136 Sibirische Tiger, 95 Arabische Oryxantilopen, 1275 Streifen-Grasmäuse. Die unterschiedlichen Passagierzahlen spiegeln die extrem differierenden Generationszeiten der Arten wider.

Wird die Population zu klein, drohen im Zoo wie in der Wildbahn fatale Folgen: Es kommt immer häufiger zu Paarungen zwischen eng verwandten Tieren. Dabei geht genetische Vielfalt verloren und es kommt zu bekannten Inzuchteffekten: Erbkrankheiten und Unfruchtbarkeit. Zoos versuchen, den genetischen Verlust durch Management zu verlangsamen.

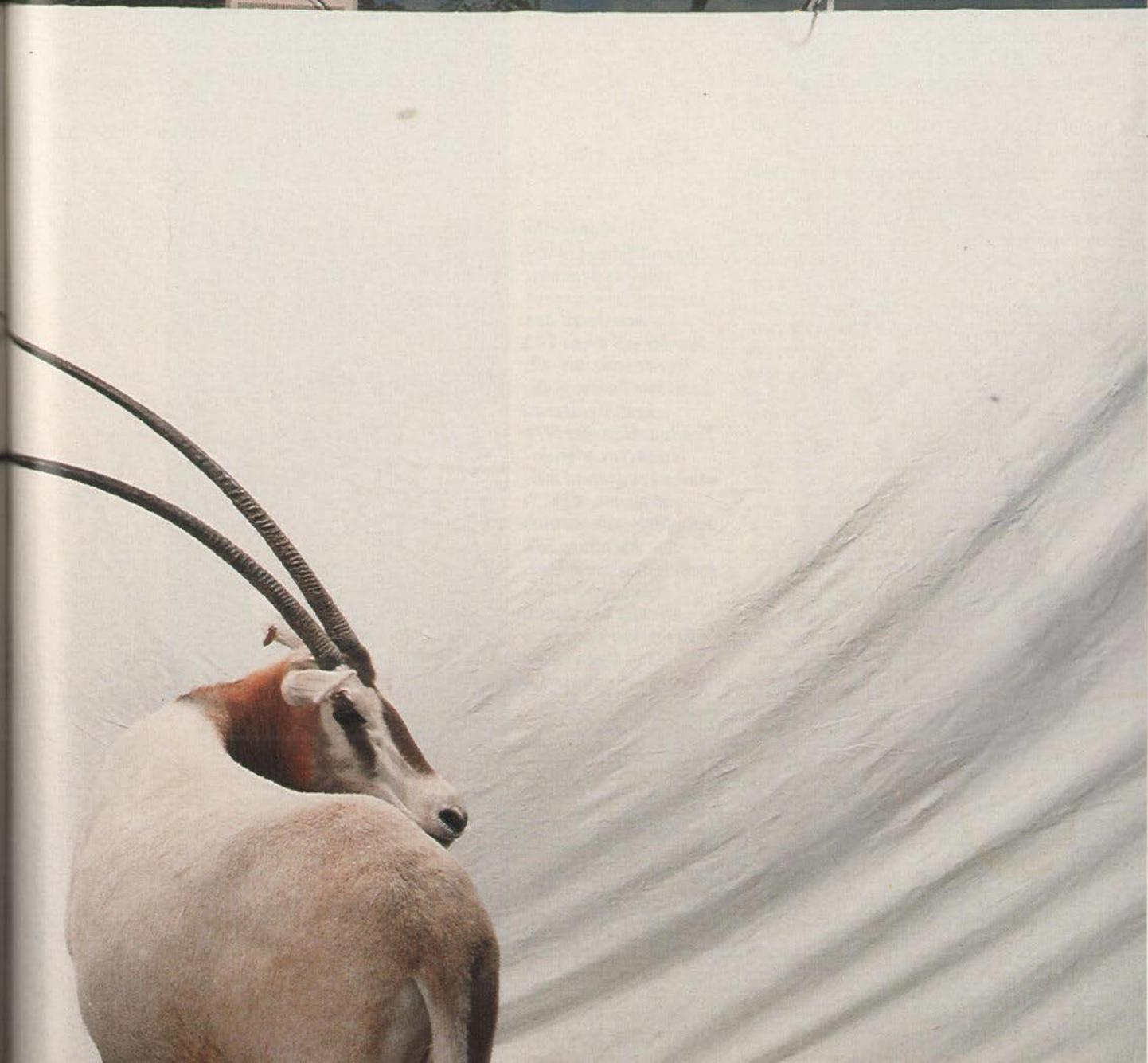
„Nur wenige Individuen sind von der Fortpflanzung ausgeschlossen“, versichert Waltraut Zimmermann, die Koordinatorin des Europäischen Erhaltungszucht-Programms für Przewalski-Pferde, „damit wir die größtmögliche Variabilität erreichen.“ Die promovierte Zoologin kutschiert ihre Hengste, wenn es sein muß, mit dem Pferdehänger von Köln aus zum nächsterreichbaren Zoo mit nicht-verwandten Tieren. Diese Wildpferd-Spezies ist in ihrem Lebensraum in der Mongolei ausgestorben. Trotzdem leben heute noch 1000 Tiere – im Zoo.

Ihre Zucht reicht zurück bis in frühe Tage der Zoos, als Vielfalt noch keine höchste Priorität



Säbelantilope: in der Wildnis stark bedroht.

Oryx dammah ist durch Jagd, Krieg und Dürre im nördlichen Afrika praktisch aufgerieben. In Zoos lebt eine Population von 1500 Exemplaren. Seit 1984 existiert ein Zuchtbuch, ein SSP führte zur Ausbürgerung im tunesischen Bou-Hedma-Nationalpark



hatte, sondern die zeugungsfähigsten Hengste einzig und allein ihre Eigenschaften in einem Harem von Stuten fortpflanzen: ein Verstoß gegen das genetische Grundgesetz der Conservation Biology, wonach alle vorhandenen Tiere gleich viele Nachkommen haben sollen. Daß dabei auch noch Schwestern, Cousinen, Tanten, Töchter von demselben Hengst gedeckt wurden, verschlimmerte die genetische Konformität.

Dies und ein paar unerwünschte Merkmale werden unter Waltraut Zimmermanns Management korrigiert. „Da wir nicht wissen, welche Merkmale in der Wildnis fürs Überleben wichtig sind, müssen wir möglichst alle erhalten.“ 1993 wird sich herausstellen, wie gut das gelungen ist und ob wichtige Verhaltensweisen nach zwölf Generationen in menschlicher Obhut nicht verloren gingen. Dann werden die ersten zehn Pferde, unter ihnen zwei aus Köln, in ein mongolisches Reservat entlassen.

Immer wenn die moderne Arche auf ihrer Reise anlegt und eine Gruppe von Passagieren aussteigen läßt, findet ein „Fitness-Test“ statt. Aber nicht nur die Tiere sind auf dem Prüfstand. Auch die Welt der Menschen, in die sie geschickt werden, muß beweisen, ob sie gelernt hat, behutsam mit bedrohten Arten umzugehen.

Die heutige Position der Arche auf ihrer Fahrt ins Jahr 2192 demonstriert das jüngste Ausbürgerungsprojekt. Seit Januar 1992 segeln über Kalifornien wieder zwei Kalifornische Kondore, Mitglieder einer Zoo-Population von 52 Tieren, deren Erhaltungszucht bislang 25 Millionen Dollar gekostet hat. Die Freiheit der Geier kostet ebenfalls Geld: Für 1,5 Millionen Dollar im Jahr werden sie rund um die Uhr bewacht. Im übrigen sind sie daran gewöhnt, ausgelegte Kälberkadaver zu fressen, damit sie sich nicht an mit Blei und DDT belastetem Aas vergiften. Überfliegen sie die unsichtbaren Grenzen ihres Reservats, des 22 000 Hektar großen Sespe Condor Sanctuary, werden sie eingefangen und von ihren Betreuern sanft gerüffelt, damit sie dies nicht wieder tun.

So umstritten wie vor Jahren Fang und Zucht der letzten wilden Riesengeier ist nun die Dressur der Zoo-Zöglinge. Sie sollen lernen, mit ihren Reservatsnachbarn – Kaliforniens Jägern, Touristen, Motocross-Fahrern – auszukommen. Dem hält ein Vertreter des Sierra Club entgegen, man müsse das Kondor-Habitat beruhigen, sonst, „leisten wir uns da draußen nichts weiter als einen großen Zoo“. Der Naturschützer könnte recht haben, aber anders als er meint. □

Uta Henschel, 50, ist GEO-Redakteurin. Für den amerikanischen Fotografen **James Balog**, 39, gibt es keine Wildnis mehr, sondern nur noch menschengeprägte Umwelten. Die Wildtiere leben darin wie in der Fremde.

Goldgelbe Löwenäffchen: in der Wildnis bedroht. *Leontopithecus rosalia* war durch den Handel auf etwa 200 Tiere reduziert, als Zoos zur Rettung der brasilianischen Krallenaffen-Art 1974 ein erstes gemeinsames Programm aufstellten. Mit 51 Gründertieren wurden bis heute 550 Individuen gezüchtet. Ausgebürgerte Äffchen überleben bereits in der zweiten Generation





A-Z

Kursiv gedruckte Wörter
sind Querverweise auf andere
Stichwörter des Glossars



In aller Welt drohen Konsum-Gesellschaften im Müll zu ersticken

Abfall

Etwa 375 Kilogramm Hausmüll pro Jahr erzeugt ein Durchschnittsbürger in den alten Bundesländern. Weniger als die Hälfte davon müßte tatsächlich auf der Deponie landen, wenn sämtliche wiederverwertbaren und trennbaren Materialien in die Produktion zurückfließen. Während Glas und Papier schon länger in hohem Maße recycelt werden, beginnt nun auch die Abtrennung der Küchenabfälle. Die Kompostierung erfüllt zwei wichtige Funktionen: Einerseits führt sie organische Substanz in die Stoffkreisläufe der Natur zurück. Andererseits verringert sie die Gefahr, die von unsortiertem Müll ausgeht: Auf der Deponie lösen die Säuren, die *Zersetzer* beim Abbau der Grünabfälle erzeugen, Giftstoffe aus dem Restmüll. Diese belasten die Deponie-Abwässer.

Art

Biologen definieren „eine Gruppe sich fortpflanzender Populationen, die reproduktiv von anderen Populationen isoliert sind“, als Art oder Spezies. Dabei kommt es nicht allein auf die Kreuzbarkeit einzelner Individuen an, sondern auf die Isolation ganzer Fortpflanzungsgemeinschaften. Der „Biospeziesbegriff“ versagt jedoch bei Tieren und Pflanzen, die sich asexuell vermehren. In solchen Fällen greifen Systematiker auf den „Morphospeziesbegriff“ zurück, der auch in der *Klassifikation* von *Fossilien* Verwendung findet. Er faßt die „Gesamtheit der Individuen, die in allen dem Beobachter wesentlich erscheinenden Merkmalen übereinstimmen“, zu einer Spezies zusammen. Die Spezies-Definition an Hand augenfälliger Merkmale vernachlässigt allerdings den evolutiven Prozeß der Artbildung – der *Speziation*.

Biodiversität

Artenvielfalt (lat. *diversitas* = Verschiedenheit). Die Natur hat im Laufe der *Evolution* eine enorme Formenfülle hervorgebracht. Zwischen zehn und 100 Millionen Spezies leben nach groben Schätzungen heute auf unserem Planeten. Nur ein kleiner Teil davon ist Biologen bekannt: rund eine halbe Million Pflanzen- und etwa zwei Millionen Tierarten, davon die Hälfte Insekten. Hohe Biodiversität deutet auf günstige Lebensbedingungen für viele Spezialisten mit fein abgestimmten *ökologischen Nischen* hin, niedrige dagegen auf starken Umweltstress – etwa durch harte Klimabedingungen: Die arktische Tundra gehört zu den artenärmsten *Ökosystemen*. Tropenwälder sind dagegen für hohe Diversität bekannt. Viele *Populationen* tropischer Spezies bestehen allerdings aus relativ wenigen Individuen, weshalb Störungen bei ihnen rasch zum Aussterben führen können. Menschliche Eingriffe in die Umwelt vernichten gegenwärtig mehr Pflanzen- und Tierarten, als manches Massensterben der Erdgeschichte: Nach neueren Schätzungen verschwinden jährlich bis zu 50 000 Spezies von unserem Planeten.

Biogeographie

Die Verbreitung von Pflanzen und Tieren auf der Erde. Während „Kosmopoliten“ wie Mehlprimel, Schleiereule oder Fischadler auf fast allen Kontinenten zu Hause sind, leben „endemische“ Arten in einem begrenzten Areal: Die Baikalingelrobbe etwa kommt nur im Baikalsee vor, der Zitronenzeisig nur in den Alpen. Eine biogeographische Regel besagt, daß die *Biodiversität* von den Tropen zu den Po-



Silberschwert, endemisch auf Hawaii

len abnimmt. Die nördlichste pflanzen- und tiergeographische Region der Erde heißt „Holarktis“. Sie erstreckt sich in der Alten Welt bis zur Sahara und in Amerika bis Mexiko. Nach Süden folgen die „Paläotropis“ (Alt-tropen) mit dem größten Teil Afrikas sowie Südasien, Indonesien und den pazifischen Inseln. Zur „Neotropis“ zählen Mexiko, die Karibik, Zentral- und Südamerika. Die „Australis“ umfaßt Australien, Tasmanien und – bei den Zoologen – Neuseeland. Zur „Antarktis“ gehören der Kontinent und alle Inseln innerhalb der antarktischen Konvergenz, der scharfen Grenze zwischen südpolarem und wärmerem Meerwasser.

Am Anfang schuf der Computer den roten Strich. Er existierte in mehreren Kopien auf dem Monitor. Doch plötzlich erschienen kleine gelbe Stäbchen, die sich rasch vermehrten, bis schließlich dicke blaue Balken die Herrschaft übernahmen: eine Szene wie aus dem Leben, gespielt vom Computerprogramm „Tierra“. Tierra ist mehr als Kurzweil am PC. Es ist ein Produkt der Forschungsrichtung „Artificial Life“ (AL), in der Biologen und Informatiker ihre gemeinsamen Computer-Welten mit mathematischen Wesen bevölkern. Diese „genetischen Algorithmen“ verhalten sich wie natürliche, aus Kohlenstoffverbindungen aufgebaute Geschöpfe: Sie vermehren sich und sind Mutationen unterworfen, die sie ihren Nachkommen vererben. Unter der Herrschaft eines übergeordneten Programms, das die „Spielregeln“ vorgibt, entwickelt sich aus den digitalen Kreaturen im Laufe von Millionen blitzschneller Rechenschritte ein artenreiches „Ökosystem“. Was die Natur seit Jahrmillionen praktiziert, simuliert der Rechner so binnen Stunden oder Tagen – die Evolution des Lebens. Im „Artificial Life“ lernen Theorien das Laufen – als Spiel. Denn die Wissenschaftler können mit den Randbedingungen beliebig experimentieren und biologische Hypothesen prüfen, ohne reale Konsequenzen fürchten zu müssen. Zum Beispiel, indem sie durch knappe Ressourcen den Selektionsdruck erhöhen: Dann konkurrieren die virtuellen Wesen um Rechenzeit wie natürliche Geschöpfe um Nahrung.

Bioindikatoren

Bevor Gasregistriergeräte erfunden wurden, verließen Bergleute sich unter Tage auf einen gefiederten Kollegen: den Kanari. Fiel der Vogel im Käfig von der Stange, wußten sie, daß sich tödliches und geruchloses Kohlenmonoxid-Gas im Schacht ausbreitete. Manche Tiere, Pflanzen oder Mikroorganismen reagieren so sensibel auf bestimmte Umweltbedingungen, daß danach die Qualität von Wasser, Luft oder Boden beurteilt werden kann. Baumflechten vertragen kein Schwefeldioxid, weshalb sie in der verschmutzten Luft unserer Städte eingehen. Tabak und Spinat reagieren

Natürliche Ökosysteme	Plantagen
tropischer Regenwald 1000–3500	Zuckerrohr, -rüben 900
Marschland 800–3500	Kartoffeln 500
europäischer Laubwald 400–2500	Reis 500
offener Ozean 2–400	Mais 500
Gletscher und Wüste 0–10	Weizen 300

Jährliche Biomasse-Produktion in Gramm Trockengewicht pro Quadratmeter

ren empfindlich auf Ozon. Moose, die eine besonders große Aufnahme-Oberfläche besitzen, dienen in einem neuen bundesweiten Pilotprojekt als natürliche Meßstationen, um die Belastung der Luft mit Schwermetallen wie Blei, Cadmium und Arsen zu bestimmen.

