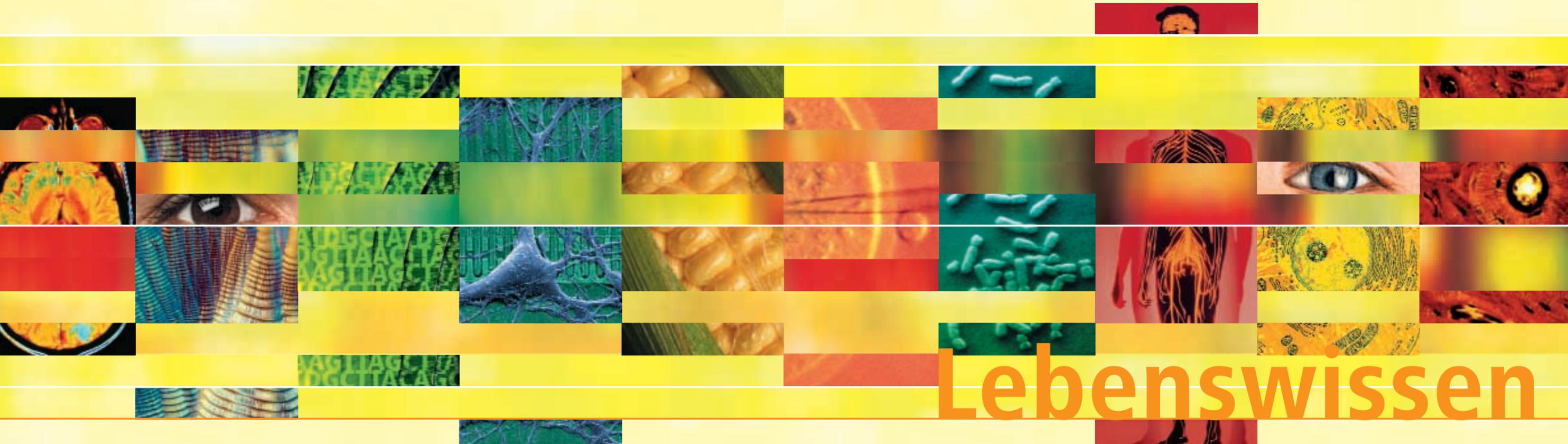




Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

wissenschaft im dialog

Lebenswissen
2001 Jahr der Lebenswissenschaften



Lebenswissen

www.lebenswissen.de

Medienpartner:



Süddeutsche Zeitung
Deutschlands große Tageszeitung

WDR 5

HÖRZU



Spätestens...

...mit der spektakulären Entschlüsselung des menschlichen Genoms im Sommer 2000 ist uns allen vor Augen geführt worden, mit welcher ungeheurer Dynamik sich die Lebenswissenschaften entwickeln. Beinahe täglich kommen neue Erkenntnisse hinzu, werden neue Entdeckungen gemeldet. Es ist wohl zu erwarten, dass die Lebenswissenschaften nicht nur gravierende Veränderungen in Wirtschaft, Medizin, Landwirtschaft, Ernährung und Umwelt bewirken, sondern auch unsere gesellschaftliche Entwicklung und unser Verhältnis zur Natur maßgeblich beeinflussen und verändern. So wie es rückblickend in der Neuzeit vornehmlich die Physik und Chemie getan haben.

Die Lebenswissenschaften werden derzeit mit ihren Chancen aber auch mit ihren Risiken in der Öffentlichkeit breit wahrgenommen und diskutiert. Dem zugrunde liegen Ängste und Bedenken darüber, welche Auswirkungen die neuen Erkenntnisse in den Lebenswissenschaften für den Einzelnen und die Gesellschaft haben werden.

Andererseits bieten gerade die Lebenswissenschaften eine große Chance. Beispielsweise erwartet die Wissenschaft durch die Fortschritte in der Gentherapie einen Durchbruch bei der Bekämpfung schwerer Krankheiten wie Alzheimer und Parkinson. Die wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands wird entscheidende Impulse von den Lebenswissenschaften erhalten! Von rund 1.350 – überwiegend kleinen und mittleren – Biotechnologie-Unternehmen in Europa sind schon jetzt knapp 280 in Deutschland ansässig.

Gemeinsam mit dem Stifterverband und den großen Forschungsorganisationen habe ich die Initiative „Wissenschaft im Dialog“ gestartet. Ziel dieser Initiative ist es, den Dialog zwischen Wissenschaftlern und allen interessierten Menschen zu fördern. Wir wollen über die Wege und Ziele der Wissenschaft und der Politik diskutieren und Forschungsergebnisse transparent und ihren Nutzen für die Gesellschaft sichtbar machen. In jedem Jahr wird hierzu ein Wissenschaftsgebiet herausgehoben: Im Jahr 2000 machte das „Jahr der Physik“ den Anfang, 2001 ist das „Jahr der Lebenswissenschaften“, die Geowissenschaften folgen im Jahr 2002.

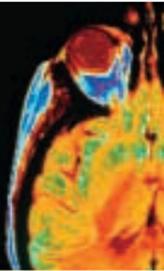
Im Jahr der Lebenswissenschaften wird mein Ministerium eine Reihe großer Veranstaltungen durchführen und weitere fördern. Damit bieten wir eine Plattform für die Diskussion und den Dialog zwischen den Forscherinnen und Forschern und der Öffentlichkeit. Hier werden die komplexen Themen des gesamten Spektrums der Lebenswissenschaften auf spannende, verständliche und auch unterhaltsame Weise präsentiert. Zahlreiche weitere Veranstaltungen von Forschungseinrichtungen und Hochschulen in ganz Deutschland werden vorbereitet. Information, Diskussion und Dialog stehen immer im Mittelpunkt der Veranstaltungen. Nutzen Sie diese Gelegenheit. Stellen Sie den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern Fragen, lassen Sie sich von den Wissenschaften faszinieren, informieren Sie sich, diskutieren Sie!

E. Bulmahn

Edelgard Bulmahn, Bundesministerin für Bildung und Forschung



- 4 Lebenswissenschaften
- 6 Das Jahr der Lebenswissenschaften
- 8 Eine menschliche Karriere
- 10 Auf der Spur der Gene
- 12 Die letzte Bastion
- 14 Kosmos im Schädel
- 16 Der Natur auf die Finger geschaut
- 18 Universum vor der Haustür
- 20 Wussten Sie schon ...
- 22 Weblinks
- 23 Impressum



Lebenswissenschaften

__Mit der Entdeckung der DNA als Träger der Erbinformation ist die Biologie zur einflussreichsten Wissenschaft des ausgehenden 20. und beginnenden 21. Jahrhunderts geworden. Die Tendenzen der modernen biologischen Forschung gehen heute dahin, die Mechanismen des Lebens in immer kleineren Dimensionen unter die Lupe zu nehmen, sie sogar zu beeinflussen. Eine Entwicklung, an der neben der Biologie eine Vielzahl von Fachdisziplinen beteiligt sind: Von der Medizin über die Chemie bis zur Pharmazie, von der Landwirtschaft bis zur Ernährungswissenschaft. Sie alle lassen sich unter einem Oberbegriff vereinen: „Lebenswissenschaften“.

Die Lebenswissenschaften tangieren nicht nur Forscherinnen und Forscher. Ob es um die Vielfalt von Pflanzen und Tieren auf der Erde geht, um gentechnisch veränderte Lebensmittel oder um die Entwicklung neuer Technologien und Produkte, bei der die Wissenschaft der Natur „auf die Finger schaut“: Die Lebenswissenschaften betreffen uns alle.

Die größten Erwartungen werden derzeit in die Biotechnologie und die Genforschung gesetzt, sie finden den stärksten Widerhall in den Medien, bestimmen die öffentliche Diskussion. Die vollständige Entzifferung des Humangenoms könn-

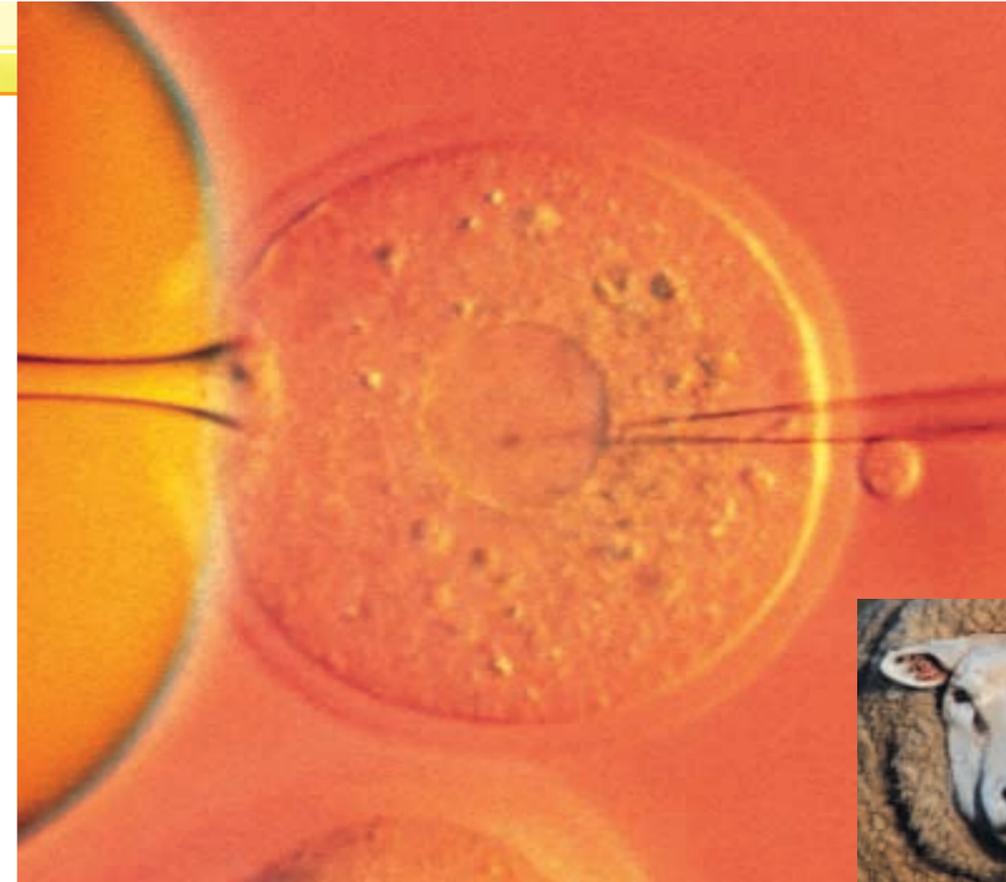
te den Weg für neuartige Therapien ebnet. Dies ist noch Zukunftsmusik, aber Gentests erlauben bereits heute die Diagnose erblich bedingter Krankheiten. Und zur Aufklärung von Gewaltverbrechen wird immer häufiger auf den so genannten genetischen Fingerabdruck zurückgegriffen. Zwei weitere Beispiele der Gegenwart: Mikroorganismen produzieren im Dienst der Biotechnologie lebenswichtige Stoffe wie das Hormon Insulin oder Blutgerinnungsmittel. Und: Weltweit wachsen gentechnisch veränderte Pflanzensorten bereits auf über 40 Millionen Hektar, das ist weit mehr als die gesamte Ackerfläche Deutschlands.

Die Lebenswissenschaften sind ein Wirtschaftsfaktor mit Wachstumspotenzial; der Biotechnologiebranche werden rosige Zeiten vorausgesagt. In Deutschland wurde beim Umsatz 1999 erstmals die Milliarden-Mark-Grenze überschritten und bis zum Jahr 2010 soll – so die Erwartungen – die Zahl der Arbeitsplätze auf 500.000 anwachsen.