Biomasse

heißt die Masse aller lebenden und toten Organismen. Anhand dieser meist pro Fläche angegebenen Größe vergleichen Wissenschaftler die Produktivität von Ökosystemen (siehe Tabelle). Die insgesamt auf dem Fest-

GLOSSAR

land entstehende Biomasse von jährlich etwa 200 Milliarden Tonnen ist zu 99 Prozent pflanzlichen Ursprungs. Ungefähr zwei Prozent nutzt der Mensch als Nahrungs- und Futtermittel, etwa ein Prozent wird zu Papier und Faserstoffen verarbeitet.

Biotop

nennen Ökologen den Lebensraum einer Gemeinschaft aus Pflanzen und Tieren mit ähnlichen Umweltsprüchen etwa an Temperatur, Feuchtigkeit oder Licht. Das Biotop enthält

Artificial Life

Fast wie im wirklichen Leben

Schon in den dreißiger Jahren kamen die Vorkämpfer der Computer-Ära auf den Einfall, „zelluläre Automaten“ aufeinanderzuzuhetzen – mathematische Gebilde, die wenigen primitiven Regeln nach dem Muster „Wenn Eingangswert X, dann Ausgangswert Y“ gehorchten. Aus den simplen Prototypen entstanden die genetischen Algorithmen, mit denen Mathematiker und Biologen seit 25 Jahren experimentieren. Sie funkio-

nieren nach den evolutionären Regeln von Mutation und Selektion: Indem sie mehrere Lösungen eines Problems vergleichen, aus den erfolgreichsten Exemplaren neue Lösungen kombinieren und abermals vergleichen, kristallisiert sich schließlich das beste Resultat heraus.

AL-Programme können die „Selbstorganisation“ unter Gleichen ebenso beschreiben wie das Wechselspiel zwischen starken und schwachen Beteiligten. Wie bei allen chaotischen Systemen bestimmen die Anfangsbedingungen hierbei den Entwicklungsprozeß. Im Verhältnis von Räubern und Beutetieren etwa kann das „ökologische Gleichgewicht“ über viele Spielrunden erhalten bleiben. Dann beginnt das

Zahlenverhältnis ohne erkennbare Ursache zu schwingen: erst um einen Wert, dann um zwei, um vier – bis das System im Chaos endet und eine der Populationen zusammenbricht.

„Tierra“ ist eine der bislang spektakulärsten Simulationen „künstlichen Lebens“. Dabei enthält die virtuelle Welt des Biologen Thomas Ray von der University of Delaware in Newark/USA nur drei Grundelemente:

- ein simples Programm, das sich selbst kopieren kann;
- Zufallsgeneratoren, die in den Programmen gelegentliche Mutationen auslösen, indem sie einzelne „Buchstaben“ verändern; sie sorgen zudem dafür, daß bei der Vermehrung durch Kopie manchmal Pannen vorkommen;

Kunst nach Prinzipien der Evolution: Aus den vom Computer erzeugten »Mutanten« eines Ausgangsbildes (oben links) wählt der Betrachter eine Graphik aus und übernimmt somit den Part der Selektion. Von der ausgesuchten Variante erzeugt der Rechner wieder Mutanten. Nach etwa 40 »Generationen« ist das Kunstwerk vollendet

- einen „Schritter“, der die ältesten Programme löscht. Die Liste der Todeskandidaten simuliert zugleich die natürliche Selektion: Schlecht funktionierende Programme rutschen schneller an die letzte Stelle als fehlerfreie.

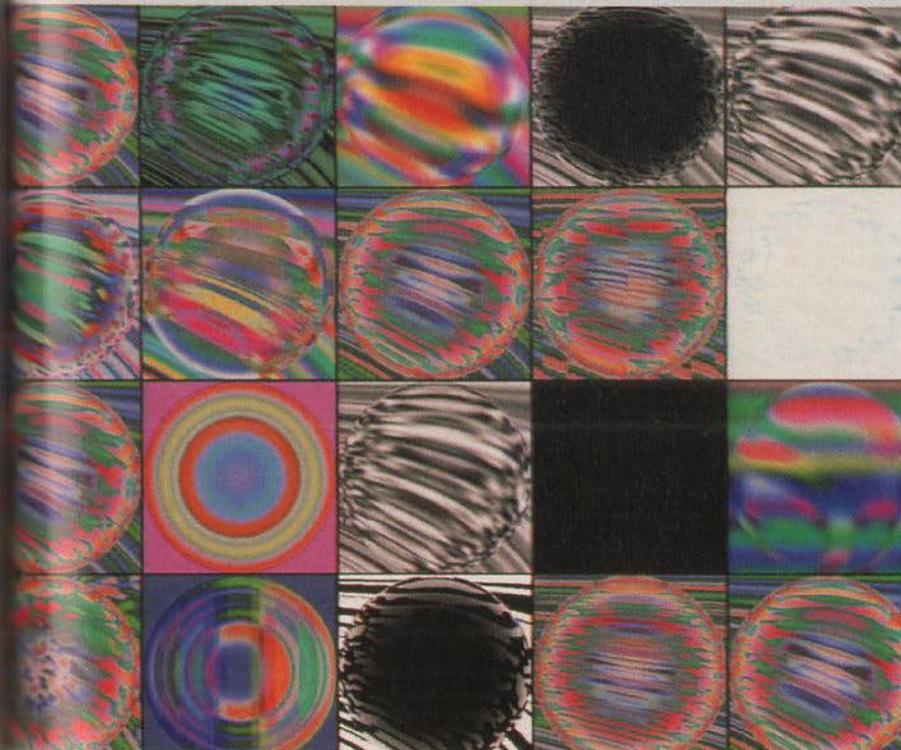
Die Tierra-Programme finden sich im Computer an Hand bestimmter Kennungen zurecht. Wenn das Unter-Programm „Kopieren“ läuft, dann sucht es nach dem Original, indem es den Speicher nach dem „Fingerabdruck“ des Originals durchmustert. Ist dieser mutiert, kann es – wie im wirklichen Leben – zu den schönsten Verwicklungen kommen.

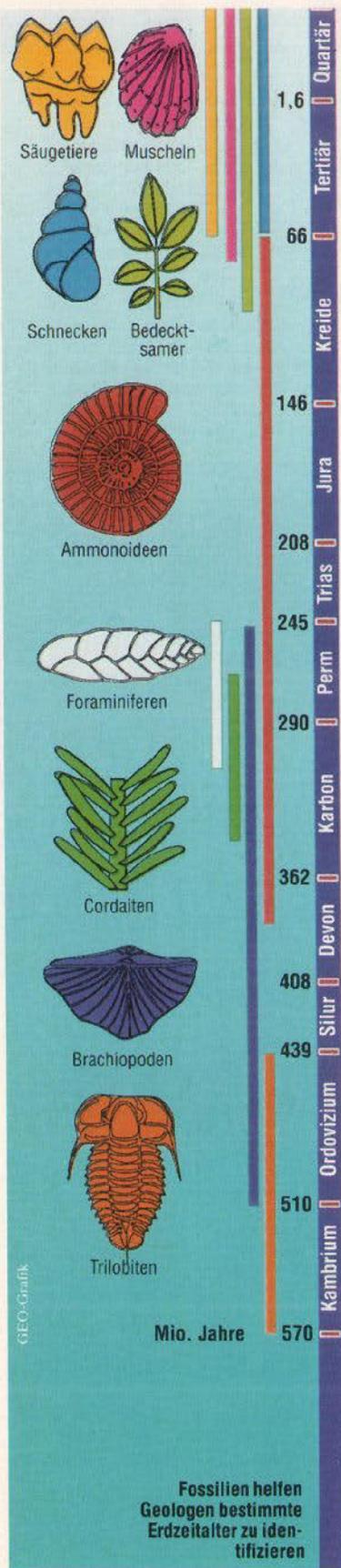
Tierra produziert „Organismen“, die einander verdrängen, ausnutzen oder gar täuschen. Oft beobachtet Ray sehr stabile, eingespielte Ökosysteme, in denen neue Mutanten kaum eine Chance haben. Bis unversehens ein neuer Prototyp auftaucht, der die Umweltbedingungen radikal verändert und damit die Bildung allerlei neuer „Lebensformen“ begünstigt: ein perfektes Beispiel für die Theorie des „unterbrochenen Gleichgewichts“, nach der lange Phasen der Gleichförmigkeit von Episoden beschleunigter Evolution abgelöst werden.

Ist das Eigenleben im Computer überhaupt noch eine Simulation? Der amerikanische Informatiker Christopher Langton meint, mit dem „künstlichen Leben“ beginne eine neue Evolution. AL-Forscher spielen Gott.

„Sind Teilnehmer auf Nicht-Kohlenstoff-Basis im Saal?“ fragte Langton zu Beginn der letzten Konferenz über „Artificial Life“. Nichts meldete sich. Noch nicht.

Gero von Randow





eine Vielzahl von *Habitaten*, den Wohnstätten der einzelnen *Arten*. Typische Biotope sind Moore, Auenwälder, Trockenwiesen und Quellen mit ihren jeweils charakteristischen Lebensgemeinschaften – den *Biozönosen*. Das Zusammenwirken von *Biotoptyp* und *Biozönose* ergibt das *Ökosystem*.

Energiefluß

Sonnenenergie speist nahezu alles Leben auf der Erde; sie ist der Antrieb der *Ökosysteme*. Die grünen Pflanzen absorbieren von der einfallenden Strahlung – je nach Vegetationstyp – nur 0,1 bis vier Prozent und binden sie in der Photosynthese als chemische Energie in Form organischer Verbindungen. Über diese Substanzen fließt die Energie in den Nahrungsketten von den pflanzlichen „Produzenten“ zu den pflanzenfressenden „Primärkonsumenten“, den fleischfressenden „Sekundär-“ oder gar „Tertiärkonsumenten“.

Mit jedem Schritt gehen und neun Zehntel der jeweils vorhandenen Energie durch die Stoffwechselaktivität verloren und werden letztlich als Wärme freigesetzt. In einer kurzen Nahrungskette ist deshalb am meisten Energie verfügbar: Von einem Maisfeld können zehnmals mehr Menschen leben, wenn sie die Körner verzehren, statt sie an Haustiere zu verfüttern und dann deren Fleisch zu essen.

Fitness

nennen *Evolution*sbiologen die Eigenschaft eines Individuums, sich im *Selektions*prozeß zu behaupten. Den jeweils herrschenden Umweltbedingungen besonders gut angepasste Organismen zeugen im Schnitt mehr Nachkommen als ihre *Artgenossen* mit geringerer *Fitness*.

Fossilien

sind konservierte, meist versteinerte Überreste von Tieren oder Pflanzen aus früheren Epochen der Erdgeschichte. Diese konnten den *Zersetzungs*prozessen durch günstige Umstände – etwa *Luftabschluß* – entgehen. Gewöhnlich bleiben nur Knochen und Schalen als *Versteinerungen* oder *Abdrücke* zurück. Selten sind Funde wie die im sibirischen *Dauerfrostboden* mit Haut und Haaren erhaltenen eiszeitlichen *Mammuts*.

Zu den größten Fossilien gehören die versteinerten Knochen von *Sauriern*, etwa das kürzlich von *US-Paläontologen* entdeckte Skelett des „*Tyrannosaurus rex*“ – mit 15 Meter Länge und sechs Meter Höhe das größte bekannte landlebende Raubtier. Für Forscher ebenso interessant



Das wohl berühmteste Fossil: der »Urvogel« Archaeopteryx

sind die nur unter dem Mikroskop erkennbaren *Mikrofossilien*. Eine praktische Rolle spielen *Versteinerungen* bei der Suche nach fossilen *Brennstoffen*: Gesteinsschichten, in denen bestimmte Rohstoffe vorkommen, identifizieren Geologen durch *Fossilien*, die bestimmte *Erdzeitalter* repräsentieren (siehe *Abbildung* am Seitenrand).

Gaia

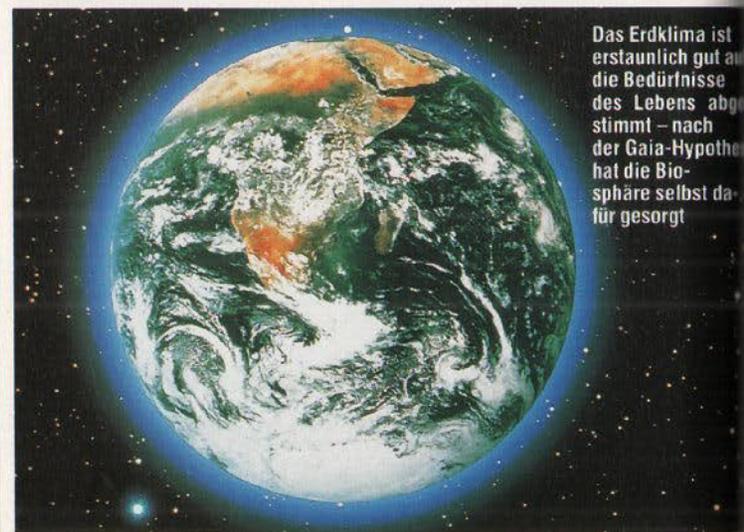
Hinter dem Namen der altgriechischen Erdgöttin verbirgt sich eine Theorie, nach der „die *Evolution* der Lebewesen-Arten so eng mit der *Evolution* ihrer physikalischen und chemischen Umwelt gekoppelt ist, daß beide zusammen einen einzigen und untrennbaren evolutionären Vorgang bilden“ (siehe *GEO-Wissen* Nr. 2/1987 „*Klima-Wetter-Mensch*“).

1972 vom Engländer James Lovelock veröffentlicht, ist die

Theorie nach wie vor umstritten, hat aber Pluspunkte sammeln können: Es mehren sich Hinweise, daß die *Biosphäre* in den *Kohlendioxid*-Gehalt der *Erdatmosphäre* eingreift, durch das *Algen-Stoffwechselprodukt* *Dimethylsulfid* die *Wolkenbildung* über den *Ozeanen* reguliert, den *Salzgehalt* der *Meere* konstant hält und sogar an den für die *Kontinentalverschiebung* ursächlichen *plattentektonischen* Prozessen beteiligt ist. Lynn Margulis, angesehene *US-Biologin* und Verfechterin dieser Theorie, vergleicht den derzeitigen Disput um „*Gaia*“ mit der – fälschlichen – *Ablehnung* von *Alfred Wegeners* *Kontinentalverschiebungstheorie* in den zwanziger Jahren.

Habitat

Aufenthaltsbereich einer Tier- oder Standort einer Pflanzenart im *Biotoptyp*.



Das Erdklima ist erstaunlich gut an die Bedürfnisse des Lebens angepasst – nach der *Gaia-Hypothese* hat die *Biosphäre* selbst dafür gesorgt

Evolutionstheorien

Die Suche nach der treibenden Kraft

„... ein jegliches nach seiner Art“: Bis weit in die Neuzeit bestimmte die biblische Schöpfungsgeschichte das Bild von der Natur. Wer an dem Kirchendogma zweifelte, lästerte Gott. Befangen im Glauben an die Unfehlbarkeit der Bibel, interpretierten Naturbeobachter versteinerte Tiere und Pflanzen als Relikte der Sintflut. Im 18. Jahrhundert taten Forscher sich allerdings immer schwerer, die Funde bibelgerecht zu erklären. Die Entdeckung, daß fossilienhaltige Gesteine stets in einer bestimmten Schichtfolge auftreten, legte eine erdgeschichtliche Chronologie und damit eine allmähliche Entwicklung des Lebens nahe. Dennoch hielten viele an der Kirchenlehre fest, darunter der schwedische Naturforscher Carl von Linné: „Es gibt so viele Arten, wie das unendliche Sein von Anfang an verschiedene Formen hervorgebracht hat.“

1809 präsentiert Jean-Baptiste Lamarck die erste Evolutionstheorie. Der Franzose verfiel die für seine Zeit revolutionäre Auffassung, daß eine sich ändernde Umwelt in den Organismen ein Anpassungsbedürfnis auslöst. Das Bedürfnis führe zur Neubildung oder Umformung der betroffenen Körperorgane. Die langen Beine einer bestimmten Strandvogel-Spezies entstünden folglich durch die Notwendigkeit, zur Nahrungssuche durch Wasser waten zu müssen. **Lamarcks Theorie** zufolge sind die erworbenen Veränderungen erblich (indirekte Vererbung).

1828 verteidigt der französische Anatom und Paläontologe Georges Cuvier die **Lehre von der Konstanz der Arten** durch seine Katastrophentheorie: Danach sind Fossilien Relikte von Naturkatastrophen, die in einzelnen Regionen alles Leben auslöschten.

1859 stellt Charles Robert Darwin in seinem Buch „Über die Entstehung der Arten“ seine **Selektionstheorie** vor. Der britische Naturforscher erklärt die Entwicklung der Kreaturen in zwei Schritten: 1. Die Individuen aller Tier- und Pflanzenarten weisen eine sehr große ungerichtete Vielfalt an Eigenschaften

auf. 2. Dieses vererbare „Rohmaterial“ der Evolution unterliegt der Selektion – einer natürlichen Auslese durch die Umwelt, die den Anteil besser angepasster Individuen in der nächsten Generation erhöht. Beispiel Strandvogel: Besonders langbeinige Individuen haben einen Selektionsvorteil. Sie können auch Futter in tieferem Wasser suchen und damit mehr Junge aufziehen. Das Merkmal „lange Beine“ verbreitet sich entsprechend schneller in der Population als das Merkmal „kurze Beine“. Darwins Theorie läßt zwei Fragen offen: Ist auch die von Lamarck behauptete indirekte Vererbung möglich? Hat sich die Evolution der Lebewesen gleichmäßig – graduell – oder sprunghaft – saltatorisch – vollzogen? Darwin bevorzugt die **Theorie der graduellen Entwick-**

lung. Die meisten seiner Kollegen schließen sich ihm an.

Nach 1890 erhält die **Saltatorische Theorie** Auftrieb. Ihre Verfechter machen Lücken im Fossilienstammbaum als Beweis geltend. Gleichzeitig entwickelt August Weismann die Keimbahntheorie: Er zeigt, daß die Geschlechts- oder Keimzellen alle Erbanlagen von Generation zu Generation weitergeben – unabhängig von erworbenen Veränderungen des Körpers. Damit widerlegt der deutsche Mediziner und Zoologe Lamarcks Konzept der indirekten Vererbung und begründet die **Neo-Darwinische Evolutionstheorie**. Dennoch findet Lamarck Anhänger bis weit ins 20. Jahrhundert hinein.

Um 1900 entdecken die Biologen Carl Correns und Hugo de Vries die

bis dahin unbeachtet gebliebenen Vererbungsgesetze Gregor Mendels neu. Hugo de Vries erkennt, daß zufällige Veränderungen im Erbgut – Mutationen – die Grundlage für die von Darwin beschriebene Variabilität sind.

Etwas zur gleichen Zeit machen die Gradualisten Boden gut: Genetiker glauben, evolutionäre Innovationen wie Vogelflügel und Lunge durch eine schrittweise Evolution erklären zu können. Sie sehen in der Mutation die treibende Kraft der Evolution und bagatellisieren die Rolle der Selektion.

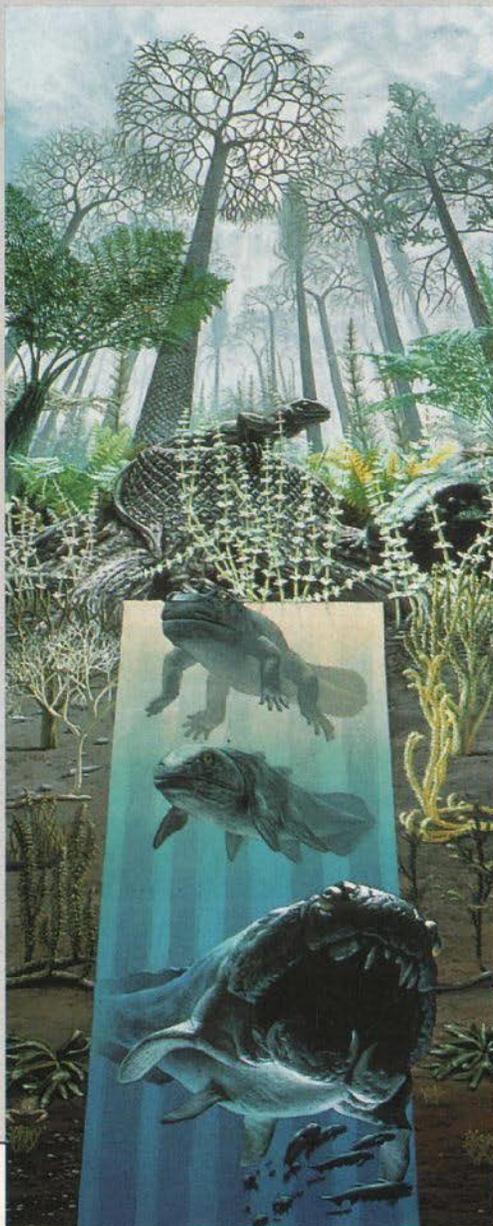
Zwischen 1936 und 1947 gelingt den Biologen Theodosius Dobzhansky, Julian Huxley, Ernst Mayr, George Simpson, Bernhard Rensch und George Stebbins die Synthese der sich teilweise widersprechenden Vorstellungen von Genetikern und Naturbeobachtern: Die **Synthetische Theorie** stellt unter anderem die überwältigende Bedeutung der Selektion heraus, bestätigt den Gradualismus und widerlegt die indirekte Vererbung.

1972 ziehen die US-Paläontologen Niles Eldredge und Stephen Jay Gould die graduelle Entwicklung erneut in Zweifel. Nach ihrer als „punctuated equilibria“ – **unterbrochene Gleichgewichte** – bekannten Theorie werden lange Epochen, in denen die Arten sich unter konstanten Umweltbedingungen kaum verändern, von Phasen rascher Entwicklung und damit der Speziation unterbrochen.

1983 liefert Motoo Kimura ein mathematisches Erklärungsmodell für die Verbreitung „selektionsneutraler“ Mutationen, die für den Organismus weder Vor- noch Nachteile haben. Damit erklärt der japanische Genetiker die große Variabilität von Proteinen und des Erbmoleküls DNA. Kimura präsentiert den mathematischen Nachweis des Spielmaterials der Evolution als **Neutralitätstheorie**.

1988 provozieren die amerikanischen Genetiker John Cairns, Julie Overbaugh und Stephan Miller unter bestimmten Versuchsbedingungen „zielgerichtete“ Mutationen in Bakterienkulturen. Die genetische Veränderung behebt einen Stoffwechseldefekt der Einzeller. Damit wird die Diskussion über die Möglichkeit bedürfnisorientierter Vererbung neu entfacht.

Wolfgang Meschede



Vom Fisch zum Reptil: Entwicklung der Gliedmaßen

Humanökologie

untersucht die Wechselwirkungen zwischen dem Menschen und seiner Umwelt. Als Konsument am Ende der Nahrungskette nutzt unsere Spezies Flora und Fauna wie ein schlecht angepasster Parasit, der seine eigene Lebensgrundlage zerstört. Vor allem die reichen Industrienationen strapazieren die ökologische Tragfähigkeit unseres Planeten übermäßig – trotz ihrer geringen Geburtenrate.

Ihr Raubbau an der Natur ist nicht allein eine Folge der Bevölkerungsdichte, sondern auch des hohen Verbrauchs von Ressourcen sowie der dabei anfallenden Abfälle und Umweltgifte pro Kopf. Ein Deutscher erzeugt im Jahr 14 Tonnen des Treibhausgases Kohlendioxid, ein Bewohner der Dritten Welt dagegen nur 0,7 Tonnen. Die Atmosphäre, errechneten Klimatologen, könnte maximal zwei Tonnen pro Weltbürger verkraften. Zum Ausgleich müßten die Deut-



Energieaufwendige Bewässerung

schen also ihren Energieverbrauch auf ein Siebtel reduzieren – oder ihre Bevölkerung. Ein traditioneller Bauer in der Dritten Welt erwirtschaftet mit dem körperlichen Einsatz von einer Kilokalorie zehn Kilokalorien Nahrung. Unsere industrialisierte Landwirtschaft dagegen verschlingt zehnmal mehr Energie, als sie auf den Tisch bringt.

Invasion

Eindringen von Tier- oder Pflanzenarten in fremde Ökosysteme, häufig im Gefolge des Menschen. Eine Vielzahl von Pflanzen und Tieren gelangte nach der Entdeckung Amerikas durch Kolumbus von der Alten in die Neue Welt – und umgekehrt. In der europäischen Natur behaupten heute viele dieser Exoten einen Stamplatz – etwa die Sonnenblume oder die Regenbogenforelle. Negative ökologische Konsequenzen von Invasionen offenbaren sich zuweilen

erst nach zig Generationen: Eineinhalb Jahrhunderte nachdem der 1819 eröffnete Erie-Kanal die Großen Seen von Nordamerika mit dem Atlantik verbunden hatte, verdrängte die atlantische Fisch-Spezies „*Alosa pseudoharengus*“ im Michigan-See mehrere einheimische Arten.

Klassifikation

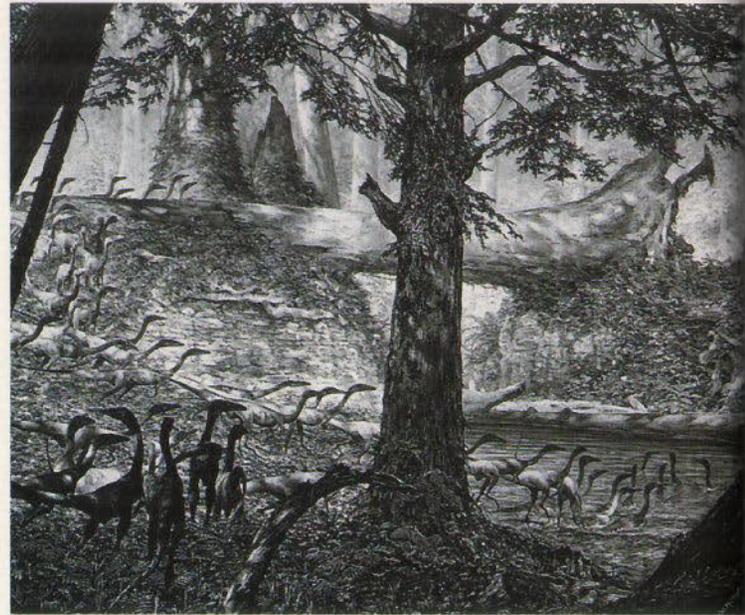
Die ältesten Versuche, Ordnung in die verwirrende Vielfalt des Lebens zu bringen, reichen bis in vorchristliche Zeit zurück. Schon Aristoteles beschrieb eine Tier-Hierarchie, die sich nach morphologischen Merkmalen richtete. Mitte des 18. Jahrhunderts schuf der schwedische Naturforscher Carl von Linné seine „*Systema naturae*“ mit rund 8500 Pflanzen und 4200 Tieren. Darin trägt jeder der nach leicht erkennbaren Schlüsselmerkmalen sortierten Organismen zwei lateinische Namen. Diese binäre Nomenklatur ist noch heute in Gebrauch: Der erste Name bezeichnet die Gattung, der zweite die Art.

Für die moderne Systematik spielen äußere Merkmale keine dominierende Rolle. Die moderne evolutionäre Klassifikation bedient sich aller Merkmale, die eine stammesgeschichtliche Verwandtschaft belegen – auch Veränderungen an der Erbsubstanz oder bestimmten Eiweißverbindungen (siehe *molekulare Uhren*). Das Ausmaß des stammesgeschichtlichen Wandels ist dabei ein wichtiges systematisches Kriterium: Saurier und die von ihnen abstammenden Vögel beispielsweise bilden jeweils eigene Gruppen.

Heute vertreten manche Biologen einen neuen Ansatz – die „phylogenetische Systematik“. Danach werden Abstammungsgemeinschaften einzig auf der Basis gemeinsamer Merkmale gebildet. Demnach gehören Vögel und die Gruppe der auf zwei Beinen laufenden Saurier wegen ihrer hohlen Knochen und dreizehigen Füße zur selben Einheit. So gesehen sind die heutigen Vögel die letzten überlebenden Dinosaurier.

Klimax

Bis vor kurzem glaubten Ökologen, daß sich in jeder Klimazone im Laufe der *Sukzession* ein bestimmtes Ökosystem entwickelt. In weiten Bereichen Mitteleuropas zum Beispiel wäre Rotbuchenwald die Klimax oder „Schlußgesellschaft“. Beobachtungen in den Resten naturnaher Wälder zeigten jedoch, daß diese strenge Definition eine Fiktion ist. Selbst Urwälder besitzen keine einheitliche Vegetation, sondern ein Mosaik unterschiedlicher



Sind die heutigen Vögel die letzten überlebenden Dinosaurier?

Sukzessionsstadien: Ergebnis eines immerwährenden, asynchronen Zyklus von Reifung, Niedergang und Verjüngung.

Koevolution

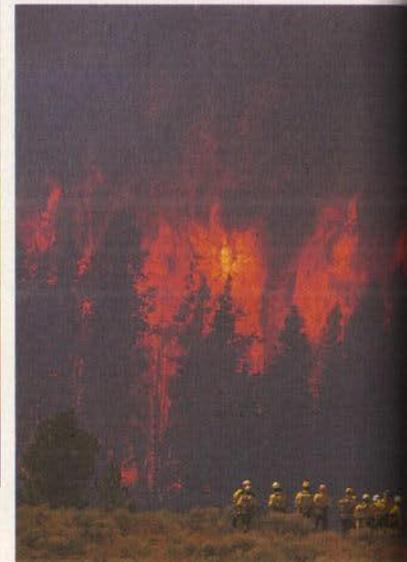
Wenn der Schwertschnabel-Kolibri die Blüte einer südamerikanischen Stechapfel-Spezies anzapft, profitieren beide: Weil kein Fluginsekt mit seinem Rüssel zum Grund des langen, dünnen Blütenkelchs vordringen kann, kommt nur der Kolibri als Bestäuber in Frage. Dem kleinen Vogel mit dem elf Zentimeter langen Schnabel wiederum macht keine andere Art die Nektarquelle streitig. Diese *Symbiose* ist das Ergebnis wechselseitiger Anpassung – wie auch manche unsoziale Lebensgemeinschaft. In der Beziehung etwa zwischen dem Menschen und seinen Parasiten entwickelten Immunsystem und Angreifer im Laufe der *Evolution* immer raffiniertere Strategien zur gegenseitigen Überwindung.

Kulturfolger

Manche Tier- und Pflanzenarten bevorzugen menschliche Siedlungen, weil die Lebensbedingungen dort für sie günstig sind: In der Stadt ist die Außentemperatur etwa ein Grad höher als im Umland, hier bieten menschliche Abfälle reichlich Nahrung. Kulturfolger sind meist wenig spezialisierte „Allerweltstypen“ mit hohem Anpassungspotential wie die Hausschabe, die als Allesfresser dem Menschen praktisch überallhin folgt.

Limitierende Faktoren

begrenzen und regulieren die Individuendichte einer *Population*. Der für Algen wichtige Nährstoff Phosphat beispielsweise ist in sauberen Gewässern nur in Spuren vorhanden. Die Zufuhr phosphatreicher Abwässer verursacht deshalb eine Algenblüte – eine sprunghafte Vermehrung. Ressourcen wie Nahrung oder Brutplätze, die mit zunehmender Individuendichte knapp werden, sind „dichteabhängige“ Faktoren. Als „dichteunabhängig“ gelten dagegen Waldbrände, eisige Winter oder heftige Regenfälle. Im *Naturschutz* spielen limitierende Faktoren eine entscheidende Rolle: So wird eine Meisenpopulation gewöhnlich nicht durch das Nahrungsangebot be-



grenzt, sondern durch den Mangel an Bruthöhlen. Dem kann mit Nistkästen abgeholfen werden.