Bei aller Faszination über neue Einblicke in das Rezeptbuch der Natur – diese Entwicklung wirft gravierende ethische Fragen auf. Die gesellschaftliche Debatte über gentechnisch veränderte Nahrungsmittel oder vorgeburtliche Diagnostik sind hierfür nur zwei Beispiele. Einfache Antworten gibt es nicht.

Mit dieser Broschüre wollen wir Ihnen über die Genforschung und Biotechnologie hinaus einen Einblick in das vielfältige Spektrum der Lebenswissenschaften geben. Zu diesem Zweck haben wir einige Themenbereiche exemplarisch ausgewählt. Begleiten Sie uns zunächst auf eine Vorschau des Jahres der Lebenswissenschaften und folgen Sie uns dann auf eine Reise zurück zu den Anfängen der Menschheit und hinab in die Tiefe der Ozeane ...

In eine Eizelle wird unter dem Mikroskop DNA injiziert. (Bild rechts)

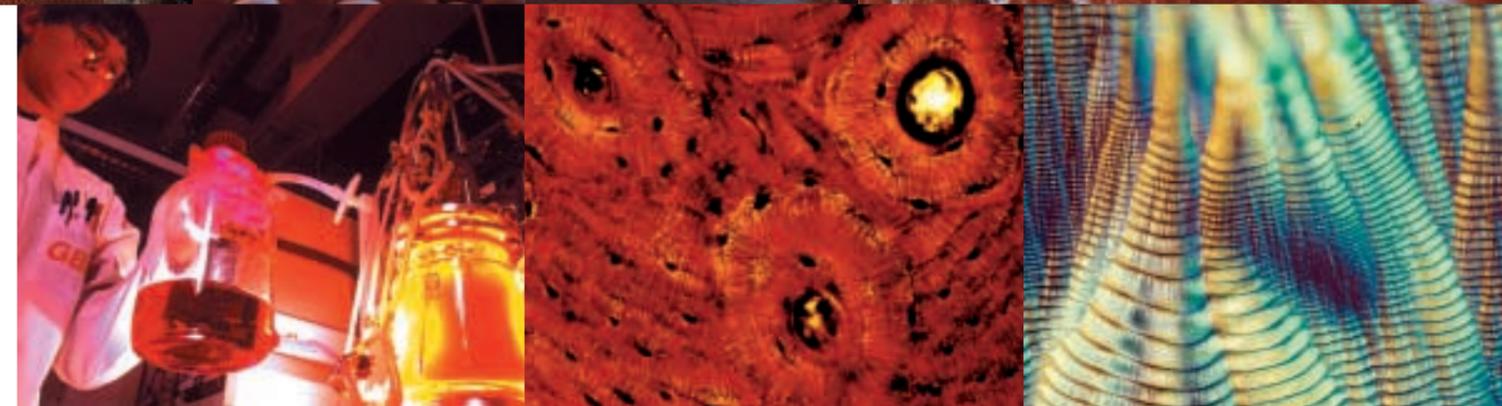


Details des Facettenauges der Stubenfliege

*Von links nach rechts:
Blick ins Labor*

Knochengewebe

Unentbehrlich für den menschlichen Stoffwechsel: Vitamin C (im Bild: Kristalle)



Das Jahr der Lebenswissenschaften

„Forschung ist faszinierend. Deshalb verlassen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Jahr der Lebenswissenschaften die Labors und präsentieren ihre Forschung in der Öffentlichkeit – interessant, verständlich und unterhaltsam. Allein das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) führt dazu große Veranstaltungen in Berlin, Leipzig, Köln und in Hamburg durch; weitere Veranstaltungen werden maßgeblich durch das BMBF unterstützt. Und: „Wissenschaft im Dialog“ stellt den Wissenschaftssommer 2001 in Berlin unter das Motto „Jahr der Lebenswissenschaften“. Das Jahresprogramm umfasst Ausstellungen, Vorträge, Filmvorführungen, Lesungen, Tanztheater und Diskussionsrunden.

Wissenschaft vor Ort:

Veranstaltungen bundesweit

Darüber hinaus finden in ganz Deutschland zahlreiche weitere Veranstaltungen statt: Universitäten, Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Museen organisieren Tage der offenen Tür, Infostände, Vorträge und Ausstellungen. Informationen zu Termin und Ort der einzelnen Veranstaltungen sind im Internet nachzulesen. Außerdem können unter der Adresse www.lebenswissen.de neue so genannte Satellitenveranstaltungen angemeldet werden.

Wissenschaft kontrovers

Diskussionsrunden mit Politikern, Wissenschaftlern und Philosophen bieten dem kritischen Dialog ein besonderes Forum. Talkshows, Streitgespräche und Lesungen mit Diskussionen ziehen sich durch das ganze Jahr.

Die Wissenschaft geht auf die Straße

Auf den Großveranstaltungen in Leipzig und Köln findet der Wettbewerb „Science Street“ statt: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler stellen ihre Arbeit mit Exponaten und im direktem Gespräch der breiten Öffentlichkeit vor. Über die beste Präsentation entscheidet das Publikum – schließlich geht es hier um die Kunst der Vermittlung. Den Bestplatzierten winken Preisgelder von insgesamt mehreren zehntausend Mark. In Leipzig wagen sich die Forscher zwischen „Bahnsteig und Fahrkartenschalter“, in Köln geht es in die Innenstadt.

Zum Nachlesen

Zwei Themenhefte erscheinen im Jahr der Lebenswissenschaften: eines zur Großveranstaltung „Brennpunkt Körper“ in Leipzig, ein weiteres zu „Lebenslinien“ in Köln. Die Broschüren sind vor Ort kostenlos erhältlich und können auch in Klassenstärke bestellt werden.

Im Internet

Informationen über das Jahr der Lebenswissenschaften bieten die Websites www.lebenswissen.de und www.wissenschaft-im-dialog.de. Dort gibt es viele Möglichkeiten zum Mitmachen: Infos und Bilder runterladen, spielen, Preise gewinnen und vieles mehr.

Der Gen-Dschungel

Lexikon des Lebens
1. bis 3. Februar, Berlin
(Martin-Gropius-Bau)

Brennpunkt Körper

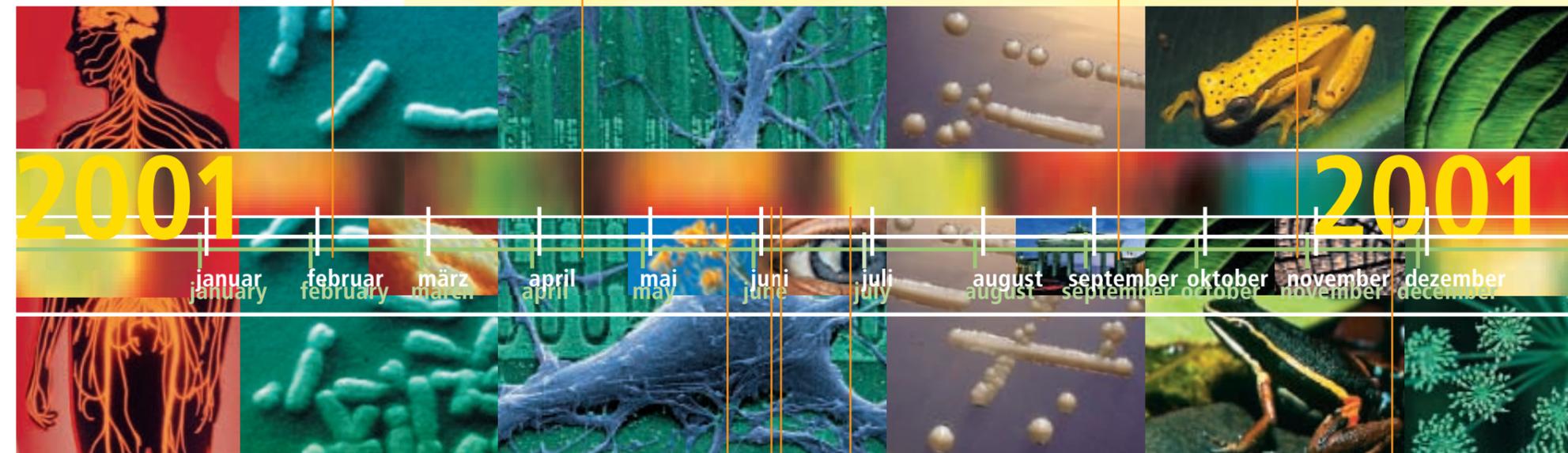
Eigenes und Fremdes
19. bis 28. April, Leipzig
(Promenaden Hauptbahnhof)

Wissenschaftssommer

Berlin 2001
12. bis 17. September

Lebenslinien

Natur in Bewegung
31. Oktober bis 8. November
Köln (Gürzenich)



Biotechnologietage

21. bis 22. Mai, Hamburg

Grenzenlos forschen?

7. bis 9. Juni, Berlin
Deutscher Akademischer
Austauschdienst e.V.

Life Science Live

22. bis 26. Juni, München
Verband Deutscher Biologen
und biowissenschaftlicher
Fachgesellschaften e.V.

Leben ist Vielfalt

Woche der Biodiversität
25. November bis 1. Dezember,
Frankfurt a.M.
Wissenschaftsgemeinschaft
Gottfried Wilhelm Leibniz e.V.

Kosmos Gehirn 2001

7. bis 10. Juni, Göttingen
Neurowissenschaftliche Gesellschaft e.V.

Lebenswissen
2001 Jahr der Lebenswissenschaften

Eine menschliche Karriere

Der Mensch ist vielleicht das einzige Wesen mit Bewusstsein und der Fähigkeit zur Selbsterkenntnis. Wir können nicht nur „um die Ecke“ denken, wir machen uns auch Gedanken um Vergangenes und die Zukunft. So beschäftigt uns die Frage nach unserer Herkunft seit jeher.

Wo alles begann ...

Die Wiege der Menschheit stand in Afrika, dies belegen zahlreiche Knochenfunde. Es sind oft nur Bruchstücke und dennoch verraten sie viel über Körperbau und Lebensweise unserer Urahnen. Vor etwa sechs Millionen Jahren lebten vermutlich unsere ältesten bekannten Vorfahren: Hominiden, die bereits aufrecht gingen, aber noch stark Menschenaffen ähnelten. Vor rund zwei Millionen Jahren – als Klimaveränderungen zu neuen Lebensbedingungen führten – schlug die Evolution verschiedene Richtungen ein: Die so genannten robusten Australopithecine passten sich körperlich den kargen Verhältnissen an. Einen anderen Weg beschritt die Gattung *Homo*. Ihre Stärke lag nicht in ihrem Körperbau, sondern in der Kultur, die sie entwickelte.

Lange Jahre ging die Wissenschaft davon aus, dass die Evolution zum *Homo sapiens* geradlinig verlaufen ist. Erst seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts ist klar: Über

Im Kreis der Familie: Vier Millionen Jahre menschliche Evolution auf einen Blick. Mitglieder der Gattungen Australopithecus, Paranthropus und Homo posieren für ein Gruppenfoto. Rechts oben: der Neandertaler - so könnte er ausgesehen haben. Die Modelle wurden anhand von Schädel-funden und Erfahrungswerten der Gerichtsmedizin angefertigt.