Man and the Biosphere

Mit dem Ziel, die Beziehung zwischen dem Menschen und seiner Umwelt zu verbessern, hat die Unesco im November 1971 das Programm „Der Mensch und die Biosphäre“ ins Leben gerufen. Seither untersuchen Natur- und Sozialwissenschaftler in 14 internationalen Projektbereichen ein umfangreiches Spektrum von Ökosystemen in mehr als 100 Ländern, aber auch soziale Prozesse wie die Entwicklung von Umweltbewußtsein. Erste Vorhaben des Programms sind inzwischen abgeschlossen – etwa im „Biosphären-Reservat Berchtesgaden“: Dort haben die Wissenschaftler viele Daten über die vorkommenden Tiere und Pflanzen, die Geographie des Gebietes und das ökologische Wirkungsgefüge erfaßt. Mit einem Computerprogramm lassen sich nun detailliert Risiken berechnen, die dem Gebiet bei bestimmten Eingriffen drohen. Das System der rechnergestützten Risikoabschätzung erfährt inzwischen weltweit Nachahmung.

Mimikry

Die biologische Signaltäuschung (von griechisch *mimesis* = Nachahmung) wird von an sich wehrlosen Tieren genutzt, die im Wechselspiel von *Mutation* und *Selektion* das Aussehen giftiger oder wehrhafter Arten bekommen haben. So gleicht der harmlose Hornissenschwärmer – ein Schmetterling – verblüffend der gefährlichen Hornisse. Die Beute kann ihren potentiellen Räuber auch akustisch täuschen: Eibner von Fledermäusen bevor-



Meister der Warnung: Eine Schmetterlingslarve mimt einen Schlangenkopf (links). Künstler der Tarnung: Zwei Heuschrecken lassen sich auf dem mit Flechten überzogenen Baum kaum ausmachen



zugte Nachtfalter imitieren Ultraschall-Laute, mit denen andere Schmetterlinge die Nachtjäger auf ihren bitteren Geschmack aufmerksam machen. Auch Tarnung ist möglich: Die perfekte Angleichung mancher Tiere an ihre Umgebung nennen Biologen allerdings Mimese.

Molekulare Uhren

Im Jahr 1965 postulierten die US-Chemiker Linus Pauling und Emile Zuckerkandl, daß die Erbsubstanz und deren Eiweißprodukte – die Proteine – sich im Laufe der *Evolution* in einem relativ gleichmäßigen Rhythmus ändern, vergleichbar dem Ticken einer Uhr. Die Theorie hatte weitreichende Konsequenzen für die Evolutionsbiologie: Von nun an konnten Forscher – vorausgesetzt, die *Mutationsrate* war bekannt – aus den Strukturunterschieden im Proteinstmuster zweier verwandter Arten den Zeitpunkt errechnen, zu dem die beiden Spezies aus einem gemeinsamen Vorfahren hervorgegangen waren. Menschen und Schimpansen beispielsweise haben sich gemäß dieser Theorie vor etwa fünf Millionen Jahren getrennt.

Weil viele Mutationen gar nicht in Proteine übersetzt werden, ist die Erbsubstanz DNA als molekulare Uhr weit besser geeignet. Vergleichende DNA-Analysen

wenden Forscher heute vielfach in Fragen der *Klassifikation* und *Speziation* an. Die Verlässlichkeit molekularer Uhren ist jedoch nicht eindeutig erwiesen. Zum Beispiel bezweifeln *Paläontologen* Molekül-Analysen, die nahelegen, daß sich die nackt- und bedecktsamigen Pflanzen schon vor rund 340 Millionen Jahren aus einem gemeinsamen Stamm entwickelt haben. „Die Uhr geht vor“, behaupten die *Fossilienforscher* und machen geltend, daß sich Pollen dieser Pflanzen erst in Ablagerungen aus der Kreidezeit vor 146 bis 66 Millionen Jahren nachweisen lassen.



Von grün zu rosa mutierte Heuschrecke

Mutationen

sind Veränderungen im Erbgut. Was wie ein genetischer Unfall erscheint, ist in Wahrheit eine wichtige Grundlage der *Evolution*: Durch die zufälligen und un-

gerichtet auftretenden Mutationen entsteht im Laufe der Generationen eine riesige Vielfalt unterschiedlicher Individuen, unter denen die richtende Kraft der *Selektion* eine Auswahl trifft. Die große Variabilität sichert das Anpassungspotential und damit auch das Fortbestehen einer Art.

Nahrungsnetz

Das verwickelte Fressen und Gefressenwerden in einem Ökosystem. Darin können einzelne Ketten eine – gemessen am *Energiefluß* – tragende Rolle spielen, während andere eher unbedeutend sind. In Land-Ökosystemen etwa fließen mächtige Nahrungsströme ohne Umweg über Konsumenten direkt zur Gemeinschaft der *Zersetzer*, die von toten Organismen leben. Die Nahrungsbeziehungen können auch zeitlich stark variieren. Wer dieses komplizierte Flechtwerk rekonstruieren will, muß zunächst Unmengen quantitativer Einzelmessungen erfassen. Fehlt diese Datenbasis, können Nahrungsnetze bestenfalls als Modell dienen. Manche Forscher bezweifeln, daß diese Musternetze die Verhältnisse innerhalb von Ökosystemen angemessen beschreiben.

Waldbrände können als limitierende Faktoren für Fauna und Flora wirken. Ökologen gehen davon aus, daß Feuer eine wichtige Rolle bei der Regulation der Ökosysteme spielen



Naturschutzgebiete

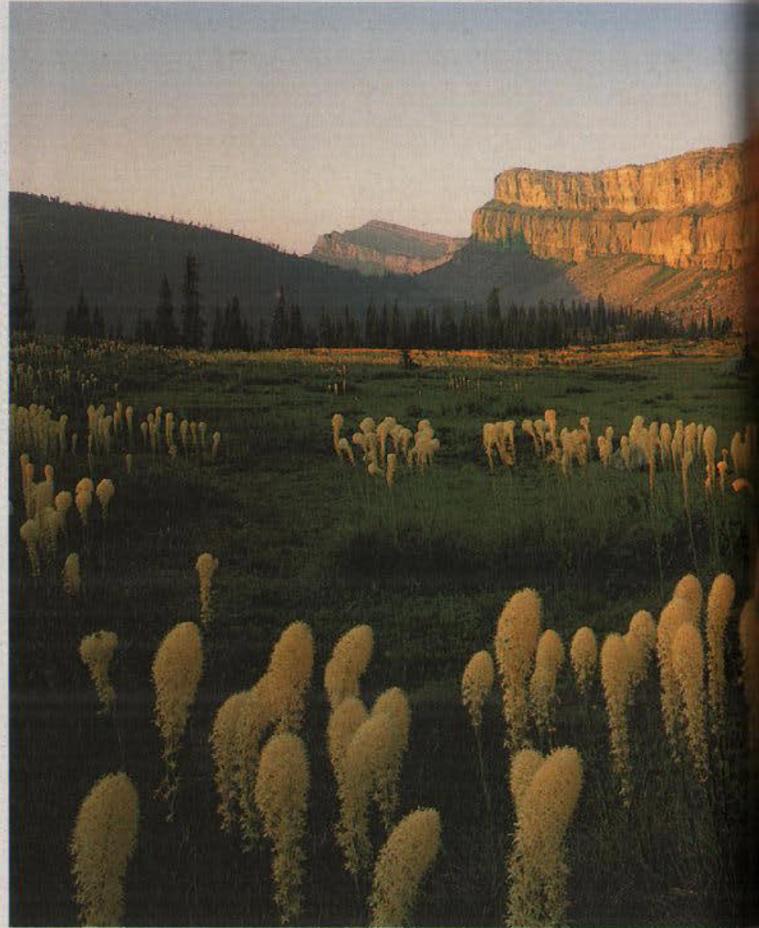
Wilde Inseln in einer dressierten Welt

Jeden Morgen nach Sonnenaufgang beobachtet Klaus Enting, Vogelwärter auf Sylt, mehrere Stunden lang vom Deich aus seine Schützlinge durchs Fernglas: den Großen Brachvogel und die Uferschnepfe, den Austernfischer und den Kiebitz, insgesamt bis zu 200 Arten jährlich. Danach kümmert er sich um ungeflügelte Zweibeiner: Auch Touristenführungen gehören zwischen März und Oktober zum täglichen Arbeitspensum des 24-jährigen Zivildienstleistenden. Enting beaufsichtigt das Naturschutzgebiet „Rantum-Becken“ für den Seevogelschutz-Verein „Jordsand“ – eine von vielen Organisationen, die als Vertragspartner der Bundesländer etliche der gut 5000 Naturreservate Deutschlands betreuen. In diesen Gebieten sollen laut Bundesnaturschutz-Gesetz von 1976 die Lebensstätten wildwachsender Pflanzen und wildlebender Tiere als Ganzes erhalten werden. Deshalb ist alles verboten, was zu einer „Zerstörung, Beschädigung oder Veränderung“ führen könnte: Industrie und Landwirtschaft müssen draußen bleiben; Besucher dürfen die Wege nicht verlassen, nicht lärmern und weder Pflanzen noch Steine sammeln. Völlig sich selbst überlassen werden nur wenige Naturschutzgebiete überlassen: Kleine Areale sind kaum zur Selbstregulation fähig und benötigen „Bio-Management“.

Wuchern beispielsweise die Brutplätze der Seeschwalben zu, entfernen die Betreuer – nach Absprache mit der Landesbehörde – die störenden Pflanzen. In Wald-Naturschutzgebieten, wo Rot- und Damwild die Schößlinge verbeißen, übernehmen Jäger die Rolle der fehlenden natürlichen Regulatoren wie Bär, Wolf oder Luchs.

Vor allem alte, vom Menschen geschaffene Kulturlandschaften brauchen auch zum Überleben dessen Hand: Um etwa Heidegebiete und Trockenwiesen vor der natürlichen Sukzession zum Wald zu bewahren, entfernen freiwillige Helfer und Zivildienstleistende in regelmäßigen Abständen Jungbäume und Sträucher. Für solche Pflegedienste erhalten die Vereine einen „Betreuungszuschuß“. Ganze 1,9 Prozent der Fläche Deutschlands stehen unter Naturschutz. Fast ein Viertel der Bundesrepublik nehmen dagegen die Landschaftsschutzgebiete ein, in denen nur die „Eigenart oder Schönheit des Landschaftsbildes“ bewahrt werden soll. Für den Naturschutz sind diese Regionen, in denen Industrie, Land- und Forstwirtschaft keinerlei Auflagen unterliegen, allerdings bedeutungslos.

Wie wirkungsvoll Sperrzonen Natur schützen, zeigen die Staatsjagdgebiete, Truppenübungsplätze und Grenzanlagen der ehemaligen DDR. Von menschlichen Akti-



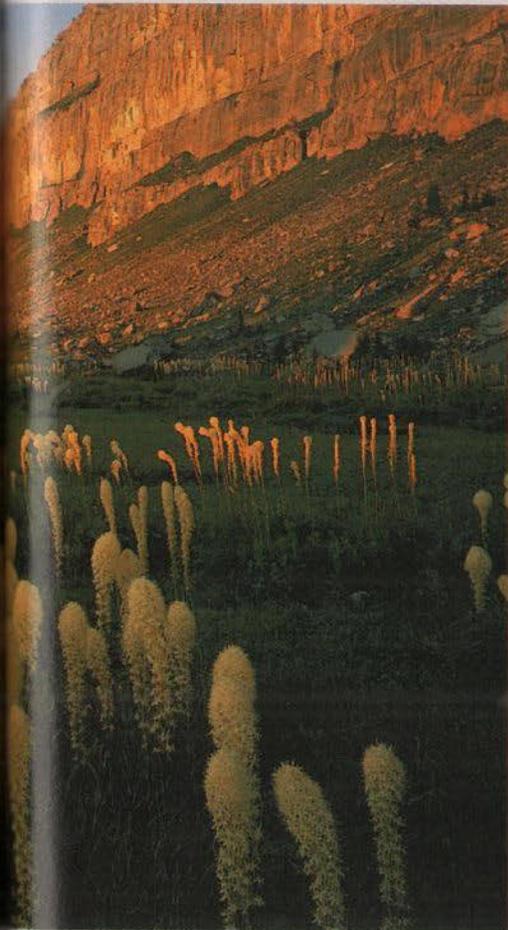
vitäten ungestört, gediehen dort Arten, die im Westen Deutschlands nahezu ausgestorben sind: Im Schatten des Eisernen Vorhangs fanden Schreiadler und Kranich ruhige Nistplätze, überlebten Fischotter und stauten Biber halbwegs saubere Flüsse nach

ihren Bedürfnissen. Auf den grenznahen Höhenzügen der Rhön blühten botanische Kostbarkeiten wie das Purpure Knaubenkraut und der Gelbe Fingerhut. Naturschützer fordern seit der Wiedervereinigung, die unbesiedelte Zone entlang des ehemali-

Jedes Kunstjahr hat seine eigenen Höhepunkte. Neue Talente drängen auf die Szene. Alte Meister haben uns plötzlich wieder viel zu sagen. Vergessene Werke werden wieder entdeckt. Bahnbrechende Ausstellungen, überraschende Entwicklungen in Malerei und Plastik, entscheidende

Auktionen bestimmen das aktuelle Gespräch über Kunst. Die Brennpunkte der Diskussion wechseln von Jahr zu Jahr. ART präsentiert jeden Monat die Avantgarde und dokumentiert das Bleibende in Malerei, Skulptur, Fotografie, Architektur und Design.

art Das Kunstmagazin



Die »Bob Marshall Wilderness« im US-Staat Montana ist eines der ältesten und größten Wildnisrefugien der Erde. Bärengras und gigantische Naturmonumente bestimmen das Landschaftsbild

gen Todesstreifens als größtes zusammenhängendes Naturreferat Deutschlands auszuweisen und damit zu erhalten. Es könnte der Beginn einer ohnehin dringend gebotenen Vernetzung deutscher Naturschutzgebiete sein: Die meist kleinen, isoliert

liegenden Gelände bieten wenig Möglichkeiten für genetischen Austausch mit anderen Populationen. Vor allem die Wanderungen von Kleinsäugetern, Reptilien oder Amphibien scheitern oft an unüberwindlichen Siedlungsachsen. Die Anlage von Korridoren

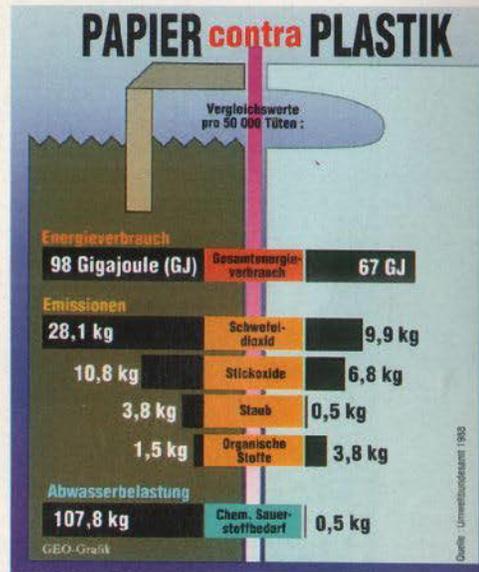
zwischen Biotopen kann sich indes als knifflig erweisen: Waldstreifen und Hecken etwa, die einigen Arten als Wanderweg dienen, könnten für andere zu einer unbezwingbaren Hürde werden. Ausreichend große Flächen für „ganzheitlichen“ Naturschutz im dichtbesiedelten Deutschland gewähren derzeit nur die zehn Nationalparks, mit insgesamt 7000 Quadratkilometern knapp halb so groß wie Thüringen. Vier Fünftel dieser Fläche entfallen allein auf Watt und Wasser der Nord- und Ostsee. Allerdings kollidiert in den Nationalparks das Schutzziel mit wirtschaftlichen und touristischen Interessen.

Ursprünglich sollten solche großräumigen Naturreservate – das älteste ist der 1872 eröffnete Yellowstone National Park in den USA – monumentale Landschaften für den Publikumsverkehr erschließen. Dabei rangierte das Wohl der Besucher lange vor dem der Natur: So wurden im amerikanischen Yosemite National Park anfangs Spechte abgeschossen, weil deren Gehämmer Hotelgästen den Schlaf raubte.

Heute wird in den meisten der weltweit 1392 Nationalparks, die zusammengenommen so groß wie Indien sind, ein Kompromiß zwischen Show und Schutz praktiziert. Dabei genießt die Natur selten so viele Vorrechte wie im „Nationalpark Hamburgisches Wattenmeer“ vor Cuxhaven. Dort hat der Senat des Stadtstaates Hamburg Jagd, Fischerei und Muschelfang komplett verboten und überdies rund neun Zehntel der Wattflächen als absolute Schutzzone deklariert: „Betreten verboten.“ *Monika RöBiger*

Ökobilanz

Ganz miserabel schneidet die vielgepriesene Papiertüte ab, wenn eine Prüfung auf „Umweltverträglichkeit“ nur die Produktionsbedingungen berücksichtigt (siehe Grafik): Die Herstellung von Plastiktüten verbraucht weniger Energie und belastet Abluft wie Abwasser weitaus geringer. Eine Ökobilanz sollte jedoch alle umweltrelevanten Wirkungen eines Produkts gegeneinander abwägen – auch jene, die bei der Nutzung und Abfall-Entsorgung auftreten. Ganz oben auf der Positivliste der Ökobilanz steht die Wiederver-



Plastiktüten schlagen Papiertaschen, doch nichts geht über Omas Einkaufsnetz

wendbarkeit von Produkten. Wird sie berücksichtigt, haben weder Papier- noch Plastiktüte viel zu bieten. Klarer Sieger ist das gute alte Einkaufsnetz.

dtv-Atlas zur Ökologie



3228 / DM 19,80

Unsere Welt – ein vernetztes System

dtv

Deutscher Taschenbuch Verlag

Konrad Lorenz
Kurt L. Mündl:
Noah würde Segel setzen



10750 / DM 16,80

Josef H. Reichhoff:
Der Tropische Regenwald



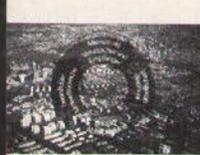
11262 / DM 12,80

Frederic Vester:
Unsere Welt – ein vernetztes System



10118 / DM 16,80

Frederic Vester:
Ballungsgebiete in der Krise



30007 / DM 12,80

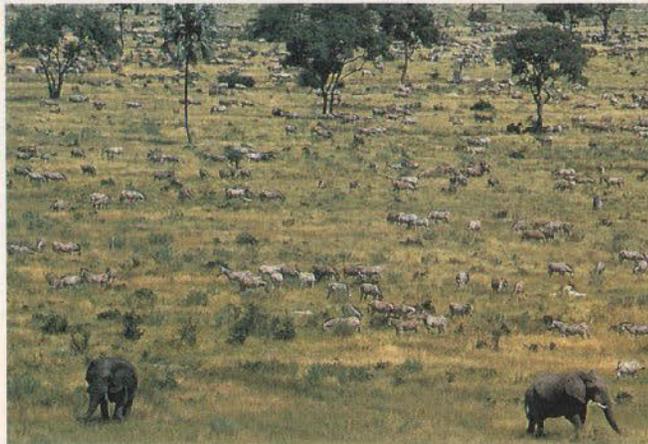
Ökologie

nannte der deutsche Naturforscher Ernst Haeckel 1866 die Lehre vom Haushalt der Natur (nach griechisch oikos = Haus, logos = Lehre). Sie wird grob in drei Bereiche unterteilt: „Autökologie“ beschreibt die Beziehungen der Art zu den einzelnen Umweltfaktoren, „Demökologie“ die Dynamik von Populationen und „Synökologie“ die Wechselwirkungen zwischen Arten in Ökosystemen.

Ökologische Nische

Sie definiert die Beziehungen einer Spezies zu ihrer Umwelt und besteht aus mehreren Teilen: Zu den „biotischen Faktoren“ zählen Beutetiere, Konkurrenten und Räuber, zu den „abiotischen“ Temperatur, Feuchtigkeit und Salzgehalt. Auch die Zeit und die Ansprüche sowie das Verhalten einer Art entscheiden über deren „Einnischung“: Mäusebussard und Schleiereule jagen im selben Revier, aber zu jeweils anderen Zeiten.

Die ökologische Nische beschreibt sozusagen den „Job“ einer Art, während ihr *Habitat* dem Wohnort entspricht. Rund um den Globus üben völlig unterschiedliche Tierarten den Beruf des „Weidegängers“ aus: Zebra, Gnu und Kaffernbüffel in der afrikanischen Steppe, Bisons in den Prärien Nordamerikas und die großen Känguruhs in Australien.



Jeweils in einer Öko-Nische des Biotops Savanne: Zebras und Elefanten

Ökosozialprodukt

ist ein in den achtziger Jahren geprägter Begriff, in den Kriterien wie Umweltbedingungen, Gesundheit oder Zufriedenheit einfließen und der somit die ökologische und soziale Lebensqualität repräsentiert. Er soll ausschließlich ökonomisch ausgerichtete Entscheidungen ver-

hindern. Das herkömmliche Bruttosozialprodukt bringt den Zustand der Umwelt nicht angemessen zum Ausdruck: Sogar Schäden schlagen positiv zu Buche, wenn deren Beseitigung ökonomischen Gewinn bringt.

Ökosponsoring

Viele Unternehmen unterstützen Umweltorganisationen mit Geld- oder Sachspenden, um ihr Image aufzupolieren. Die Autofirma Opel zum Beispiel überreichte der internationalen Naturschutz-Stiftung „World Wide Fund for Nature“ (WWF) 250 000 Mark für den Schutz seltener Pinguine und warb mit dem Slogan „Opel-Fahrer helfen Galápagos-Pinguinen“. Der Computerkonzern IBM unterstützt mit dem Pilotprojekt „Ecotrans“ Nationalpark-Verwaltungen beim Aufbau einer europaweiten Datenbank. Sie soll das Management eines naturverträglichen Tourismus in Schutzgebieten erleichtern. Insgesamt, so schätzen Fachleute, geben deutsche Firmen 1992 zwischen 50 und 100 Millionen Mark für Ökosponsoring aus – Tendenz steigend.

Die Umwelt-Organisationen „Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland“ (BUND), „Greenpeace“ und „Robin Wood“ lehnen Ökosponsoring prinzipiell ab. Der BUND berät jedoch Unternehmen bei der Umstellung auf umweltverträglich-

chere Rohstoffe und Produktionen. Der WWF hingegen offeriert eine Palette von Fördermöglichkeiten. Beispielsweise vergibt er gegen entsprechende Gebühren Lizenzen für das Panda-Logo an Hersteller von Gebrauchsartikeln – von Textilien bis zum Toilettenpapier. Voraussetzung dafür sind wenigstens minimale Anstrengungen der Firmen für die Umweltverträglichkeit ihrer Produkte.



Korallenriffe wie das »Great Barrier Reef« vor der australischen Küste zählen

Ökosystem

Der Fachausdruck für die komplexen Beziehungen der Lebewesen untereinander und zu ihrem Lebensraum wurde 1935 von dem britischen Botaniker Arthur Tansley geprägt. Er charakterisiert die offenen Kreisläufe der Stoffe und den damit verbundenen *Energiefluß* in einer funktionellen Einheit. Ein Ökosystem – etwa ein See, eine Wiese oder ein Wald – reguliert sich selbst. Produzenten bauen aus anorganischer Substanz organische auf, davon ernähren sich die Konsumenten. Destruenten – *Zersetzer* – schließen den Kreislauf, indem sie die organische Substanz remineralisieren.

Neben Korallenriffen und tropischen Regenwäldern gehört das Nordsee-Wattenmeer zu den produktivsten Ökosystemen der Erde. Wüsten und die Tiefsee setzen dagegen vergleichsweise wenig *Biomasse* um.

Alle Ökosysteme der Erde bilden die Biosphäre und sind über den Stoffaustausch miteinander verbunden (siehe *Gaia*). Eingriffe in ein Ökosystem wirken sich deshalb langfristig in allen anderen aus: Die Schmutzfracht eines Flusses endet irgendwann im Meer, Schadstoffe aus Schornsteinen und Auspuffen reichern sich in der Lufthülle an.

Paläontologie

(nach griechisch palaios = alt); biologische Fachdisziplin, die anhand von *Fossilien* Alter, Umwelt und Gestalt vorzeitlicher Pflanzen und Tiere rekonstruiert. Das aktuelle Wissen über die Abstammungsgeschichte der Organismen geht größtenteils auf paläontologische Befunde zurück, wird jedoch neuerdings durch Erkenntnisse ergänzt, die mit Hilfe *molekularer Uhren* gewonnen werden.

Population

Gesamtheit der Individuen einer Art in einem bestimmten Raum, die über mehrere Generationen Erbmaterial austauschen.

Radiation

nennen Biologen Spurts der *Evolution* in erdgeschichtlich relativ kurzen Zeiträumen, bei denen aus einer Stammart ungewöhnlich viele neue *Arten* entstehen. Im Kambrium vor rund 570 Millionen Jahren tauchten, wie *Fossilienfunde* nahelegen, quasi aus dem Nichts praktisch alle Hauptgruppen der Tiere auf. Die Kleidervögel Hawaiis haben sich vor mehreren Millionen Jahren in 22 Arten mit variierenden Schnabelformen aufgespalten: Eine Art öffnet wie ein Specht mit spateiförmigem Unterschnabel die Bohrgänge holzbewohnender



zu den üppigsten Ökosystemen der Erde

Insekten, eine andere saugt mit langem, gebogenem Schnabel Nektar aus schmalen Blüten; eine dritte knackt mit ihrem klobigen Freßwerkzeug hartschalige Nüsse und Samen. Hawaii, ein junger, mitten im Pazifik gelegener Archipel vulkanischen Ursprungs, wurde vom Festland aus besiedelt. Das gelang bei mindestens 3500 Kilometer Ent-

fernung nur wenigen Pflanzen und Tieren, die dann mangels Konkurrenz ungezählte *ökologische Nischen* bilden konnten.

Rasse

Eine Art kann in mehrere *Populationen* zerfallen. Führt die unabhängige Entwicklung einer solchen Fortpflanzungsgemeinschaft bei mehr als drei Vierteln ihrer Individuen zu Eigenschaften, die sich von denen der anderen Populationen unterscheiden, sprechen Zoologen von einer „Unterart“ oder „Rasse“. Vertreter unterschiedlicher Rassen derselben Spezies können miteinander Nachkommen zeugen. Von der Art „Homo sapiens“ existieren derzeit drei Großrassen: Nordöstlich der großen innerasiatischen Gebirgsbarriere inklusive des Himalaya entwickelten sich in Anpassung an die dortigen Umweltbedingungen die „Mongoliden“, westlich davon die „Europiden“; in Afrika entstanden die „Negriden“. Zwei kleinere Rassen, die „Khoisaniden“ im Süden Afrikas – Hottentotten und Buschmänner – sowie die „Australoiden“, zu denen die Ureinwohner Australiens und Neuguineas zählen, werden oft gesondert genannt. Heute verschwinden eindeutige Rassenmerkmale im Zuge weltweiter Vermischung.

Räuber-Beute-Beziehung

Ein Beutetier und sein Freßfeind regulieren gegenseitig ihre Bevölkerungsdichte. Vermehren sich etwa Mäuse, so wächst auch der Bestand an Schleiereulen, sofern nicht andere *limitierende Faktoren* deren Dichte begrenzen. Daraufhin dezimieren

die Eulen die Mäusepopulation und schmälern damit ihre Nahrungsbasis, bis sie selber hungern und ihr Bestand abnimmt. Nun kann das Mäusevolk wieder wachsen und der Zyklus im Idealfall von vorn beginnen.

Eule und Maus verhalten sich in diesem Fall so, wie der US-Chemiker Alfred Lotka und der italienische Mathematiker Vito Volterra die Räuber-Beute-Beziehung in den zwanziger Jahren mit Hilfe von Differentialgleichungen beschrieben haben. Doch die Wirklichkeit ist – wie

ganismen besiedelt. Sobald sie jedoch austrocknet, gehen die Erstbesiedler zugrunde. Nur ihre „Dauerstadien“ – eingekapselte Eier und Larven – warten auf den nächsten Regen.

Langlebige K-Strategen (K für Kapazität), zu denen die meisten Vögel und Säuger gehören, sind für „ausgereifte“ Ökosysteme im *Klimaxstadium* charakteristisch. Mit geringer Fortpflanzungsrate und wenigen Nachkommen halten sie ihre *Populationsgröße* konstant. Eine Elefantenkuh bringt durchschnittlich alle acht



Panther-Chamäleon auf Insektenjagd

so oft – viel komplizierter. Neue Erkenntnisse legen nahe, daß im Wechselspiel zwischen Jäger und Opfer das „deterministische Chaos“ regiert: Abhängig von den Anfangsbedingungen variieren die Bestandszahlen scheinbar regellos (siehe GEO-Wissen Nr. 2/1990 „Chaos + Kreativität“).

Rote Liste

Das erste globale Verzeichnis ausgestorbener oder vom Aussterben bedrohter Tier- und Pflanzenarten geht auf eine Initiative der „Internationalen Union für Naturschutz“ (IUCN) in den sechziger Jahren zurück. Inzwischen sind die Listen stark regionalisiert – über 80 gibt es allein für die alten Bundesländer. Nach der letzten westdeutschen Bilanz von 1984 gelten 35 Prozent der rund 7700 heimischen Pflanzen- und etwa die Hälfte der bislang bearbeiteten Tierarten als gefährdet. Die nächste Rote Liste für Deutschland erscheint voraussichtlich 1994.

r-Strategen

sind Tierarten mit kurzer Lebensspanne, die sich rasch und massenhaft vermehren (r steht für Reproduktion). Sie sind typisch für die Anfangsstadien einer *Sukzession*: Eine Regenpflanze wird binnen weniger Tage von Rädertierchen, Muschelkrebsen und anderen Kleinor-

Jahre und nach einer Tragzeit von fast zwei Jahren ein Kalb zur Welt; sie wird bis zu 70 Jahre alt.

Die Einteilung der Tiere in r- und K-Strategen ist jedoch variabel: Verglichen mit Elefanten sind Mäuse r-Strategen, gegenüber Heuschrecken eher K-Strategen. Blattläuse wechseln ihr Fortpflanzungsverhalten mit der Jahreszeit: Im Sommer vermehren sie sich massenhaft, im Winter legen die Weibchen dagegen nur wenige „Dauereier“.

Selektion

ist die natürliche Auslese der jeweils am besten angepaßten Individuen einer *Population*. Dieser Prozeß ist die eigentliche schöpferische Kraft der *Evolution*. Die große Fülle individueller Merkmale entsteht einerseits durch *Mutationen*, andererseits durch die Neuverteilung des Erbmaterials bei der sexuellen Vermehrung. Da setzt auch die Selektion an: Erfolgreiche Individuen vermehren sich stärker und können ihre Eigenschaften entsprechend öfter an die Nachkommen weitergeben.

Speziation

heißt der Prozeß, bei dem neue Arten entstehen. Er verläuft meist in zwei Schritten. Zu-



Dem Untergang der Dinosaurier folgte die Radiation der Säuger

nächst werden *Populationen* getrennt und wird deren genetischer Austausch unterbunden. Häufige Ursache ist die „geographische Separation“, etwa durch Klimaänderungen: Die letzte Eiszeit in Mitteleuropa spaltete manche Tierarten in östliche und westliche Gruppen auf, die sich anschließend unabhängig voneinander entwickelten. Auch „ökologische Separation“ ist möglich: Dabei besetzen die Populationen unterschiedliche *ökologische Nischen* im gleichen Lebensraum. Besiegelt wird die Artenbildung dabei letztlich durch die genetische Isolation. Die Populationen lassen sich nicht mehr kreuzen, weil etwa durch unterschiedliche Paarungszeiten oder Verhaltensweisen der Austausch des Erbmaterials unmöglich geworden ist.