Millionen von Jahren haben verschiedene Arten von Hominiden nebeneinander gelebt. Sie konkurrierten miteinander, einige Arten hatten dabei Erfolg, andere verschwanden wieder. Durchgesetzt hat sich der *Homo sapiens*. Diese Menschen hatten in techni-



scher Hinsicht eine höhere Entwicklungsstufe als andere erreicht – der *Homo sapiens* benutzte neben Steinen auch andere Materialien für die Herstellung seiner Gerätschaften. Sie schnitzten kleine Figuren, bemalten Höhlenwände und verzeichneten Wichtiges auf Knochen und Steinplättchen. Dies alles führte zu einer Überlegenheit des *Homo sapiens* über andere Menschenarten. So ver-



schwand etwa der einst in Europa lebende *Homo neanderthalensis* rund 10.000 Jahre nachdem der *Homo sapiens* dort auftauchte.

Entscheidend aber ist vermutlich die Entwicklung der Sprache gewesen. Schon mehrere 100.000 Jahre vor dem Erscheinen des *Homo sapiens* besaßen die Hominiden einen voll ausgeprägten Stimmapparat. Aber erst beim

Homo sapiens aktivierte ein wie auch immer gearteter kultureller Anstoß diese Fähigkeit. Sprache bildet die Basis des Denkens. Durch Sprache können wir Objekte und Empfindungen der Innen- und Außenwelt benennen und kategorisieren. Erst Sprache ermöglicht Kreativität, indem wir geistige Symbole schaffen können. Wann und wie sich die Fähigkeit zu sprechen entwickelte, ist un-

klar. Fest aber steht, dass der *Homo sapiens* dadurch beim Überlebenskampf Vorteile hatte.

Höhlenmaler mit Laptop
Millionen Jahre Evolution haben uns letztendlich zu dem gemacht, was wir heute sind. Mit allen Fähigkeiten und Schwächen. Dabei hinterließen uns unsere Vorfahren auch schwierige Erbschaften: Beispielsweise den Drang nach fett-

Spuren im Stein: Bereits vor 3,6 Millionen Jahre bewegten sich unsere Vorfahren auf zwei Beinen, wie versteinerte Fußabdrücke aus Tansania belegen. Die Fährte wird drei Hominiden der Art Australopithecus afarensis (gr. Bild: links oben) zugeschrieben.

und kalorienreicher Nahrung. Für unsere Vorfahren war diese Vorliebe lebensnotwendig, doch beim Menschen der Zivilisationsgesellschaft führt sie mitunter zu Übergewicht. Mit diesen „Steinzeit-Relikten“ müssen wir wohl oder übel leben, sie sind ein integraler Bestandteil von uns Menschen.

Auf der Spur der Gene

__Unser Körper, einst hervorgegangen aus einer befruchteten Eizelle, besteht aus Billionen von Zellen. In der Blutbahn allein zirkulieren Milliarden roter Blutkörperchen, winzige Spediture, die Sauerstoff von der Lunge ins Gewebe transportieren. Doch sie sind nur eine Zellfamilie von über zweihundert im Körper eines Erwachsenen: Ein Neuron übernimmt im Gehirn ganz andere Aufgaben als beispielsweise eine Drüsenzelle, die den Stoffwechsel mit Hormonen in Schwung hält.

Der Schlüssel zu dieser Vielfalt liegt bei den Proteinen, die eine Zelle produziert. Sie sind die „Arbeitspferde“ der Zelle; Eiweiß-Moleküle, die den „Knochenjob“ erledigen. Ihre Konstruktionspläne sind in den Erbanlagen, den so genannten Genen hinterlegt. Zwar enthält fast jede Körperzelle die Gesamtheit aller Gene. Allerdings sind – je nach Zelltyp – immer nur bestimmte Gene aktiv und so hat jede Zellklasse ihre Eigenarten. Wie dies im Detail funktioniert, ist eine von vielen Fragen, denen die Genforschung nachgeht.

Ein molekularer Datenträger

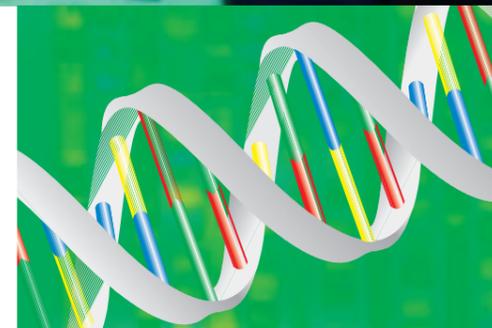
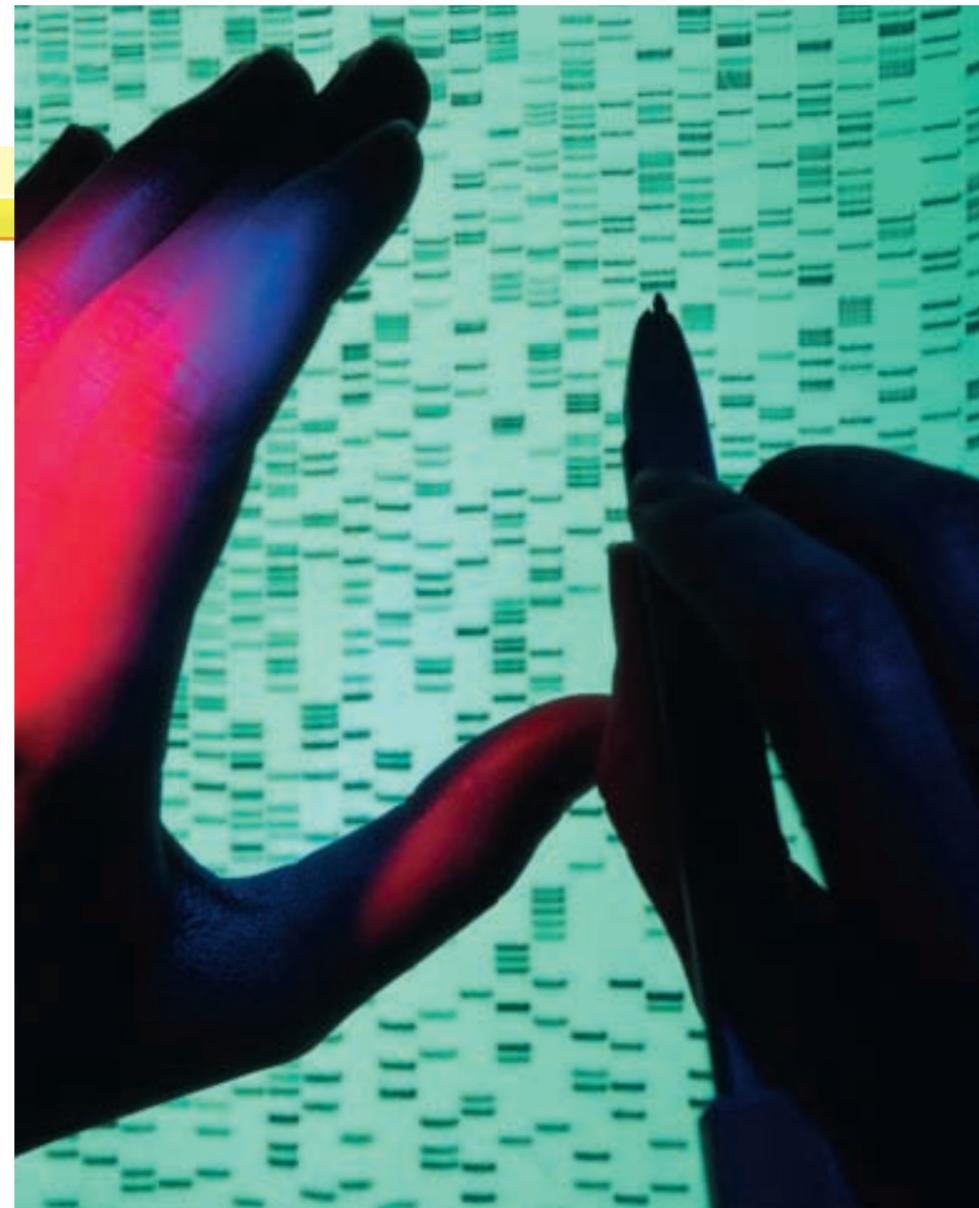
Als genetischer Informationsspeicher dient die DNA: ein besonderes Biomolekül, das im Zellkern lagert. Die DNA trägt die Erbinformation nicht nur beim Menschen, sondern bei allen Lebewesen. Ihre Zusammensetzung variiert natürlich von Organismus zu Organismus. Es gibt

Strichcode: Die Analyse von DNA-Molekülen führt zu so genannten Sequenz-Mustern, aus denen sich die Zusammensetzung der DNA ablesen lässt. Moderne Sequenzierverfahren arbeiten vollautomatisch.

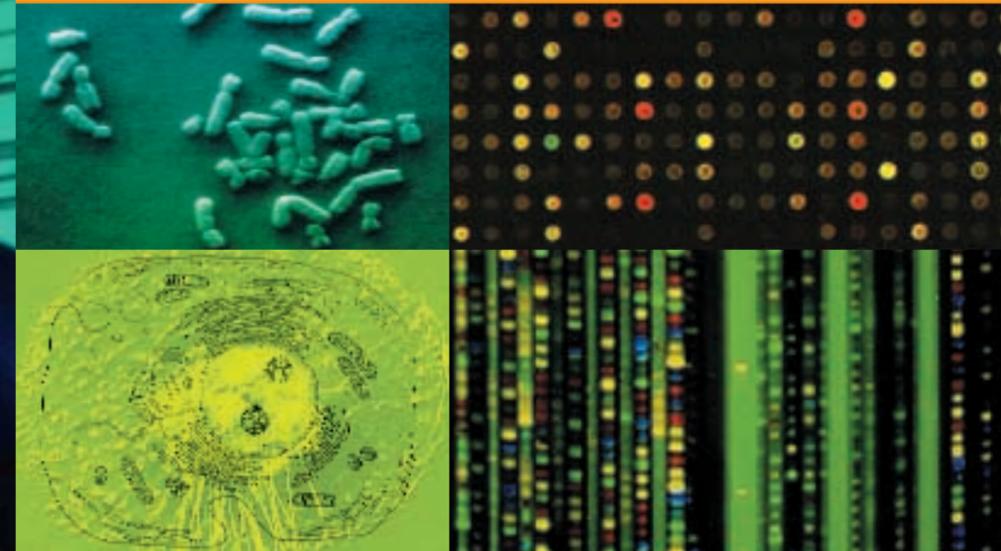
allerdings Gemeinsamkeiten und so verraten selbst Gene von Fadenwürmern einiges über uns.

Die DNA einer menschlichen Zelle umfasst über drei Milliarden Bausteine, chemische Komponenten, die man als „Basen“ bezeichnet. Diese Basen sind entlang des Rückgrats der DNA, ähnlich wie Perlen auf einer Kette aufgereiht. In die Länge gezogen, wäre der Molekülfaden über einen Meter lang! In einer Zelle jedoch ist die DNA geschickt gefaltet und lässt sich platzsparend unterbringen. Einen Bereich der DNA, in dem die Bauanleitung für ein biologisches Produkt – meist ein Protein – verschlüsselt ist, nennt man Gen. Dabei besteht der Code aus der Abfolge der Basen Adenin (A), Guanin (G), Cytosin (C) und Thymin (T). A, G, C und T sind die Buchstaben des Lebens. Stellt man sich den Zellkern als Bibliothek vor, dann steht die DNA für die Bücher, den Genen entsprechen Wörter und den Basen einzelne Buchstaben.