Stabilität

Stabile Ökosysteme verändern sich bei Störungen – etwa Klimawechsel oder neu zugewanderten Arten – nur unwesentlich. Elastische Ökosysteme reagieren stärker, kehren aber zum ursprünglichen Zustand zurück: Die im vorigen Jahrhundert aus Amerika nach Mitteleuropa eingeführte Wasserpflanze „*Elodea canadensis*“ hatte sich in Seen und Flüssen zunächst so massenhaft vermehrt, daß sie „Wasserpest“ genannt wurde. Nach einiger Zeit dezimierten Parasiten ihren Bestand jedoch derart, daß sie heute kaum noch auffällt. Ökosysteme auf nährstoffarmen Böden reagieren empfindlich auf Eingriffe: Der amazonische Regenwald beispielsweise regeneriert sich nach großflächiger Rodung nicht. An seiner Stelle entsteht bestenfalls artenarmes Buschland.

Symbiose

Individuen unterschiedlicher Arten können zum beiderseitigen Vorteil kooperieren. Meist wird der größere Partner als Wirt bezeichnet, der kleinere als Symbiont. Der Grad gegenseitiger Abhängigkeit reicht von gering bis lebensnotwendig. Eine sehr enge Symbiose praktizieren Flechten – Lebensgemeinschaften von Pilzen mit Algen oder Cyanobakterien. Letztere sind zur Photosynthese fähig und bauen aus Sonnenlicht, Kohlendioxid und Wasser organische Verbindungen auf, mit denen sie den Pilz beliefern. Das Pilzgewebe liefert seinen Partnern Nährstoffe und schützt sie vor Was-



Hilfst du mir, so helf' ich dir: Ameisen schützen Akazien vor pflanzenfressenden Insekten. Dafür hausen sie in den Dornen und ernähren sich vom Nektar (unten)



serverlust. Es ermöglicht den Algen, auch an trockenen Standorten zu leben, an denen sie allein nicht gedeihen können. Eine besonders raffinierte Symbiose verbindet die „*Acacia collinsii*“-Bäume in Costa Rica mit den auf ihnen lebenden Ameisen der äußerst aggressiven Art „*Pseudomyrmex ferruginea*“: Die Ameisen – gut 10 000 pro Baum – halten den Akazien pflanzenfressende Insekten vom Leib und kappen mit ihren Kieferzangen auch parasitierenden Rankenpflanzen die Sprossenden ab. Dafür erhalten sie freie Kost und Logis.

Umweltfernerkundung

Mit Hilfe von Satelliten, deren Bahnen zum Teil über beide Pole führen und somit den Globus vollständig erfassen, messen Klima- und Umweltforscher Veränderungen der Erdoberfläche und der Lufthülle. Die künstlichen Erdtrabanten registrieren unter anderem regelmäßig die Größenentwicklung polarer Eisflächen, messen die atmosphärische Konzentration von Treibhausgasen wie Methan oder Kohlendioxid und erfassen Veränderungen der Landnutzung.

Sukzession

Wie die Ödnis sich zur Wildnis wandelt

Der Bauer traut seinen Augen kaum: Zu seinen Füßen, am Weg zu seinen Feldern, klafft am Morgen des 15. April 1913 ein fast zwölf Meter tiefes und mehr als 100 Meter weites Loch. Ein unterirdischer Hohlraum, durch Auslaugung wasserlöslicher Gesteinsschichten entstanden, ist plötzlich zusammengebrochen und hat einen Erdbeben ausgelöst. Binnen weniger Tage füllt Grundwasser den Trichter, werden Bakterien freigespült und herbeigeweht. Damit beginnt eine Besiedlung, die das öde Loch, von Anrainern bald treffend „Erdfallsee“ genannt, in eine üppige Teichlandschaft und später in Wald verwandelt wird. Sukzession nennen Biologen den Prozeß, der – abhängig von den

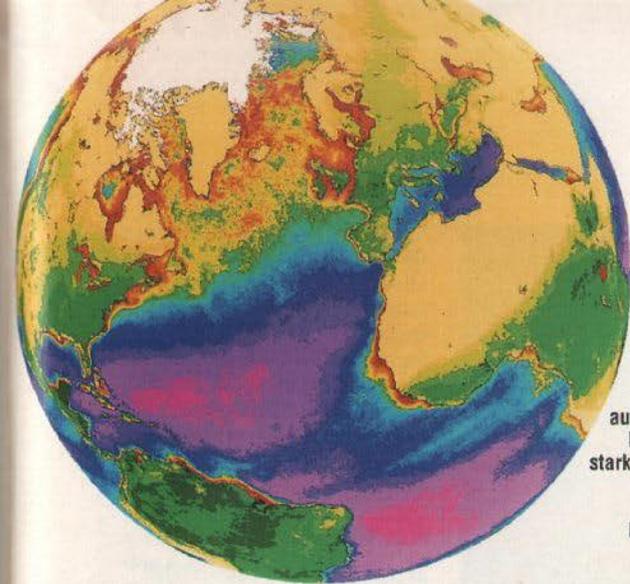
Randbedingungen – einen wüsten Flecken der Erde zu einem artenreichen Ökosystem zu formen vermag. Ohne diese Pionierleistung der Natur bliebe jeder Ozean ein totes Meer und jeder Kahlschlag kahl. Erst nach einer Vielzahl charakteristischer Übergangsstadien entwickeln sich Korallenriffe, Regenwälder oder Steppen im Laufe von Jahrtausenden zu ihrer höchsten Reife, der sogenannten Klimax.

Im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ bei Ibbenbüren in Westfalen können Gewässer-Ökologen die Avantgarde der Natur beim Vormarsch studieren: Kaum einen Kilometer vom Erdfallsee entfernt sind vor rund 1000 und 2000 Jahren zwei weitere Seen auf gleiche Weise entstanden wie der Erdfallsee – das „Große“ und das „Kleine Heilige Meer“. Zusammen bilden sie eine faszinierende Staffel gleichartiger Gewässer in verschiedenen Stadien der Sukzession.

Dem Erdfallsee ist seine Jugend anzusehen: Der magere Uferbewuchs und das klare Wasser sind typisch für ein nährstoffarmes – „oligotrophes“ – Gewässer. Am

Ufersaum gedeihen die anspruchslosen, mit Glockenblumen verwandten Wasserlobelien und die zu den Wegerichgewächsen zählenden Strandlinge. Ebenso bescheiden leben die etwa anderthalb Meter hohen Gagelbüsche, die fast den ganzen See umsäumen. Das Ende der Lobeliengemeinschaft ist bereits abzusehen. Nach und nach wird hohes Schilfgras die lichtliebenden Wasserlobelien abschatten, wird Schlamm und Sand, der sich im Röhricht ansammelt, deren nassen Lebensraum zerstören. Ein ähnliches Schicksal erwartet den gleichfalls lichtbedürftigen Gagel. Kleinlebewesen verwandeln das Laub der Strauchzone in Humus. Er düngt die Birken, die sich etwa 20 Meter entfernt um den See angesiedelt haben und in absehbarer Zeit die Gagelbüsche verdrängen werden.

Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen verändern allein durch ihre Anwesenheit und ihren Stoffwechsel wichtige Parameter ihrer unmittelbaren Umwelt. Zudem werden im Laufe der Zeit Nährstoffe über Bäche oder die Luft in den See gespült und geweht –



Pflanzendichte auf der Nordhalbkugel: Rot zeigt starkes Chlorophyllvorkommen in den Meeren, Dunkelgrün auf dem Lande an

Aus dem tagtäglichen Datenwust destillieren Wissenschaftler mittels Computerprogrammen Prognosen über die Klimaentwicklung und den Ozonschwund oder Schätzungen der jährlich produzierten *Biomasse*. Die gut zwei Dutzend Späher im Orbit verfügen über ein breites Spektrum einander ergänzender Beobachtungsverfahren. Bei den „passiven“ Grobmessungen registriert der Empfänger einen

bestimmten Ausschnitt aus dem Spektrum des Sonnenlichts, das von der Erde reflektiert wird. Diese Daten liefern grobe Informationen über die Zusammensetzung der Luftschichten und die Erdoberfläche. Die „aktiven“, mehrere Monate dauernden Feinmeßverfahren nutzen dagegen eigene Sender. Jüngstes Beispiel dafür ist der seit September 1991 arbeitende „European Remote Sensing Satel-

litarium für die Wasserbewohner, die sich vermehren, absterben, von Bakterien und anderen Kleinstlebewesen zersetzt werden und den See mit ihren Zerfallsprodukten anreichern. Die schwelende Nährstoff-Flut produziert immer mehr Lebewesen. Bis schließlich aus der klaren Brühe eine dicke Suppe wird, unverdauliche Reste von Tieren und Pflanzen sich am Boden ablagern und die Verlandung beginnt. Im tausendjährigen Großen Heili-

gen Meer grünt es üppiger als im Erdfallsee. Die Weiße Seerose, die Gelbe Teichrose und der schwimmende Knöterich an seiner Oberfläche sind charakteristische Vertreter „eutropher“ Gewässer mit hohem Nährstoffgehalt. Im seichten Uferbereich dominieren Schilf, Rohrkolben und Teichbinsen. Der breite Schilfgürtel am Südufer weist auf einen „Nährstoffvorschub“ hin. Hier war bei dem Erdeinbruch ein Stück Niedermoor, das aus einem

lite 1“ (ERS-1), der Mikrowellen zur Erde funkt und deren Echo empfängt. Die radarähnlichen Strahlen durchdringen die Wolkenschichten, weshalb ERS-1 wetterunabhängig die Erde aus dem All erkunden kann.

Verbandsklage

Viele Umweltschützer sehen in der Verbandsklage ein rechtliches Schlüsselinstrument, mit dem *Naturschutzverbände* die „Interessen der Natur“ besser durchsetzen könnten. Nach allgemeinem Verwaltungsrecht kann vor Gericht hierzulande nur klagen, wer in seinen individuellen Rechten verletzt ist. Fünf Bundesländer – Bremen, Hamburg, Saarland, Hessen und Berlin – gestehen Umweltverbänden inzwischen eng beschränkte Klagerechte zu.

Washingtoner Artenschutzübereinkommen

Seit 1973 reglementiert ein internationaler Vertrag den Handel mit bedrohten freilebenden Pflanzen und Tieren sowie deren Produkten – etwa Wurzeln oder Stoßzähnen. Dem Grad ihrer Schutzbedürftigkeit entsprechend wurden bislang rund

40 000 Pflanzen- und 8000 Tierarten in drei Listen aufgenommen. Auf regelmäßigen Konferenzen verhandeln die derzeit 115 Vertragsstaaten über die Aufnahme weiterer Spezies. Dabei konkurrieren die Interessen des Naturschutzes und der Wirtschaft. Während der letzten Konferenz im japanischen Kyoto Anfang März 1992 äußerten Naturschützer prinzipielle Zweifel daran, ob ein Handelsverbot das geeignete Instrument zum Schutz aussterbender Arten sei. Kritiker bemängeln unzureichende Zollkontrollen sowie fehlende technische und wirtschaftliche Mittel zur Überwachung der Tierbestände in den Entwicklungsländern. Sie beanstanden auch, daß *Arten* erst dann in das Programm aufgenommen werden, wenn sie bereits vom Aussterben bedroht sind.



Larven des Bockkäfers zersetzen totes Holz

Zersetzer

– auch Destruenten genannt – schließen in *Ökosystemen* die Stoffkreisläufe: Bakterien, Pilze und andere meist stark spezialisierte Kleinlebewesen im Boden wandeln tote Pflanzen und Tiere sowie deren Exkremate in mineralische Substanzen um und setzen dabei einen Teil des gebundenen Kohlenstoffs frei – etwa in Form von Kohlendioxid oder Methan. Bestimmte Bakterien gewinnen Stickstoff aus Harnstoff und Harnsäure zurück und wandeln das lebenswichtige Element in eine für Pflanzen aufnahmefähige Form um. Die menschliche *Abfall*-Produktion hat für die Zersetzer zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen. In modernen Klär- und Kompostierungsanlagen werden den Biomüllvertilgern optimale Lebensbedingungen geboten: Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Sauerstoffgehalt sind ihren Bedürfnissen genau angepaßt.

schon früher vorhandenen Weidher entstanden war, in den frischen Trichter gerutscht. An der dicksten Suppe können sich die Bewohner des 2000 Jahre alten, nährstoffreichen Kleinen Heiligen Meeres laben. Auch dessen Wasseroberfläche beherrschen Weiße Seerosen und Gelbe Teichrosen. Jenseits des Ufers aber haben nährstoffbedürftige Weiden, Faulbäume und Schwarzerlen die Gabelbüsche und Birken verdrängt. Je vielfältiger sich die Wechselwirkungen im Artengeflecht entwickeln, je mehr Biomasse die Lebensgemeinschaft produziert, desto langsamer strebt das Ökosystem seiner Klimax entgegen. Gleichzeitig verlandet der See; schon lagern am Grund meterdicke Schlammschichten. Nach weiteren 1000 Jahren, wenn bei Ibbenbüren möglicherweise ein neuer Erdruch bevorsteht, ist das Kleine Heilige Meer vielleicht schon ein Erlbruchwald – verwandelt und verlandet durch Tausende verschiedenartiger Organismen, die in ihm gelebt haben und mit ihm untergegangen sind.

Beatrix Stoepel



Die Avantgarde der Natur im Vormarsch: »Heiliges Meer« bei Ibbenbüren/Westfalen

Insekten: Die geborgte Abwehr

Unter dem Titel „Dialog der Düfte“ beschrieb GEO-Wissen „Kommunikation“ (Nr. 2/1989) die chemische Verständigung von Insekten – etwa Nachtfaltern, die giftige Substanzen ihrer Futterpflanzen nicht nur nutzen, um Freßfeinde abzuschrecken, sondern auch um Signale bei der Brautwerbung zu übermitteln. Am Institut für Pharmazeutische Biologie der Universität Heidelberg wurden jetzt bei anderen Schmetterlingsarten neue Details dieser raffinierten evolutionären Anpassungen entdeckt.

Der südostasiatische Bärenspinner *Cretonotos transiens* ist quasi das „Haustier“ der Forschergruppe um Michael Wink. Im Raupenstadium ernährt sich der Schmetterling unter anderem von Pflanzen, in deren Blättern giftige Pyrrolizidin-Alkaloide (PA) stecken; im Heidelberger Labor wird das Insekt auf einer Kreuzkraut-Art gehalten. PA schützen sowohl das Kraut als auch den Bärenspinner weitgehend vor dem Gefressenwerden, weil Abbauprodukte dieser Chemikalien die Erbinformation schädigen und somit Krebs auslösen können. Aufgrund evolutionärer Erfahrung verschmähen Freßfeinde die alkaloidhaltige Mahlzeit.

Das Insekt verfügt jedoch über Mechanismen, das Gift in seinem Körper anzureichern, ohne daß es ihm selbst zum Opfer fällt. Es bedient sich des Stoffes in allen Lebensstadien:

- Die Raupen fressen die PA-haltige Nahrung und legen so einen Vorrat an, der sie auch in der Puppenphase schützt.
- Direkt nach dem Schlüpfen, bevor der Falter seine Flügel benutzen kann, bespritzt er Angreifer mit einem Sekret, das ebenfalls Alkaloide enthält.
- Der erwachsene Schmetterling transferiert die PA dann – je nach Geschlecht – in die Eier oder das Sperma, so daß auch das Gelege gegen Freßfeinde gewappnet ist.

Das Gift aus der Futterpflanze spielt zudem bei der Partner-



Zwei giftige Blutströpfchen schwitzt die Motte der Art *Ciseps fulvicollis* aus, wenn Freßfeinde sie bedrohen

wahl der Tiere eine entscheidende Rolle. Die Männchen werben um ihre Partnerin mit dem Geruch eines Lockstoffes aus PA, den sie aus einem aufgeblasenen Duftorgan am Hinterleib verströmen. Der Abwehrstoff-Vorrat des Männchens beeinflusst die Größe dieses Organs direkt: Bei Bärenspinnern, die mit einer PA-freien Diät aufwachsen, bleiben die sogenannten Coremata kümmerlich. Dagegen erreichen sie bei alkaloidreichen Tieren eine Länge von fünf Zentimetern und sind damit größer als das Insekt selbst. An der Stärke des Geruchs schätzt das Weibchen offenbar den männlichen Beitrag zum Schutz des Geleges ab, bevor es die Begattung zuläßt.

Bisher war kaum bekannt, wie es Insekten gelingt, die giftigen Stoffe aus ihrer Nahrung herauszufiltern und die chemische Verteidigung ihrer Wirtspflanzen selbst als Waffe zu nutzen. Bei *Cretonotos* konnten die Heidelberger Forscher nun den ersten Schritt dieses Prozesses aufklären: Sie haben in den Darmwänden der Raupe ein Transport-Eiweiß identifiziert, an das sich ausschließlich das PA im Nahrungsbrei anlagern kann. Nach dem Schlüssel-Schloß-Prinzip öffnet sich dem

Alkaloid so gleichsam eine Tür in die Körperzellen. Von dort wird das pflanzliche Gift in die Körperflüssigkeit befördert und strömt zu einem Lagerplatz, meist in Hautzellen.

Dabei müssen sich die Insekten durch ausgeklügelte Mechanismen vor einer Selbstvergiftung schützen. Besonders deutlich wird das bei der Ginstermotte *Uresiphita reversalis*: Sie lebt auf Pflanzen wie Goldregen, Lupinen oder Ginster, die eine andere Giftsorte enthalten, Chinolizidin-Alkaloide. Diese nach der englischen Schreibweise QA abgekürzten Substanzen stören die Reizleitung in den Nerven und töten schneller als PA. Auch beim Raupenstadium der Motte konnte Michael Winks Arbeitsgruppe das entsprechende Transport-Protein im Darm identifizieren. Die Einzelheiten des weiteren Prozesses sind dagegen noch unbekannt.

Erwachsenen *Uresiphita*-Faltern fehlen vermutlich die Eiweißstoffe für Selektion und Lagerung des Giftes, denn sie verhalten sich vollkommen anders als die Raupen: Diese sind tagaktiv und signalisieren ihren hohen Alkaloid-Gehalt durch eine auffällige Färbung, während die vollentwickelten Tiere getarnt sind, sich bei Tage unter Blättern verstecken und nur

nachts flattern. Dazwischen – in der Puppenphase – folgt die Ginstermotte einer gewagten Strategie, die sich aber offenbar evolutionär bewährt hat: Sie imprägniert ihren Kokon mit dem gesamten Alkaloid-Vorrat und lebt danach ohne den geborgten chemischen Schutz.

Christopher Schrader

Klinikinfektionen: Kampf den Keimen

In der Ausgabe 4/1991 „Ärzte · Technik · Patienten“ berichtete GEO-Wissen über alarmierende Infektionszahlen in Kliniken und gab damit der Diskussion über die hygienischen Zustände an deutschen Krankenhäusern einen neuen Anstoß. Rund eine Million Menschen in der heutigen Bundesrepublik stecken sich jährlich im Hospital an, in etwa 20 000 bis 40 000 Fällen enden, so eine Schätzung des Bundesgesundheitsamtes (BGA), diese „nosokomialen“ Infektionen tödlich.

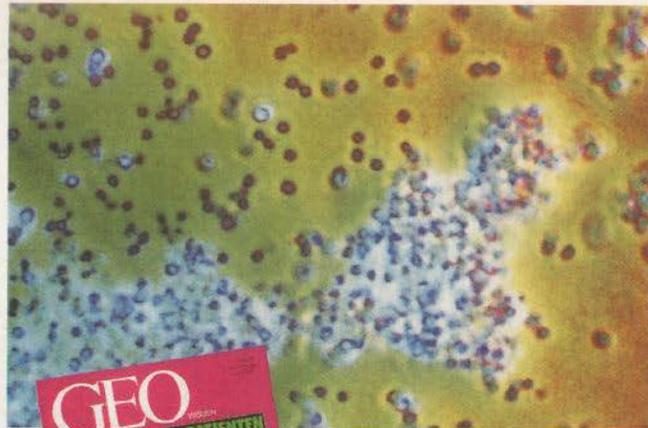
An gutem Willen zur Keimfreiheit mangelt es hierzulande nicht. So lautet zumindest das Ergebnis einer Umfrage des Freiburger Hygiene-Experten Franz Daschner unter Fachleuten aus elf Ländern. Um der unsichtbaren Krankheitserreger Herr zu werden, desinfiziert deutsches Klinikpersonal den Fußboden und andere Oberflächen häufiger, reinigt Kittel und Laken heißer und wäscht die Hände länger als beispielsweise die Kollegen in England, Österreich oder Skandinavien – zumindest, wenn es die vergleichsweise strenge BGA-Richtlinie „Krankenhaushygiene und Infektionsprävention“ einhält.

Doch die amtliche Vorgabe ist lediglich die Empfehlung eines Expertengremiums, kein verbindliches Recht. Sie zu befolgen, liegt weitgehend im eigenen Ermessen. Wenn es wegen einer Klinikinfektion allerdings zu einem Rechtsstreit kommt, akzeptieren die Gerichte die Richtlinie in zunehmendem Maß als Entscheidungsgrundlage.

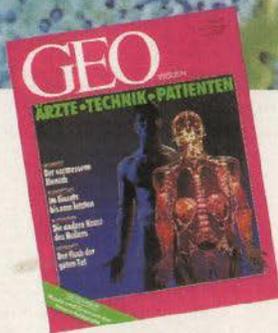
Trotz der strengen Vorschriften gibt es Daschner zufolge keine Anhaltspunkte dafür, daß die Häufigkeit nosokomialer Infektionen in Deutschland we-

sentlich unter dem Niveau der Nachbarländer liegt. Der Hygieniker fordert deshalb, die Richtlinie zu lockern, denn die „Nebenwirkungen“ seien nicht unerheblich: Unnötig große Mengen an umweltbelastenden Desinfektionsmitteln gelangen ins Abwasser, und bei der thermischen Entkeimung werde zu viel Energie verschwendet.

Ob traditionelle Hygienestrategien überhaupt den Vormarsch der Krankenhauskeime bremsen können, bezweifeln vor allem klinisch orientierte Experten. Denn 70 Prozent aller nosokomialen Infektionen gehen von Mikroorganismen aus, die auf der unsterilen Körperoberfläche jedes Menschen lauern und häufig über Katheter und Sonden ihren Weg ins Innere des Patienten finden. Besonders wenn deren Immunsystem durch Krankheit oder Medikamente geschwächt ist, werden die zunächst harmlosen Bakterien und Pilze zur tödlichen Gefahr. Klinikinfektionen sind deshalb nur selten Folge mangelnder Hygiene. Sie sind eine Begleiterscheinung der Intensivmedizin und des höheren Alters der Patienten, deren Körperabwehr bereits angeschlagen ist.



Bakterien wie diese Staphylokokken können über Katheter ins Blut gelangen und lebensbedrohliche Entzündungen auslösen



Desinfektionssprays allein können deshalb keine Lösung sein. In erster Linie muß das Abwehrsystem des Patienten gestärkt werden. Große Hoffnungen setzen die Ärzte derzeit auf Arzneien, die blutbildende Organe stimulieren und so die Infektabwehr des Intensivpatienten kräftigen sollen. Erste Ver-

suche dieser Art laufen derzeit mit Krebskranken.

Vor allem bei immunsupprimierten Patienten, deren Abwehrsystem künstlich geschwächt wird, etwa in der Krebstherapie, nach Organtransplantationen oder bei AIDS-Kranken, fordern besonders Pilzinfektionen sehr viele Opfer. Diese allgegenwärtigen Mikroorganismen dringen häufig bis in die Lunge und die inneren Organe vor. Dann bestehen für die Infizierten kaum noch Chancen auf Heilung, denn die „systemischen Mykosen“ lassen sich derzeit nur schlecht diagnostizieren und behandeln.

Um das Defizit bei der Erforschung der schwer kontrollierbaren Pilzinfektionen zu beheben, soll ein „Zentrum für Infektiologie“ an der Universität Würzburg aufgebaut werden. Das Bundesforschungsministerium (BMFT) fördert das Vorhaben bis 1998 mit einem Zuschuß von insgesamt 13,1 Millionen Mark.

Dem effektiveren Einsatz von bakterientötenden Antibiotika dient ein weiteres Projekt, das vom BMFT seit Anfang 1992 mit rund 2,8 Millionen Mark jährlich finanziert wird. Zur Bekämpfung von *Pseudomonas aeruginosa*, einem besonders in urologischen Abteilungen häufigen Hospitalkeim, gilt beispielsweise die Kombination

von zwei unterschiedlich wirkenden Antibiotika als Standardmethode: Das eine löst die Zellwand der Bakterien auf, das andere blockiert deren Eiweißproduktion. Attackieren beide Stoffe den Erreger gleichzeitig, verstärken sie sich in ihrer Wirkung – das eine erleichtert dem anderen die „Arbeit“. Eine österreichische Studie lieferte in den achtziger Jahren einen ersten Hinweis darauf, daß auch die Reihenfolge, mit der die Antibiotika verabreicht werden, die Wirksamkeit verbessern kann: Statt beide Antibiotika in bestimmten Abständen gleichzeitig zu geben, hatten die Mediziner regelmäßig zwischen beiden Substanzen gewechselt. In den Intensivstationen von sechs deutschen und einer österreichischen Klinik soll sich nun zeigen, ob sich diese Strategie auch unter den Kriterien einer großangelegten, kontrollierten Studie bewährt. Das Projekt ist außerdem als Initialzündung für einen neuen medizinischen Berufszweig gedacht: den „klinischen Infektiologen“. In den beteiligten Hospitälern soll sich, so das Konzept, ein Mikrobiologe intensiv mit der praktischen Arbeit eines Krankenhausarztes vertraut machen. Denn es mangelt nicht nur an neuen Strategien, um hartnäckigen Hospitalinfektionen in Zukunft besser begegnen zu können, sondern auch an kompetentem Personal, das sich in den Grundlagendisziplinen der Mikrobiologie und in der klinischen Praxis gleichermaßen auskennt.

Vielleicht läßt sich auf diese Weise das geradezu grotesk anmutende Kompetenzgerangel zwischen Hygienikern, Mikrobiologen und Klinikern beenden. Bisher allerdings pflegen vielerorts die jeweiligen Standsvertreter statt sinnvoller Kooperation eine traditionelle Fehde, in der sich die Professoren wechselseitig der Arroganz oder der Ignoranz bezichtigen.

Hans Halmteier

GEO-Wissen ist Anfang des Jahres dreifach ausgezeichnet worden:

- Beim 49. Wettbewerb „Pictures of the Year“ der University of Missouri-Columbia, USA, belegte GEO-Wissen in der Kategorie „Best use of Photographs“ den 2. Platz nach „National Geographic Magazine“ und vor „Life“. GEO erhielt in dieser Kategorie den „Award of Excellence“.

- Gewinner des „Egon-Erwin-Kisch-Preises 1991“ sind: 1. Andreas Altmann mit seiner Äthiopien-Reportage „Leben am Rand der Welt“ aus dem „FAZ-Magazin“; 2. Margrit Sprecher mit ihrem Bericht „Wie eine Kampsau, schwarz im Gesicht“ aus der Züricher „Weltwoche“; 3. Dr. Jürgen Neffe mit seiner

Brandopfer-Reportage „Der Fluch der guten Tat“ aus GEO-Wissen Nr. 4/1991 „Ärzte-Technik-Patienten“.

- Beim Wettbewerb „Reporter der Wissenschaft 1991“ gewann Marco Evers für die Reportage „Saatzucht: Mendels mächtige Erben“ aus GEO-Wissen Nr. 3/1991 den Nachwuchspreis für Teilnehmer unter 30 Jahren. Mit dem 1. Preis wurde Gero von Randow für seine Reportage „Die Erfindung der Hand“ in GEO Nr. 11/1991 ausgezeichnet; zwei 2. Preise gingen an Bernhard Borgeest für den Bericht „Drehen an der Uhr des Lebens“ aus der „Zeit“ und an Georg Küffner für seinen Artikel „Papierherstellung: Der Koloß von Corbehem“ aus der FAZ.

ARTENVIELFALT

Uwe George: „Regenwald: Vorstoß in das tropische Universum“; GEO, Hamburg 1991. **Bert Hölldobler, Edward O. Wilson:** „The Ants“; Springer, Berlin/Heidelberg 1990. **Andrew Revkin:** „Chico Mendes: Tod im Regenwald“; Paul List, München 1990. **Edward O. Wilson (Hrsg.):** „Ende der biologischen Vielfalt?“ Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg 1992.

EVOLUTION/MASSENSTERBEN

Soraya Chadarevian, Andreas Dally, Regine Kollek: „Experimente mit der Evolution“; Öko-Institut e. V., Freiburg 1991. **Barry Cox, Dougal Dixon, Brian Gardiner, R. J. G. Savage:** „Dinosaurier und andere Tiere der Vorzeit“; Mosaik, München 1989. **Heinrich Erben:** „Die Entwicklung der Lebewesen“; Piper, München 1988. **Douglas Futuyma:** „Evolutionenbiologie“; Birkhäuser, Basel 1990. **Stephen Jay Gould:** „Zufall Mensch“; Hanser, München/Wien 1991. **Kenneth Hsü:** „Die letzten Jahre der Dinosaurier“; Birkhäuser, Basel 1990. **Ulrich Jüdes et al. (Hrsg.):** „Evolution der Biosphäre“; Hirzel, Stuttgart 1990. **Ernst Mayr:** „Eine neue Philosophie der Natur“; Piper, München 1991. **Richard Milner:** „The Encyclopedia of Evolution“; Facts on File, New York 1990. **George Gaylord Simpson:** „Fossilien“; Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg 1984. **Steven Stanley:** „Krisen der Evolution“; Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg 1988. **Ulrich Sedlag, Erich Weinert:** „Wörterbücher der Biologie: Biogeographie, Artbildung, Evolution“; Gustav Fischer, Jena 1987. **Spektrum der Wissenschaft:** „Evolution“; Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg 1988.

HISTORIE

Ilse Jahn et al. (Hrsg.): „Geschichte der Biologie“; Gustav Fischer, Jena 1985. **Peter Cornelius Mayer-Tasch (Hrsg.):** „Natur denken: Eine Genealogie der ökologischen Idee“, Bd. 1+2; Fischer Taschenbuch, Frankfurt 1991. **Ernst Mayr:** „Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt“; Springer, Berlin/Heidelberg 1984. **Ludwig Trepl:** „Geschichte der Ökologie vom 17. Jahrhundert bis zur Gegenwart“; Athenäum, Frankfurt 1987.

NATURSCHUTZ

Lester Brown (Hrsg.): „State of the World 1992“; Norton, New York 1992. **James Lovelock:** „Healing Gaia“; Gaia Books, New York 1991. **Harald Plachter:** „Naturschutz“; Gustav Fischer, Stuttgart 1990. **Hermann Remmert:** „Naturschutz“; Springer, Berlin/Heidelberg 1990. **Sighard Wilhelm:** „Ökosteuern: Marktwirtschaft und Umweltschutz“; C. H. Beck,

München 1990. **Edward O. Wilson:** „Biophilia“; Harvard University Press, Cambridge MA/London 1984.

ÖKOLOGIE

Michael Begon, John Harper, Colin Townsend: „Ecology“; Blackwell, Cambridge MA, 1990. **Dieter Heinrich, Manfred Hergt:** „dtv-Atlas zur Ökologie“; dtv, München 1990. **Kolumban Hutter (Hrsg.):** „Dynamik umweltrelevanter Systeme“; Springer, Berlin/Heidelberg 1991. **Ragnar Kinzelbach:** „Ökologie – Naturschutz – Umweltschutz“; Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1989. **Hartmut Leser:** „Ökologie wozu?“; Springer, Berlin/Heidelberg 1991. **Eric Pianka:** „Evolutionary Ecology“; Harper & Row, New York 1988. **Hermann Remmert:** „Ökologie“; Springer, Berlin/Heidelberg 1989. **Matthias Schaefer:** „Wörterbücher der Biologie: Ökologie“; Gustav Fischer, Stuttgart 1983. **Udo Simonis et al. (Hrsg.):** „Jahrbuch Ökologie“; C. H. Beck, München 1992.