Im Sommer 2000 präsentierten Forscher eine erste Inventarliste der Milliarden Bausteine des menschlichen Erbguts. Letzte weiße Flecken auf der Karte hofft man bis 2002 zu füllen. Von dem Datensatz verspricht sich die Medizin Einblicke in die molekularen Ursachen vieler Krankheiten. Eine Zukunftsvision: Neuartige Medikamente, individuell zugeschnitten auf den Patienten. Kritiker hingegen warnen vor dem gläsernen Menschen und einer Manipulation des Erbguts.



Informationsspirale: Die Struktur der DNA ähnelt einer verdrehten Strickleiter. Die Verknüpfung der beiden Molekülstränge (als Band dargestellt) erfolgt über die DNA-Basen - sie sind die Sprossen der Leiter.



Oberes Bild: Chromosomen des Menschen

Collage (unteres Bild): Struktur einer Zelle mit Zellkern (im Zentrum) - der Lagerstätte der DNA. Im Hintergrund: Immunzelle.

Ampellichter: So genannte DNA-Chips liefern ein buntes Muster, aus dem sich die Aktivität tausender Gene gleichzeitig bestimmen lässt.

Auf der Spur der Genprodukte Hoffnungen und Ängste sollten nicht darüber hinweg täuschen, dass die Genforschung am Anfang steht. Vor uns liegt ein riesiger Buchstabensalat: A, G, C und T in wechselnder Reihenfolge, über 400.000 DIN A4-Seiten lang. Ein kolossaler Wälzer, den man nicht flüssig lesen kann. Wo beginnt ein Wort und wo hört es auf? Wo sitzen die Baupläne für Proteine und welche Funktionen haben diese Proteine? Solche Fragen haben es in sich: Ein Gen ist häufig über mehrere Abschnitte der DNA verteilt, so als wären die Buchstaben eines Wortes inmitten von Kauderwelsch versteckt. Tatsächlich enthalten beim Menschen scheinbar nur wenige Prozent der DNA sinnvolle Information. Gene und

„Abstandhalter“ machen zusammen das so genannte Genom aus. Um hier die Spreu vom Weizen zu trennen, hat die Natur ihre Wege gefunden: Die molekulare Abschrift eines Gens durchläuft in der Regel mehrere Redaktionsgänge. Erst danach wird eine Bauanleitung in den Proteinfabriken der Zelle, den Ribosomen, abgeliefert. Von der DNA-Sequenz zum Protein ist es also ein weiter Weg.

Rund 8.000 menschliche Gene wurden bisher identifiziert. Schätzungen über die Gesamtzahl der Gene schwanken zwischen 30.000 und 100.000 – sie enthalten die Baupläne von mindestens ebenso vielen Proteinen.

Die letzte Bastion

Der Tritt in eine Scherbe ist meist schmerzhaft. Doch in aller Regel ist die Pein schnell vorbei, die Blutung gestillt und an der Schnittstelle bleibt höchstens eine Narbe zurück. Während dieser Zeit hat auch das Immunsystem seine Arbeit getan. Es tritt immer dann in Aktion, wenn Eindringlinge – nachdem sie beispielsweise die Hautbarriere durchbrochen oder den ätzenden Magensaft überstanden haben – bis in die Blutbahn gelangen. Die Immunabwehr ist sozusagen die letzte Verteidigungslinie des Körpers. Und hier wird scharf geschossen.

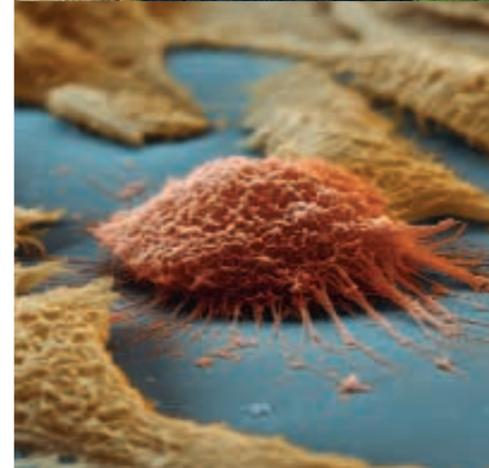
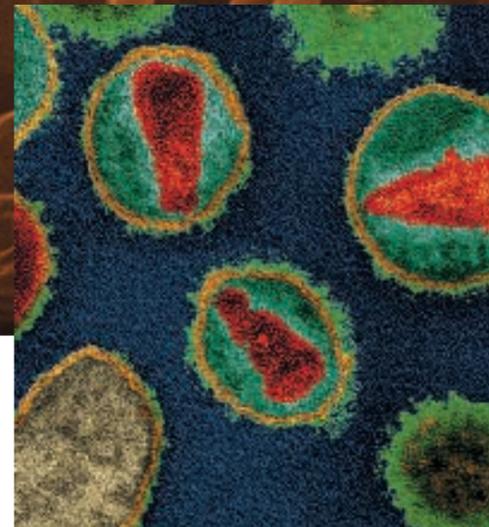
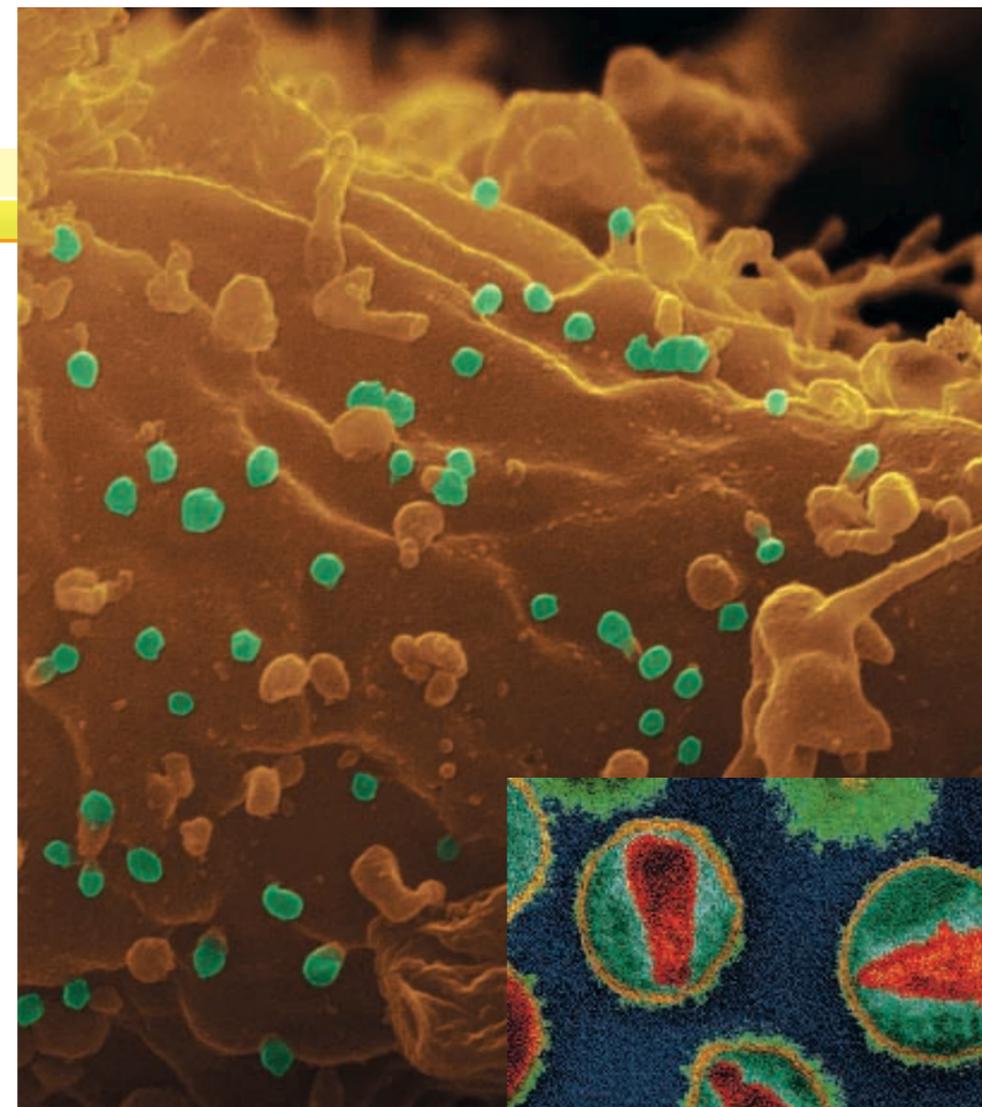
Kampfverbände

Eine Armada mikroskopischer Späher patrouilliert unablässig durch Blut- und Lymphgefäße. Ausgestattet mit molekularen Angelruten – winzigen Rezeptoren auf ihrer Außenhülle – fischen sie Krankheitserreger aus dem Blutstrom oder markieren sie für ihre Helferhelfer, die sie dann vernichten. Die unterschiedlichen Partner innerhalb des Immunsystems schlagen meist in einer konzertierten Aktion zu. Wenn ein Erreger in den Körper gelangt, wird er von Makrophagen verschlungen. An die Oberfläche dieser Fresszellen wandern dann markante Bruchstücke (Antigene) des Eindringlings. Dort liegen sie gewissermaßen auf dem Präsentierteller für eine besondere Klasse weißer Blutkörperchen, die T-Lymphozyten. Bei Kontakt mit dem Antigen bringen diese Immunzellen eine Lawine von Ereignissen

ins Rollen. Helferzellen dirigieren die gesamte Körperabwehr: Sie aktivieren die Fresszellen, lösen die Bildung von Antikörpern aus und mobilisieren Killerzellen. Sie alle stürzen sich auf die Eindringlinge. Gedächtniszellen wachsen heran, die das Muster der Antigene speichern und bei einer Infektion mit dem gleichen Erreger eine rasche Immunantwort auslösen können. Um die ganze Reaktion im Zaum zu halten, entstehen ferner besondere Zellen, die etwa die Bildung weiterer Lymphozyten regulieren. Kurzum: Eine Immunreaktion erfordert ein abgestimmtes Mannschaftsspiel, an dem viele Partner beteiligt sind. Das Dickicht dieser „Seilschaften“ ist bei weitem nicht vollständig gelüftet.

Flexibles Arsenal

Zu den erstaunlichsten Talenten unseres Immunsystems gehört seine enorme Anpassungsfähigkeit. Es lernt ständig dazu und erkennt vom Virus bis zum Bakterium unterschiedlichste Störenfriede. Eine zentrale Rolle spielen dabei die Antikörper, besondere Proteine, die sich wie eine Klette an Eindringlinge heften. Diese Proteine schöpfen aus einem Genpool, der zwar begrenzt ist, dessen Bestandteile jedoch zu einem immer neuen Cocktail gemixt werden. Dadurch kann sich die Immunabwehr auf Erreger verschiedenster Gestalt einstellen.