PALÄOANTHROPOLOGIE

Günter Bräuer, Fred Smith: „Continuity or Replacement“; Balkema, Rotterdam 1992. **Paul Mellars, Chris Stringer:** „The Human Revolution“; Princeton University Press, Princeton 1989.

UMWELT-ERZIEHUNG

Joseph Bharat Cornell: „Mit Kindern die Natur erleben“; Ahorn, Oberbrunn 1987. **Hans-Martin Kochanek, Stefani Pleines (Hrsg.):** „Umweltzentren in Deutschland“; Verlag an der Ruhr, Mülheim 1991. **Gerhard Trommer (Hrsg.):** „Natur wahrnehmen mit der Rucksackschule“; Westermann Schulbuchverlag, Braunschweig 1991. **Ulrike Unterbruner:** „Umweltangst und Umwelterziehung“; Veritas Verlag, Linz 1991.



Fotovermerke nach Seiten. Anordnung im Layout: l. = links, r. = rechts, o. = oben, m. = Mitte, u. = unten

Titel: Peter Maltz

Seite 3: Susanne Feyll

Seite 4:

Randy Taylor/Fabrics/Transglobe: o.; Michael & Patricia Fogden: m. o.; George Steinmetz: m.u.; John Reader/SPL/Focus: u.l.; Ira Block: u. r.

Seite 5:

CNRI/SPL/Focus: o.; Wolfgang Volz/Bilderberg: m. o.; Thomas Pflaum/Agon: m.u.; James Balog/Black Star: u.

DENN BESTAND HAT NUR DER WANDEL

Randy Taylor/Fabrics/Transglobe: 6/7; Frans Lanting/Minden Pictures: 8/9; Galen Rowell/Mountain Light: 10/11; James Balog/Black Star: 12/13; Brian Smale: 14/15; Charles Mason/Black Star: 16/17; Raphael Gaillarde/Gamma: 18/19; Kazuyoshi Nomachi/PPS/Focus: 20/21

REINE BEZIEHUNGSSACHE

Charles Phillips: 25 o.; Bruce Coleman Ltd.: H. Reinhard 25 u., C. Calhoun: 26 o., J. V. Wormer: 26 m., J. Stein Grove: 26 u., G. Ziesler: 27 u. r., F. Mercay: 28 o., F. Prenzel: 28 m.; Bishop Museum, Honolulu: 27 l.; M. Herzog + S. Meyer: 27 o. r.; Raymond A. Mendez: 29

DER RISIKIERTE REICHTUM

Michael Herzog + Sara Meyer: 32/33, 34 m. o., u. r., 36 o., 38 o. r., m. l. u., 39 u. l., 40 o., 45 o. l., 45 m. r.; Bruce Coleman Ltd.: M. Fogden 34 o. l., 46 o. l., L. C. Marigo 34 m. l., 43 o., Kim Taylor 37 m. l., A. Compost 41 o. r., G. Ziesler 42 u. r., R. Williams 43 m. l., Fnth 43 m. r., F. J. Erize 45 o. r., F. Prenzel 45 u., M. P. Price 46 u.; E. S. Ross: 34 m. o. l., u., 38 m. o. l.; K. G. Preston-Mafham/Premaphotos: 34 m. u. l., m. r., 38 u. r., 43 u.; Michael + Patricia Fogden: 34 o. r., m. o. r., 35, 37 o. r., 38 u. l.; Gregory Heister: 36 u.; Mantis Wildlife/OSF: 37 o. l.; Glen Carruthers: 36/37; Kjell B. Sandved: 38 o. l., m. r., 39 o. l., 39 r.; Michael Fogden/OSF: 38 m. l. o.; George Steinmetz: 41 o. l.; Raymond A. Mendez: 42 o., m. o., 46 o. r.; Fletcher & Baylis/Photo Researchers Inc.: 42 m. u.; D. Avon/Ardea: 44 o., 45 m. l.; K. W. Fink/Ardea: 44 u. l., Lipsky/Tom Stack & Assoc.: 45 m.

DIE SCHÖPFERISCHEN KRISEN

James L. Amos/Focus: 48 l., 49 u. l.; Jonathan Blair/Woodfin Camp/Focus: 49 u. r.

IM NASS-LABOR DES LEBENS

George Steinmetz: 50–61, außer: Chip Clark/Museum of Natural History: 60 o.; L. La Rue III/Bruce Coleman Inc.: 60 u.

50 000 JAHRE ZWEISAMKEIT

Ira Block: 64 o., 65 o. l., o. r., m. r., u. r., 67 o. und u. l., 68; David L. Brill (Courtesy Université de Bordeaux I): 64 u. l. und u. r., 65 m. u.; (Courtesy Musée Beguen): 65 u. l.; 67 u. r.; Sisse Brimberg/Musée des Antiquités Nationales, St. Germain-en-Laye: 69 o. l. und u. l.; Ulmer Museum: 69 r.; John Reader/SPL/Focus: 70 o.; A. Heeger: 70 u. r.; J. Hurban: 70 u. l.

DIE NOT MIT DEM INNEREN FEIND

CNRI/SPL/Focus: 72 o., 74 u. 75; S. Stammers/SPL/Focus: 72 m. o.; Luc Montagnier/Institut Pasteur/CNRI/SPL/Focus: 72 m. u.; Jane Evelyn Atwood/Contact Press/Focus: 72/73; Gustavo Gilabert/JPB Pictures/Focus: 74 o.

DAS VERZWEIGTE RÄTSEL

Wolfgang Volz/Bilderberg: 76–85; Dr. Gabor Lovas/Waldökosysteme/Universität Göttingen: 83 u. r.

FROMME SCHEU SCHÜTZT

DIE NATUR
K. Bachmann: 86/87; Wang Zhiping/ANA: 88 o.; Daniel Lainé: 88 u.; Chris Rainier/Photographers Aspen: 89; M. Bertinetti/Focus: 90; Raghubir Singh: 91

... UND DENNOCH KEIMT

DIE HOFFNUNG

Philippe Bourseller/Figaro Magazine: 94/95; Stephen M. Dowell/Bozeman Daily Chronicle: 96; Alan & Sandy Carey: 97; Steve McCurry/Magnum/Focus: 98/99; B. Barbey/Magnum/Focus: 100 o.; Peter Menzel/Focus: 100 u.; Raghubir Singh: 101 u.; Dr. Peter W. Glynn: 102 u. l.; Georg Gerster: 102 u. r.; Hans Silvester/Focus: 103 o., 104 u.; Peter Frey: 103 u., 104/105 u.; NASA/SPL/Focus: 104 o. l.; NASA/GSFC: 105 r.; Gene Feldmann/NASA/SPL/Focus: 106 u.; Fredrik Ehrenström: 107 o., 109; J. Kyle Keener/Matrix/Focus: 107 m. r.; Dr. Heiko Bellmann: 107 u. l. (5); Peter Menzel: 108 o.; Martin Bond/SPL/Focus: 108 u.

MEIN FREUND, DER BAUM

Jörg Wischmann: 110–115

GEWAGTER SCHRITT INS FREIE

Wolfgang Volz/Bilderberg: 116, 120 u., 122 u., 123 u.; Courtesy Dr. D. R. Hellinck, Center for Molecular Genetics, UC San Diego: 117; Günter Beer: 118/119, 120 o.; Michael Clemmer: 121 u.; David J. Cross: 122 o.; B. C. Möller/Focus: 123 o.

VON DER TROCKENEN THEORIE ZUR ALTERNATIVEN HOFFNUNG

Bildarchiv Preussischer Kulturbesitz: 124 o. l., 127 o. r. und u., 130 o. l., 125, 126 o. und u., 128 o. und u. l., 129 o. l. und u., 130 m. l. und r.; Öffentl. Kunstsammlung, Basel-Kunstmuseum: 126 m.; Granger Collection: 127 o. l.; Inga Bibliothek der Freien und Hansestadt Hamburg: 128 m.; British Museum: 128 u. r.; Anthropogenie, E. Haeckel, Leipzig 1903: 129 m. l.; Oakland Museum: 129 m. r.; Keystone: 130 u.; M. Schamberg/Greenpeace: 133 o. l.; Mike Schröder/Argus: 133 o. r.; David J. Cross: 133 m.; W. Volz/Bilderberg: 133 u.

PANDA, REGENBOGEN & CO.

J. Hurban: 136, 137

EINGRÜNER DECKEL FÜR DIE GRUBE

Thomas Pflaum/Agon: 138/139, 140/141 o., 142/143 o., 144/145 o., 146 m., 148/149 o.; Heiner Müller-Eisner: 141 u., 143 u., 145 u., 146 u., 149 u.

ÜBERLEBEN IM EXIL

James Balog/Black Star: 154–165

GLOSSAR

L. Pshoyos/Matrix/Focus: 166 o.; William H. Amos: 166 u.; Karl Sims/Thinking Machines Corp.: 167 u.; James L. Amos/Focus: 168 o., 175 u.; NASA/SPL/Focus: 168 u.; Ed Hille/Matrix/Focus: 170 m.; Ted Wood/Picture Group/Focus: 170 u.; Michael Fogden/OSF: 171 o. l.; K. G. Preston-Mafham/Premaphotos: 171 o. r., 177 m. r.; D. + R. Sullivan/Bruce Coleman Ltd.: 171 u.; Carr Clifton: 172/173; C. Purocelli/Photo Researchers: 174 o.; Frans Lanting/Minden Pictures: 174 u.; M. Herzog + S. Meyer: 175 o. r., 176; G. Feldmann/NASA/GSFC/SPL/Focus: 177 o.; Thomas Ernsting: 177 u.

SEITE 180:

G. Spearpoint/Hedgehog House

VORSCHAU:

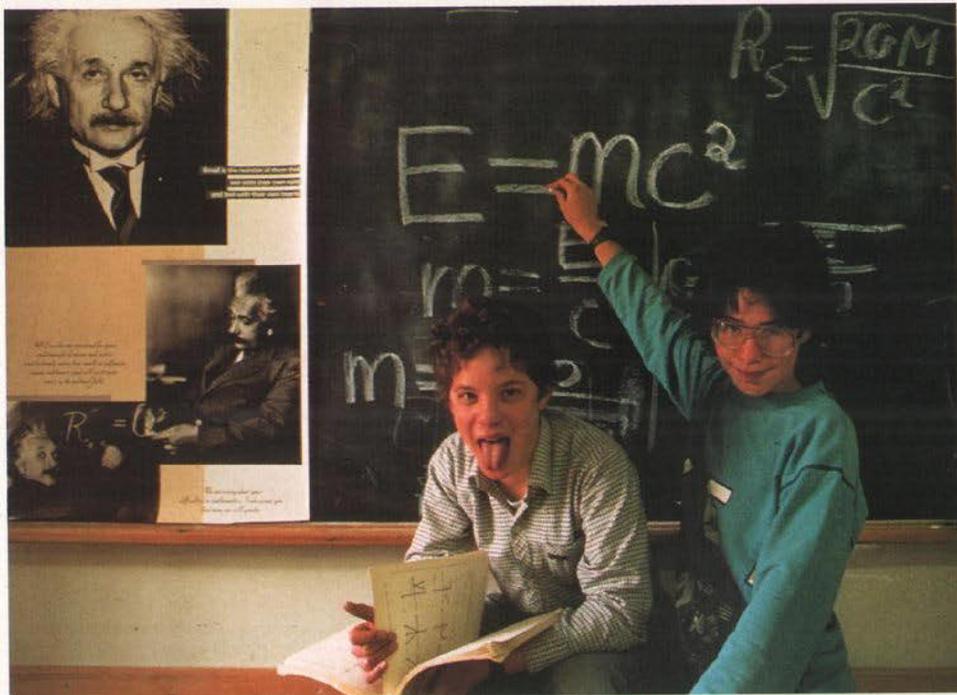
Raphael Gaillarde/Gamma: 181 o.; E. Ferorelli/Focus: 181 u. l.; Peter Menzel: 181 u. r.

ZEICHNUNGEN/ILLUSTRATIONEN:

Holger Everling/GEO Grafik: 24, 28 u., 49, 80/81, 101 o., 104 o. r., 168, 173; Roy Doty: 40/41 u.; Doug Handerson: 48 r., 170 o.; Marie Tharp 1977/D. Mailwald: 56; Barbara Michael/GEO Grafik: 52–65, 66; Rob Wood/Discover Magazine: 102 o.; Rainer Droste/GEO Grafik: 106 o., 146 o.; Leo Cullum: 147; John Gurche: 169

Einem Teil der Auflage liegen Prospekte für Time-Life, Weltbild-Verlag und Gruner + Jahr AG & Co. bei.

Intelligenz + Bewußtsein



Scheinbar aus dem Nichts warten »Wunderkinder« wie Dany Gluck und Lio Silberman, die an einer israelischen Schule für Hochbegabte in Mathematik brillieren, mit staunenswerten geistigen Leistungen auf. Bei der Suche nach dem Geheimnis menschlicher Intelligenz spielen auch Erkenntnisse über die mentalen Fähigkeiten von Schimpansen eine Rolle - Fähigkeiten, von denen Computerexperten wie Rodney Brooks, Mit-Schöpfer des »lernfähigen« US-Roboters »Genghis«, bei der Suche nach »künstlicher Intelligenz« bislang nur träumen können

Jeder benutzt den Begriff, niemand weiß ihn genau zu definieren: „Intelligenz“ ist eine Eigenschaft, die Menschen für sich reklamieren, die vielen Tieren zugewilligt wird und die manche Wissenschaftler gern per Computer künstlich erzeugen würden. Hinter der alltäglichen Diskussion um IQ-Tests und Begabung, um Verstand und Vernunft verbergen sich schwierigste wissenschaftliche und philosophische Fragen: Wie kam der Mensch im Lauf seiner biologischen und kulturellen Evolution zu seinen einzigartigen Fähigkeiten, wie



kommt sein Gehirn zum Geist? Haben auch Tiere „Bewußtsein“? Wie erwerben Kinder Sprache, Wissen und Selbst-Bewußtsein? Welche Rolle spielen dabei Erbe und Umwelt? Was verraten Hirnverletzungen, bei denen mit-



unter höchst spezielle Sprach- und Gedächtnisleistungen ausfallen, über die Organisation der höheren Hirnfunktionen? Können die Erkenntnisse der Neurobiologie den Computer-Enthusiasten aus der Sackgasse helfen, in die sie bei ihrer Suche nach „künstlicher Intelligenz“ geraten sind?

Wer seine Erde schont, nutzt auch die Kernkraft.



Durch umweltverträgliche Stromerzeugung und den sparsamen Umgang mit Rohstoffen leisten wir heute einen wichtigen Beitrag zur Begrenzung der Umweltbelastung.

Das Staubproblem haben wir bereits in den „Sechzigern“ bereinigt. Die Stickoxide wurden auf ca. 20 % der ursprünglichen Menge reduziert. Und die Schwefeldioxid-Freisetzung beträgt heute nur noch 15 % der Menge des Jahres 1982.

Was bleibt, ist das Kohlendioxid, dessen Ausstoß wir aber durch sparsamen Rohstoffverbrauch mindern. Zum Beispiel erzeugen wir heute doppelt soviel Strom aus der gleichen Menge Kohle wie in den „Fünfzigern“.

Darüber hinaus schonen wir Umwelt und Rohstoffe, indem wir rund ein Drittel des deutschen Stroms aus Uran herstellen. In Kernkraftwerken mit hohem technischen Standard. So sicher, daß sich ihr Betrieb verantworten läßt. Ohne die bei der Verbrennung von Kohle, Öl und Gas entstehenden Schadstoffemissionen. Allein dadurch wird jährlich die Freisetzung von rund 140 Millionen Tonnen CO₂ vermieden.

Mit Wasserkraft, Sonne und Wind setzen wir schließlich auch erneuerbare Energien ein. Sie decken bereits 5 % des Strombedarfs.

Strom aus vielen Quellen. Wer seine Erde schont, nutzt auch die Kernkraft.

Ihre Stromversorger

C O U P O N

An den Info-Service STROM,
Postf. 19 08 20, 5308 Rheinbach.
Bitte schicken Sie mir folgende Broschüre kostenlos zu:
Sicherheit der Kernkraftwerke

Klare Strom-Linie für die Zukunft

Name _____

Straße _____

PLZ/Ort _____