Krebszelle (Mammakarzinom)

Fehlfunktionen

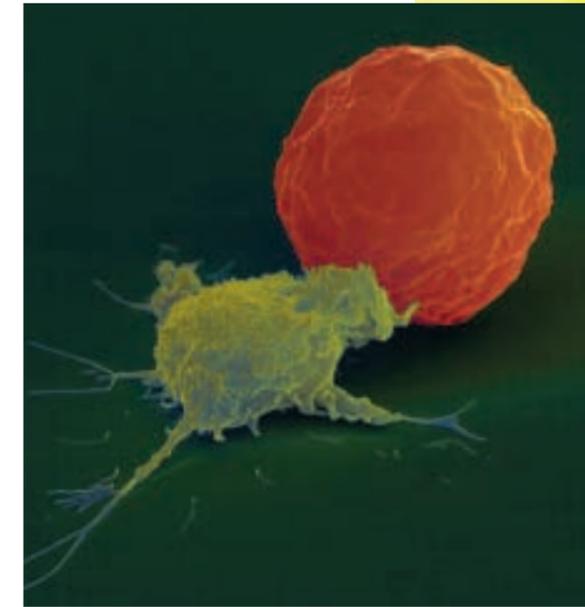
Doch das Immunsystem kann auch Amok laufen: Bei Autoimmunerkrankungen – wie der multiplen Sklerose oder der rheumatoiden Arthritis – verwechselt es Freund und Feind und greift Zellen des eigenen Körpers an. Bei Allergien stürzt es sich übereifrig auf relativ harmlose Störenfriede. Bei Krebs wiederum herrscht eher Tatenlosigkeit: Das Immunsystem erkennt nicht, dass Körperzellen sich zu gefährlichen Wüstlingen verwandelt haben. Tumorzellen wechseln häufig ihre Merkmale und führen das Immunsystem – trotz aller Flexibilität – leicht in die Irre. Übri-

Im Würgegriff (großes Bild links): Weißes Blutkörperchen befallen von Viren der Human-Immunschwäche (HIV). Die Struktur des AIDS-Erregers zeigt das untere Bild: Das Viren-Genom ist in einer Hülle aus Fettmolekülen und Proteinen verpackt.

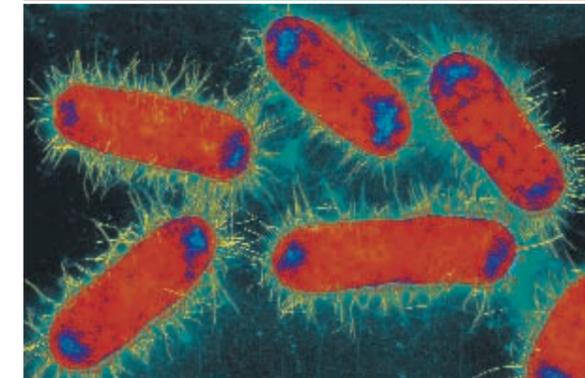
gens haben auch viele Krankheitserreger Tricks erfunden, um das Immunsystem zu täuschen. Impfstoffe gegen Krebs und solche Erreger zu entwickeln, ist eine Herausforderung.

Schwachstellen

Die Abwehrfront des Körpers ist auch direkten Angriffen ausgesetzt. Der AIDS-Erreger HIV – ein Virus – schwächt das Immunsystem, da er bestimmte weiße Blutkörperchen – die Helferzellen – ausschaltet; ansonsten harmlose Infekte können dann lebensbedrohlich werden. Mittlerweile ist es möglich, den Verlauf der Krankheit mit aufwendigen Therapien zu verlangsamen. Patienten greifen dabei auf Medikamente zurück, die den Entwicklungszyklus des Virus an mehreren Stellen stören. An einem Impfstoff gegen AIDS wird intensiv geforscht.



Oberes Bild: Immunzelle (grün) beim Angriff auf eine Krebszelle.



Unteres Bild: Mitglied der Darmflora: Das Bakterium Escherichia coli kann unter Umständen Durchfall verursachen.

Kosmos im Schädel

Während Sie diesen Artikel lesen, arbeitet Ihr Gehirn auf Hochtouren. Es bewertet den Text und vergleicht seinen Informationsgehalt mit Erinnerungen aus Ihrem Gedächtnis. Lohnt es sich weiterzulesen? Wenn ja, dann blendet Ihr Gehirn automatisch alle Sinneseindrücke aus, die Sie stören könnten: Sollten Sie sitzen, werden Sie den Druck des Stuhls auf Ihr Gesäß nicht wahrnehmen. Sollten Sie stehen, werden Sie das Gewicht, das auf Ihren Fußsohlen lastet, vergessen – zumindest solange Ihre Aufmerksamkeit gebannt ist. Dies alles geschieht in Windeseile und nahezu unbewusst. Die Leistungen des menschlichen Gehirns sind erstaunlich.

Blick in den Kopf

Eine Reise ins Innere des Gehirns offenbart ein Bauwerk von „astronomischen Dimensionen“: Rund 100 Milliarden Neuronen sind zu einem Zellgeflecht enormer Komplexität verwoben. Im Durchschnitt steht ein Neuron mit mehreren tausend weiteren in direkter Verbindung. Bei dieser Vielzahl der Kontakte scheint die Zahl der Sonnen unserer Galaxie – es sind wohl weniger als 500 Milliarden – geradezu unbedeutend. Dabei besteht das Gehirn nur zu einem Bruchteil aus Neuronen, etwa 90 Prozent des Zellverbands machen so genannte Gliazellen aus. Deren Funktion ist erst in Ansätzen bekannt. Sie scheinen sich unterstützend auf die neuronalen Schaltkreise auszuwirken.

Unser Bild vom Gehirn hat sich im Laufe der Zeit gewandelt. Die Anatomen des Mittelalters glaubten noch, der Mensch könne mit dem Gehirn zwar denken, den Ursprung von Gefühlen und Sozialverhalten vermuteten sie jedoch im Herzen. Genauere Vorstellungen über die Hirnfunktionen entstanden im 19. Jahrhundert, als man begann, die Gehirne von Toten zu sezieren. Aufschlussreich waren Untersuchungen Verstorbener, die zu Lebzeiten – etwa infolge einer Kopfverletzung – an auffälligen Störungen gelitten hatten.

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts kam dann erstmals eine Technik auf, die es erlaubte, das lebende Gehirn zu studieren: die Elektroenzephalographie (EEG). Über Kontakte am Kopf zeichnet sie die elektrischen Impulse („Gehirnwellen“) auf, mit denen Neuronen Informationen austauschen. Diese Signale liefern wichtige Hinweise auf die Gehirnaktivität. So werden Sinnesreize häufig in unterschiedlichen Hirnregionen verarbeitet. Man vermutet aber, dass die beteiligten Neuronen ihre elektrische Aktivität aufeinander abstimmen und sozusagen im Gleichtakt schwingen – ähnlich den Paaren beim Formationstanz.

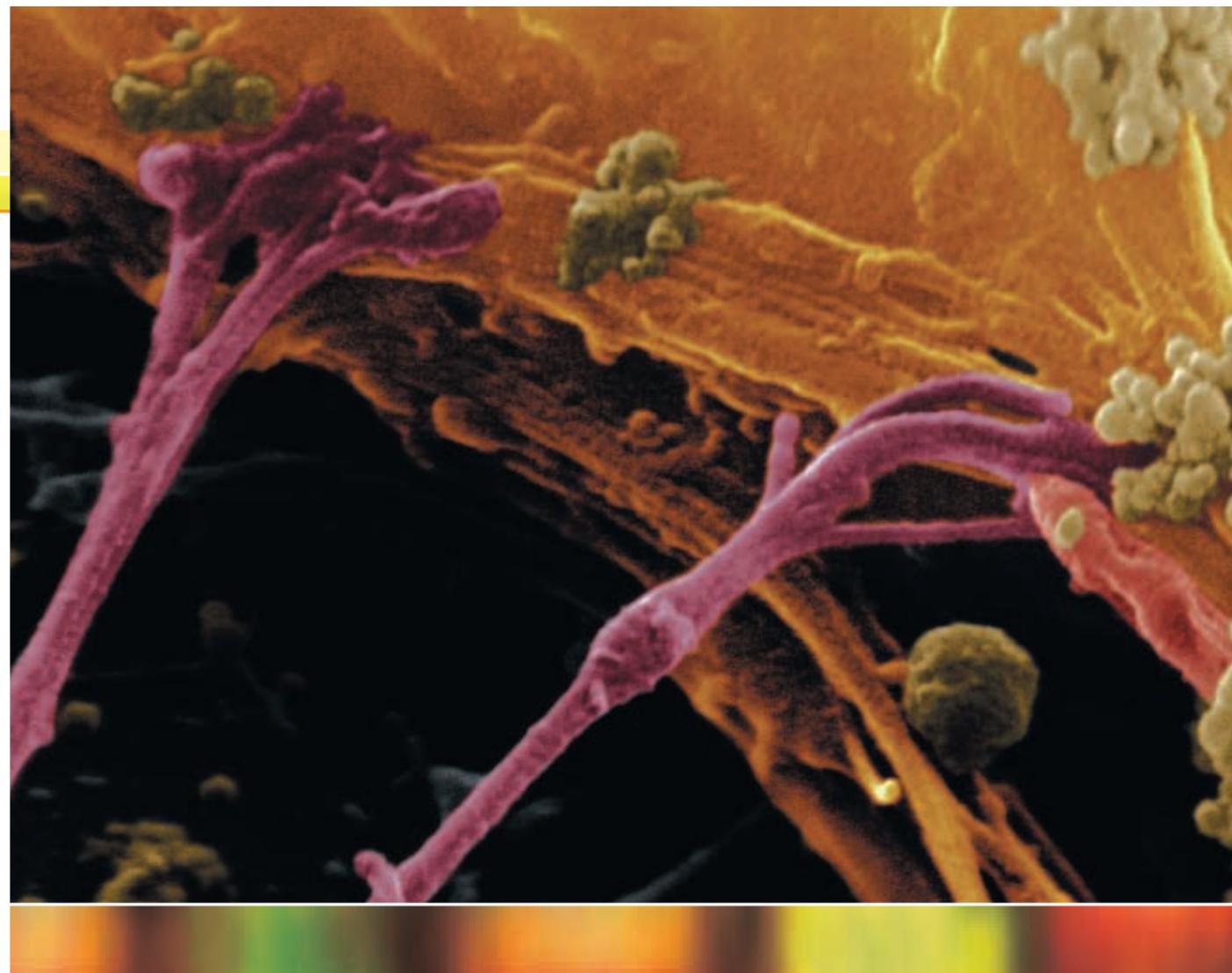
Während ein Elektroenzephalogramm nur das Geschehen in der Hirnrinde widerspiegelt, gehen so genannte Tomographie-Verfahren weitaus tiefer: Diese modernen Techniken zeichnen – berührungslos und schmerzfrei – dreidimensionale Bilder des gesamten Gehirns. Stoffwechselprozesse werden so sichtbar und es lässt sich sogar verfolgen, wo ein epileptischer Anfall entsteht.

„Black box“ zwischen den Ohren
Trotz dieser Fenster zum Gehirn – bei Hirnleiden bleiben noch viele Frage offen. Beispiel Alzheimer:

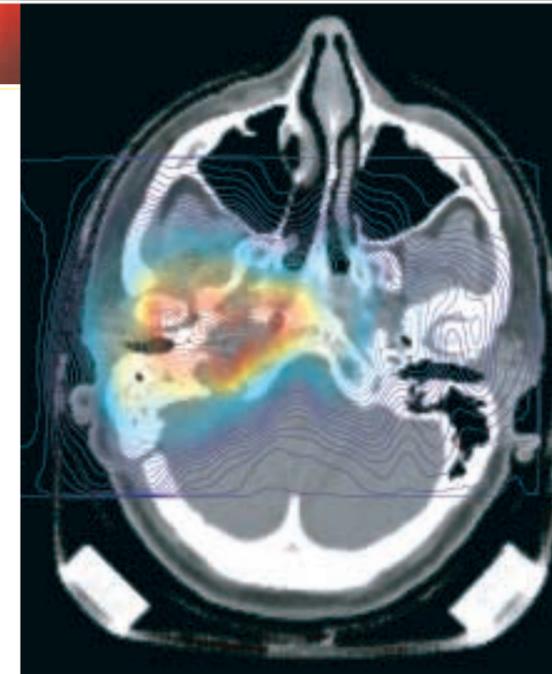
Erst im Ansatz versteht man die Ursachen dieser neurodegenerativen Störung, die zu einem stetigen Abbau von Nervenzellen und dem Verlust des Gedächtnisses führt. Patienten im fortgeschrittenen Stadium erkennen selbst Verwandte nicht wieder. In Deutschland sind knapp eine Million zumeist ältere Menschen betroffen. Alzheimer ist bisher nicht heilbar, Medikamente verzögern nur den Krankheitsverlauf. Als bedeutsam für die Behandlung solcher Erkrankungen könnte sich ein Befund aus jüngster Zeit erweisen: Auch im Gehirn Erwachsener können neue

Nervenzellen entstehen. Im Widerspruch zu einem alten Dogma ist das Gehirn also fähig, sich zu regenerieren.

Wie überhaupt werden Erinnerungen in den Verdrahtungen der Neuronen gespeichert? Sicher scheint bisher, dass das Gehirn Erinnerungen meist mit Emotionen koppelt. Aber im Detail ist das Gedächtnis noch ein großes Rätsel. Ganz zu schweigen von dem, was wir Bewusstsein und Denken nennen ...



Schnittstelle (Bild links): Der Zellkörper eines Neurons endet in zahlreichen Verzweigungen, über die Nervenzellen untereinander Kontakt halten.



Für Voyeure: Tomographische Verfahren erlauben einen nahezu ungehinderten Blick in den menschlichen Schädel.

Der Natur auf die Finger geschaut

„Erste Ansätze werden Leonardo da Vinci zugeschrieben. Der berühmte Forscher der Renaissance studierte den Flügelschlag der Vögel und konzipierte daraufhin einen „Schwingenflügler“, ein von Muskelkraft getriebenes Fluggerät. Es sollte nie vom Boden abheben. Dennoch leistete da Vinci Pionierarbeit für eine wissenschaftliche Disziplin, deren Leitgedanken meist unter dem Motto „Lernen von der Natur“ zusammengefasst werden: die Bionik. Der Ausdruck kombiniert die Begriffe „Biologie“ und „Technik“. Weil der Versuch, die Natur direkt zu kopieren, meist in eine Sackgasse führt, sucht die Bionik nicht nach Blaupausen, sondern nach grundlegenden Konzepten. Etwa 3,5 Milliarden Jahre hatte die Evolution Zeit, um Bauprinzipien und Verhaltensweisen zu testen, da findet sich reichlich Stoff für Inspiration.

Baumeister Natur

Prominentes Beispiel sind die Tragflächen eines Flugzeugs. Im Gegensatz zum Vogelflügel ist die Geometrie eines Flugzeug-Tragflügels festgelegt. Die Natur arbeitet mit variablen Flügeln hoher Effizienz, deren Form blitzartig gesteuert und geregelt wird – Vorbild für die Technik und Herausforderung zugleich. Bereits im 19. Jahrhundert erkannte Otto Lilienthal – der unter anderem Störche beobachtete – als erster die Bedeutung einer leicht gewölbten Flügelfläche für

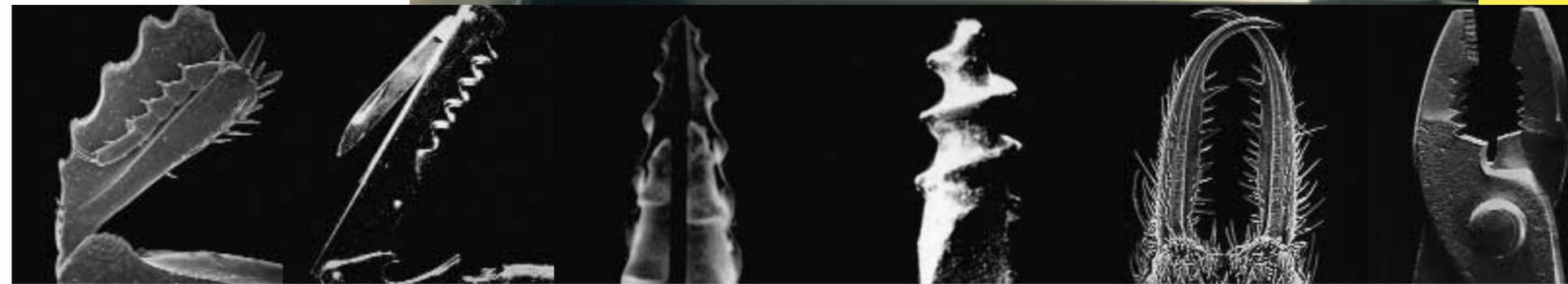
den Auftrieb.

Anregungen für den Flugzeugbau findet man selbst bei Haien. Diese gleiten besonders leicht durchs Wasser, da winzige Riefen auf ihrer Haut den Strömungswiderstand reduzieren. Auch in Tests an Flugzeugen, die mit Rillenfolie beklebt waren, bewährte sich dieses Prinzip. Bei den Olympischen Spielen 2000 setzte man ebenfalls auf „Hai-Tech“: Viele Schwimmer stiegen mit mikrostrukturierten Anzügen ins Becken.

Mikrostrukturen – in diesem Fall einer Blattoberfläche – spielen auch beim so genannten Lotus-Effekt eine zentrale Rolle. Die Blätter der Lotus-Pflanze sind nahezu „unverschmutzbar“: Staub und Schmutz werden vom Regen weggeschwemmt, Wasser perlt ab, selbst wasserlöslicher Klebstoff findet keinen Halt. Das Geheimnis: Erstaunlicherweise ist die Blattoberfläche nicht spiegelglatt. Im Gegenteil. Unzählige Noppen – nur unter dem Mikroskop zu sehen – überziehen jedes Lotus-Blatt. Auf solch einer rauen Unterlage – sie ist aufgrund eingelagerter Wachskristalle auch noch wasserabweisend – bleibt praktisch nichts haften. Dieses Prinzip der Selbstreinigung wird mittlerweile für neuartige Fassadenfarben und Dachziegel genutzt.

„Darf ich mich vorstellen?": Handschlag zwischen elektromechanischer Prothese und ihrem Pendant aus Fleisch und Blut.

Vom Klappmesser zur Kombizange: Werkzeuge und ihre Vorbilder aus der Welt der Insekten.



Natur hat Methode

Die Evolution verläuft nicht zielgerichtet, sie folgt dem Prinzip von Versuch und Irrtum. Eine Strategie, die auch bei der Konstruktion technischer Bauteile weiterhilft. Beispiel Automobilindustrie: Wie findet man den idealen Kompromiss zwischen Gewicht, Raumbedarf und Belastbarkeit eines Motorträgers? Der beste Weg, um solch komplexe Probleme zu lösen, ist häufig eine Evolutionsstrategie oder ein dem Wachstum der Bäume entlehntes Verfahren. Ausgehend von einem Rohentwurf wird dabei ein Computermodell des Bauteils nach und

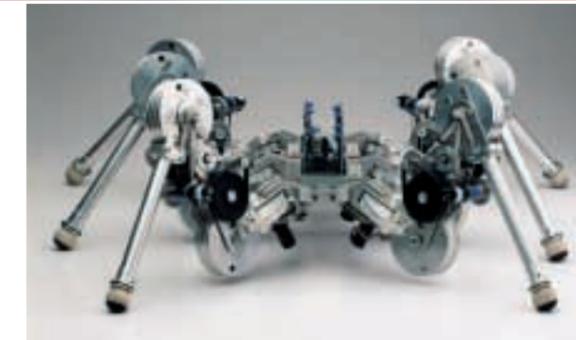
nach verändert, jede Neukonstruktion bewertet und gegebenenfalls weiterentwickelt. Diese Methode kann in erstaunlich kurzer Zeit zu optimalen Ergebnissen führen.

Kakerlaken auf dem Laufsteg

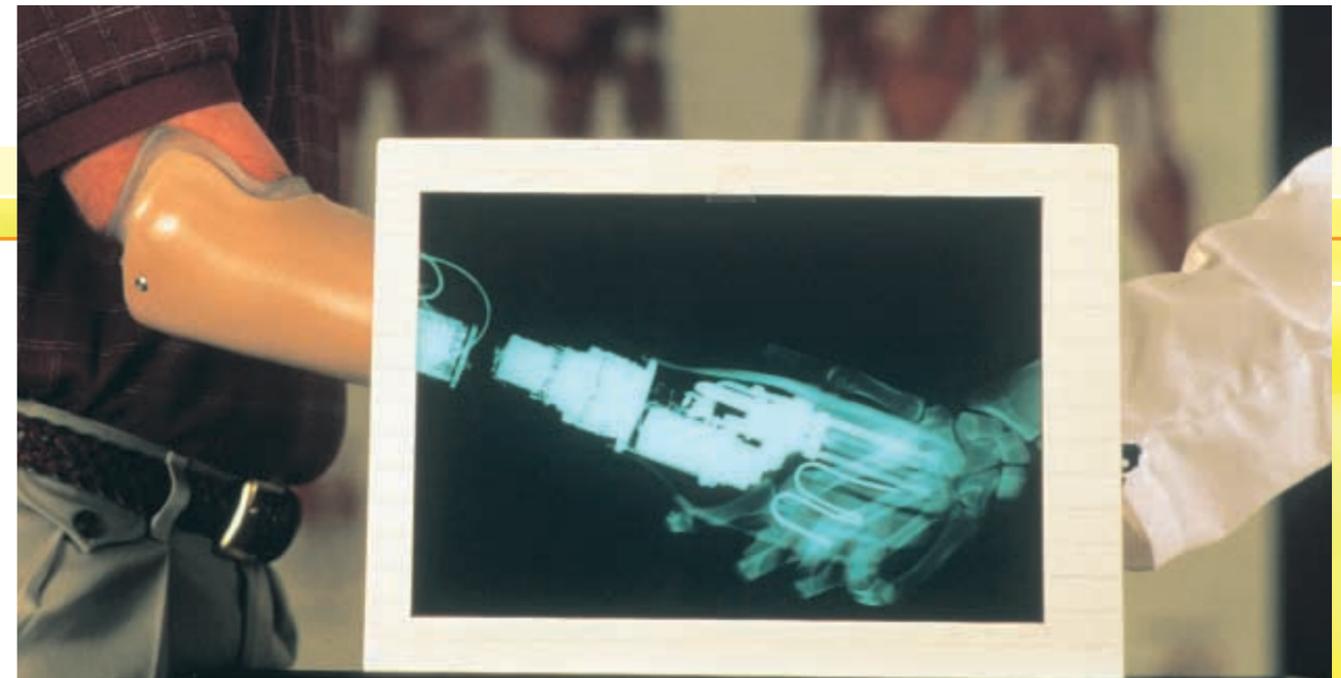
Auch Stabheuschrecken und andere Krabbeltiere sind begehrte Studienobjekte der Bionik. Wie koordinieren die Tiere ihre vielen Glieder, wenn sie über ein Hindernis laufen? Ein Roboter benötigt dafür geballte Computerpower und ist sehr langsam. Eine rennende Kakerlake hingegen erledigt die Aufgabe ohne groß „nachzudenken“. Tatsächlich agieren ihre Beine quasi selbstständig,

ohne das Insektenhirn mit aufwändigen Berechnungen zu belasten, und trotzdem achtet jedes Bein darauf, was das andere tut. Ein Forschungsfeld mit zahlreichen Anknüpfungen zur Neurobiologie.

Diese Vernetzung ist bei bionischen Prothesen wörtlich zu verstehen: Hier sind Implantate direkt mit der menschlichen Nervenbahn gekoppelt. Sie könnten es zum Beispiel möglich machen, dass Querschnittsgelähmte wieder ihre Beine bewegen und Erblindete wieder Gegenstände erkennen können. Erste Prototypen elektronischer Geh- und Sehhilfen wurden bereits erfolgreich getestet.



Mechanisches Insekt: Ein Roboter, dessen Hinterbeine beim Laufen über ein Hindernis von den Vorderbeinen lernen - genau wie bei der Stabheuschrecke.



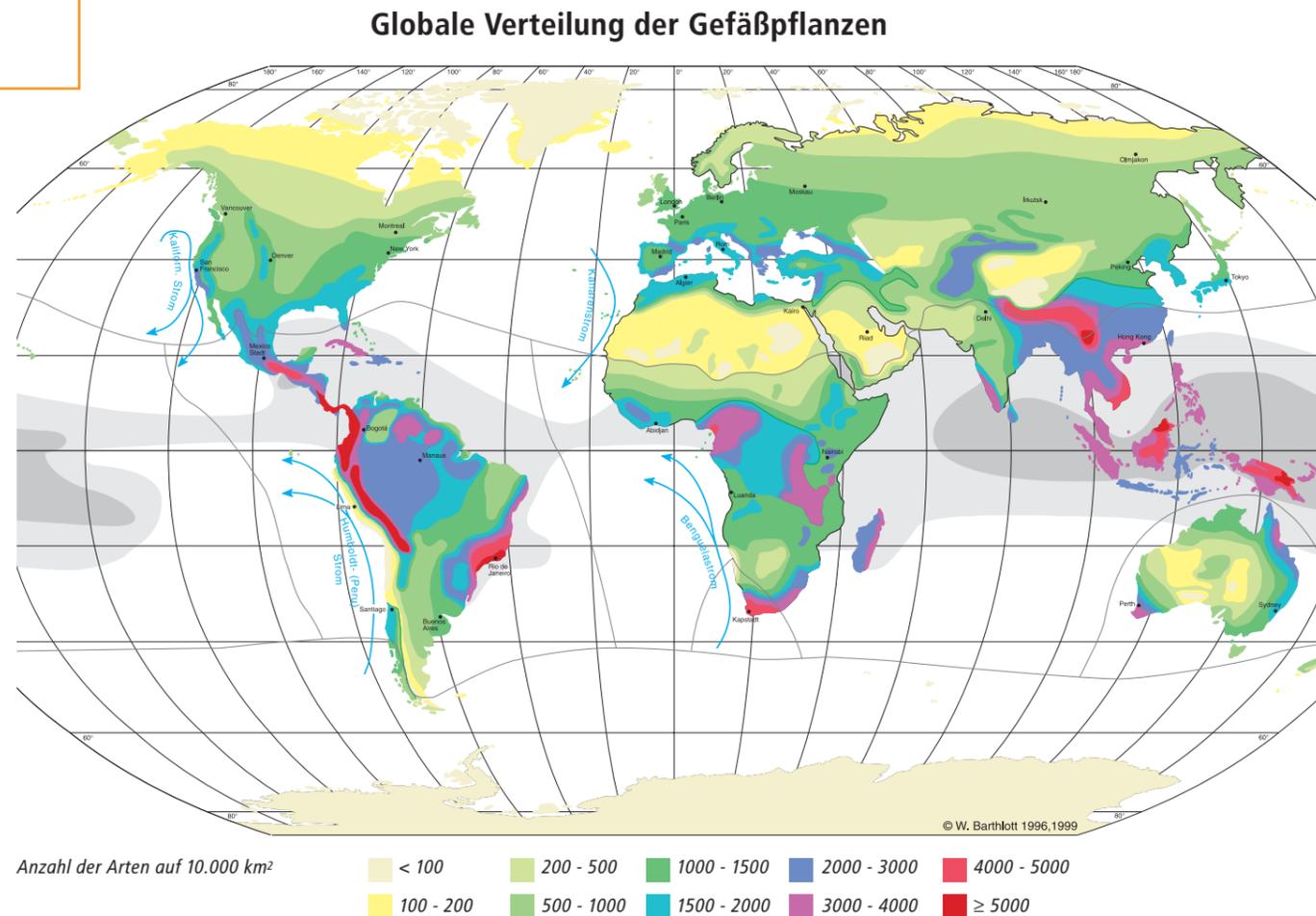
Universum vor der Haustür

Wir kennen bisher gerade einmal 1,7 Millionen Tier- und Pflanzenarten. Die Schätzungen über ihre Gesamtzahl schwanken aber zwischen 10 und 80 Millionen. Manche werden wir nie bestaunen können, denn täglich sterben vermutlich mehrere hundert Arten wegen der Zerstörung ihrer Lebensräume aus. Es sind die zahlreichen unterschiedlichen Arten von Tieren und Pflanzen, die unseren Planeten so einzigartig machen und von denen der Mensch nur eine ist. Unter Arten versteht man Gruppen von Individuen, die sich untereinander erfolgreich fortpflanzen können. Erfolgte eine Erfassung der Arten früher meist nur anhand äußerer Merkmale, so wird heute auch das Verhalten der betreffenden Lebewesen und oftmals die Analyse des Erbguts bei der Beschreibung mit einbezogen.

Die Erfassung des globalen Artenreichtums und der vielfältigen Lebensbeziehungen der Organismen zueinander sind das Anliegen der Biodiversitäts-Forschung. Die natürliche Vielfalt ist keineswegs gleichmäßig verteilt, sondern die größten Naturschätze liegen in den Tropenländern. Hier leben besonders viele, teils einzigartige Organismen auf engstem Raum. Als ein Beispiel mag hier Santa Cecilia in Ecuador gelten, ein regelrechter „Hotspot“ der Biodiversität. Hier kommen in einem Gebiet, kaum größer als fünf Fußballfelder, über 80 verschiedene Froscharten vor. Das sind weitaus mehr als aus ganz Europa bekannt sind. Während hier die unterschiedlichen Arten meist verschiedene Regionen bevölkern, leben viele der in Santa Cecilia beheimateten Arten nur an diesem Ort.

Schatztruhe Natur

Der Mensch ist nur ein Element im Netzwerk der Biodiversität. Nur zusammen mit unseren Mitgeschöpfen können wir in einem Orchester spielen, das unser aller Lebensgrundlage sichert. Wenn der Verlust biologischer Vielfalt weiter voranschreitet, ist auf Dauer auch die Existenz des Menschen in Gefahr. Darüber hinaus birgt die biologische Vielfalt ein enormes Potenzial. So beginnen wir gerade erst, Pflanzen als nachwachsende Rohstoffe zu nutzen. 90 Prozent



der weltweiten Ernte werden derzeit mit nur 20 verschiedenen Getreidearten erwirtschaftet. Doch wie viele essbare Pflanzen gibt es wirklich? Das unscheinbare Dschungelgewächs von heute ist vielleicht die begehrte Nutzpflanze von morgen. Der tropische Regenwald könnte sich auch als medizinische Fundgrube erweisen: Forscher durchforsten ihn nach Wirkstoffen aus der Tier- und Pflanzenwelt und so erkennen wir erst allmählich die Chancen, die die Vielfalt der Natur auch für den Menschen bietet.

Komplexe Zusammenhänge

Das Beziehungsgeflecht, das ein Ökosystem zusammenhält, gerät durch unbedachtes Handeln leicht aus den Fugen. So liegt es in der Hand des Menschen selbst, durch die Erforschung dieses Lebensgefüges zum Erhalt der Biodiversität beizutragen. Vor allem das Bevölkerungswachstum in vielen tropischen Ländern geht auf Kosten der biologischen Vielfalt. Deren Erhaltung ist dennoch eine globale Angelegenheit und gerade den Industrienationen kommt dabei eine bedeutende Rolle zu. Deshalb wurde

auf dem „Erdgipfel“ 1992 in Rio de Janeiro eine Konvention zum weltweiten Schutz des Artenreichtums ins Leben gerufen. Für den Erfolg dieses Vorhabens sind umfangreiche Bestandsaufnahmen nötig – vor allem in den Regenwäldern, an den Korallenriffen und in der Tiefsee, den artenreichsten Lebensräumen, die es auf Erden gibt. Man glaubt es kaum, aber über das Leben in den Ozeanen und Regenwäldern ist uns noch weniger bekannt als über die Sterne der Milchstraße.



Tropische Harlekine: Frösche sind nur ein Beispiel für die Vielfalt der Tierwelt.

Globale Verbreitung der Gefäßpflanzen. Für den Transport von Wasser und Nährstoffen besitzen sie ein internes Kanalsystem. Nahezu alle Pflanzen gehören zu diesem Typ - Ausnahmen: Moose und Algen. Die Karte zeigt die Verteilung der Arten: In den Tropen ist die Vielfalt besonders groß (rot), in Wüsten und Polarregionen gering (gelb).



Wussten Sie schon...

Unser nächster Verwandter ...

Bonobo, der Zwergschimpanse – sein Erbgut stimmt zu rund 99 Prozent mit dem des Menschen überein. Zum Vergleich: Bei zwei beliebigen Menschen liegt der genetische Verwandtschaftsgrad bei 99,9 Prozent.



Bonobo-Weibchen mit wenige Monate altem Baby. Der natürliche Lebensraum der Bonobos ist auf einen kleinen Gebiet in Zentralafrika beschränkt.

Das vielleicht größte Lebewesen ...

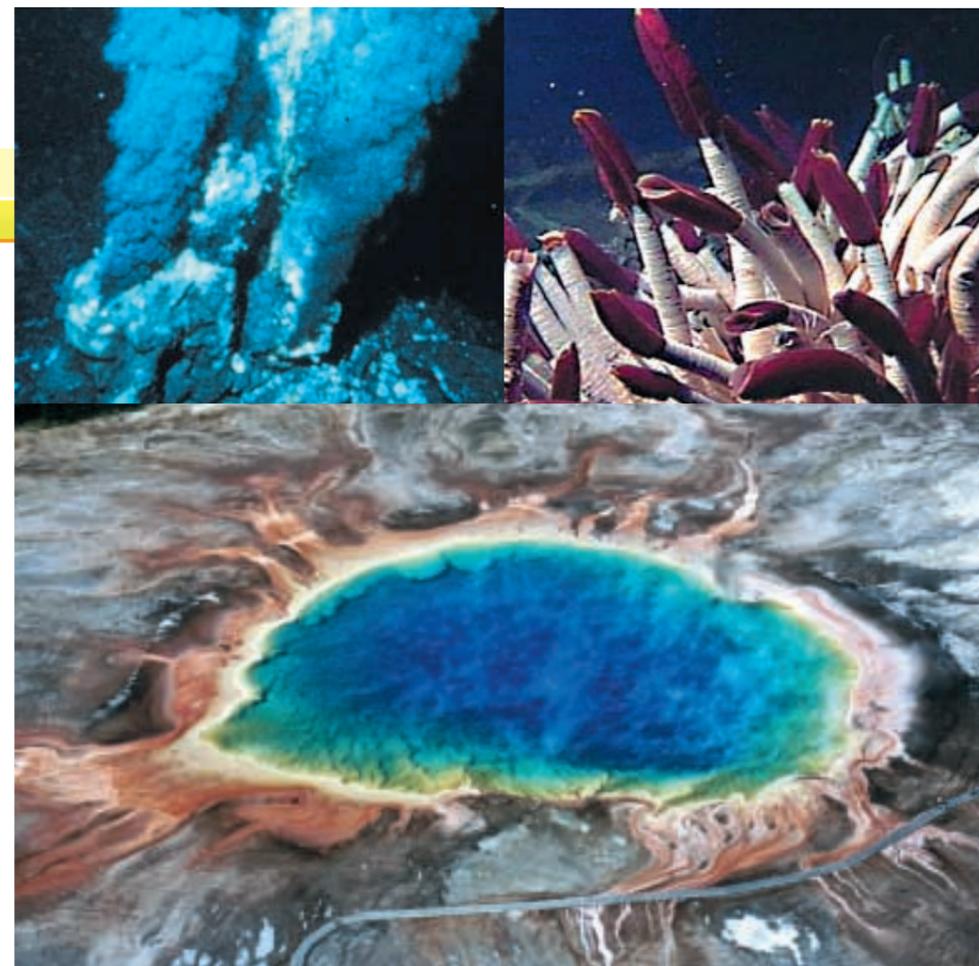
... ist kein Wal und auch kein Mammut-Baum, sondern ein unterirdisches Pilzgeflecht, das im Jahr 2000 im Nordwesten der USA entdeckt wurde. Es breitet sich über eine Fläche aus, die viermal so groß ist wie die Insel Helgoland. Das Alter dieses unterirdischen Organismus wird auf über 2.000 Jahre geschätzt. An der Erdoberfläche macht sich der Pilz nur durch vereinzelte Auswüchse bemerkbar.

Unter Extrembedingungen ...

Leben gedeiht selbst in Meerestiefen, in die nie ein Sonnenstrahl vordringt. In den siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts entdeckten Forscher nahe der Galapagos Inseln wahre Oasen auf dem dunklen Meeresgrund. In der Umgebung so genannter Schwarzer Raucher – extrem heißer Quellen in mehreren tausend Metern Tiefe – siedeln Muscheln, Würmer und Krebse. Diese Lebensgemeinschaften sind völlig autonom und nicht auf „Hilfe von oben“ angewiesen. Am Anfang ihrer Nahrungskette stehen urchimliche Bakterien, die ihrerseits von im Quellwasser gelösten Schwefelwasserstoff zehren. Organismen, die unter extremen Bedingungen leben, existieren auch an der Erdoberfläche: beispielsweise in den Geysirbecken des Yellowstone Parks in den USA. Dort tummeln sich Bakterien, die sogar Wassertemperaturen nahe des Siedepunktes überstehen. Für die Biotechnologie sind solche Mikroorganismen interessante Studienobjekte und eine mögliche Ressource, denn sie produzieren besondere Biokatalysatoren (Enzyme). Diese könnten zum Beispiel in Waschmitteln Verwendung finden.

Tödliche Gefahren ...

Bakterien, Viren, Würmer, Einzeller und andere (große) Lebewesen töten Jahr für Jahr mehr als 17 Millionen Menschen. In den Ent-



wicklungsländern sterben die meisten Menschen an Infektionen und Parasiten, hingegen gehören in den Industrienationen Herz- und Kreislauferkrankungen zu den häufigsten Todesursachen.

Eisgekühlte Methusalems ...

1999 förderte ein Bohrkern bizarre Mikroorganismen aus dem antarktischen Eis zutage. Ob diese noch leben, ist allerdings unklar. Die Bohrung stoppte in etwa 3.500 Metern Tiefe – knapp oberhalb des riesigen, im Eis eingebetteten Wostok-Sees. Das Gewässer ist vermutlich seit über 500.000 Jahren von der Erdoberfläche abgeschnitten. Auf mindestens 400.000 Jahre wird das Alter der Eisprobe geschätzt. Die außergewöhnlichen Mikroben könnten dem See ent-

stammen oder einst, vom Wind getragen, in die Antarktis gelangt sein. Im Laufe der Jahrtausende hätte sie dann ein wachsender Eispanzer begraben. Um das im See eventuell vorhandene Ökosystem nicht zu gefährden, soll demnächst ein steriler Roboter das Gewässer erkunden. Wissenschaftler sehen den Vorstoß zum Wostok-See als Generalprobe für die Erforschung des Jupitermondes Europa. Unter dessen gefrorener Oberfläche vermutet man flüssiges Wasser. Ein außerirdischer Ozean, so wird spekuliert, in dem sich vielleicht Leben entwickelt hat.

Kitzlige Angelegenheit ...

Es liegt offenbar an einer bestimmten Region unseres Gehirns, dem so genannten Kleinhirn, dass wir

Schornsteine der Tiefsee (Bild links): Schwarze Raucher verströmen eine heiße Schwefelbrühe, reich an Mineralien. Chemische Reaktionen färben das Wasser schwarz. Im Umfeld dieser Schlotte können bizarre Würmer gedeihen, die - dank Symbiose mit Schwefelbakterien - ganz ohne Verdauungsorgane auskommen.

Heißwasserbecken im Yellowstone Nationalpark (USA): Die Vielfalt der Farben kommt durch verschiedene Arten von Mikroorganismen zustande, die in unterschiedlichen Temperaturbereichen leben.

uns nicht selbst kitzeln können. Es warnt gewissermaßen jene Hirnbereiche vor, die Berührungen aufnehmen und verarbeiten. Dadurch bleibt die Reaktion auf den Kitzelreiz aus. Dieser Mechanismus ist vermutlich im Laufe der Evolution entstanden, als Gehirne lernten, zwischen äußeren und selbst ausgelösten Reizen zu unterscheiden. Unklar ist allerdings, wieso wir überhaupt kitzlig sind. Übrigens sind dies auch unsere nahen Verwandten, die Schimpansen. Studien im Zoo zeigten: Wenn Affen sich gegenseitig kitzeln, scheinen sie zu lachen. Sie geben dann ganz ähnliche Laute von sich wie der Mensch.

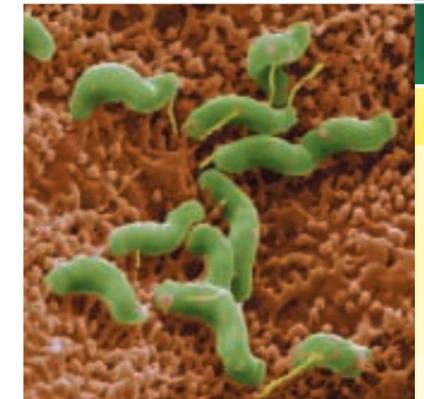
Von Menschen und Fliegen ...

Ob Mensch oder Fliege – für ähnliche Aufgaben sind in unterschiedlichen Lebewesen ähnliche Gene verantwortlich. Deshalb erlauben Erkenntnisse über die Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* Rückschlüsse auf den Menschen. Zu 177 Genen, die beim Menschen Krankheiten auslösen können, sind bereits entsprechende Gegenstücke

im Genom dieses kleinen Insekts bekannt. Und selbst im Erbgut der Bäckerhefe, einem mikroskopischen Einzeller, fand man Pendant zu zahlreichen Säugetier-Genen.

Leben im Überfluss ...

Etwa eine Trillion Tiere bevölkern nach vorsichtigen Schätzungen die Erde. Noch weitaus gewaltiger ist die Zahl der Mikroorganismen: Allein im Dickdarm eines Menschen tummeln sich rund 70 Billionen Bakterien und unterstützen die Verdauung. Demgegenüber mutet die Zahl der Sonnen in unserer Milchstraße geradezu winzig an – Astronomen gehen von weniger als 500 Milliarden aus.



Winzige Plagegeister: Magensäure kann *Helicobacter pylori* nichts anhaben. Das Bakterium steht im Verdacht, Magenbeschwerden und Darmgeschwüre auszulösen. Jeder zweite Mensch könnte infiziert sein - allerdings kommt es nicht zwangsläufig zu Gesundheitsschäden.

1 Trillion = 1.000.000.000.000.000
70 Billionen = 70.000.000.000.000
500 Milliarden = 500.000.000.000

Weblinks

Ausgewählte Internet-Adressen

Bundesministerium für Bildung
und Forschung
www.bmbf.de

Biologie
www.biologie.de

Deutsches Humangenom-Projekt
www.dhgp.de

Informationssekretariat
Biotechnologie
www.i-s-b.org

Deutsches Referenzzentrum für
Ethik in den Biowissenschaften
www.drze.de

Gen-ethisches-Netzwerk
www.gen-ethisches-netzwerk.de

Allgemeine Informationen
www.lifescience.de
www.biolinx.de

Wissenschaft zum Mitmachen
www.glaesernes-labor.de
www.bmbf.science-live.de

Wissenschaft im Dialog
www.wissenschaft-im-dialog.de

Bildnachweis

Agentur Focus, Hamburg: 8/9
W. Barthlott, Uni Bonn, Botanisches Institut und Botanischer Garten: 18/19
BASF-LYNX Bioscience AG, Heidelberg: 7, 11
Bayer AG, Leverkusen: 1, 5
Bilderberg, Hamburg: 8/9
Das Fotoarchiv, Essen: 10/11
eye of science, Reutlingen: 4, 5, 12-15, 21
P. Fromherz, Max-Planck-Institut für Biochemie, Martinsried: 7, 14, 24
Gesellschaft für Biotechnologische Forschung mbH, Braunschweig: 1, 11
Gesellschaft für Biotechnologische Forschung mbH, Braunschweig/
Elleringmann: 5
Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Darmstadt: 15
W. Heckl, LMU München, Institut für Kristallografie und Angewandte
Mineralogie: 6
Iser & Putscher GmbH, Bad Honnef: 10
R. Knippers, Uni Konstanz, Fakultät für Biologie: 1, 11
J. Köhler, Museum Koenig, Bonn: 7, 19
S. Lötters, Bonn: 19
K. Luginsland, Landesmuseum für Technik und Arbeit, Mannheim: 17
W. Nachtigall, Uni Saarbrücken, Zoologie/Technische Biologie und Bionik:
16, 17
National Oceanic and Atmospheric Administration: 20, 21
Peters, Berlin: 20
Sigma-Aldrich Laborchemikalien GmbH/Riedel-de Haën/J. Steffan: 1, 5
Sigma-Aldrich Laborchemikalien GmbH/Riedel-de Haën/C. Scheibe: 5, 24
G. Steinmetz/Agentur Focus, Hamburg: 17
G. Wanner, LMU München, Botanisches Institut: 1, 6/7, 10, 11
Yellowstone Nationalpark: 20/21

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und
Forschung (BMBF)

Konzept, Text und Gestaltung

Iser & Putscher
Kreativagentur für PublicRelations
GmbH
Bad Honnef - Berlin

Allgemeine Informationen zum Jahr der Lebenswissenschaften

BMBF, Pressestelle
Hannoversche Str. 28-30
10115 Berlin
Tel.: 030 - 28 540 - 50 50
Fax: 030 - 28 540 - 55 51
presse@bmbf.bund.de

Iser & Putscher
Kreativagentur für PublicRelations
GmbH
Hauptstr. 20a,
53604 Bad Honnef
Tel.: 0 22 24 - 95 195 - 41
Fax: 0 22 24 - 95 195 - 19
E-Mail: info@lebenswissen.de

Informationen zu Wissenschaft im Dialog

Wissenschaft im Dialog gGmbH
Marktgrafenstraße 37
10117 Berlin
Tel.: 030 - 20 64 92 - 00
Fax: 030 - 20 64 92 - 05
E-Mail:
info@wissenschaft-im-dialog.de